



3D SIMULACE SVAŘOVACÍCH LINEK

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3901T073 – Produktové inženýrství
Autor práce: **Bc. Martin Herman**
Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. František Manlig



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Herman**
Osobní číslo: **T12000526**
Studijní program: **N3957 Průmyslové inženýrství**
Studijní obor: **Produktové inženýrství**
Název tématu: **3D simulace svařovacích linek**
Zadávací katedra: **Katedra hodnocení textilií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- 1/ Úvod do problematiky Digitální továrny.
- 2/ Analýza současného stavu navrhování robotizovaných pracovišť.
- 3/ Případová studie - návrh svařovací linky v SW Tecnomatix Process Simulate.
- 4/ Porovnání se současným stavem.
- 5/ Závěrečné zhodnocení.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

[1] LIKER, J. Tak to dělá Toyota. Praha: Management press, 2007. ISBN 978-80-7261-173-7.

[2] SIXTA, J. a V. MAČÁT. Logistika. Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0573-3.

[3] IPA slovník [online slovník], 2015. Dostupné z <http://www.ipaslovakia.sk/sk/ipa-slovník>.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. František Manlig

Katedra výrobních systémů a automatizace

Konzultant diplomové práce:

Ing. Jan Vavruška

Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání diplomové práce: 24. října 2014

Termín odevzdání diplomové práce: 14. května 2015



Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



doc. Ing. Vladimír Bajžík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 18. února 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Dr. Ing. Františku Manligovi za vedení mé diplomové práce a za veškerý poskytnutý čas a připomínky v rámci konzultací. Za cenné rady bych chtěl poděkovat i svému konzultantovi Ing. Janu Vavruškovi.

Dále bych chtěl poděkovat celé rodině za trpělivost a podporu během celé doby studia.

TÉMA: 3D SIMULACE SVAŘOVACÍCH LINEK

ABSTRAKT:

Obsahem této diplomové práce je analýza a porovnání dvou simulačních softwarových nástrojů od firmy Siemens PLM a s tím spojených přístupů k navrhování a simulacím svařovacích linek. Nejprve je provedena analýza současného procesu navrhování a simulací svařovacích linek, které se provádí v programu Robcad. Praktickým výstupem této diplomové práce je vytvoření simulačního modelu svařovací linky pro díl motorová kapota v programu Tecnomatix Process Simulate. Pro porovnání je v obou programech vytvořen experiment, který je následně vyhodnocen a je provedeno vícekritériální zhodnocení obou softwarů. Na základě analýz a výsledků experimentu je vybrán vhodnější software a s tím spojená změna v procesu navrhování svařovacích linek.

KLÍČOVÁ SLOVA: simulace, svařování, svařovací linka, digitální továrna, porovnání

THEME: 3D SIMULATION OF WELDING LINES

ABSTRACT:

The content of this diploma thesis is analysing and comparing two simulation software tools of Siemens PLM and with this connected views to projecting and simulation of welding lines. At the first, there is analyse of present process of projecting and simulation of welding lines, which is practising in software Robcad. Practise output of this diploma thesis is creating of simulation model of welding line for part of car hood in Tecnomatix Process Simulate. For the comparing there is created experiment in both softwares, which is analyzed and then more criterial evaluation is created. On the basic of analyses and results is choosed preferable software and the change of projecting process.

KEY WORDS: simulation, welding, welding line, digital factory, comparing

Obsah

Úvod	10
Cíle práce	12
1 Úvod do problematiky digitální továrny	13
1.1 PLM – Product Lifecycle management.....	13
1.2 Digitální továrna	14
1.3 Vývoj produktu.....	14
1.4 Softwarové nástroje digitální továrny	16
1.4.1 Siemens PLM Software – Tecnomatix.....	16
1.4.2 Dassault Systèmes - Delmia.....	20
1.4.3 Další softwarové nástroje.....	23
1.5 Simulace	25
2 Analýza současného stavu navrhování robotizovaných pracovišť	29
2.1 Návrh konceptu.....	30
2.2 Simulace konceptu	30
2.3 Konstrukce přípravků.....	31
2.4 Simulace přípravků	31
2.4.1 Manipulace	33
2.4.2 Svařování	33
2.4.3 Nanášení lepidla	34
2.4.4 Rolnové lemování.....	35
2.4.5 Dokování.....	35
2.5 Off-line programování	36
2.6 Integrace s PD.....	37
2.7 Zhodnocení.....	37
3 Případová studie – návrh a simulace svařovací linky v SW Tecnomatix PS	39
3.1 Vytvoření struktury a plánování operací.....	41

3.2 Rozmístění komponent.....	45
3.3 Import a promítnutí svařovacích bodů na produkt – vytvoření lokací.....	49
3.4 Kontrola orientace lokací a vhodnosti kleští	49
3.5 Kontrola dosahů robotů.....	50
3.6 Export layoutu	52
3.7 Klíčové funkce PS	53
PS Disconnected.....	54
4 Experiment.....	55
4.1 Úkony:.....	55
4.2 Průběh experimentu:	55
4.3 Vyhodnocení naměřených hodnot	56
5 Porovnání se současným stavem.....	57
5.1 Stanovení kritérií.....	57
5.2 Stanovení vah jednotlivých kritérií.....	57
5.3 Zhodnocení kritérií.....	60
6 Závěrečné zhodnocení a doporučení	62
Seznam použité literatury	65
Seznam příloh	68

Seznam použitých zkratek a symbolů

Apod.	A podobně
Atd.	A tak dále
CAD	Computer Aided Design (Počítačem podporovaný návrh, konstrukce)
CAE	Computer Aided Engineering (Počítačem podporovaná analýza součástí)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Počítačem podporovaná výroba)
Cca	Přibližně
CIM	Computer Integrated Manufacturing
DF	Digitální továrna
DPE	Delmia Process Engineer
Např.	například
Obr.	Obrázek
PD	Process Designer
PLM	Product Lifecycle Management
PS	Process Simulate
RIP	Roboter Installation Plate (Robotová instalační deska)
SW	Software
Tab.	Tabulka

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1.1 Schéma PLM.....	13
Obr. 1.2 Pracovní buňka v programu PD	17
Obr. 1.3 Svařovací linka v programu PS	18
Obr. 1.4 Svařovací linka v programu Robcad	19
Obr. 1.5 Svařovací přípravek v programu Catia V5	22
Obr. 1.6 Layout v programu Microstation.....	23
Obr. 1.7 Simulace ergonomie v programu Jack.....	24
Obr. 1.8 Princip simulace	25
Obr. 1.9 Tvorba simulačního projektu	28
Obr. 2.1 Procesní mapa vzniku svařovací linky	29
Obr. 2.2 Svařitelnost svařovacích bodů.....	30
Obr. 2.3 Simulace dosahu robota	31
Obr. 2.4 Manipulace	33
Obr. 2.5 Svařování v přípravku.....	34
Obr. 2.6 Rolnové lemování.....	35
Obr. 3.1 Díl motorová kapota	40
Obr. 3.2 Struktura projektu	41
Obr. 3.3 Přehled operací v GANT diagramu	45
Obr. 3.4 První fáze návrhu rozmístění komponent	46
Obr. 3.5 Druhá fáze návrhu rozmístění komponent	47
Obr. 3.6 Třetí fáze návrhu rozmístění komponent	48
Obr. 3.7 Čtvrtá fáze návrhu rozmístění komponent	48
Obr. 3.8 Promítnutý svařovací bod – lokace	49
Obr. 3.9 Nástroj „Pie Chart – Koláčový graf“	50
Obr. 3.10 Nástroj „Reach test – Kontrola dosahu“	51
Obr. 3.11 Nástroj „Robot Smart Place – Inteligentní umístění robota“	51
Obr. 3.12 Layout svařovací linky.....	52
Obr. 3.13 Funkce Check-out a Check-in	54
Obr. 4.1 Grafické porovnání Robcad x PS	56
Obr. 6.1 Procesní mapa vzniku svařovací linky	63

Tab. 2.1 Přehled souřadných systémů	32
Tab. 4.1 Naměřené hodnoty.....	55
Tab. 5.1 Hodnocení jednotlivých kritérií, pořadí a výpočet vah	58
Tab. 5.2 Hodnocení pomocí „bodovací metody“.....	60
Tab. 5.3 Kvalifikační tabulka.....	61

Úvod

Bezchybný produkt je v dnešní době základem úspěšného a konkurenceschopného podniku. Toto platí i v případě automobilového průmyslu. V poslední době se klade obrovský důraz na zkracování doby vývoje automobilu, automatizaci výrobních linek a celkovou optimalizaci veškerých procesů v podniku.

Mezi důležité prvky při výrobě automobilů patří robotické svařovací linky. Náklady spojené s realizací těchto linek dosahují až stovek miliónů eur a proto je velmi důležité tyto náklady co nejvíce snižovat. K tomu napomáhají simulace procesů, kam spadají také 3D simulace svařovacích linek.

Simulace může být popsána jako metoda analýzy fyzikálního nebo podnikového procesu. K fyzikálním procesům patří např. simulace napětí v materiálech a k podnikovým procesům patří např. simulace výrobní linky nebo logistických procesů. Přínos simulace v podnikových procesech je velmi vysoký a je nedílnou součástí vývoje nových produktů. Největším přínosem je vytvoření různých variant konkrétního procesu ve virtuálním světě, získání ucelenějšího pohledu na problém a nalezení efektivního řešení. Tím se snižují náklady na realizaci a náklady spojené s případnými dodatečnými změnami výrobních linek.

Pro přenesení simulace do reálného světa jsou důležité naprosto přesné modely všech potřebných prvků (robotů, svařovacích kleští, svařovacích přípravků, dopravníků, rozmístění sloupů v hale, dílů karoserie atd.). Dalším předpokladem jsou dobře zvolené softwarové prostředky.

V oblasti 3D simulací všech procesů je důležitý komplexní pohled na plánování výroby – propojení všech částí životního cyklu výrobku (Product Lifecycle Management – PLM) od samotného návrhu, přes komplexní plánování a konečnou realizaci, až po zlepšování a optimalizování všech částí již zaběhnutého procesu. Ve všech těchto oblastech je vždy nutné pracovat s aktuálními daty.

Cíle práce

Diplomová práce se zabývá 3D simulacemi svařovacích linek a použitím softwarových prostředků potřebných k návrhu a simulacím těchto linek.

Prvním cílem diplomové práce je návrh a simulace svařovací linky pro vybraný díl pomocí nového softwaru Process Simulate (dále jen PS). Druhým cílem je analýza a porovnání dvou softwarových nástrojů od firmy Siemens PLM a s tím spojených přístupů k navrhování a simulacím svařovacích linek. Jedná se o v současné době převážně používaný Robcad a jeho pomyslný nástupce PS, ve kterém byla linka navržena.

Úvodní teoretická část diplomové práce je zpracována formou rešerše literárních zdrojů. Jsou zde popsány a vysvětleny základní pojmy spojené s digitální továrnou jako je PLM – Product Lifecycle Management, digitální továrna, softwarové nástroje digitální továrny, vývoj produktu v prostředí digitální továrny a simulace.

Ve druhé části je popsán současný stav navrhování a simulací svařovacích linek, které se provádí v programu Robcad. Jsou zde vysvětleny jednotlivé fáze návrhu a simulace svařovací linky. Jsou popsány vzájemné vztahy mezi projektanty, simulanty a konstruktéry. Dále jsou přiblíženy základní situace, které se simulují ve svařovacích linkách. Nakonec je provedeno zhodnocení současného stavu a popsání výhod a nevýhod.

V hlavní praktické části je vytvořena případová studie návrhu a simulace svařovací linky pro díl motorová kapota v PS. Návrh a simulace jsou rozděleny do několika po sobě jdoucích kroků. Na závěr této kapitoly jsou popsány klíčové vlastnosti nového SW a s tím spojeného přístupu, výhody a nevýhody. Dále je v obou SW proveden experiment popisující reálnou situaci, který je poté vyhodnocen. V tomto experimentu je nejdůležitější měřitelnou veličinou čas.

Porovnání obou softwarů je provedeno pomocí vícekritériálního zhodnocení.

V závěrečném zhodnocení a doporučení jsou shrnuty výsledky a je vybrána vhodnější varianta, která nejen zlepšuje stav simulací, ale i celý proces vzniku svařovacích linek.

1 Úvod do problematiky digitální továrny

Pojem digitální továrna spadá do kategorie PLM - Product Lifecycle Management, což je základní systém pro řízení výrobku v celém jeho životním cyklu. Do tohoto cyklu spadají všechny činnosti od průzkumu trhu, vývoje přes výrobu, prodej až po recyklaci.

1.1 PLM – Product Lifecycle management

Termín PLM v sobě zahrnuje soubor systému od systému CAD, CAM, CAE, přes řízení dat, vizualizaci, různé simulace výroby, až po systémy pro komunikaci se zákazníky (viz Obr. 1.1). PLM řešení v sobě sdružuje jak systémy, postupy a nástroje pro řešení problematiky přímo svázané s realizací nového, případně inovovaného výrobku, tak systémy, nástroje a postupy pro zabezpečení správy vlastního digitálního obsahu. Integrální součástí PLM je přímá podpora ekonomických, účetních, správních a marketingových činností. Oblast PLM je v současné době nejkompexnějším popisem správy životního cyklu výrobku v produkční sféře. Ve své podstatě rozšiřuje původní řešení CIM (Computer Integrated Manufacturing) o nové oblasti, které vycházejí z posílení orientace produkce na zákaznické potřeby. V současné době jsou digitální továrna a systémy DF nejdynamičtěji se rozvíjející částí v oblasti PLM [3] a [13].



Obr. 1.1 Schéma PLM [3]

1.2 Digitální továrna

Digitální továrna se postupně stává nedílnou součástí většiny průmyslových podniků. Jedná se o soubor nástrojů, díky nimž je možné propojit různé oblasti výroby. Tyto nástroje umožňují, aby se plánování, projektování, verifikace a optimalizace procesů provedly v digitálním prostředí. Pomocí přesného digitálního modelování, 3D vizualizace a simulace si mohou všichni pracovníci spolupracující během vývoje vizualizovat, analyzovat a vyhodnocovat budoucí výrobní procesy. Takové vyhodnocení umožňuje, aby se včas provedla důležitá návrhová rozhodnutí. Tím se omezí chyby, které by se jinak objevily až při náběhu výroby. Digitalizace pomáhá v rychlejší a pečlivější přípravě procesů. Simulace zajišťuje to, aby byl produkt uveden do výroby hned napoprvé, bez nutnosti dodatečných, nákladných a časově náročných změn v reálné výrobě. Největší výhodou tohoto komplexního nástroje je datová návaznost jednotlivých dílčích modulů. Tím odpadá problém komunikace mezi pracovišti (plánování, projektování, konstrukce, simulace, logistika...) [4].

1.3 Vývoj produktu

Vývoj produktu v prostředí digitální továrny v uvedené struktuře vychází z literatury [5].

Návrh konceptu výrobku

Koncept je navrhován podle přání a požadavků zákazníka. Jedná se o navržení základní koncepce, designu a funkčnosti.

Konstrukční řešení výrobku

Po návrhu konceptu začne konstruktér zhotovovat výrobní dokumentaci pro konstrukční řešení. Celkový výrobek musí splňovat všechny požadavky kladené na funkčnost a design. K tomu se využívají konstrukční nástroje v podobě CAD systémů, které jsou součástí softwarového balíku digitální továrny. Tyto nástroje umožňují konstruktérovi:

- Návrh jednotlivých částí produktu
- Pevnostní, statické a dynamické analýzy
- Virtuální kompletaci sestavy a simulaci funkčnosti

- Tvorba výkresové dokumentace pro danou technologii

Technologické řešení procesu

Po vytvoření výkresové dokumentace je navržen výrobní postup pro jednotlivé komponenty, včetně montáže. Výrobní postup zahrnuje:

- Specifikace technologie strojů a nástrojů
- Stanovení řezných podmínek
- Vygenerování CNC programu

V této části vývoje software napomáhá především při simulaci průběhu obrábění, chování výrobního procesu nebo nástroje. Software by měl obsahovat knihovnu nástrojů pro simulaci různých variant a následný výběr optimálního postupu.

Definování výrobního procesu

Průmyslový inženýr zpracuje připravenou technologii výroby a navrhne:

- Strukturu pracovišť
- Takt výrobní linky
- Zásobování a logistiku
- Ergonomické analýzy pracovníků

Hrubé plánování

Hrubé plánování definuje zdroje (vše pro zajištění procesu – nářadí roboty, pracovníci), produkty (vstupní a výstupní komponenty výrobku včetně podsestav) a procesy (přeměna vstupů na výstupy) jednotlivých operací. Při hrubém plánování jsou operace děleny na dílčí úkony (obsahující časový údaj). Každé operaci jsou přiřazeny zdroje, vstupní a výstupní produkty.

Jemné plánování

Jemné plánování zahrnuje simulaci operací vytvořených v hrubém plánování a ověření přiřazených časů. Simulace obsahuje rozpad úkonů na jednotlivé pohyby (např. pohyb člověka při montáži se dělí na pohyb jednotlivých částí těla). Časy zjištěné ze simulace je porovnány s plánem a případně mohou být upraveny. U robotických pracovišť je provedena analýza možných kolizí při pohybu robotů.

Ergonomické analýzy pracovišť

Ergonomická simulace je nedílnou součástí vývoje produktu. Nástroje digitální továrny disponují reálným modelem člověka, který obsahuje vazby kostí, kloubů a svalů, možnost nastavení pohlaví a tělesných proporcí. Podle výsledků analýz je možné přizpůsobit pracoviště danému pracovníkovi (např. výška stolu).

Diskrétní simulace výrobních systémů

Výsledky všech analýz jsou nezbytné pro diskrétní simulaci kompletní výroby. Zde jsou definovány náklady na čas, poruchy strojů, výrobu zmetků, servis atd. Výsledkem je report obsahující informace o investicích, vyrobených produktech a o návratnosti celého projektu.

1.4 Softwarové nástroje digitální továrny

Zavedení digitální továrny se projevuje na ekonomických a výrobních ukazatelích firem, protože každá menší úspora realizovaná v plánování se po zahájení sériové výroby několikrát znásobí. Hlavně díky tomu je návratnost investic do systému digitální továrny poměrně krátká. Složitost těchto systémů je však tak velká, že v současné době se v integrovanější podobě vyskytují na trhu pouze dva konkurenční produkty: Delmia od Dassault Systèmes a Tecnomatix od Siemens PLM Software. Obě firmy jsou společnosti spojené s automobilovým a leteckým průmyslem [14].

Společnost Siemens využívá pro oblast digitální továrny německo-izraelský produkt Tecnomatix. Francouzská firma Dassault Systèmes, která dlouhá léta těsně spolupracuje s IBM a je tvůrcem programového prostředí pro konstrukci a technologii Catia, používá pro oblast plánování, ověřování a simulaci výrobních procesů produkt americké firmy Delmia.

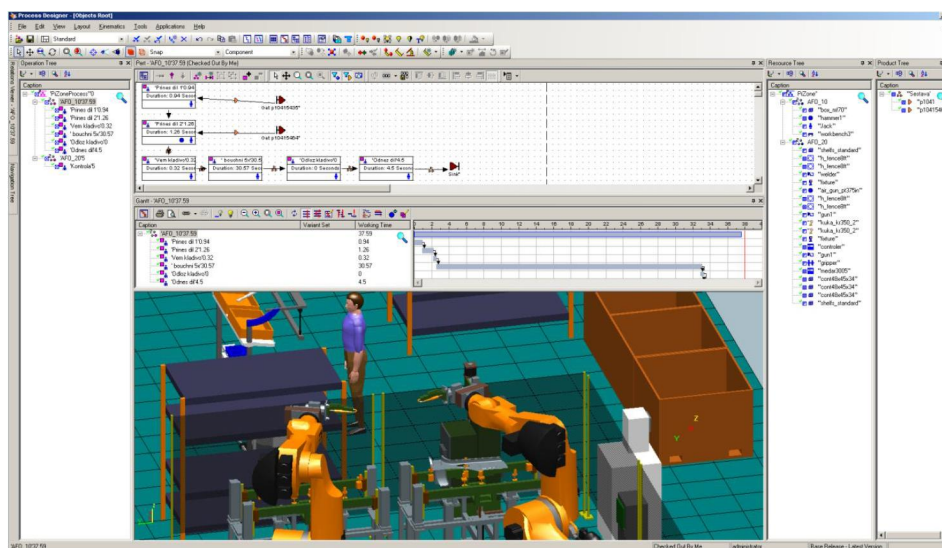
1.4.1 Siemens PLM Software – Tecnomatix

Pod názvem Tecnomatix se skrývá produktová řada firmy Siemens PLM Software, zahrnujících několik softwarových nástrojů pro různé oblasti výroby, které je možno navzájem propojit. Nástroje v sadě Tecnomatix umožňují průmyslovým podnikům využívat v praxi koncepci digitální továrny, tedy plánovat a projektovat

výrobu, navrhovat, verifikovat a optimalizovat procesy a výrobní zdroje v digitálním prostředí. Mezi hlavní nástroje patří Process Designer (dále jen PD), PS a Robcad [15].

Tecnomatix Process Designer

PD je ucelený nástroj pro návrh výrobních procesů od firmy Siemens PLM Software, který umožňuje souběžné plánování jednotlivých týmů, analýzu ve 3D prostředí a optimalizaci výroby. Základním stavebním kamenem práce je: Co se bude vyrábět, čím se to bude vyrábět a jakými procesy. Do prostředí PD (Obr. 1.2) se naimportuje kusovník a 3D modely dílů a z knihovny výrobních prostředků (zdrojů) se sestaví 3D model budoucího pracoviště s modely robotů, strojů, lidí, dopravníků, 2D nebo 3D modelů hal a dalších komponent. Plánař poté vytvoří detailní výrobní proces – technologický sled operací. Následně se přiřadí díly, které do operací vstupují a vystupují (např. kapota auta), výrobní prostředky, které se na operaci podílí (např. pracovník, nástroje) a Mfg body (např. body svarů) [7] a [9].



Obr. 1.2 Pracovní buňka v programu PD [9]

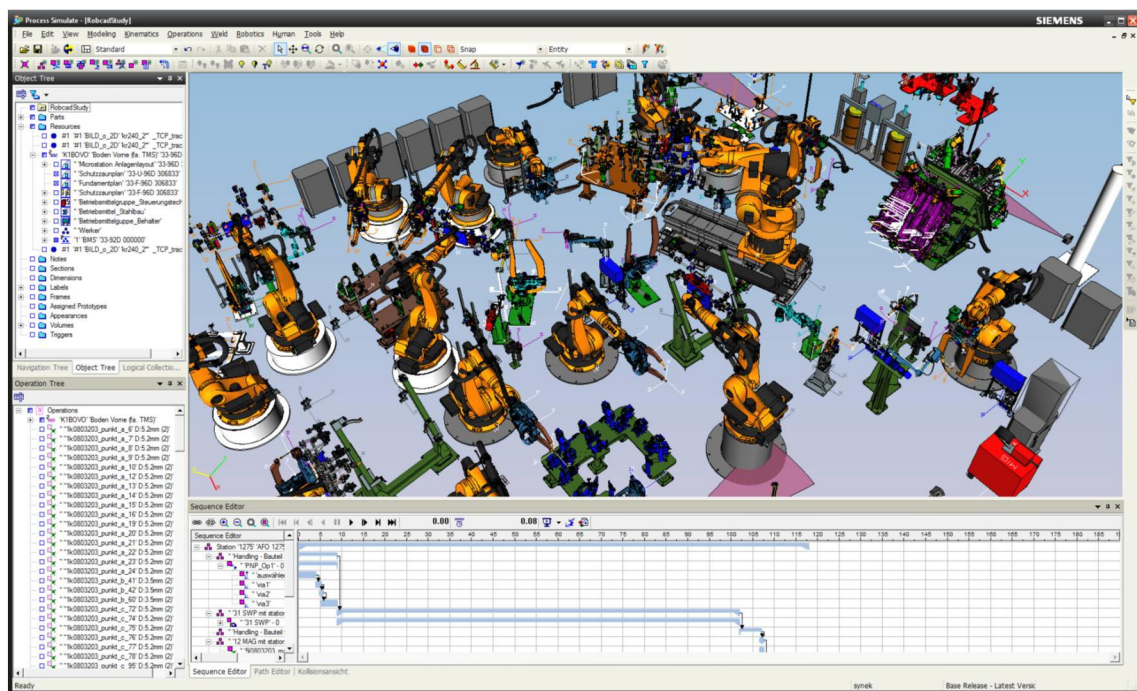
Process Simulate

PS je soubor nástrojů pro simulace výrobních procesů (Obr. 1.3). Je možné ho plně integrovat s nástrojem PD, což umožňuje bezproblémový přenos naplánovaných dat k ověření simulací. PS obsahuje moduly, jako jsou Human, Spot, Robotic a Assembler.

PS Human (Jack) je určen pro simulace a analýzy lidských manuálních činností. Zohledňuje se zde proveditelnost operace, ergonomie a zatížení pracovníků.

PS Spot a Robotic jsou určeny pro simulace svařecích, lakovacích a dalších robotických operací, kde se vyhodnocují dosahy jednotlivých robotů, hledají se kolize, vyhodnocuje se umístění svařovacích bodů, čas operací, zvolí se vhodné svařovací kleště, optimalizuje se rozmístění robotů atd.

PS Assembler slouží pro simulace a analýzy montáže výrobku. Navrhnu a ověří se dráhy dílů při montáži a odstraní se případné kolize [8].



Obr. 1.3 Svařovací linka v programu PS [9]

Robcad

Robcad je program od společnosti Siemens PLM Software pro 3D simulace, analýzy, optimalizace a off-line programování automatizovaných výrobních systémů. Robcad lze integrovat s PD nebo se 3D model pracoviště vytvoří nezávisle. Vyhodnocuje se v něm umístění zařízení, provedou se analýzy dosahů robotů, naplňují se trajektorie jednotlivých pohybů, simuluje se kinematika robotů, manipulátorů, svařovacích kleští a dalších věcí a naleznou se případné kolize. Díky těmto analýzám se významně snižuje čas a náklady plánování, snižují se prostoje robotů a zvyšuje se produktivita pracoviště (obr. 1.4) [9].



Obr. 1.4 Svařovací linka v programu Robcad [9]

1.4.2 Dassault Systèmes - Delmia

Francouzská společnost Dassault Systèmes, vedoucí světová firma z oblasti CAD/CAM/CAE/PLM systémů, se sídlem v Paříži nabízí pro oblast digitálního plánování výroby americký produkt Delmia. V centru zájmu společnosti je hledání cest k úplným procesně orientovaným digitálním řešením pro výrobní sektor a to v celé šíři životního cyklu výrobku (PLM) - od 3D definice produktu, přes specifikaci výrobních podmínek a procesní tvorbu výrobního systému, prostorovou strukturu výrobní základny, optimalizaci a simulaci procesů, až po regulaci a řízení provozu [16].

Delmia Process Engineer

Delmia Process Engineer (DPE) je nástroj zaměřený na statické plánování a optimalizaci layoutu výrobní linky. Umožňuje celkový pohled na objem výroby v závislosti na čase (délka pracovní směny, počet směn) a na dalších podrobných informacích spojených s procesem výroby. Celý koncept DPE je založen na otázkách: co se vyrábí (Product), jakým způsobem (Process) a jakými prostředky (Resource).

Tento koncept se nazývá PPR jádro, ze kterého při návrhu projektant vychází. Vytvoření komplexního pohledu na daný návrh napomáhá přecházení chyb a to zejména v počátku návrhu.

Z výstupu PPR jádra se získávají ucelené informace o využití jednotlivých zdrojů a materiálovém toku. Další podrobné informace jsou získány z procesního grafu a výrobního konceptu. Výrobní koncept umožňuje modifikaci a rozmísťování zdrojů a tím může projektant vytvářet různé varianty a porovnávat je mezi sebou.

Posledním krokem je převedení konceptu výrobní linky do 3D modelu. Tím lze získat lepší představu a pochopení reálné výroby. K vytvoření 3D modelu je použita standardní knihovna výrobních zařízení, kterou lze dle uživatele dále rozšiřovat [17].

Delmia V5 Robotics

Pod tímto názvem se skrývá komplexní nástroj pro návrh, simulaci, optimalizaci a programování robotických pracovišť, který využívá stejné prostředí jako Catia. Obsahuje velmi rozsáhlou knihovnu robotů a vzájemná kompatibilita mezi jednotlivými moduly společnosti Delmia přináší lepší správu dat a urychlení návrhů linky.

Delmia V5 Robotics obsahuje několik modulů:

Device Building: jedná se o nástroje pro modelování mechanických systémů (nástroje robotů, upínací nebo polohovací zařízení) ve výrobních procesech. Modely je možné vytvořit v CAD aplikacích, poté importovat a nastavit kinematiku.

Device Task Definition: slouží k prostorovému modelování robotické linky včetně analýz proveditelnosti zadaných pohybů robotů.

Arc Welding: je modul, který automaticky generuje dráhy pro obloukové svařování. Při návrhu je zohledněno více proměnných včetně nastavené konfigurace robota a layoutu celého pracoviště.

Spot Welding: slouží pro tvorbu a správu programů pro bodové svařování automobilových karoserií. Obsahuje nástroje pro plánování cesty nástroje, výběr svařovacích kleští. Pokud se změní umístění nebo orientace svařovacího bodu, tak se automaticky upraví dráha robota.

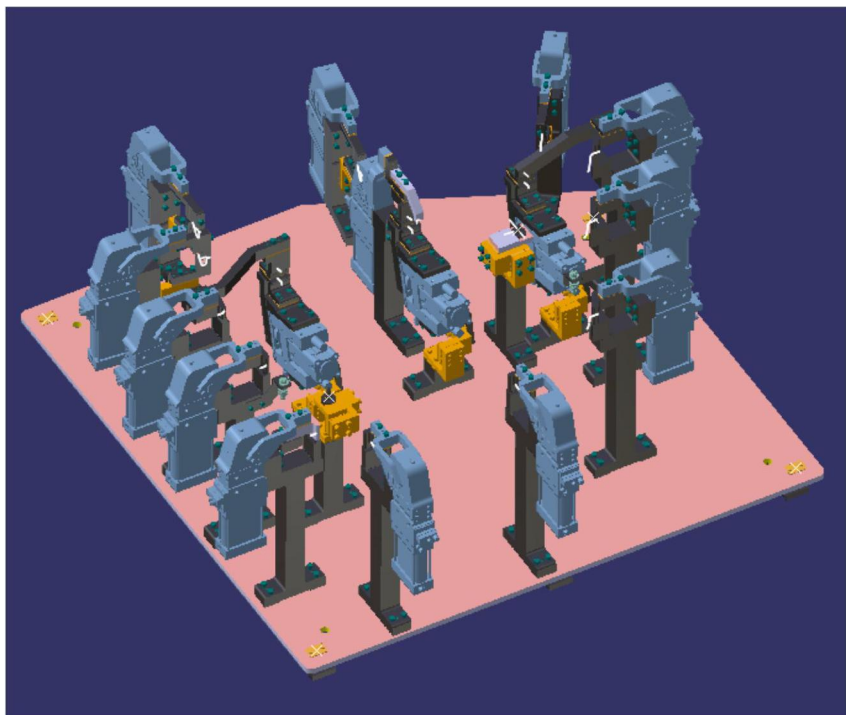
Off-line Programming: slouží pro tvorbu off-line programů robotů. Umožňuje kalibraci pracoviště tak, aby byla zachována maximální přesnost vytvářeného programu [16].

Catia V5

Catia je jeden z nejpoužívanějších CAD programů pro 3D modelování v automobilovém a leteckém průmyslu na celém světě. Umožňuje práci více konstruktérů na jednom projektu a zároveň se všechny změny okamžitě promítají do ostatních částí konstruované součásti v rámci projektu (Obr. 1.5).

Využívá přitom nástroje k parametrizaci dílů v jakékoliv fázi jejich návrhu, které přinášejí konstruktérům volnost při návrhu a současně jistotu správného výsledku. Systém CATIA vzhledem k jeho otevřené architektuře umožňuje začlenění i dalšího software a např. načítat jejich data.

Kombinace variačního a parametrického modelování umožňuje při vhodné konfiguraci pokrýt návrhářskou práci od tvorby designu, vlastní konstrukce, přes různé analýzy, simulace a optimalizace až po tvorbu dokumentace a NC programů. Je zachována plná provázanost mezi výkresem – modelem – NC programem. Systém CATIA je používán ve všech oblastech průmyslu. Používá se i pro návrh a konstrukci lodí, či průmyslových provozů. Nerozšířenější je tento systém v automobilovém průmyslu u firem, jako jsou VW, Chrysler nebo BMW [10].



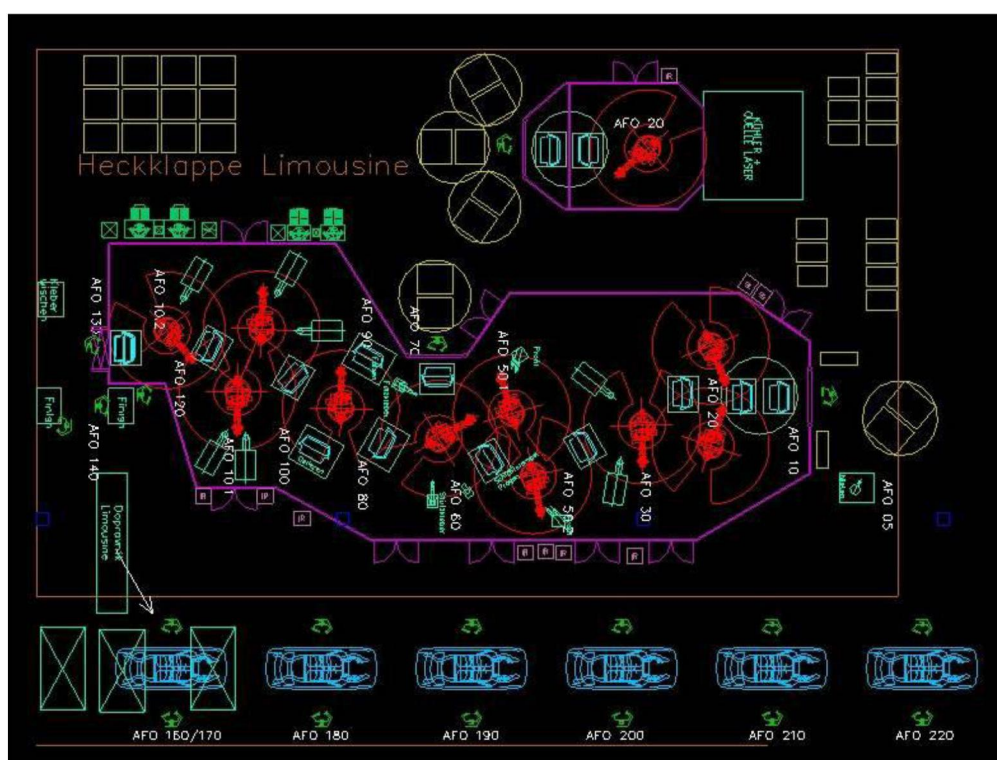
Obr. 1.5 Svařovací přípravek v programu Catia V5 [10]

1.4.3 Další softwarové nástroje

Mezi další často používané nástroje digitální továrny patří např. Microstation nebo Jack.

Microstation

Microstation je program od firmy Bentley Systems a je určený pro architekturu, stavební inženýrství, dopravu a další odvětví a obory. Vytváří se v něm 2D a 3D modely objektů a budov (Obr. 1.6). Tyto modely jsou elektronickou simulací reálných objektů a obsahují informace o jejich parametrech. Části modelů i parametry se přizpůsobují životnímu cyklu objektu (od návrhu, přes výstavbu až do uvedení do provozu), což zjednodušuje a zefektivňuje vedení a provoz projektu. Při vývoji produktů postupují Bentley podle dlouhodobého koncepčního plánu, jehož cílem je transformace počítačem podporovaného návrhu z prostého elektronického kreslení a tvorby dokumentů na inženýrské modelování. Microstation je dalším krokem k naplnění vytyčeného cíle, neboť umožňuje pracovat s informacemi na vyšší významové úrovni [6].



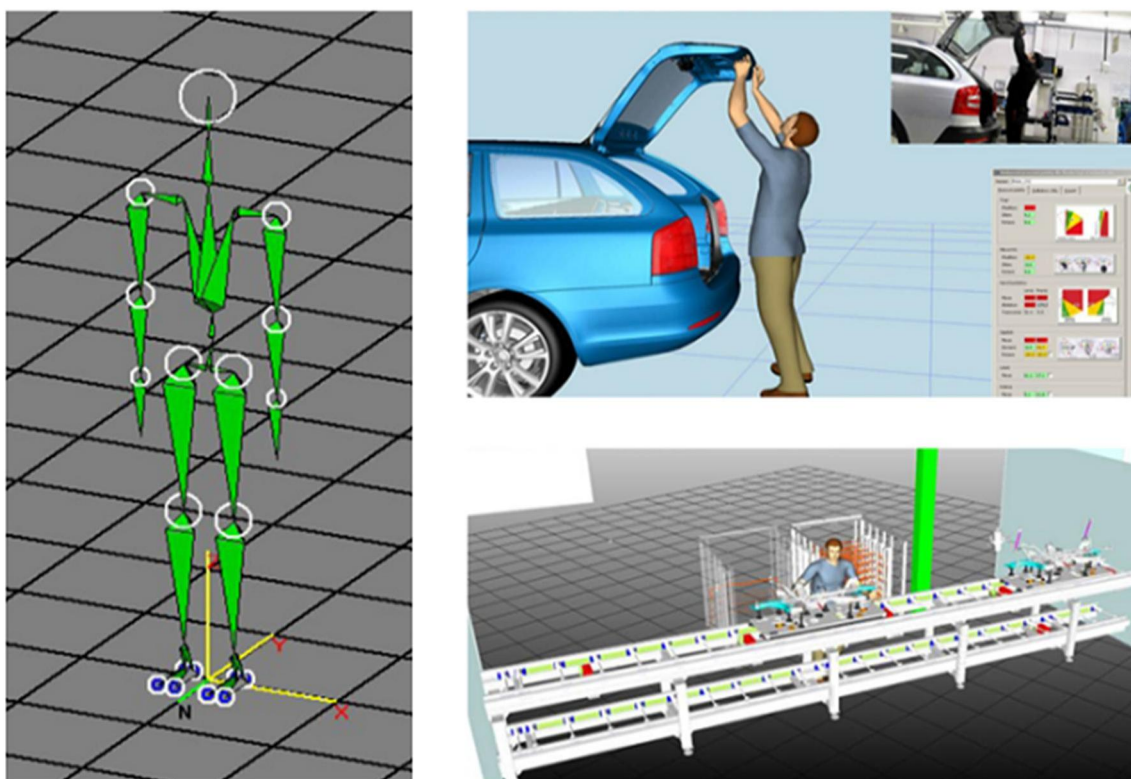
Obr. 1.6 Layout v programu Microstation [6]

Jack

Jack je software zaměřený na ergonomii a lidský faktor. Vznikl za podpory NASA na univerzitě v Pensylvánii v 80. letech. Umožňuje umístit do virtuálního prostředí přesný biomechanický model člověka, nastavit mu úkoly k provedení a sledovat jeho výkonnost. Jack umožňuje odpovědět na klasické otázky, co vidí, kam dosáhne, jestli není přetížen nebo jestli se cítí pohodlně.

Jack neslouží výhradně pro modelování člověka. Je využívám také jako real-time simulační nástroj. Umožňuje nainportovat další CAD grafiku a vytvořit tak celé virtuální pracoviště (Obr. 1.7). Je tu také možnost vytvořit tyto objekty pomocí modeláře. Pomocí jednoduchých modelů (koule, krychle, kvádr atd.) lze sestavit komplexnější objekty.

V Jackovi lze vytvořit model člověka s libovolnými rozměry a proporcemi. Biomechanický model má celkem 69 částí a 68 kloubů. Největší detail je u páteře, která má 17 segmentů a ruce, které mají 16 segmentů. Lze také simulovat a analyzovat různé druhy úchopů a chůzi [11].



Obr. 1.7 Simulace ergonomie v programu Jack [11]

1.5 Simulace

Simulace je napodobení nějaké skutečné věci, stavu nebo procesu. Samotný akt simulace něčeho obecně znamená zobrazení některých klíčových vlastností nebo chování vybraných fyzikálních, nebo abstraktních systémů [18].

Počítačová simulace výrobního systému je etapou dynamického zkoumání výrobního systému. Funguje na principu experimentování s počítačovým modelem, který by měl co nejpřesněji odrážet skutečný výrobní systém. V simulačních modelech se simulují stavy systému v závislosti na čase. Cílem experimentování je nalezení takových hodnot výstupních veličin modelu, které vyhovují předem stanoveným cílům simulační studie (Obr. 1.8). Vstupní hodnoty jsou poté použitelné i pro reálný systém [19].



Obr. 1.8 Princip simulace [19]

Důvody, proč využívat počítačovou simulaci, mohou být shrnuty do následujících bodů:

- Simulace odhaluje kolize mezi vzájemně souvisejícími prvky v systému
- Simulace nabízí řešení velmi složitých systémů, které nejsou řešitelné analytickými metodami
- Simulace umožňuje studování systému v reálném, zrychleném nebo zpomaleném čase
- Simulace nabízí komplexní pohled na daný problém
- Simulace vede k týmové práci
- Simulace poskytuje přehled o podnikových procesech

- Pozorování simulačního modelu vede k lepšímu pochopení reálného systému
- Simulace umožňuje důkladné prověření různých variant řešení
- Možnost simulaci opakovaně využít v dalších činnostech podniku
- Simulace podporuje tvůrčí činnost [19]

Simulační projekty, jejichž cílem je zlepšení procesů mají určité, i když ne pevně stanovené fáze (Obr. 1.9). Dodržování těchto fází je důležité, protože podcenění nebo přeskočení některé fáze může v důsledku znamenat zdržení projektu a zvýšení nákladů [1].

Fáze 1: Rozpoznání problému a stanovení cílů

Správná formulace problému je zásadní pro úspěšnost projektu. Je často velmi obtížné určit, v čem spočívá příčina problému, jak přistoupit k řešení problému a jaké realistické cíle si vytýčit. V této fázi je klíčová schůzka klienta s řešitelským týmem, na které dojde:

- Ke shodě ohledně vymezení problému a stanovení dosažitelných cílů.
- K rozhodnutí realizace projektu a je-li simulace vhodnou metodou.
- K dohodě o tom, kdo bude za projekt zodpovědný a jak bude probíhat komunikace mezi klientem a řešitelským týmem.

Fáze 2: Vytvoření konceptuálního modelu

Před začátkem tvorby samotného počítačového modelu v simulačním programu je potřeba vytvořit určitou základní představu o modelovaném systému, tzv. konceptuální model. Bez tohoto dobře promyšleného konceptuálního modelu se řešitelskému týmu těžko podaří vytvořit správný počítačový model složitého systému. Při jeho tvorbě si pokládáme tyto otázky:

- Jaký podnikový systém modelujeme? Kdo jsou zákazníci?
- Podle jakých kritérií je hodnocena efektivnost systému?
- Jak podrobná úroveň modelování je nutná?
- Jaké objekty, činnosti a zdroje modelovaný systém zahrnuje?
- Jak požadavky vstupují do systému? Jaká jsou pravidla při obsluze požadavků?
- Jakým způsobem se přidělují omezené zdroje jednotlivým procesům?

Fáze 3: Sběr dat

Data jsou velmi důležitou součástí simulace a problém nastává, když požadovaná data nejsou k dispozici. Model je možné vytvořit i bez dat, jsou-li k dispozici rozumné předpoklady charakteru modelovaných procesů. Musíme si však dát pozor i v situaci, kdy data k dispozici jsou: jestli je lze pokládat za vypovídající a správná? Pokud bude model vytvářen tzv. “bez dat“, je potřeba se spolehnout na reálnost odhadů od pracovníků, kteří mají s danou činností nejvíce zkušeností.

Fáze 4: Tvorba simulačního modelu

Tvorba modelu v simulačním programu znamená „zakódování“ konceptuálního modelu z fáze 2. Ve výjimečných případech může řešitelský tým při tvorbě simulačního modelu zjistit, že zvolený simulační program není pro daný projekt vhodný.

Fáze 5: Verifikace a ověření modelu

Verifikace modelu znamená ověření, zda vytvořený počítačový model je v souladu s původním konceptuálním modelem. Jde o kontrolu správného přepisu představy řešitelského týmu o fungování reálného systému do simulačního programu. Další snahou je zjistit, zda je počítačový model ve shodě s realitou. Ověřujeme, jestli představa o fungování reálného systému byla správná.

Fáze 6: Provedení experimentů a analýza výsledků

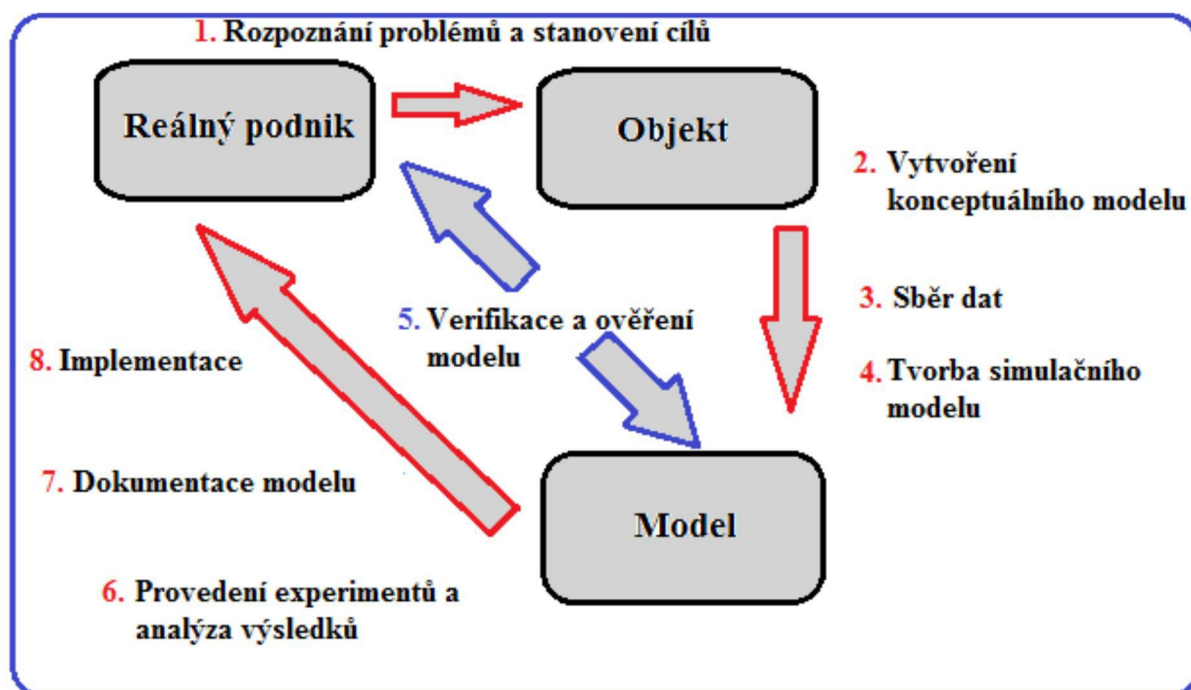
Pro řešitelský tým je tato fáze nejzajímavější částí projektu, protože se začínají objevovat první výsledky práce. Plán experimentů a statistická analýza výsledků je samozřejmou součástí projektu. Přínosem může být i diskuze nad chodem simulačního modelu za účasti klienta. Důležité je příprava různých variant, nejen té nejlepší, aby měl klient možnost výběru.

Fáze 7: Dokumentace modelu

Bez popisu struktury modelu, vývoje modelu a výsledků experimentů je nemožné se k modelu pozdější době vrátit nebo použít určité části modelu v jiných činnostech podniku.

Fáze 8: Implementace

Řešitelský tým by měl být součástí implementace výsledků projektu do praxe. Ponechání implementace pouze na uživateli snižuje pravděpodobnost úspěchu projektu [1].



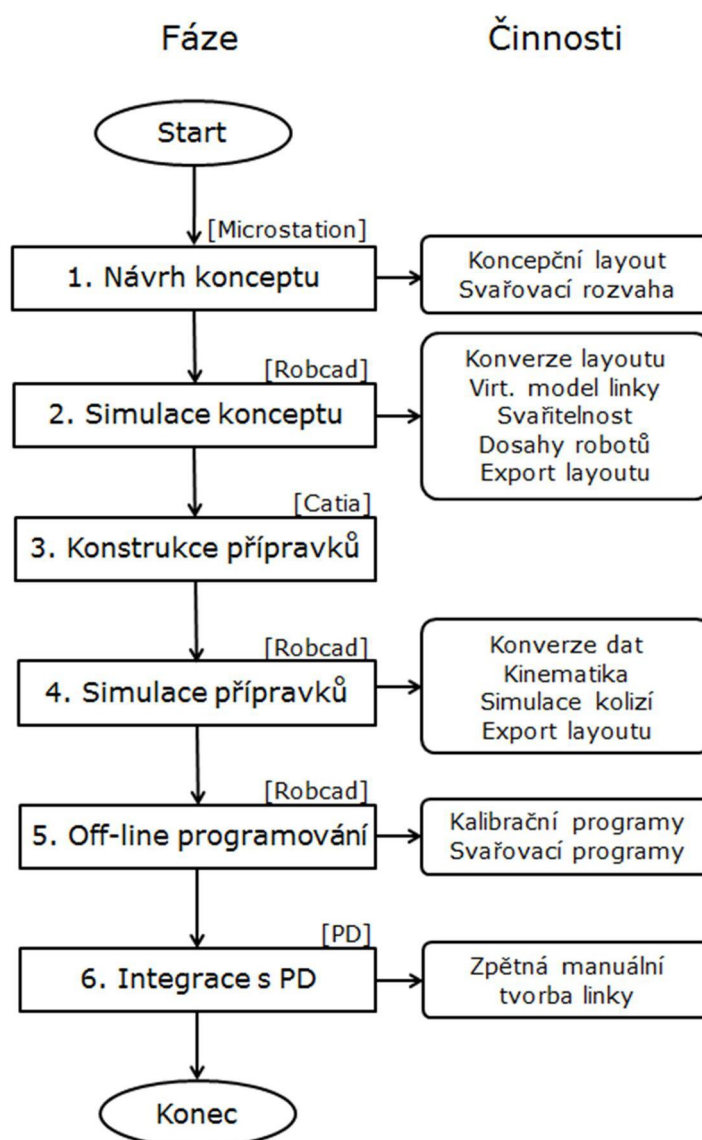
Obr. 1.9 Tvorba simulačního projektu [1]

Fáze 9: Ověření reálného stavu

Mezi důležité body patří ověření reálného vztahu vzhledem k simulacím. Některé simulační modely zatím ne zcela kopírují reálné komponenty. Jedná se například o kabelový svazek umístěný na robotovi. Ve skutečnosti je kabelový svazek pružný a podléhající gravitačnímu zákonu, kdežto simulace pracují s kabelovým svazkem bez těchto vlivů.

2 Analýza současného stavu navrhování robotizovaných pracovišť

V současné době se většina simulací svařovacích linek provádí v programu Robcad od firmy Siemens PLM Software, který je blíže popsán v kapitole 1.4.1. Celkový vznik virtuální svařovací linky je popsán procesní mapou, kterou můžeme vidět na obrázku 2.1. Jsou v ní vidět jednotlivé fáze vzniku od návrhu konceptu přes konstrukci až po simulace a off-line programování. Jsou zde také uvedeny činnosti, které se vznikem linky souvisí. Jednotlivé fáze návrhu a s tím spojené činnosti jsou podrobněji popsány v následujících kapitolách. V závěru této kapitoly je provedeno zhodnocení současného stavu a jsou definovány činnosti, které z hlediska simulací nemají žádnou přidanou hodnotu.



Obr. 2.1 Procesní mapa vzniku svařovací linky

2.1 Návrh konceptu

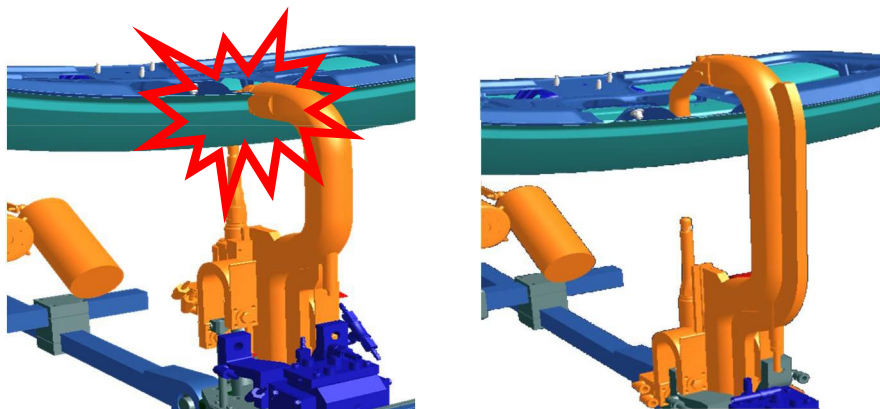
Návrh konceptu se provádí v programu Microstation nebo v jiném 2D programu. Navržení koncepčního layoutu zahrnuje rozmístění robotů, koncepčních přípravků, otočných stolů, svařovacích kleští, oplocení a dalších komponent. Vstupními informacemi jsou: daná plocha na hale, typ zásobování, takt linky a sestava produktu (data dílu, svařovací body, lepené spoje apod.). V této fázi se vytváří také svařovací rozvaha, ve které je provedeno hrubé rozdělení svařovacích bodů do operací.

2.2 Simulace konceptu

Layout a data dílů je nutné konvertovat do formátu *.co, se kterým software Robcad pracuje. To se provádí pomocí speciálního překladače, který je součástí programu Catia V5.

Po konverzi na správný formát následuje virtuální stavba svařovací linky. Ta probíhá tím způsobem, že simulant vybírá z knihovny modely (komponenty) a umísťuje je na koncepční layout. Knihovna modelů musí být umístěna na místním disku počítače.

Po rozmístění všech komponent simulant začíná se simulací svařitelnosti bodů. To znamená, že se zjišťuje, zda je všechny body možné svařit. Na začátku každého projektu je definován seznam svařovacích kleští, ze kterého simulant vybírá ty nejvhodnější, kterými bezkolizně svaří danou skupinu svařovacích bodů. Na obrázku 2.2 je vidět kolize svařovacích kleští s plechem, tudíž se musí vybrat jiné kleště. Zvolí se kleště vyšší, kde již ke kolizi nedochází. Může nastat případ, kdy nevyhovují žádné kleště ze seznamu. Řešením je návrh a konstrukce speciálních kleští.



Obr. 2.2 Svařitelnost svařovacích bodů

Po simulaci svažitelnosti následuje simulace dosahů robotů. Každý robot musí bezpečně dosáhnout do všech přípravků, které mu jsou určeny sledem operací. Je důležité sledovat tabulku (Obr. 2.3), která zobrazuje aktuální natočení jednotlivých os robota a jejich meze. Podle směrnic musí být u každé osy rezerva minimálně 5° od horní i spodní meze. Dále se pak na 5. ose robot nesmí dostat do rozmezí -15° až +15°. Tato oblast je nazývána jako singularita.

View Options Limits				Tool		Time 00:00:00.00
				State		
kr240r2900_ultra_s1 (@VW_KUKA_STD_VKRC4Ikr240r2900_ultra_s				X	401358.	Act. Speed 0.0
j1	-185.0	0.0	185.0	Y	76694.2	Config. 0H- j3- j5*
j2	-140.0	-90.0	-5.0	Z	536.5	Turns j1=0 j4=0
j3	-120.0	90.0	155.0	R	0.0	j6=0
j4	-350.0	0.0	350.0	P	-75.0	Time interval 0.02
j5	-122.5	0.0	122.5	Y	90.0	
j6	-350.0	0.0	350.0			

Obr. 2.3 Simulace dosahu robota

V průběhu simulace svažitelnosti a dosahů robotů simulant na žádost projektanta exportuje změny poloh jednotlivých robotů, přípravků atd. do formátu *.dxf. Tím je zaručena průběžná aktualizace layoutu, který je představován na jednáních. Export layoutu se provádí poměrně zdlouhavě přes vytvoření nové komponenty, do které se nakopírují pouze ty části modelů, které stojí na zemi. Tato nová komponenta se poté uloží a následně se provede její export do požadovaného formátu.

2.3 Konstrukce přípravků

Následujícím krokem je konstrukce přípravků v programu Catia. Mohou to být základací přípravky, vyjímací přípravky, lemovky, manipulátory, svařovací přípravky a další. Tyto přípravky zajišťují přesné upnutí a ustředění všech plechů, které se do daného přípravku zakládají. Konstruktor má k dispozici aktuální data plechů a podle jejich tvaru a velikosti nakreslí přípravek, který poté předá simulantovi ke kontrole na simulaci.

2.4 Simulace přípravků

Simulant si přípravek nebo manipulátor od konstruktéra převést do potřebného formátu *.co. Po převedení je model obarven a pohyblivým částem je přidělena kinematika. Při vytváření kinematiky je nutné nejprve definovat jednotlivé členy kinematických řetězců. To znamená, že se určí prvky, které tvoří jeden celek a s dalšími

členy budou propojeny klouby. Kloub je tvořen vždy mezi dvěma členy kinematického řetězce a vazba mezi nimi může být buď rotační, nebo posuvná. Při vytváření vazeb se definují také rozsahy pohybů kinematických členů. U rotační vazby se udávají ve stupních a u posuvné vazby v milimetrech.

Dalším důležitým krokem při úpravě modelů je definování souřadných systémů. Souřadné systémy slouží k přesnému umístění nástroje na robota nebo k určení pozic plechu ve svařovacím přípravku. Některé souřadné systémy jsou povinné, mají svůj určený název a barvu. Přehled je uveden v tabulce 2.1.

Tab. 2.1 Přehled souřadných systémů

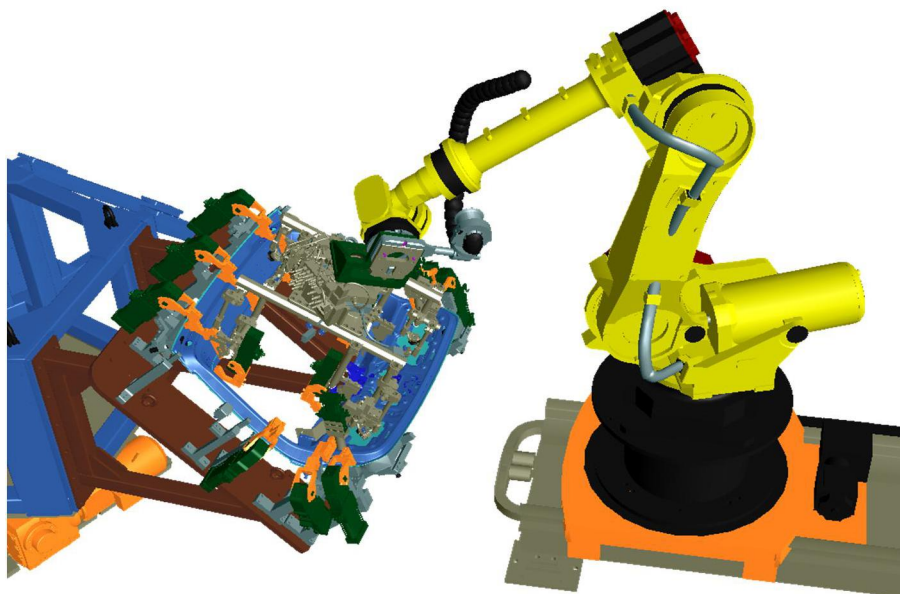
Název	Objekt	Popis, účel
TCP	Svařovací kleště	Pozicování svařovacích kleští v jednotlivých operacích
ANB	Manipulátory, kleště	Umístění nástroje na robota.
FZG	Přípravky, manipulátory	Přesné polohování dílů do přípravků nebo manipulátorů – obvykle nulový bod vozidla.
HOME	Svařovací kleště	Základní souřadný systém svařovacích kleští, který je umístěn na pevné elektrodě.
TCPF	Robot	Souřadný systém na koncovém členu robota. Po připojení nástroje je převzat TCP nástroje.
BODEN	Přípravky	Souřadný systém základny pro přesné ustavení přípravku na zem.

Po provedení činností jako je konverze, obarvení a přidělení kinematiky, následuje simulace zkonstruovaných přípravků. Simulují se různé situace ve svařovacích linkách. Mezi nejčastější patří manipulace s dílem, robotické svařování, svařování pod stabilními kleštěmi, nanášení lepidla, rolnové lemování a dokování. Tyto situace jsou blíže popsány v následujících odstavcích. Po provedení simulace a nalezení bezkolizního stavu simulant oznámí konstruktérovi, že je jeho přípravek v pořádku a ten je následně uvolněn do výroby. Při této simulaci je často nutné (obvykle kvůli

optimálnímu dosahu robota) doladit polohu jednotlivých komponent v lince. Proto musí opět následovat export do formátu *.dxf, který je popsán v kapitole 2.2.

2.4.1 Manipulace

Simulace manipulace (Obr. 2.4) je nejčastějším bodem v práci simulanta. Nejprve se přípravek přesně napolohuje na otočný stůl a manipulátor se přesně ustaví na robota. Při vyjímání robot s manipulátorem najede k přípravku (upínky na manipulátoru jsou otevřeny a středící čep je zasunutý), v určené poloze středící čep zajede do otvoru v dílu a upínky manipulátoru se zavřou. Tím je dosaženo přesného upnutí dílu do manipulátoru. Upínky v přípravku se otevřou a robot upnutý díl vyjme a po provedení určité operace (nanášení lepidla, očíslování atd.) ho odloží do dalšího následujícího přípravku stejným způsobem, jako při vyjímání. V případě nalezení kolize mezi manipulátorem a přípravkem je na místě komunikace s konstruktérem, který upraví buď přípravek, nebo manipulátor. Celý postup se poté opakuje, dokud se nenajde bezkolizní stav.

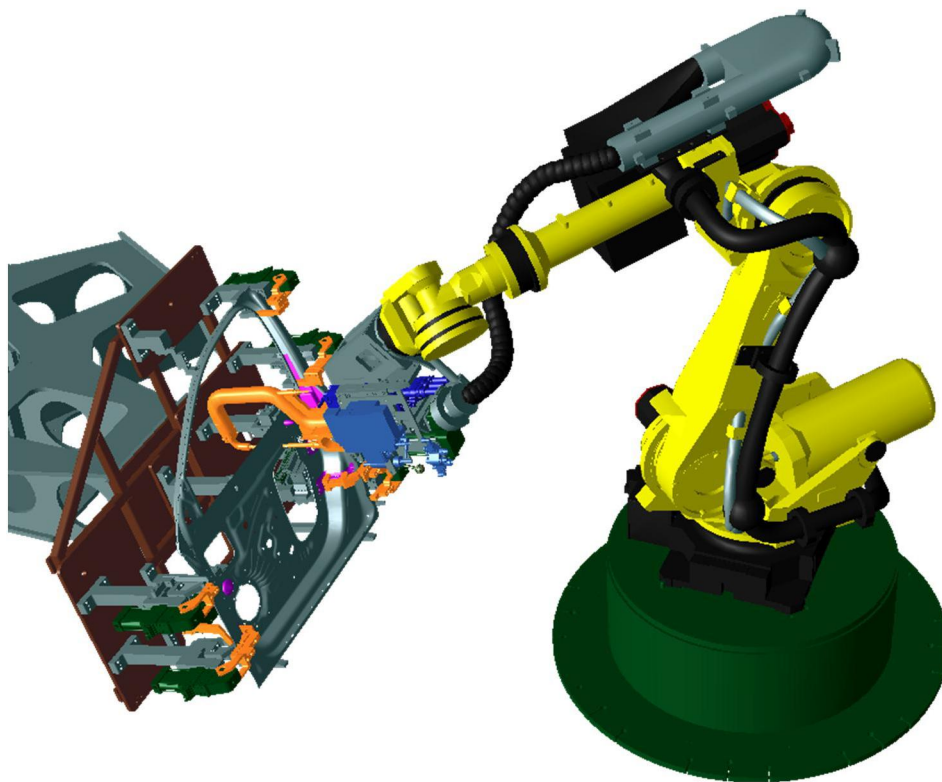


Obr. 2.4 Manipulace

2.4.2 Svařování

V bodovacím plánu od projektanta jsou určeny svařovací body na dílech, které se musí v dané operaci svařit. V koncepční simulaci byly vybrány vhodné svařovací kleště pro svaření těchto bodů. Postupně se najíždí robotem do všech určených svařovacích

bodů a hledají se kolize mezi kleštěmi a přípravkem (Obr. 2.5). Ke kolizím zde dochází poměrně často, protože požadavek z oddělení kvality je upínat díl co možná nejbliž svařovacích bodů, aby nedocházelo k deformacím v oblasti sváru. I zde se simuluje nájezd a výjezd robota s kleštěmi k plechu tak, aby nedocházelo ke kolizím.



Obr. 2.5 Svařování v přípravku

Případem, kdy kleště nejsou umístěny přímo na robotu, je svařování pod stabilními kleštěmi. Je to kombinace manipulace a svařování. Robot s manipulátorem a dílem najíždí pod stabilní svařovací kleště (jsou umístěny na podlaze) a manipuluje s dílem tak, aby se bezkolizně dostal do všech určených svařovacích bodů. Musí se zde dát pozor na příklápěcí frézu, která je nezbytnou součástí všech stabilních svařovacích kleští, aby se nedostala do kolize s robotem nebo dílem.

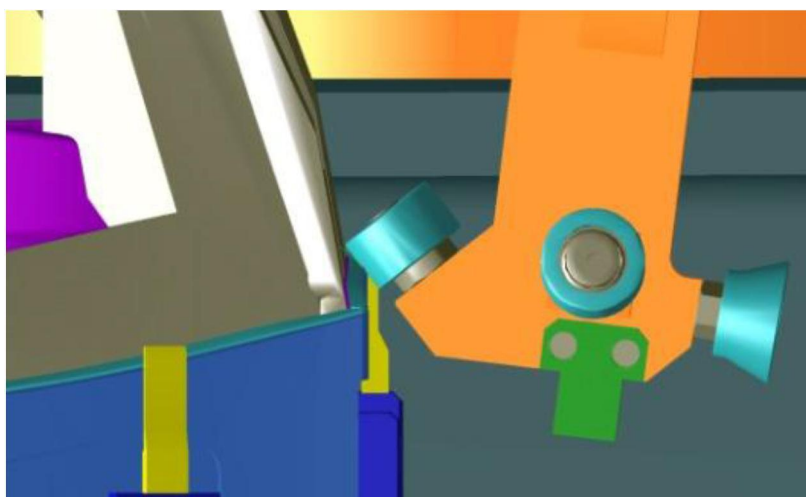
2.4.3 Nanášení lepidla

Každý díl má přesně určená místa, kam se nanáší lepidlo, v jakém množství a jaký typ lepidla to je. Může to být buď lemové lepidlo, které se nanáší na vnější plech nebo vzpěrné lepidlo, které se obvykle nanáší pod výztuhy. Nanášení lepidla se může provádět dvěma způsoby. Prvním způsobem je, že robot má za nástroj lepící pistoli, ke

které je přivedena hadice s lepidlem a robot nanáší lepidlo na díl, který je upnut v přípravku. V druhém případě má robot za nástroj manipulátor, ve kterém je upnut díl. Robot najede pod stojan s lepící pistolí, pod kterou manipuluje s plechem a nanáší se lepidlo.

2.4.4 Rolnové lemování

Po spojení vnitřního a vnějšího plechu musí dojít k zalemování. Tím se rozumí spojení vnějšího a vnitřního plechu bez viditelných spojů. Je to v podstatě ohnutí vnějšího plechu přes vnitřní plech. Provádí se tak, že robot má za nástroj rolnovací hlavu, s rolnovací hlavou najede k přípravku s plechem a lemuje díl obvykle ve 3 krocích pod určitými úhly (Obr. 2.6). Je to jedna z nejnáročnějších operací v lince na naprogramování robota. Trajektorie pohybu robota s rolnovací hlavou musí být naprosto totožná s tvarem lemovaného plechu.



Obr. 2.6 Rolnové lemování

2.4.5 Dokování

Při simulaci několika typové svařovací linky se nutně, aby robot měnil nářadí. Proto se mezi hlavu robota a nástroj (manipulátor, kleště) umísťují tzv. multispojky. Multispojka se skládá ze dvou částí: robotová část a nástrojová část. Robotová část vždy zůstává na robotovi a nástrojová část se spolu s nástrojem odkládá do speciálních stojanů.

2.5 Off-line programování

Dalším úkolem simulanta je vytvořit off-line programy. To obnáší vytvoření přesných trajektorií robotů a nastavení jednotlivých parametrů pohybů. Jedná se nejčastěji o typ pohybu, rychlost, zrychlení a vyhlazení. Typ pohybu může mít následující varianty:

Joint: tento typ pohybu je z pohledu kloubů robota nejefektivnější, ale za cenu nepřesného sledování dráhy. Robot si sám zvolí, jakým natočením kloubů cílové lokace dosáhne. Všechny klouby začínají a končí pohyb ve stejný moment. Používá se tam, kde nezáleží na přesnosti dráhy, ale je kladen důraz na rychlost přejezdu.

Linear: tento typ pohybu je časově náročnější, ale nástroj robota sleduje přesnou lineární dráhu mezi zadanými body. Používá se například při vkládání nebo vyjímání dílů z přípravků nebo pro přesné pohyby v úzkých prostorech.

Circular: je to pohyb definován mezi dvěma body, kterými je proložen oblouk. Používá se například u rolnového lemování nebo nanášení lepidla.

Slew: u tohoto typu je pohyb zahájen maximální rychlostí všemi klouby najednou a ukončen v různý čas pro každý kloub. Není zde dodržena dráha mezi dvěma body, ale výhodou je velká rychlost pohybu. Tento typ pohybu se používá minimálně.

Rychlost: u typu pohybu joint se udává v procentech a u typu pohybu linear se udává v mm/s. Zrychlení: udává se v rozmezí 0 – 100 % defaultně nastavené hodnoty. Vyhlazení: zadává se v rozmezí 0 – 100. Při nastavení hodnoty 0 robot před lokací zpomalí a přesně do ní najede (používá se pro svařovací body nebo pro přesné nájezdy do přípravku). Naopak při nastavení hodnoty 100 (maximální vyhlazení) robot nezpomalí a jen se k lokaci přiblíží (používá se u drah, kde není vyžadována přesnost - přejezdy).

Po nastavení všech parametrů následuje spuštění programu a kontrola bezkoliznosti programu. Poté se programy vyexportují a nahrají se do reálných robotů na lince. On-line programátor nahraný program projíždí a provádí případné korekce pohybů a nastavení parametrů. Linka se takto několik týdnů až měsíců odladuje a nakonec se spustí v automatickém režimu a vyrábí díly v požadovaném taktu.

2.6 Integrace s PD

Jeden z požadavků je mít virtuální svařovací linku i v SW PD. Je vytvořen popis procesu, podle kterého by se měla všechna data z Robcadu převést do PD. Bohužel tento proces je v současné době zcela nefunkční. Jako alternativa se používá manuální vytvoření svařovací linky, což je obrovsky časově náročná činnost, na kterou je třeba vyčlenit zvláštního pracovníka.

2.7 Zhodnocení

V této kapitole bylo provedeno zhodnocení SW Robcad a celkového procesu vzniku svařovací linky za použití tohoto SW.

Výhody

Mezi největší výhody nesporně patří více než desetileté využívání tohoto SW. Pracovníci jsou tedy ve svém oboru opravdovými odborníky.

Dalším velmi významným pozitivem je to, že tento SW je určen čistě pro simulace a pro tuto funkci je plně dostačující.

Do výhod se dají zařadit také nevelké požadavky na grafický výkon výpočetní techniky oproti jiným aplikacím.

Nevýhody

Všechna data, která jsou ve virtuálním modelu linky, musí být uložena na pevném disku počítače ve formátu *.co. Při velkém množství projektů, které se aktuálně zpracovávají nebo se zpracovaly v minulosti, tak dochází k velkému zaplnění kapacity pevných disků počítače. To se řeší zálohováním projektů na další síťové disky, které je však časově velmi náročné.

Předávání aktuálních rozmístění všech komponent v lince projektantům se provádí následujícím způsobem: vytvoří se nová komponenta, do které se zkopírují pouze ty části zařízení, které stojí na zemi a následně se tato nová komponenta exportuje do formátu *.dxf. Tyto aktuální pozice si projektant vloží do layoutu linky a celý layout upraví dle odsimulovaného rozmístění. I tato práce je časově náročná a nemá z hlediska simulací žádnou přidanou hodnotu.

Mezi nevýhodu lze zařadit i proces předávání simulačních dat mezi simulanty a nemožnost spolupráce více simulantů na jednom projektu ve stejný moment. Nelze tak v případě potřeby rozdělit práci mezi více pracovníků a ušetřit tak čas potřebný k odsimulování. Aby na projektu mohl pokračovat někdo další, tak je nutné překopírování veškerých dat z pevného disku počítače přes přenosný disk na pevný disk jiného počítače. Opět tato činnost je časově velmi náročná.

Další velice podstatnou nevýhodou je omezená a pomalu končící podpora tohoto programu od firmy Siemens. V praxi to znamená, že při řešení technického problému se softwarem není možné obrátit se na firmu Siemens pro řešení. Je nutné však dodat, že program je již natolik odladěný a tyto problémy se vyskytují pouze ve výjimečných případech.

3 Případová studie – návrh a simulace svařovací linky v SW Tecnomatix PS

V současné době se pro simulace a off-line programování robotů obvykle používá program Robcad. Mnoho automobilových podniků stojí před rozhodnutím, zda tento program nahradit novějším programem PS, který by měl mít lepší vlastnosti a funkce pro provedení simulací. V této kapitole proběhne seznámení s PS a v rámci návrhu a simulace svařovací linky budou ukázány jeho výhody, nevýhody a následně bude porovnán se svým předchůdcem.

Svařovací linka bude navržena pro díl motorová kapota (obr. 3.1). Nejedná se o žádný aktuální projekt a návrh může být brán jako koncept pro další zakázku. Tento návrh neobsahuje z důvodu utajení žádná důvěrná nebo tajná informace o dílech nebo jiných datech. Tyto díly však mívají z velké části obdobnou podobu a lze tím pádem projektovat linku, aniž by byla známá jejich konečná podoba. Vstupními informacemi pro návrh nové svařovací linky jsou:

- Takt linky
- Stupeň automatizace
- Prostor linky
- Díly, které se zde svařují
- Výrobní prostředky
- MFG – spojovací data

Takt linky

Při návrhu svařovací linky je jeden z nejdůležitějších bodů takt linky. Ten nám definuje, za jaký čas svařovací linka vyrobí jeden kus. Výsledný čas je dán podílem času jedné směny a počtem požadovaných kusů za jednu směnu. Čas jedné směny zahrnuje také odečtení přestávek a různých ztrát. V případové studii je uvažována výroba 300ks za směnu, z čehož vyplývá, že takt linky bude 78s. To znamená, že každá operace může trvat maximálně 78s. Proto je nutné všechny operace a úkony rozplánovat tak, aby byl dodržen tento maximální čas.

Stupeň automatizace

Termín automatizace znamená snižování potřeby člověka k vykonávání určité činnosti. V případě svařovací linky pro díl MK bylo rozhodnuto, že všechny operace

týkající se svařování budou prováděny automaticky robotem. Pouze zakládání a vyjímání dílů z linky bude prováděno manuálně pracovníkem.

Prostor linky

Dalším důležitým aspektem při návrhu svařovacích linek je prostor. Volný či zbytečně velký prostor nepřináší žádný užitek a stojí pouze finance. Je kladen důraz na to, aby byly linky co možná nejmenší, ale zároveň dostatečně velké pro údržbářské práce nebo úpravy. V případové studii je uvažován prostor linky o rozměrech 18x14m.

Díly

Jak už bylo zmíněno, linka bude navržena pro díl motorová kapota (Obr. 3.1). Kompletní díl se skládá z vnitřního plechu, výztuh závěsu, výztuhy zámku a vnějšího dílu.



Obr. 3.1 Díl motorová kapota

Výrobní prostředky

Výrobními prostředky rozumíme komponenty, ze kterých se virtuální linka skládá. V tomto případě se jedná o roboty, přípravky, podesty, multispojky, dokovací stanice, otočné stoly, ochranná okna, ploty, elektrické skříně, robotové skříně atd.

MFG – spojovací data

Spojovací data jsou v PS označována zkratkou MFG (manufacturing features). V rámci případové studie mezi spojovací data patří souřadnice svařovacích bodů

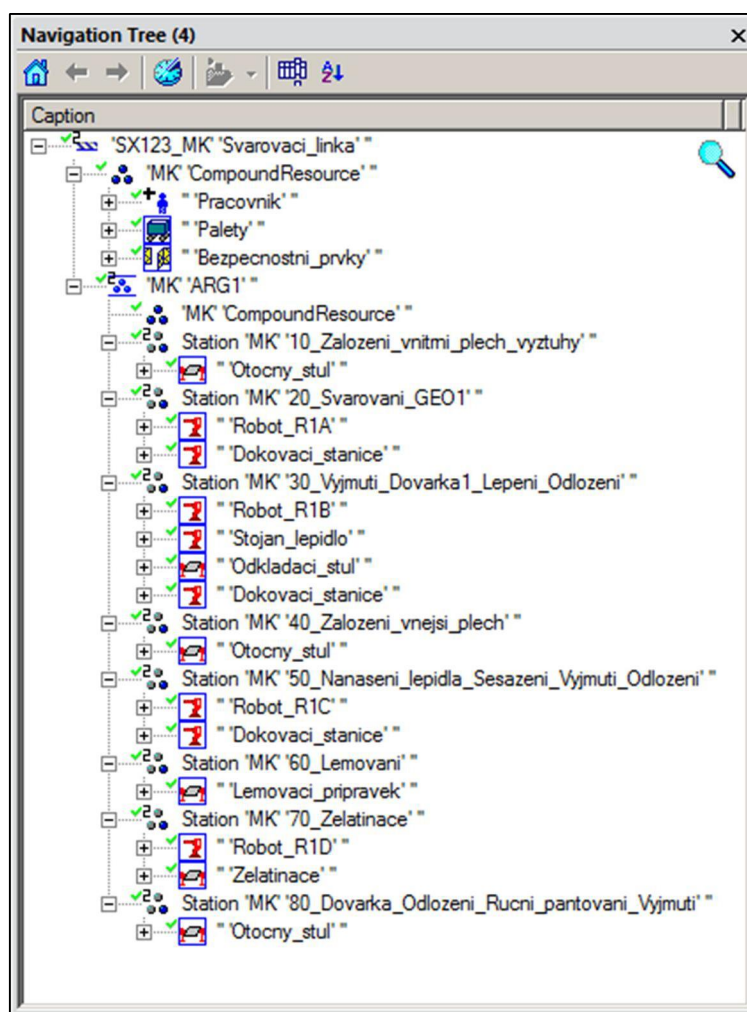
a trajektorie nanášení lepidla. Souřadnice svařovacích bodů je nutné naimportovat do knihovny a vyprojektovat na díl.

Samotný model svařovací linky vzniká v následujících krocích:

- 1) Vytvoření struktury a plánování operací
- 2) Rozmístění komponent
- 3) Import a promítnutí svařovacích bodů na produkt – vytvoření lokací
- 4) Kontrola orientace lokací a vhodnosti kleští
- 5) Kontrola dosahů robotů
- 6) Export layoutu

3.1 Vytvoření struktury a plánování operací

Prvním krokem je založení nového projektu v PD a vytvoření jeho struktury (Obr. 3.2). Struktura je rozdělená na několik úrovní, do kterých se poté vkládají komponenty z knihovny.



Obr. 3.2 Struktura projektu

Dalším krokem je naplánování operací v PD tak, aby na konci celého procesu z linky vycházel kompletní díl (Obr. 3.3).

Operace 10: Založení vnitřního plechu a výztuh

Nejprve je nutné ručně nanést lepidlo na výztuhy, které se budou zakládat do přípravku. Pracovník pomocí lepící pistole nanese lepidlo na výztuhy závěsu (levou a pravou) a na výztuhu zámku.

- Pracovník nanese lepidlo na výztuhy
- Otevře se ochranné okno
- Pracovník založí vnitřní plech a poté výztuhy do přípravku
- Po stisknutí potvrzovacího se ochranné okno zavře
- Otočný stůl se otočí směrem do linky

Operace 20: Svařování v GEO1

V okamžiku kdy jsou požadované díly založené, je potřeba svařit určitý počet svařovacích bodů. Každá výztuha musí být přibodována k vnitřnímu plechu, aby při další manipulaci nedošlo k vzájemnému pohybu dílů.

- Robot R1A jede z HP k přípravku
- Robot R1A svařuje 20 bodů
- Robot R1A jede zpět do HP

Operace 30: Vyjmutí, dovářka, číslování, nanášení lepidla, odložení

Dále je potřeba svařit zbylé body pod stabilními kleštěmi, očíslovat díl pod stabilní číslovačkou, nanést lepidlo, kterým bude vnitřní plech spolu s výztuhami spojen s vnějším dílem a odložit do odkládacího přípravku.

- Robot R1B jede z HP k přípravku s vnitřním plechem
- Robot R1B vyjímá díl
- Robot R1B svařuje 9 svařovacích bodů pod stabilními kleštěmi
- Robot R1B razí číslo pod stabilní číslovačkou
- Robot R1B nanáší vzpěrné lepidlo pod stabilním stojanem
- Robot R1B odkládá díl do odkládacího přípravku

- Robot R1B jede zpět do HP

Operace 40: Založení vnějšího dílu

Vnitřní díl je kompletně připraven pro spojení s vnějším dílem, ale ten je nejprve nutné založit.

- Otevře se ochranné okno
- Pracovník založí vnější plech do přípravku na otočném stole
- Po stisknutí potvrzovacího se ochranné okno zavře
- Otočný stůl se otočí směrem do linky

Operace 50: Nanášení lepidla, sesazení, vyjmutí, odložení

Pro sesazení je nutné nanést lemové lepidlo, kterým je vnitřní plech spojen s vnějším a sesadit oba plechy do jednoho kompletu.

- Robot R1C jede z HP k přípravku
- Robot R1C nanáší lemové lepidlo
- Robot R1C vyměňuje lepící pistoli za manipulátor
- Robot R1C vyjímá vnější plech
- Robot R1C sesazuje vnitřní a vnější plech
- Robot R1C vyjímá kompletní díl a odkládá do lemovky
- Robot R1C vyměňuje manipulátor za lepící pistoli
- Robot R1C jede zpět do HP

Operace 60: Lemování

Po sesazení musí dojít k zalemování plechů. Lemování probíhá v konvenční lemovce v několika krocích. V prvním kroku proběhne přihnutí vnějšího plechu o cca 30°. V druhém kroku opět proběhne další přihnutí o cca 30-40°. V posledním kroku proběhne konečné přesné zalemování a plechy jsou pevně spojeny.

- Lemování

Operace 70: Želatinace

Po zalemování následuje odložení želatinace, kde dochází k vytvrzení lepidla.

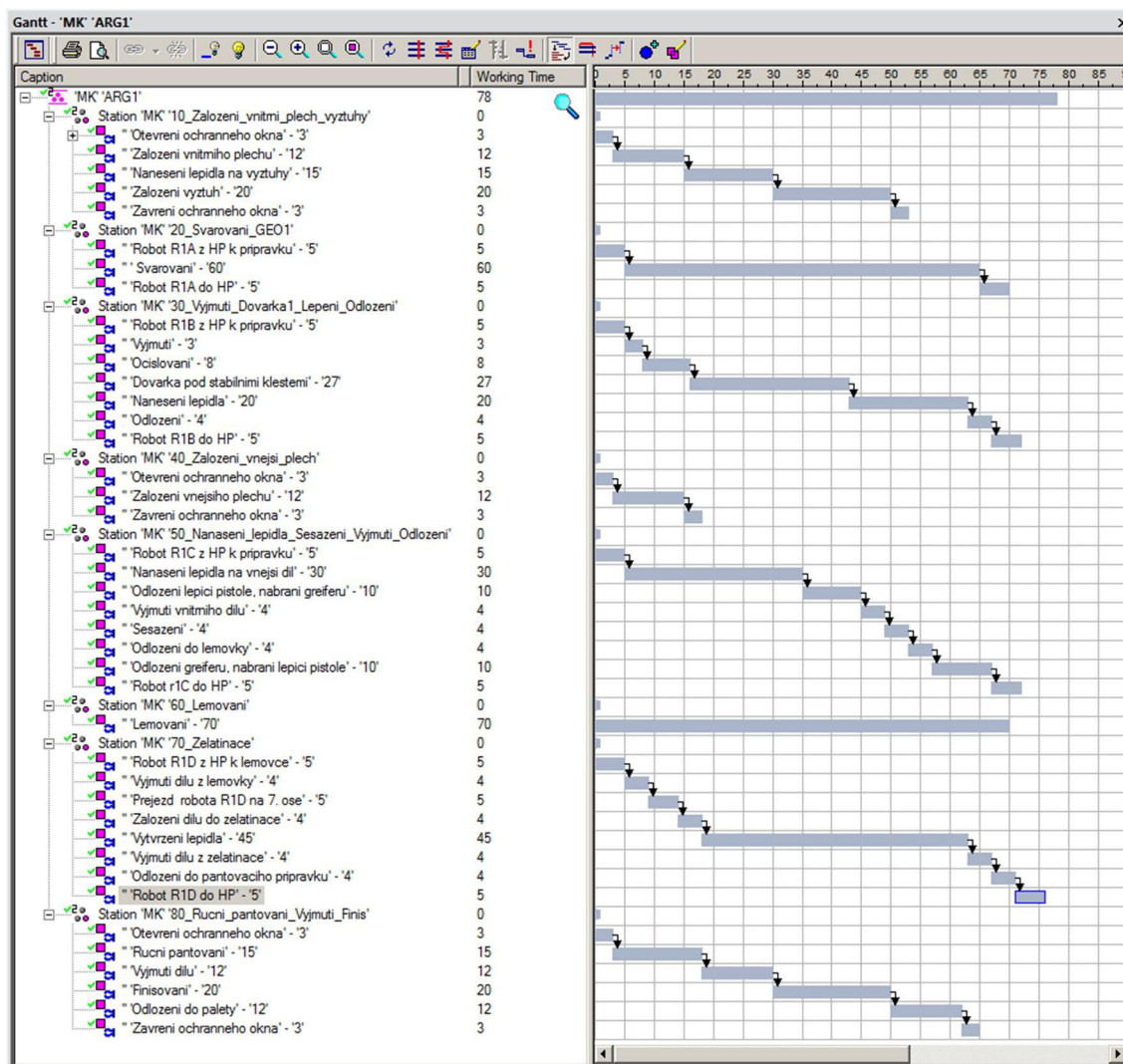
Robot R1D, který má jako nástroj manipulátor a pro lepší dosah je doplněn o pojezd (tzv. 7. osu).

- Robot R1D jede z HP k lemovce
- Robot R1D vyjímá díl z lemovky
- Robot R1D se přesouvá k želatinaci
- Robot R1D odkládá díl do želatinace
- Vytvrzení lepidla
- Robot R1D vyjímá díl z želatinace
- Robot R1D odkládá díl do pantovacího přípravku
- Robot R1D jede zpět do HP

Operace 80: Odložení, pantování, vyjmutí

Nakonec je potřeba provést montáž pantů a vyjmout díl z linky.

- Otevře se ochranné okno
- Pracovník provede montáž pantů
- Vyjímá díl z přípravku
- Odkládá hotový díl do palety
- Po stisknutí potvrzovacího se ochranné okno zavře

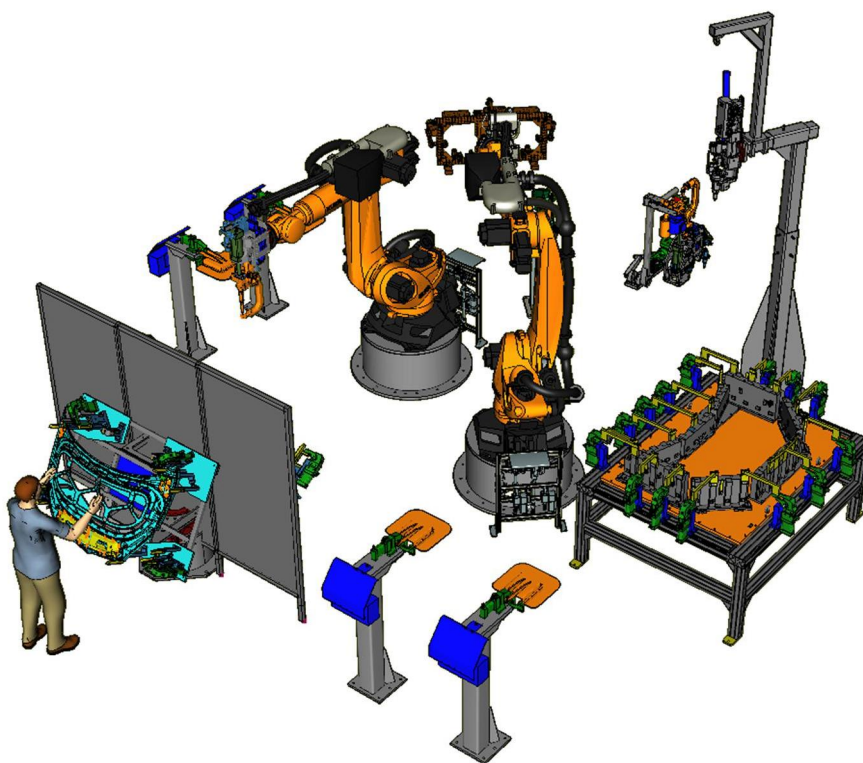


Obr. 3.3 Přehled operací v GANT diagramu

3.2 Rozmístění komponent

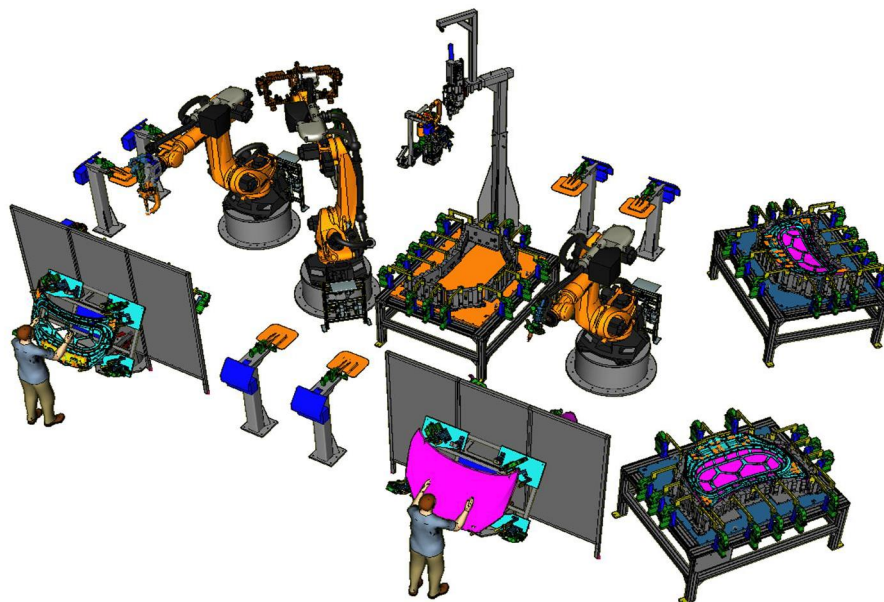
Návrh rozmístění komponent do svařovací linky byl proveden v PD a z důvodu přehlednosti byl rozdělen do několika fází. Jedná se o hrubý návrh umístění komponent bez většího ohledu na jejich rozměry, proveditelnost operací, dosahy robotů atd. Grafická reprezentace částečně usnadňuje pochopení fungování linky, která byla slovně popsána výše.

V první fázi návrhu (Obr. 3.4) je navrženo umístění pro komponenty v operacích 10 a 20 a 30. Jedná se o umístění dvoupolohového otočného stolu na podestě se základacím přípravkem, do kterého pracovník zakládá vnitřní plech a výztuhy. Přípravek by měl být v ergonomické poloze pro pracovníka. To znamená, aby pracovník zakládal díl ve výši cca 1m. Proto byla zvolena podesta pod otočný stůl o výšce 500mm. Z důvodu bezpečnosti bylo později před otočný stůl umístěno ochranné okno. Dále je provedeno umístění robota R1A s podestou o výšce 500mm tak, aby přibližně dosáhl do přípravku. Na robota jsou přimontovány svařovací kleště ve tvaru C. Do rozsahu robota je umístěna stacionární fréza pro frézování svařovacích kleští a dva stojany pro výměnu nářadí. Dále se jedná u umístění robota R1B tak, aby přibližně dosáhl do přípravku v operaci 10, odkud vyjímá díl. Do rozsahu robota jsou umístěny stabilní svařovací kleště s příklopnou frézou, stojan pro lepidlo, číslovačku, odkládací stojany. Nakonec je umístěn dvou-typový odkládací přípravek, kam robot po provedení všech úkonů díl odloží. K oběma robotům jsou umístěny RIP, do kterých jsou přivedena média (voda, vzduch).



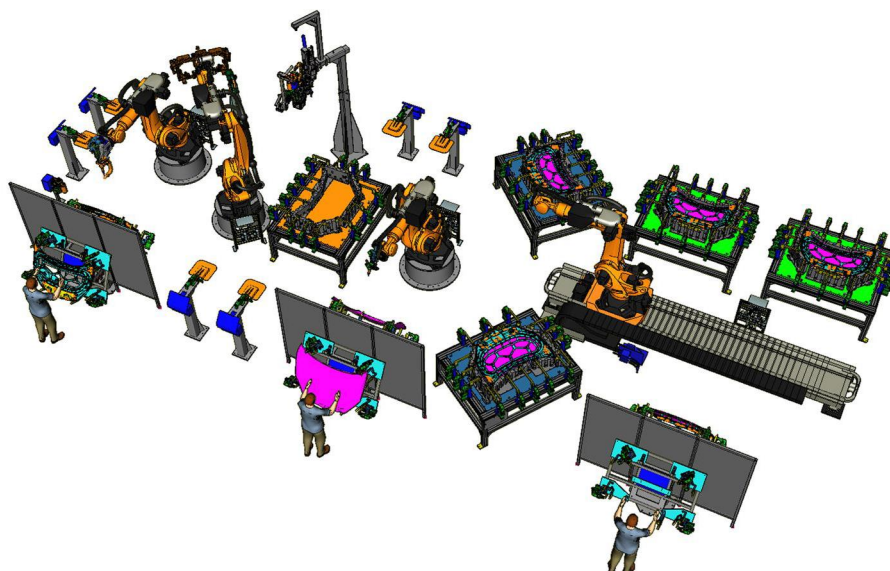
Obr. 3.4 První fáze návrhu rozmístění komponent

Druhá fáze (Obr. 3.5) obsahuje umístění komponent pro operace 40, 50 a 60. Je umístěn další dvoupolohový otočný stůl se základacím přípravkem pro vnější plech, před který bylo opět později umístěno ochranné okno. Podesta pod otočný stůl má výšku 500mm z důvodu ergonomie zakládání dílu pracovníkem. Následně je umístěn robot R1C na podestě vysoké 500mm tak, aby dosáhl do přípravku pro vnější díl a zároveň do odkládacího přípravku v operaci 30. Na robota je přimontována lepící pistole, která se v průběhu provádění operací vymění za manipulátor. Do rozsahu robota jsou také umístěny odkládací stojany pro nářadí. Jako poslední v této fázi jsou umístěny lemovky, kam robot R1C díl odloží a dojde k zalemování dílu. K robotu R1C je umístěna RIP, do které jsou přivedena média (voda, vzduch).



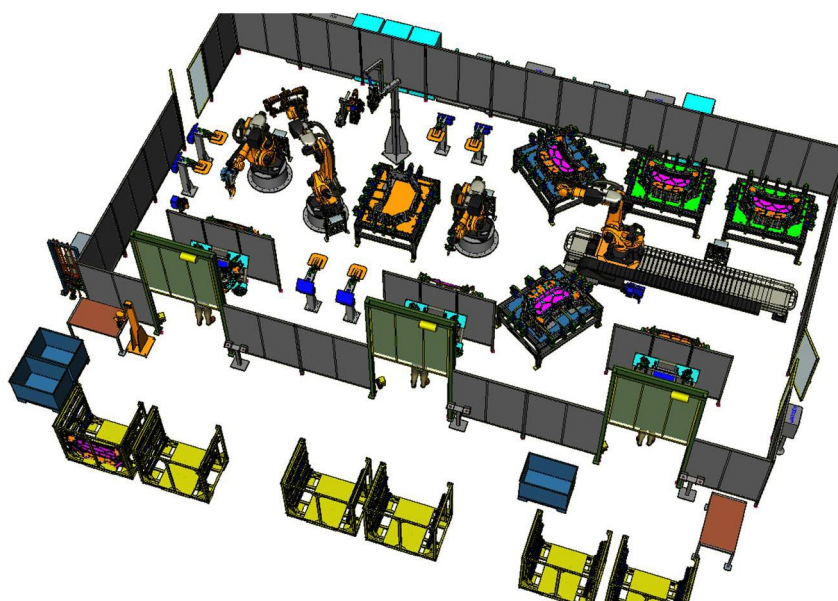
Obr. 3.5 Druhá fáze návrhu rozmístění komponent

Ve třetí fázi (Obr. 3.6) jsou rozmístěny komponenty pro operace 70 a 80. Je provedeno umístění robota R1D doplněného o 7. osu tak, aby dokázal vyjmout díl z lemovky. 7. Osa má délku 5m a používá se pro rozšíření manipulačního prostoru robota. Do rozsahu je umístěna žetainace a dvoupolohový otočný stůl s přípravkem, kam robot R1D díl odloží. Otočný stůl má z ergonomických důvodů podestu vysokou 500mm. Před tento otočný stůl bude opět z důvodu bezpečnosti pracovníka umístěno ochranné okno.



Obr. 3.6 Třetí fáze návrhu rozmístění komponent

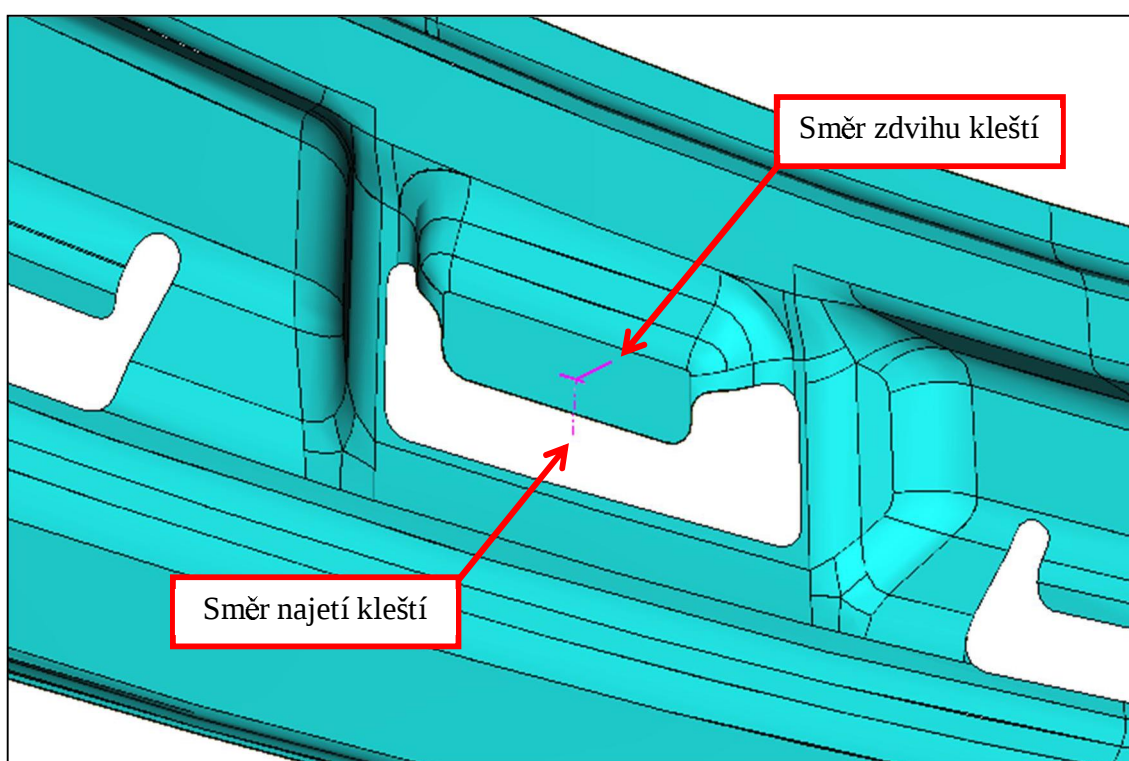
V poslední čtvrté fázi (Obr. 3.7) je navrženo umístění komponent, jako jsou ochranná okna, bezpečnostní dveře pro vstup do linky, bezpečnostní skenery, stojany pro ruční nanášení lepidla, palety pro zásobování linky, robotové skříně, příslušenství pro nanášení lepidla a manipulátor pro vyjmutí dílu z linky. Bezpečnost linky je zajištěna mechanicky a elektricky. Zakládací prostor je mechanicky chráněn rolovacími vraty a od robotového prostoru je oddělen plotem, který je na otočném stole. V momentě otáčení otočného stolu s přípravky jsou vrata zavřená. Dále je prostor snímám pomocí skeneru, aby se vrata nezavřela, když pracovník zakládá díl do přípravku.



Obr. 3.7 Čtvrtá fáze návrhu rozmístění komponent

3.3 Import a promítnutí svařovacích bodů na produkt – vytvoření lokací

Dalším důležitým krokem je import svařovacích bodů do PS. K tomu je nutné mít k dispozici tabulku svařovacích bodů s jejich souřadnicemi. Tak se poté nainportuje a vytvoří se knihovna svařovacích bodů. Ze svařovacích bodů je potřeba promítnutím vytvořit lokace, které představují souřadný systém, do kterého bude nastaven souřadný systém svařovacích kleští. Souřadnice, která je kolmá na povrch produktu, představuje směr otevírání a zavírání svařovacích kleští. Souřadnice rovnoběžná s povrchem produktu představuje směr pohybu kleští (Obr. 3.8). Promítnutí se provádí příkazem „Project Weld Points“.

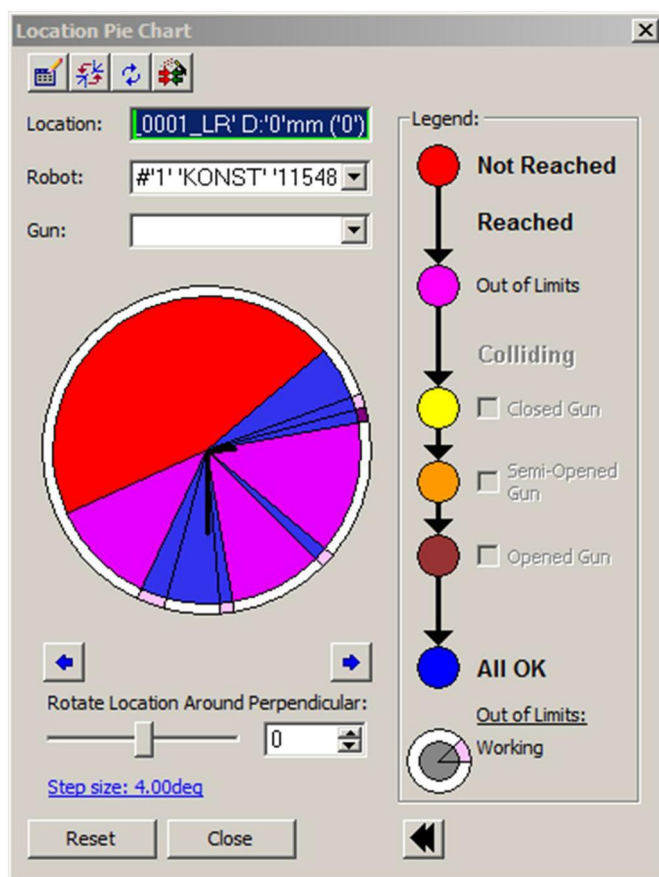


Obr. 3.8 Promítnutý svařovací bod – lokace

3.4 Kontrola orientace lokací a vhodnosti kleští

Po promítnutí lokací je nutné provést kontrolu jejich orientace. Orientací lokace je dána přesná poloha svařovacích kleští při svařování. Ve směru kolmém na produkt lze svařovací kleště otáčet téměř libovolně s ohledem na rozsah pohybů robota. V ostatních dvou směrech lze natáčet lokaci pouze v rozsahu 5° z důvodu technologických předpisů. Natočení lokací lze provést pomocí automatického nástroje „Automatic Approach Angle – Automatický úhel přiblížení nebo manuálně. V případové studii bylo natočení

provedeno manuálně s využitím dalšího nástroje „Pie Chart – Koláčový graf“ (Obr. 3.9). V koláčovém grafu jsou zobrazené oblasti natočení, ve kterých je daná lokace dosažitelná.

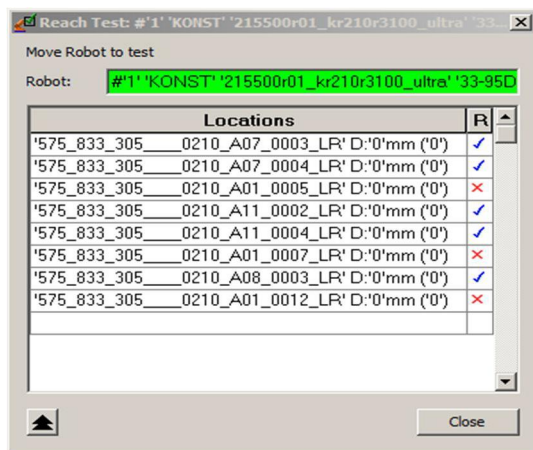


Obr. 3.9 Nástroj „Pie Chart – Koláčový graf“

Po správném natočení lokací je důležité zkontrolovat, jestli nevzniká kolize mezi svařovacími kleštěmi a produktem. To lze opět provést manuálně optickou kontrolou nebo pomocí nástroje „Collision Viewer“, který byl použit v případové studii. Tento nástroj umožňuje vytvořit kolizní set, ve kterém se definuje, které objekty nesmí být navzájem v kolizi. Bylo zjištěno, že všechny svařovací kleště jsou v pořádku a nejsou v kolizi s produktem.

3.5 Kontrola dosahů robotů

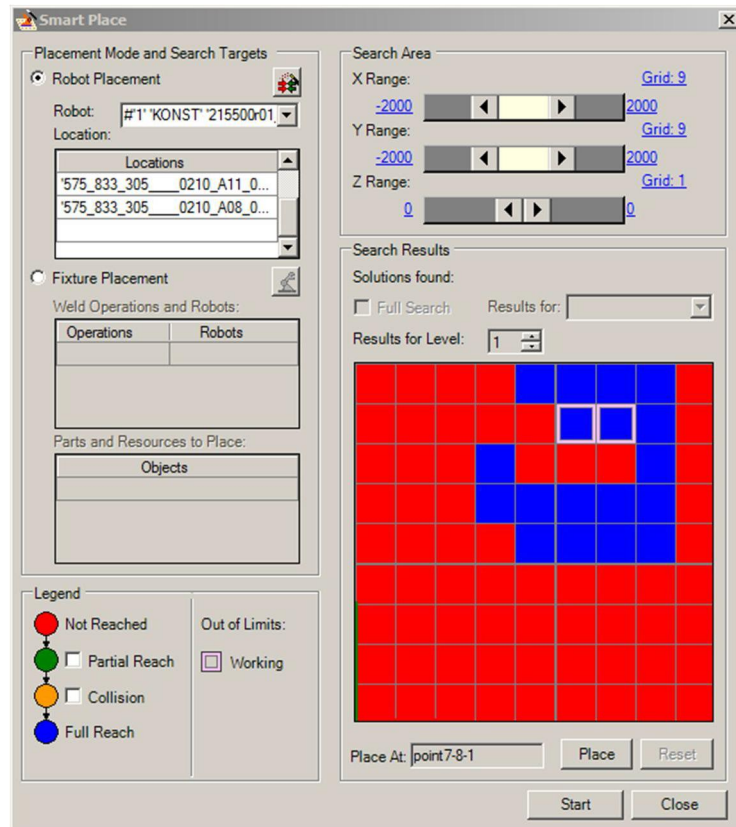
Po kontrole orientace lokací a vhodnosti svařovacích kleští je potřeba provést kontrolu dosahu robota. To znamená, aby robot dosáhl do všech lokací, které jsou pro danou operaci přiřazeny. Pro tento případ PS disponuje nástrojem „Reach test – Kontrola dosahu“ (Obr. 3.10). V dialogovém okně tohoto nástroje je třeba definovat robota a lokace, do kterých má robot dosáhnout.



- ✓ Robot dosáhne do lokace.
- ✗ Robot má částečný dosah a musí se natočit lokace.
- ✗ Robot nedosáhne do lokace.
- ✓ Robot dosáhne do lokace, ale je mimo nastavené pracovní limity.

Obr. 3.10 Nástroj „Reach test – Kontrola dosahu“

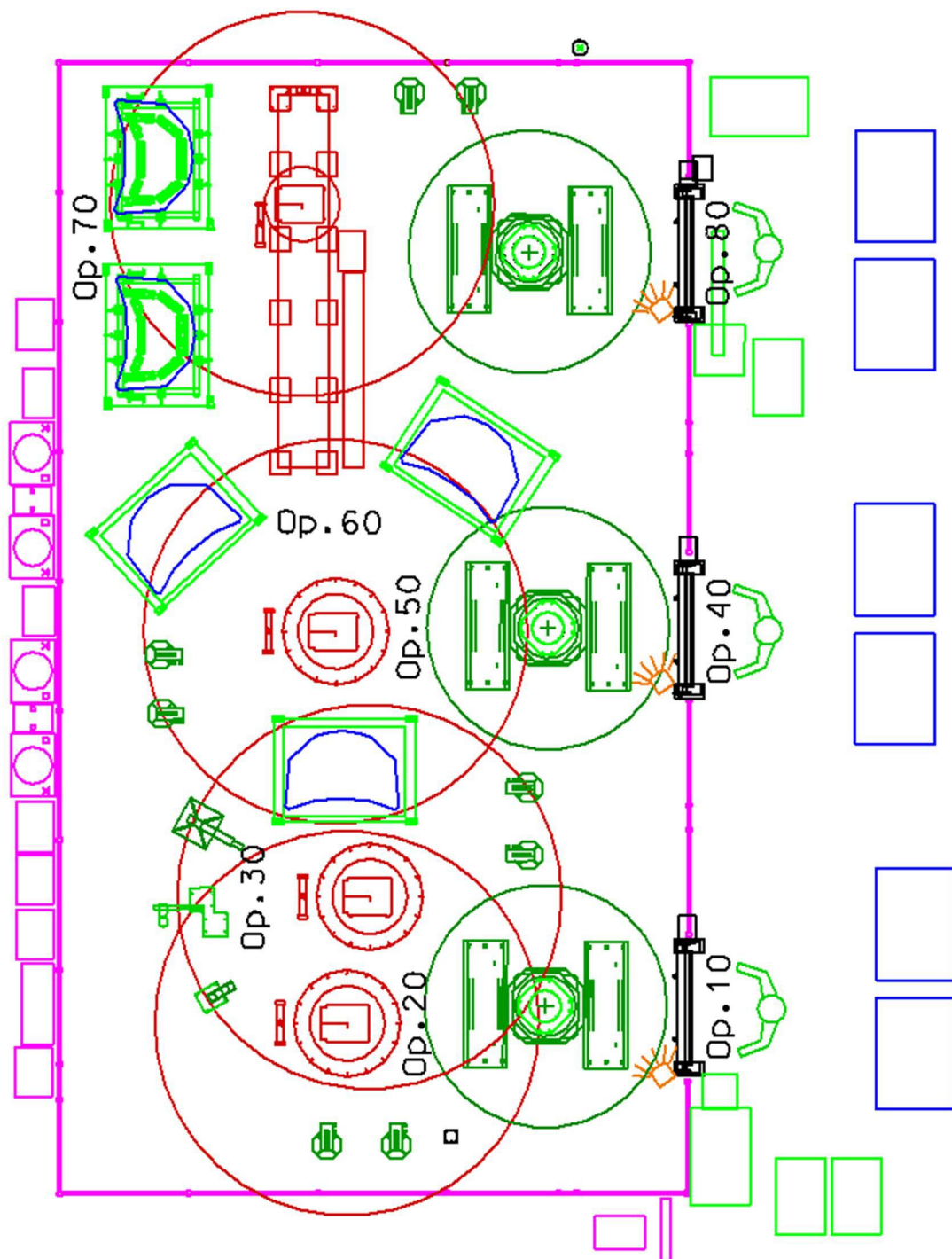
Jak je vidět z obrázku 3.10, robot nedosáhne do některých lokací. V takovém případě je nutné najít takovou polohu robota, aby bezpečně dosáhl do všech lokací. Polohy robotů byly nalezeny pomocí nástroje „Robot Smart Place – Inteligentní umístění robota“ (Obr. 3.11). Tento nástroj vyžaduje definování robota, operace (lokace) a oblasti, kde se bude kontrolovat dosah robota. Tento nástroj byl využit pro všechny roboty a byly nalezeny ideální pozice pro svařování a manipulaci.



Obr. 3.11 Nástroj „Robot Smart Place – Inteligentní umístění robota“

3.6 Export layoutu

Výstupem z této simulace je kompletní odsimulovaný koncept linky. Jedná se de facto o optimalizaci koncepčního layoutu. Pro další účely (např. různá jednání nebo představování) je nutné koncept vyexportovat do 2D formátu (Obr. 3.12). PS disponuje funkcí „Section Plane“, která nám vytvoří řez v požadované výšce.



Obr. 3.12 Layout svařovací linky

3.7 Klíčové funkce PS

V této kapitole jsou popsány klíčové funkce softwaru PS.

Společná databáze

Zásadní výhodou PS je jeho společná databáze s PD. To znamená, že vytvoření nebo modifikace svařovací linky v PD se ihned po uložení projeví v PS a naopak. Automatické provázání tak nejen spoří čas, ale je také zaručena aktuálnost dat.

Formát dat

PS pracuje s *.jt formátem v *.cojt složce. JT formát představuje 3D reprezentaci, kdy model má zásadně menší datovou velikost než původní CAD model a tím umožňuje rychlejší načítání dat ze serveru. JT je univerzální formát a splňuje ISO. Soubory *.cojt se ukládají pod společný systemroot (sdílený adresář), který je umístěn na centrálním serveru, kde je přístupný pro všechny uživatele.

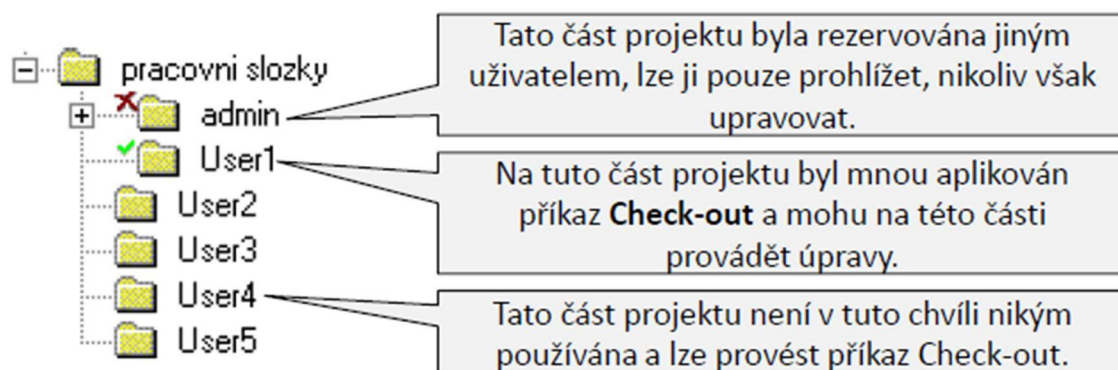
Funkce Check-out a Check-in

PS je jeden z nástrojů, který umožňuje souběžnou a efektivní práci, sdílení informací a výměnu dat ve společné databázi. Více pracovníků tak může pracovat na jednom projektu ve stejný čas. Funkce Check-out a Check-in umožňuje zarezervovat si z databáze část určitého projektu, provedení úprav a poté uvolnit tuto část zpět do databáze (Obr 3.13).

Pokud je část projektu rezervována pomocí funkce Check-out (rezervace z databáze), ostatní uživatelé mohou vidět tuto část pouze v módu pro čtení a nemohou tuto oblast modifikovat. Po provedení příkazu Check-in (uvolnění do databáze) ostatní uživatelé uvidí poslední změnu této oblasti a zároveň tato funkce slouží jako uložení a zálohování dat.

Funkce Check-out nabízí ještě volbu „With Hierarchy“, kdy bude kromě vybraného adresáře provedena rezervace dat, které jsou ve stromové struktuře pod ním. Pokud se nezvolí volba „S hierarchií“ lze modifikovat jen vybraný adresář nebo vyvářet položky pod ním.

Pro uložení a okamžitou rezervaci dat pro pokračování v práci je možné zvolit možnost „Keep objects checked out“. To znamená, že se provede Check-in (uložení do databáze) a vzápětí příkaz Check-out.



Obr. 3.13 Funkce Check-out a Check-in

Tabulkový náhled

Tabulkový náhled v PD umožňuje přehledné zobrazení vybraných objektů, jejich přiřazených atributů a vlastností. Jedná se především o atributy: název, datum vytvoření, typ, číslo, jméno autora nebo komentář. Objekty je možné řadit, třídit nebo filtrovat dle zvoleného parametru. Tabulkový náhled také umožňuje exportovat vybrané objekty a jejich atributy do Excelu.

GANT a PERT diagramy

Mezi další klíčové funkce patří možnost využití GANT a PERT diagramů, které tento SW nabízí. Pomocí GANT diagramů lze přehledně graficky vyjádřit posloupnost naplánovaných činností a přiřadit jim čas. PERT diagramy umožňují přiřadit k jednotlivým operacím zdroje (roboty atd.), svařovací body nebo plechy.

PS Disconnected

PS Disconnected nepotřebuje přístup na server. Pracuje jen s dříve exportovanými daty. V praxi to například znamená, že je možné pracovat v PS i na služební cestě, doma apod.

4 Experiment

Při simulacích je velký důraz kladen jejich rychlost. V průběhu projektů nastávají situace, kdy je nutné simulaci provést okamžitě a v co nejkratším čase, aby nedošlo např. k ohrožení termínů. Cílem experimentu je zjištění, který ze softwarů je vhodnější pro simulace z hlediska času. Veškeré úkony, které mají vliv na výsledný čas simulace, byly v rámci experimentu provedeny v obou SW, změřeny a vyhodnoceny. Experiment byl proveden na svařovací lince pro díl motorová kapota, svařovací GEO přípravek.

4.1 Úkony:

- Konverze dat
- Import dat
- Vytvoření kinematiky
- Načtení dat
- Simulace
- Export layoutu
- Off-line programování

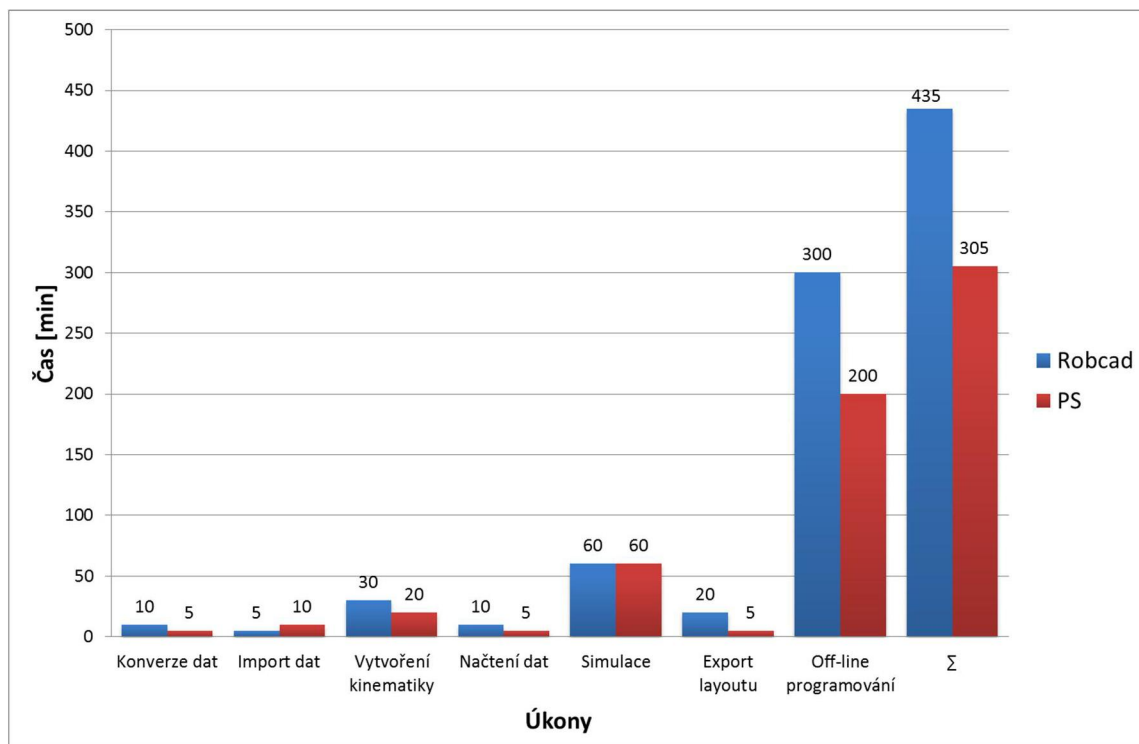
4.2 Průběh experimentu:

- Provedení a změření úkonů v SW Robcad
- Provedení a změření úkonů v SW PS
- Porovnání naměřených hodnot

Po provedení a změření všech úkonů popsaných výše byly hodnoty pro přehlednost zapsány do tabulky 4.1, ze které byl následně vytvořen graf (Obr. 4.1).

Tab. 4.1 Naměřené hodnoty

	Robcad [min]	PS [min]
Konverze dat	10	5
Import dat	5	10
Vytvoření kinematiky	30	20
Načtení dat	10	5
Simulace	60	60
Export layoutu	20	5
Off-line programování	300	200
Σ	435	305
		-29,89%



Obr. 4.1 Grafické porovnání Robcad x PS

4.3 Vyhodnocení naměřených hodnot

Z naměřených hodnot vyplývá, že při použití softwaru PS byl celkový čas experimentu cca o 30% nižší, než při použití softwaru Robcad. PS převyšuje Robcad v pěti ze sedmi provedených úkonů. Nejvíce času bylo ušetřeno při úkonu off-line programování a to díky tabulkovému náhledu na všechny lokace a možnost jejich hromadné editace. Dalším významným bodem je velmi nízký čas při exportování layoutu. Doba ostatních úkonů není až tak rozdílná. Nutno však dodat, že úkony jako konverze dat a jejich následné načítání se při simulacích mohou provádět i několikrát denně. Ve výsledku pak i tyto malé rozdíly v součtu znamenají nezanedbatelnou úsporu času.

5 Porovnání se současným stavem

Porovnání se současným stavem je kromě časové analýzy provedeno také pomocí vícekritériálního zhodnocení. Při tomto druhu hodnocení je nutné definovat kritéria. Kritéria jsou stanovena v kapitole 5.1 dle vlastních zkušeností a seřazena dle důležitosti pomocí dotazníkového šetření v oddělení simulací s ohledem na rychlost simulací a jejich kvalitu. V kapitole 5.2 jsou poté kritériím přiřazeny váhy a v kapitole 5.3 je provedeno jejich hodnocení pomocí přidělení známek dle závažnosti kritéria.

5.1 Stanovení kritérií

- 1) Konverze dat.
- 2) Velikost dat.
- 3) Import dat.
- 4) Načítání dat.
- 5) Vytvoření kinematiky.
- 6) Vytvoření struktury.
- 7) Export layoutu.
- 8) Vyhledávání kleští.
- 9) Off-line programování.
- 10) Kompatibilita s dalšími SW.

5.2 Stanovení vah jednotlivých kritérií

Váhy pro jednotlivá kritéria jsou vypočteny dle vzorce 4.1 a dle výsledků průzkumu v oddělení simulací pomocí „metody pořadí“. Tato metoda je založena na seřazení kritérií od nejdůležitějšího po nejméně důležitý. Nejdůležitějšímu kritériu je přiřazena hodnota k , která představuje celkový počet kritérií. Druhé nejdůležitější kritérium obdrží hodnotu $k-1$. Celý postup se opakuje až do té doby, kdy nejméně důležité kritérium obdrží hodnotu 1 [2].

Váhu kritéria lze vyčíslit dle vztahu:

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^k b_i} \quad (4.1)$$

Kde: v_i ...váha kritéria;

b_i ...hodnota přiřazená i -tému kritériu.

Konečné pořadí kritéria a finální váha pro přepočet ve vícekritériálním hodnocení je zobrazena v tabulce 5.1 u každého kritéria.

Tab. 5.1 Hodnocení jednotlivých kritérií, pořadí a výpočet vah

	Respondent					Σ	pořadí	b_i	v_i
	1	2	3	4	5				
Konverze dat	6	5	4	5	6	26	5	6	0,109
Velikost dat	4	9	8	8	7	36	8	3	0,055
Import dat	5	3	3	4	4	19	4	7	0,127
Načítání dat	3	4	5	3	2	17	3	8	0,145
Vytvoření kinematiky	2	1	2	2	3	10	2	9	0,164
Vytvoření struktury	7	6	7	7	8	35	7	4	0,073
Export layoutu	8	7	6	6	5	32	6	5	0,091
Vyhledávání kleští	9	8	9	9	9	44	9	2	0,036
Off-line programování	1	2	1	1	1	6	1	10	0,182
Kompatibilita s dalšími SW	10	10	10	10	10	50	10	1	0,018
								Σ	1

1) Konverze dat (váha 0,109)

Kritérium hodnoceno v pořadí číslem 5. Toto kritérium je důležité z hlediska rychlosti přípravy vstupních dat. Robcad požaduje formát *.co a PS požaduje formát *.cojt. Formát *.cojt je přibližně o řád menší než formát *.co. Konverze dat může probíhat až několikrát denně, proto toto kritérium patří mezi ty důležitější.

2) Velikost dat (váha 0,055)

Kritérium hodnoceno v pořadí číslem 8. Toto kritérium je spojené s kritériem 1), jelikož čím jsou větší vstupní data, tím časově náročnější je přípravná fáze před samotnou simulací. Velikost dat je také důležitá z pohledu paměti místa na disku nebo na serveru.

3) Import dat (váha 0,127)

Kritérium hodnoceno v pořadí číslem 4. Toto kritérium je spojené s kritériem 2), jelikož čím jsou větší vstupní data, tím časově náročnější je načítání dat. Import dat může probíhat až několikrát denně, proto toto kritérium patří mezi ty důležitější.

4) Načítání dat (váha 0,145)

Kritérium hodnoceno v pořadí číslem 3, jelikož se jedná o jednu z nejvíce časově náročných částí při přípravné fázi. V případě načítání svařovací linky do Robcadu se velikost načítaných dat dostat až na několik GB, kdežto u načítání dat do PS se velikost snižuje až o jeden řád. Načítání dat může probíhat až několikrát denně, proto toto kritérium patří mezi ty nejdůležitější.

5) Vytvoření kinematiky (váha 0,164)

Kritérium hodnoceno v pořadí číslem 2, jelikož vytvoření rychle a správně fungující kinematiky přípravku nebo kleští je důležité pro rychlé bezchybné odsimulování. Kinematika musí odpovídat reálnému zařízení.

6) Vytvoření struktury (váha 0,073)

Kritérium hodnoceno v pořadí číslem 7. Toto kritérium je důležité pouze u softwaru PS, kdy se na začátku projektu definuje struktura projektu, rozdělení do operací atd.

7) Export layoutu (váha 0,091)

Kritérium hodnoceno v pořadí číslem 6. Jelikož se nejedná přímo o simulační činnost, je důležité, aby byla tato činnost co nejrychlejší. Export layoutu se provádí po koncepční simulaci nebo na vyžádání projektantů.

8) Vyhledávání kleští (váha 0,036)

Kritérium hodnoceno v pořadí číslem 9. Toto kritérium je velmi důležité ve fázi zjišťování svařitelnosti bodů a s ní spojené hledání vhodných kleští. Hledání může být buď ruční, nebo automatické pomocí funkce v PS.

9) Off-line programování (váha 0,182)

Kritérium hodnoceno v pořadí číslem 1, jelikož se jedná vůbec o časově nejnáročnější činnost. Je důležité, aby off-line program vznikl bez chyb za co možná nejkratší dobu.

10) Integrace s PD (váha 0,018)

Kritérium hodnoceno v pořadí číslem 10, jelikož integrace s PD není přímou činností oddělení simulací. Je pouze požadavek, aby byla všechna simulační data z Robcadu zpřístupněna pro zpětnou integraci do PD. Integrace PD a PS je automatická a nepředstavuje tedy žádnou vícepráci pro simulace.

5.3 Zhodnocení kritérií

Zhodnocení proběhlo na základě 10 kritérií popsanych výše. Hodnocení jednotlivých kritérií bylo provedeno pomocí „bodovací metody“ dle velikosti vlivu na rychlost provedení a kvalitu simulace. Všem kritériím byly přiřazeny body od 1 do 5. 1 – nedostačující, 3 – průměrný, 5 – výborný. Vynásobením vahou kritéria je získána výsledná hodnota, která určuje významnost jednotlivých kritérií. Sečtením všech hodnot jsou získány 2 hodnoty. Vyšší hodnota určuje vhodnější variantu (Tab. 5.2).

Tab. 5.2 Hodnocení pomocí „bodovací metody“

	Váha	Robcad		PS	
		Hodnota	Vážená hodnota	Hodnota	Vážená hodnota
Konverze dat	0,109	3	0,327	5	0,545
Velikost dat	0,055	3	0,165	5	0,275
Import dat	0,127	5	0,635	3	0,381
Načítání dat	0,145	3	0,435	5	0,725
Vytvoření kinematiky	0,164	5	0,82	5	0,82
Vytvoření struktury	0,073	5	0,365	3	0,219
Export layoutu	0,091	1	0,091	5	0,455
Vyhledávání kleští	0,036	3	0,108	5	0,18
Off-line programování	0,182	3	0,546	5	0,91
Kompatibilita s dalšími SW	0,018	1	0,018	5	0,09
Σ		3,510		4,600	
Pořadí		2		1	

Jednotlivý přínos variant je pro přehlednost ještě zpracován v kvalifikační tabulce pomocí znamének plus a minus (Tab. 5.3).

Tab. 5.3 Kvalifikační tabulka

	Robcad	PS
Konverze dat	-	+
	Delší čas potřebný pro konverzi	Kratší čas potřebný pro konverzi
Velikost dat	-	+
	*.co - cca 100MB/přípravek	*.cojt - cca 10MB/přípravek
Import dat	+	-
	Jednoduše přímo z pevného disku	Složitější import na server
Načítání dat	-	+
	Pomalé z důvodu velikosti dat - formát *.co	Poměrně rychlé - menší velikost *.cojt
Vytvoření kinematiky	+ / -	+ / -
	Stejný postup	Stejný postup
Vytvoření struktury	+	-
	Nevytváří se	Vytváří se na začátku každého projektu
Export layoutu	-	+
	Složitý postup přes vytvoření nové komponenty	Rychlý postup přes vytvoření řezu
Vyhledávání kleští	-	+
	Pomalejší nástroj bez aktuální knihovny kleští	Rychlý nástroj s aktuální knihovnou kleští
Off-line programování	-	+
	Náhled pouze na jednu lokaci - zdržování se při úpravě parametrů	Možnost tabulkového náhledu na všechny lokace a hromadná úprava parametrů
Kompatibilita s dalšími SW	-	+
	Nefunkční integrace s PD	Automatická integrace s PD

Výsledky vícekritériálního zhodnocení potvrzují výsledky experimentu. Vhodnější nástroj pro provádění simulací a off-line programování je PS.

6 Závěrečné zhodnocení a doporučení

Diplomová práce se zabývala 3D simulacemi svařovacích linek z pohledu využití různých softwarů. V úvodní teoretické části byl proveden úvod do problematiky digitální továrny, ve kterém byly popsány pojmy jako PLM, digitální továrna, vývoj produktu v prostředí digitální továrny a simulace.

Následně byla provedena analýza současného stavu navrhování a simulací svařovacích linek. Vznik linky by popsán procesní mapou, ve které jsou uvedeny jednotlivé fáze vzniku svařovací linky od návrhu konceptu přes konstrukci až po simulace. Nakonec bylo provedeno zhodnocení současného stavu.

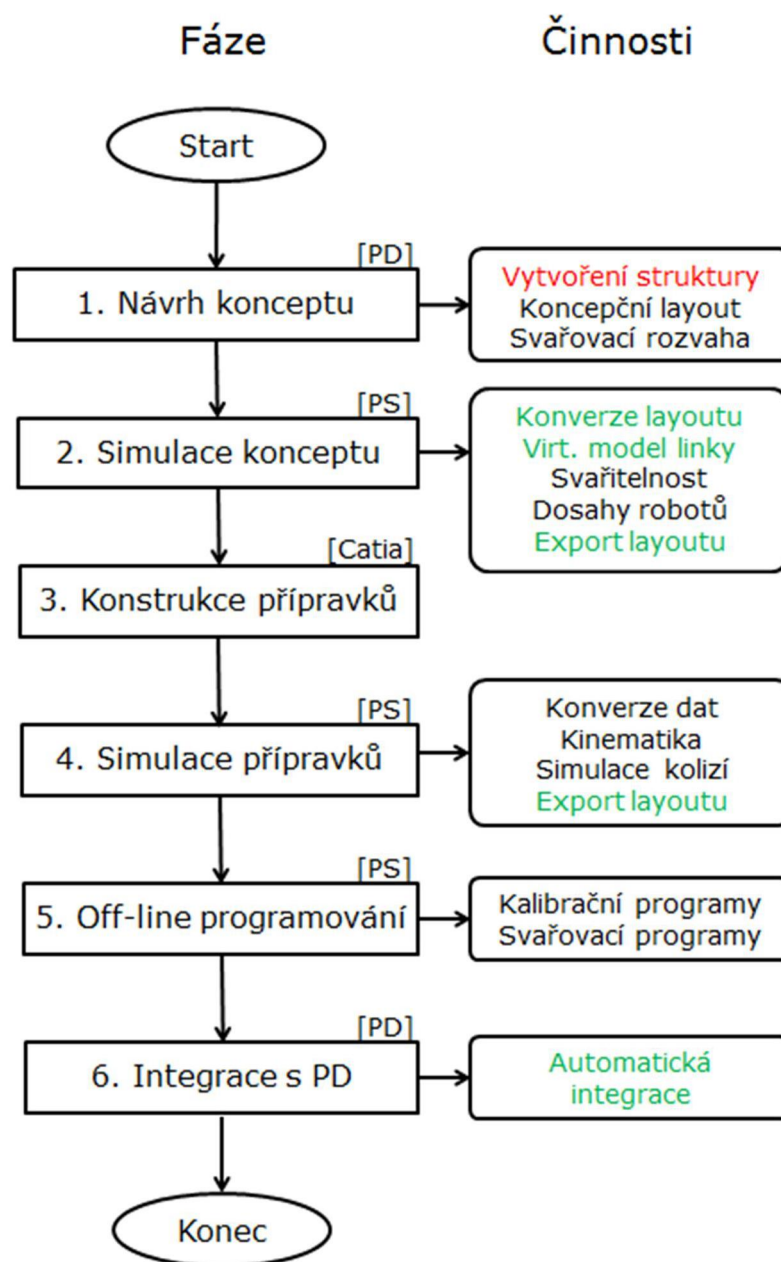
V praktické části byl jedním z cílů práce návrh a simulace svařovací linky pro vybraný díl pomocí nového softwaru Tecnomatix Process Simulate. Nejdříve byla vytvořena struktura projektu a byly naplánovány operace jdoucí za sebou tak, aby ze svařovací linky vycházel kompletní díl. Dále bylo provedeno přibližné rozmístění všech komponent. Rozmístění bylo pro přehlednost provedeno do několika fází. Po rozmístění komponent následoval import svařovacích bodů a vytvoření lokací na produktu. V simulační části návrhu byla zkontrolována orientace všech svařovacích lokací a vhodnost svařovacích kleští. Následovala kontrola dosahů a nalezení optimálních poloh všech robotů. Posledním krokem bylo vyexportování layoutu do 2D formátu.

Druhým z cílů byla analýza a porovnání dvou softwarů od firmy Siemens PLM a s tím spojených přístupů k plánování a simulacím svařovacích linek. Porovnání softwarů nabízí dva pohledy.

První pohled je nahrazení čistě simulačního softwaru bez dalších změn v procesu, dle kterého probíhá vznik svařovací linky v současnosti. Všechny činnosti jsou vykonávány stejným způsobem ve stejných softwarových aplikacích až na Robcad, který je nahrazen PS. Vyniknou tedy pouze výhody, které se týkají simulace. Jedná se především o menší velikost dat, jejich konverzi, import, vytváření kinematiky nebo off-line programování. Nedochozí ke změně celkového procesu navrhování svařovacích linek a zůstávají tak podstatné nevýhody, jako jsou předávání dat mezi projektanty a simulanty nebo manuální stavba virtuálního modelu linky.

Na základě analýz a výsledků experimentu je však doporučen druhý pohled. Tím je nahrazení simulačního softwaru společně se zavedením změn v procesu vzniku svařovacích linek. Oproti prvnímu pohledu proces vzniku svařovací linky za použití PD

a PS vzniká dle mapy procesu, která je zobrazena na obrázku 6.1. Červeně je označena činnost, která přináší oproti současnému stavu vícepráce, zeleně jsou označené činnosti, které se nevykonávají vůbec nebo jsou výrazně méně časově náročné.



Obr. 6.1 Procesní mapa vzniku svařovací linky

Návrh konceptu vzniká v PD, kdy jedinou nevýhodou je nutnost vytvoření struktury. Tato struktura se vytvoří na začátku projektu a v dalším průběhu projektu je možné ji modifikovat.

Simulace koncepčního layoutu a simulace přípravků probíhá v PS, který je automaticky integrován s PD. Není tedy nutná konverze layoutu a výstavba virtuálního modelu linky, protože tyto činnosti již byly vykonány v PD. Po simulaci koncepčního layoutu zdlouhavý export layoutu úplně odpadá, protože změny poloh robotů, přípravků atd. se ihned po uložení projeví v PD. V případě že je export layoutu potřeba, provádí se v PD nebo PS přes funkci vytvoření řezu, což zabere minimum času.

Off-line programování se provádí v PS. Z provedeného experimentu vyplývá, že v oblasti off-line programování lze změnou softwaru uspořit až 30% času. Tím vzniká větší prostor pro další pracovníky, kteří se podílejí na vzniku svařovací linky. Jedná se především o programátory nebo zkušební techniky, kteří kontrolují rozměrovost vystupujících dílů. Je také větší prostor pro optimalizaci celé linky při ladění požadovaného taktu.

Oproti současnému stavu není nutné vyčlenit zvláštního pracovníka na převod dat do PD. Data v PD jsou aktuální v celém průběhu projektu.

Přínosem tohoto nového procesu je kromě propojení činnosti plánování a simulace také možnost provádění ergonomických simulací v modulu Human na aktuálních datech. Ergonomické simulace jsou důležité při plánování a analýzách proveditelnosti manuálních operací jako je zakládání nebo vyjímání dílů.

Dalším doporučením k zamyšlení je nahrazení konstrukčního softwaru Catia softwarem NX, který umožňuje práci ve formátu *.jt. Tím by byly datově propojeny všechny činnosti, které se podílejí na vzniku svařovací linky – plánování, konstrukce a simulace.

Seznam použité literatury

- [1] DLOUHÝ, M. FÁBRY, J. KUNCOVÁ, M. HLADÍK, T, *Simulace podnikových procesů*. Brno: Computer Press a.s., 2007.
- [2] SIXTA, J. ŽIŽKA, M. *Logistika: metody používané pro řešení logistických projektů*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2009, 238 s. Praxe manažera (CPBooks). ISBN 978-80-251-2563-2.
- [3] HOMOLA, Jan. *PLM – Product Lifecycle Management*. [online]. [cit. 2014-09-25].
Dostupné z: <http://plm.caxmix.cz/definice-plm/>
- [4] LEEDER, Edvard. *Digitální továrna – mocný nástroj pro průmyslovou výrobu*. [online]. [cit. 2014-10-02].
Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37514
- [5] Západočeská univerzita v Plzni, fakulta strojní: *Oblasti nasazení*. [online]. [cit. 2014-10-07].
Dostupné z: <http://digipod.zcu.cz/index.php/cs/oblasti-nasazeni>
- [6] Gisoft: *Microstation*. [online]. [cit. 2014-10-08].
Dostupné z: <http://www.gisoft.cz/MicroStation/MicroStation.html>
- [7] Siemens Product Lifecycle Management Software: *Process Designer for Robotics and Automation*. [online]. [cit. 2014-10-10].
Dostupné z: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/robotics_automation/process_designer.shtml
- [8] Siemens Product Lifecycle Management Software: *Process Simulate for Robotics and Automation*. [online]. [cit. 2014-10-10].
Dostupné z: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/robotics_automation/process_simulate.shtml
- [9] MMspektrum: *Soubor nástrojů digitální továrny*. [online]. [cit. 2014-10-10].
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/soubor-nastroju-digitalni-tovarny.html>

- [10] CATIA V5. [online]. 2011 [cit. 2014-10-15].
Dostupné z: <http://www.technodat.cz/catia-v5>
- [11] Západočeská univerzita v Plzni, fakulta strojní: *Tecnomatix Jack*. [online]. [cit. 2014-10-19].
Dostupné z: <http://digipod.zcu.cz/index.php/cs/oblasti-nasazeni/ergonomie/jack>
- [12] Siemens Product Lifecycle Management Software: *JT Open Technology*. [online]. [cit. 2014-10-19].
Dostupné z: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/open/jtopen/technology/index.shtml
- [13] Západočeská univerzita v Plzni, fakulta strojní: *PLM*. [online]. [cit. 2014-11-01].
Dostupné z: <http://www.digitov.zcu.cz/plm.php>
- [14] Západočeská univerzita v Plzni, fakulta strojní: *Softwarová podpora*. [online]. [cit. 2014-11-04].
Dostupné z: http://www.digitov.zcu.cz/softwarova_podpora.php
- [15] Tecnomatix – soubor nástrojů digitální továrny. [online]. [cit. 2014-11-04].
Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37722.pdf>
- [16] Západočeská univerzita v Plzni, fakulta strojní. *Dassault Systèmes*. [online]. [cit. 2014-11-20].
Dostupné z: <http://digipod.zcu.cz/index.php/cs/softvarovapodpora/dessault-systemes>
- [17] Západočeská univerzita v Plzni, fakulta strojní. *Delmia Process Engineer*. [online]. [cit. 2014-11-25].
Dostupné z: <http://digipod.zcu.cz/index.php/cs/oblasti-nasazeni/tvorba-prostoroveho-usporadani/delmia-process-engineer>
- [18] Wikipedia. *Simulace*. [online]. [cit. 2014-11-25].
Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Simulace>

- [19] MANLIG, Franišek. *Počítačová simulace diskrétních událostí* [online]. [cit. 2014-11-25].

Dostupné z: <http://www2.humusoft.cz/www/archived/pub/witness/9910/manlig.htm>

Seznam příloh

Příloha A – Obsah přiloženého CD