



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV MANAGEMENTU

INSTITUTE OF MANAGEMENT

ZLEPŠENÍ PROCESU LAKOVNY PROSTŘEDNICTVÍM PREDIKTIVNÍ SIMULACE

PAINT SHOP PROCESS IMPROVEMENT THROUGH PREDICTIVE SIMULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Simona Macháčová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav managementu
Studentka: **Bc. Simona Macháčová**
Vedoucí práce: **Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23
Studijní program: Strategický rozvoj podniku

Garant studijního programu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává diplomovou práci s názvem:

Zlepšení procesu lakovny prostřednictvím prediktivní simulace

Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod
Vymezení problému a cíle práce
Teoretická východiska práce
Analýza aktuálního stavu procesů lakovny
Návrh zlepšení procesu lakování
Zhodnocení přínosu řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

Cíle, kterých má být dosaženo:

Práce je zaměřena na návrh zlepšení procesu lakovny. Cílem zlepšení je zeštíhlení procesu. Návrh vychází z detailní analýzy procesu lakovny. Pro výběr nejlepšího řešení je využito modelování procesu lakovny prostřednictvím prediktivní simulace a experimenty s tímto modelem. Součástí návrhu je i jeho vyhodnocení.

Základní literární prameny:

BANGSOW, S. Tecnomatix Plant Simulation. 2. Switzerland: Springer, 2020, 828 s. ISBN 978-3-3-030-41543-3.

BANKS, J.; J. S. CARSON II, B. L. NELSON a D. M. NICOL. Discrete-Event System Simulation. 5. New Jersey: Pearson Education, Inc., 2010. ISBN 0-13-815037-0.

LAW, A. M. a W. D. KELTON. Simulation modeling and analysis. 5th ed. New York: McGraw Hill, 2010. ISBN 9780073401324.

PROUD, J. F. Master scheduling: a practical guide to competitive manufacturing. 3rd ed. Hoboken, N.J.: O. Wight Publications, 2007. ISBN 04-717-5727-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně dne 5.2.2023

L. S.

doc. Ing. Vít Chlebovský, Ph.D.
garant

doc. Ing. Vojtěch Bartoš, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na využití simulace k optimalizaci procesů v lakovně. Cílem práce je analyzovat stávající výrobní procesy a navrhnout vylepšení pomocí simulace. V analytické části práce jsou detailně popsány procesy v lakovně, pro popsání logiky procesů v lakovně je využito Petriho sítí. V návrhové části práce je formulován problém a cíle, je představen návrh modelu simulace. V návrhu jsou popsány využití prvky a metody v softwaru Plant Simulation, ve kterém je model vytvořen. Dále jsou simulací podrobeny různé scénáře, které mají za cíl optimalizovat proces lakování a odkladových ploch. Výsledky simulace jsou porovnány s aktuálním stavem lakovny. V závěru práce jsou diskutovány výsledky a navržena doporučení pro optimalizaci procesů v lakovně pomocí simulace. Tato práce přináší nové přístupy k optimalizaci procesů v průmyslové výrobě.

Klíčová slova

Model, systém, výrobní systém, proces, lakování, Petriho sítě, simulace, optimalizace, Plant Simulation.

Abstract

This thesis focuses on the use of simulation to optimise processes in a paint shop. The aim of the thesis is to analyse the existing production processes and suggest improvements using simulation. In the analytical part of the thesis, the processes in the paint shop are described in detail and Petri nets are used to describe the logic of the processes in the paint shop. In the design part of the thesis, the problem and objectives are formulated, and the design of the simulation model is presented. The design describes the elements and methods used in the Plant Simulation software in which the model is created. Furthermore, different scenarios are simulated to optimize the painting process and the deposition areas. The simulation results are compared with the actual state of the paint shop. Finally, the results are discussed and recommendations are proposed to optimize the paint shop processes using simulation. This work presents new approaches to process optimization in industrial manufacturing.

Keywords

Model, system, manufacturing system, process, coating, petri nets, simulation, optimization, Plant Simulation.

Bibliografická citace

MACHAČOVÁ, Simona. *Zlepšení procesu lakovny prostřednictvím prediktivní simulace* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/152003>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav managementu. Vedoucí práce Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 15. 5. 2023

Bc. Simona Macháčová

autor

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala společnosti Siemens Large Drives s.r.o. v Drásově, především vedení společnosti za domluvu a podporu mého pracovního výjezdu do závodu v Norimberku. Tímto děkuji Lubomíru Petranovi a celému týmu, který mě v Norimberku podporoval, jmenovitě: Timo Sprockhoff, Peter Stoklossa, Matthias Peschek, Andreas Mueller a Gisela Mumper. Dále děkuji Ing. Zdeňce Videcké, Ph.D., Ing. Ivaně Hromkové, Ph.D. za vedení a odborné rady. Za odborné konzultace dále děkuji Vicente Rojas a Jakub Neruda. Velké poděkování za podporu patří mé rodině a příteli.

Obsah

1	ÚVOD	10
1.1	Cíle této práce	11
2	TEORETICKÁ ČÁST	12
2.1	O společnosti	12
2.1.1	LDA	12
2.1.2	SIEMENS INNOMOTICS	12
2.1.3	Aktuální ekonomická situace	13
2.2	Výroba	13
2.2.1	Výrobní procesy	14
2.2.2	Řízení výroby	18
2.3	Plánování a simulace	19
2.3.1	Výhody simulace	19
2.3.2	Nevýhody simulace	19
2.3.3	Dassault Systèmes	20
2.3.4	Siemens Digital Industries	21
2.3.5	Petriho síť	22
2.4	Technologie lakování	23
2.4.1	Nátěry na vodní bázi	23
2.4.2	Nátěry na bázi rozpouštědla	24
3	METODICKÁ ČÁST	25
4	ANALYTICKÁ ČÁST	26
4.1	Výrobní program podniku	26
4.2	Stručný popis výrobního procesu	30
4.3	Detailní analýza procesů	31
4.3.1	Layout	31

4.3.2	Proces.....	32
4.3.3	Sběr dat	35
4.3.4	Zadávání práce	35
4.4	Petriho síť.....	35
4.5	Zhodnocení analytické části	40
5	NÁVRHOVÁ ČÁST	41
5.1	Formulace problému	41
5.2	Obsah a úroveň detailu modelu.....	42
5.3	Formulace cílů.....	42
5.4	Sběr, analýza a příprava dat pro simulaci	42
5.5	Návrh modelu.....	43
5.5.1	Popis použitých prvků	45
5.5.2	Metody	51
5.5.3	Popis metod.....	51
5.5.4	InitiazePaintShop	53
5.5.5	HandlePaintShopExit.....	53
5.5.6	HandleSmallPaintShopExit	53
5.5.7	SmallCraneLogic	53
5.5.8	EmptyAllStores.....	53
5.6	Simulace	54
5.6.1	Výsledky analýzy současného stavu.....	56
5.7	Experimenty s modelem.....	57
5.7.1	Experiment č. 1	57
5.7.2	Experiment č.2	58
5.7.3	Experiment č. 3	59
5.7.4	Experiment č. 4	60

5.7.5	Experiment č. 5	62
5.8	Vyhodnocení experimentů	62
6	ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ NÁVRHU ŘEŠENÍ	63
6.1	Další doporučení	64
7	ZÁVĚR	65
8	Seznam literatury	66
9	Využitý software	69
10	Seznam obrázků	70
11	Seznam grafů	71
12	Seznam tabulek	72
13	Přílohy	73
13.1	Použité metody	73
13.1.1	GetAvailableStoreArea	73
13.1.2	UpdateStats	73
13.1.3	UpdateIsDried	74
13.1.4	UpdatePaintIterations	75
13.1.5	GetRemainingIterationsCount	75
13.1.6	ComputePartColor	75
13.1.7	IsBigMotor	76
13.1.8	GetAvailableSmallStoreArea	76
13.1.9	CraneLogic	76
13.1.10	InitializePaintShop	80
13.1.11	HandlePaintShopExit	80
13.1.12	HandleSmallPaintShopExit	80
13.1.13	SmallCraneLogic	80
13.1.14	EmptyAllStores	81

13.2	Zakázková náplň.....	82
------	----------------------	----

1 ÚVOD

Ekonomické dopady covidové pandemie a bojů na Ukrajině mají nyní v roce 2023 za následek zpomalení investic. Zatímco se Evropa snaží s nastalou situací pracovat, válka na Ukrajině oproti pandemii nijak zásadně Asii ekonomicky neohrožuje. Evropské společnosti čelí stále ještě problémům v dodavatelsko-odběratelském řetězci, zvýšeným cenám energií a inflaci. Podniky upínají svoji pozornost k řešení nastalých problémů, mnoho investic právě z výše zmíněných důvodů nebylo uskutečněno nebo přinejmenším došlo k jejich odložení. Přestože si autorka této práce uvědomuje složitost celé situace, stále vidí potenciál v evropských podnicích ke zlepšování procesů, jejich zeštíhlování a optimalizaci výrobních toků. Avšak je zřejmé, že v nastalé situaci podniky zařadily stupeň sebezáchovy, tedy dělají to nejnutnější, aby byly schopny plnit své závazky.

I přes nepříznivou ekonomickou situaci je možné zlepšovat, a co víc, jedná se o nutnost! Zlepšováním zamezujeme plýtvání, zvyšujeme efektivitu, podnik je schopný dodat produkt včas a v požadované kvalitě. Prvky moderního řízení výroby využívají digitálních systémů a automatizace. Pokročilé softwarové nástroje a systémy umožňují sledování výrobních dat v reálném čase, sběr a analýzu informací o výrobních procesech a optimalizaci výrobního toku. Cílem zdravého podniku by mělo být zvyšování hodnoty a snižování nákladů, efektivněji plánovat výrobu, předvídat potřeby a provádět rychlé úpravy, aby se dosáhlo optimálního výkonu a minimalizovaly se prodlevy.

Zlepšování je nikdy nekončící proces. Pokud má být zlepšení v podniku pozitivní změnou, je nutné zapojit odborníky z různých oblastí. Protože se námi řešená problematika bude týkat německého výrobního podniku, bude se tato práce zaměřovat především na výrobní procesy. Pro zlepšení je zapotřebí multidisciplinarita. Podstatná je podpora podniku při provádění změn, znalost organizační struktury podniku, využití informačních systémů, výrobních a technologických procesů. Z předchozího výčtu vyplývá, že bez spolupráce nedojde k plnému využití potenciálu procesu zlepšování. Simulace procesů pomocí nástroje Plant Simulation umožňuje vizualizovat a optimalizovat výrobní tok a je vhodný pro plánování výroby.

1.1 Cíle této práce

Cílem diplomové práce je vytvoření modelu lakování a odkladových ploch pro závod v Norimberku. Simulace procesu lakování povede k možnosti analýzy současného procesu a k testování případných návrhů optimalizace. Přínosem řešení je také prezentace benefitů simulace pro plánování v reálném podniku. Vytvořený model vychází z detailní analýzy procesů. Pro simulaci a experimenty jsou využita historická data z ERP systému společnosti. Součástí návrhu je i vyhodnocení experimentů s modelem.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 O společnosti

Tato práce vznikla za podpory podniků Siemens Large Drives s.r.o. (Drásov, Česká republika) a závodu Siemens v Norimberku (Německo). Oba výše zmíněné závody patří do stejné skupiny. Název tohoto uskupení se v posledních letech několikrát změnil. V této části bude popsána role Siemens AG, uskupení Siemens LDA, Innomotics.

Siemens AG je konglomerátní společnost patřící mezi největší výrobce na světě. Siemens byl založen Wernerem von Siemensem v Berlíně roku 1847. [1]

Siemens a jeho dceřiné společnosti zaměstnávaly k roku 2022 na 311 000 lidí v téměř všech zemích světa. Tato technologická skupina se věnuje následujícím segmentům: Digital Industries, Smart Infrastructure, Mobility, Siemens Healthineers. Zároveň také zastřešuje tzv. Portfolio Companies, které sice působí samostatně, ale jejich vlastníkem je mnohdy většinově Siemens AG. [2]

2.1.1 LDA

V roce 2022 došlo ve společnosti Siemens AG k vyčlenění několika společností ze struktury Siemens AG, tento proces je označován jako "carve out". Large Drives Applications) má závody v Berlíně, Norimberku (Německo), Drásově (Česko), Norwoodu (USA) a Číně. [3] Organizační změna se dotkla více jak 7 000 Siemens zaměstnanců po celém světě. Právě tuto část portfoliových společností se Siemens AG rozhodl rozdělit do samostatných právních subjektů. [5]

Společnosti v tomto celku navrhují a vyrábí vysokonapěťové elektromotory, měniče a generátory. Ty tvoří základy pohonných systémů, které jsou optimálně navrženy pro širokou škálu průmyslových odvětví a aplikací např. lodě, doly, válcovny. [4]

2.1.2 SIEMENS INNOMOTICS

Nová struktura Siemens Innomotics vznikla 1. října 2023 se sídlem v Norimberku. Společnost nabízí end-to-end portfolio nízkonapěťových až vysokonapěťových motorů, motorů s převodovkou, středněnapěťové měniče a motorová vřetena. Zaměstnává na

čtrnáct tisíc lidí po celém světě s příjmem přibližně 3 miliardy eur. Od 1. července 2023 bude společnost Innomotics v Německu působit jako právnická osoba, samostatná, plně vlastněná dceřiná společnost společností Siemens AG. [6]

2.1.3 Aktuální ekonomická situace

V roce 2023 je ekonomická situace stále ještě ovlivněna dopady, které způsobila pandemie Covid 19, aktuální válka na Ukrajině a zpomalení hospodářského růstu v Číně. [2]

Právě pandemie, omezení s ní spojená, znovuoživení spotřebitelských výdajů, stimulační balíčky a narušení dodavatelského řetězce mělo za důsledek inflaci nejprve v USA a následně v Evropě, kde byla navíc doprovázena zvýšením cen energií. Válka na Ukrajině jednoznačně negativně zasáhla evropskou ekonomiku a vytvořila další tlak na rozvojové ekonomiky na dovoz obilí a hnojiv, jejíž hlavními dovozci byly před válkou právě Ukrajina a Rusko. Čínská politika a přísné restriktce spojené s variantami pandemie zatížily hospodářskou činnost do takové míry, že měly negativní dopad na globální dodavatelské řetězce. Na zpomalení čínské ekonomiky má velký vliv také recese v realitním sektoru. Proti inflačním tlakům a růstu cen nejprve zasáhl Federální rezervní systém snížením peněžní zásoby a zvýšením úrokové sazby, na které následně reagovala Evropská centrální banka zpřísnováním měnové politiky. Momentálně se na nadcházející období počítá s růstem v nízkých jednotkách procent. [2]

2.2 Výroba

Výroba je proces transformace výrobních faktorů do ekonomických statků a služeb, které následně procházejí spotřebou. Mezi základní výrobní faktory patří půda, práce, kapitál, a informace. Podnik by měl usilovat o dosažení stavu, kdy jsou všechny výrobní zdroje využívány efektivně. Efektivnost znamená vyloučení plýtvání s omezenými zdroji. Výrobní zdroje rozdělujeme na transformované (materiál, informace, zákazníci) a transformující (zařízení, personál). [7]

Součástí výrobního systému jsou jak technologické prvky (stroje a nástroje), tak organizační (dělba práce, tok informací). Podnikatelským cílem společnosti v tržní ekonomice je tvorba zisku. Hlavními technikami k dosažení těchto cílů v podniku je průmyslové inženýrství, nástroje managementu a metody štíhlé výroby. Ve výrobních

podnicích je cíleno na propojení výrobních a pomocných prostředků, vysokou produktivitu, pružnost výroby a nejvýhodnější poměr mezi časem výroby a využitím strojů. O konkurenčních výhodách podniku rozhodne efektivita celého systému a správná integrace lidí, materiálů a informací.

2.2.1 Výrobní procesy

Výrobní systém je uskutečňován výrobním procesem. Výrobní proces je determinován daným výrobkem, službou, variací a množstvím, použitými technologiemi, uspořádáním a organizací výroby. V neposlední řadě stabilitou a schopností reagovat na poptávku. Výrobní proces úzce souvisí s ostatními firemními procesy. Pokud chápeme výrobní systém jako integraci firemních funkcí a procesů, přistupujeme k řešení problémů koordinovaně.

Charakter výroby (služby), trhu, objemu výroby a charakter poptávky, použití technologií a mnoho dalšího určují uspořádání, strukturu a řízení výrobních systémů. Podle míry plynulosti výrobního procesu se výroba dělí na: plynulou a přerušovanou.

Při rozhodování o tom, zda bude výroba plynulá nebo ne rozhodují ekonomické aspekty a technologický proces. Plynulá výroba běží nepřetržitě, přes víkendy, noci, svátky. Hlavní nevýhodou jsou především náklady. Přerušovaný pracovní proces je výhodnější nejen pro zaměstnance z hlediska hygieny práce, ale i pro stroje a plánování údržby, je zde také prostor pro nápravu výpadků a poruch. Na druhou stranu, přerušovaný výrobní proces prodlužuje průběžné doby výroby, zvyšuje výrobní zásoby, vyvolává kolísání výkonnosti a popř. i kvality, což velmi často vede ke zvyšování výrobních nákladů. [7]

Podle množství a počtu druhů výrobků:

- kusová, resp. malosériová
- sériová
- hromadná

Hlavními rozdíly mezi sériovou a kusovou výrobou je velikost zpracovaného množství (sérií) výrobků, charakter uspořádání a využívání strojního vybavení, specializace pracovníků. V sériové výrobě dochází k automatizaci strojů, snižování pracovní síly a uspořádání pracovišť do linek, kde výstupy jednoho pracoviště jsou vstupy pro pracoviště následující. [7]

Uspořádání výroby	Uspořádání výrobních pracovišť
project	fixed position
jobbing	process layout
batch	cell layout
mass	product layout
continuous	

Obrázek 1: Souvislost mezi volbou uspořádání výroby a uspořádáním pracovišť [7]

Kusová výroba je buď opakovatelná nebo neopakovatelná. Pokud se výroba uskutečňuje na základě objednávek zákazníků, jedná se o výrobu zakázkovou. Rozlišujeme tři druhy zakázkové výroby v anglické literatuře:

- project
- jobbing
- batch

Project má stanovený svůj termín zahájení a ukončení a vyčleněny vlastní výrobní zdroje, např. výstavba osamocené výrobní domku. Jobbing, kdy několik současně vyráběných různých výrobků sdílí výrobní zdroje např. výstavba sídliště různých rodinných domků jednou firmou. V případě, kdy se jedná o výrobu stejných výrobků v dávkách, např. výstavba panelového domu s byty, jedná se o typ výroby batch. [7]

Časové hledisko výrobního procesu zahrnuje následující aspekty řízení výroby:

- **časové uspořádání výrobního procesu** – stanovení posloupnosti operací
- **výrobní a dopravní dávky**
- **průběžná doba výroby** – plánovaný čas výroby na daný výrobní proces
- **směnnost** – ukazatel, v kolika pracovních směnách pracovního dne je výroba vykonávána
- **využití výrobních kapacit** – výrazně ovlivňuje ekonomiku výrobních procesů
- **prostoje pracovišť** – tzn. časové intervaly, ve kterých některá pracoviště z nějakého důvodu nepracují
- **rozpracovaná výroba** – nedokončené výroby, je měřena peněžním vyjádřením hodnoty zdrojů vázaných v procesu výroby. Cílem je tuto hodnotu minimalizovat. Odborníci odhadují, že rozpracovanost v českých podnicích je 3x větší než u jiných konkurentů průmyslově vyspělých zemích.

Pro řízení výroby je nutné řešit provázanost prostorového a organizačního uspořádání. Rozhodující jsou kritéria materiálového toku a druh uspořádání pracovišť.

Kritéria materiálového toku:

- rychlost
- vzdálenost
- plynulost přepravy

Uspořádání pracovišť:

- s pevnou pozicí výrobku (fixed position)
- technologické uspořádání pracovišť (process layout)
- buňkové uspořádání (cell layout)
- předmětné uspořádání (product layout)

Výhody uspořádání pracovišť zobrazuje tabulka níže viz. Tabulka 1: Nejdůležitější výhody a nevýhody jednotlivých způsobů uspořádání pracovišť.

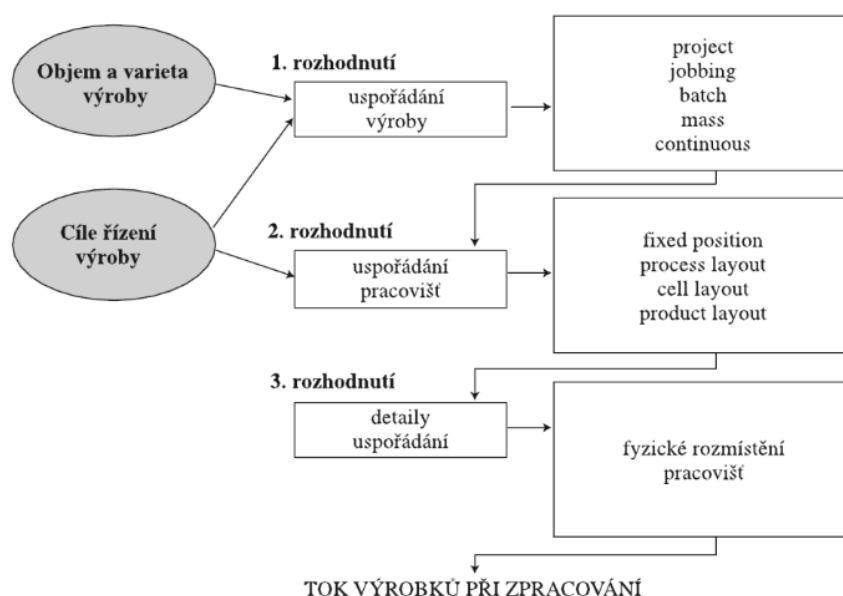
	<i>Fixed position</i>	<i>Process layout</i>	<i>Cell layout</i>	<i>Product layout</i>
<i>Výhody</i>	Velmi vysoká výrobová flexibilita	Vysoká výrobová flexibilita	Rychlý průchod Dobré podmínky pro personál	Nízké jednotkové náklady Specializace zařízení a personálu Vysoká produktivita
<i>Nevýhody</i>	Vysoké jednotkové náklady Plánování operací může být obtížné	Nižší využití výrobních zdrojů (rozprac. výroba) Komplikované toky materiálu	Při změnách může být velmi nákladné Vyšší potřeba prostoru	Nepružnost Malá odolnost proti poruchám Neatraktivní charakter práce

Tabulka 1: Nejdůležitější výhody a nevýhody jednotlivých způsobů uspořádání pracovišť [7]

Rozhodování o uspořádání výroby a pracovišť by měla být propojena dle Obrázek 1: Souvislost mezi volbou uspořádání výroby a uspořádáním pracovišť a Obrázek 2: Souvislost mezi objemem výroby, cíli řízení a typem výroby. Nejvíce o rozložení výroby rozhoduje objem a varieta vytyčených cílů řízení výroby. Rozhodování o uspořádání pracovišť má vycházet z výsledků rozhodnutí o uspořádání výroby a zohlednit i cíle řízení výroby. Souvislost mezi uspořádáním výroby a výrobních pracovišť zobrazuje Obrázek 1: Souvislost mezi volbou uspořádání výroby a uspořádáním pracovišť

2.2.2 Řízení výroby

Řízení výroby se snaží dosáhnout optimálního fungování výrobního systému s ohledem na vytyčené cíle. Součástí výrobního procesu jsou: provozní prostory, nezbytná technická zařízení, suroviny, polotovary, energie, informace, pracovníci, rozpracované a hotové výrobky a odpady. V řízení výroby je podstatné sladit jak věcné, prostorové a časové činitele, tak koordinaci dalších činitelů podílejících se na výrobě. Společnost, tedy její management by měl definovat celkové, všeobecné a specifické cíle firmy pro jednotlivé podstatné oblasti její činnosti. Rozlišujeme tři úrovně řízení a to strategické, taktické a operativní. Cíle podle časového horizontu se dále dělí na dlouhodobé, střednědobé a krátkodobé. Nejdůležitější jsou cíle strategické, ty určují dlouhodobý úspěch firmy, pokud se krátkodobě nedaří naplňovat cíle ani z osmdesáti procent. Obecně platí, že by určené cíle měly být prakticky využitelné, vyjádřeny konkrétně a jednoznačně, aby později mohlo dojít k hodnocení jejich naplňování. Strategické cíle by měly být formulovány tak, aby díky nim byla zajištěna výhodnější pozice nad konkurencí. Dále by tyto cíle měly být reálné, ale zároveň stimulující k lepší efektivitě a v neposlední řadě by jejich stanovení mělo vést ke stabilnímu vývoji.



Obrázek 2: Souvislost mezi objemem výroby, cíli řízení a typem výroby [7]

2.3 Plánování a simulace

Díky digitálním modelům a simulacím můžeme zohlednit informace, které se jinak v plánovacím procesu velice těžko zohledňují. Velkou výhodou je, že plán výroby může být otestován dříve, než započne. Diskrétní simulace mohou být doplněny o finanční analýzu. Vždy musí být vymezen daný časový úsek, je zapotřebí znalosti produkce a v neposlední řadě se často nejedná o rutinní záležitosti (např. přesčasy). [10]

V rámci těchto simulací se menší týmy inženýrů snaží odpovědět na to, co se stane, pokud budou dané změny aplikovány [11], jaká jsou slabá místa [12] a jak scénáře ovlivní celý systém [13]

Pro malé a střední podniky je komplikované zavádět simulace především kvůli času, finančním prostředkům a kvalifikovaným pracovníkům. Tyto faktory jim znemožňují využít matematického programování nebo umělé inteligence. Malé a střední podniky by rády implementovaly změny, které souvisí s konceptem Průmysl 4.0. Díky simulacím je možné zjistit, jaký důsledek tyto změny budou mít. [10]

2.3.1 Výhody simulace

Bezespornou výhodou simulací je možnost nasimulovat a provést experimenty i složitého systému. Hypotézy lze testovat pravidelně a získat odpovědi na otázky proč a jak dochází k určitým jevům. Díky možnosti manipulovat s časem je možné zrychlit a zpomalit zkoumání jevů. Již při sběru informací a navrhování modelu dochází ke zjištění poznatků, které mohou zlepšit celý systém. Vyhodnocení různých okolností simulace pomocí změny vstupů a pozorováním výsledných výstupů může přinést cenné poznatky o tom, které proměnné jsou nejdůležitější. Nové návrhy fyzického uspořádání, popř. funkcionality lze provést, aniž by se musely alokovat zdroje na pořízení. Simulace pomáhá při formulaci a ověřování projektů, analytických řešení. [20]

2.3.2 Nevýhody simulace

Vždy záleží na konkrétním zadání, ale pro práci se simulacemi je zapotřebí vstupního školení kvalifikovaných pracovníků. Velmi často se pokoušíme získat poznatky pomocí simulace. Ty se ale posléze ukážou jako marné, kvůli nejednoznačným modelům vycházejícím ze špatně formulovaného zadání. Je nutné věnovat pozornost validitě modelu,

aby bylo zřejmé, do jaké míry vychází pozorování výsledkem systému, vzájemných vztahů nebo náhodných vstupů. Simulační modelování a analýza mohou být časově náročné a nákladné, vždy záleží na konkrétním případě a na zadání. [20]

2.3.3 Dassault Systèmes

Dassault Systèmes je francouzská softwarová společnost, která poskytuje řadu softwarových řešení pro návrh, simulaci, analýzu a řízení výrobků. Zde jsou některé ze softwarových produktů nabízených společností Dassault Systèmes. [6]

CATIA

Softwarový balík pro počítačem podporované navrhování (CAD), který se používá pro navrhování a konstrukci výrobků. Poskytuje nástroje pro 3D modelování, simulaci a analýzu a také pro výrobu a správu dat. [6]

SOLIDWORKS

Sada 3D CAD softwaru určená pro strojírenství a navrhování výrobků. Poskytuje nástroje pro modelování, simulaci a vizualizaci a také správu dat a spolupráci. [6]

SIMULIA

Simulačního software, který poskytuje pokročilé nástroje pro analýzu a modelování pro širokou škálu aplikací, včetně stavební mechaniky, dynamiky tekutin, elektromagnetismu a dalších. [6]

DELMIA

Jedná se o sadu softwaru pro digitální výrobu, která poskytuje nástroje pro virtuální výrobu a simulaci výrobních procesů. Pomáhá organizacím optimalizovat výrobní procesy, zlepšovat kvalitu a snižovat náklady. [6]

ENOVIA

Software pro správu životního cyklu výrobku (PLM), která poskytuje nástroje pro správu dat o výrobku, procesů a spolupráci v celém životním cyklu výrobku. [6]

3DEXPERIENCE

Cloudová platforma poskytující řadu softwarových aplikací pro návrh, simulaci, výrobu a spolupráci na výrobcích. Umožňuje organizacím spravovat produktová data a procesy v jednotném prostředí a poskytuje nástroje pro analýzu a vizualizaci dat. [6]

2.3.4 Siemens Digital Industries

Součástí společnosti Siemens Digital Industries Software je nyní Siemens PLM Software, který poskytuje širokou škálu softwarových řešení pro řízení životního cyklu výrobku (PLM). Příklady některých softwarových produktů, které Siemens Digital Industries Software nabízí v rámci PLM. [8]

Teamcenter

Jedná se o komplexní softwarové řešení PLM, které poskytuje možnosti správy životního cyklu dat a procesů výrobku, včetně návrhu, výroby, simulace a servisu. [8]

NX

Jedná se o výkonnou softwarovou sadu pro počítačem podporované navrhování, výrobu a inženýrství (CAD/CAM/CAE), která umožňuje vývojovým týmům navrhovat, simulovat a vyrábět výrobky. [8]

Tecnomatix

Tento softwarový balíček poskytuje digitální výrobní řešení, která pomáhají optimalizovat výrobní procesy a zvyšovat kvalitu, efektivitu a produktivitu. [8]

Simcenter

Tato sada simulačního a testovacího softwaru poskytuje nástroje pro virtuální testování a analýzu výkonnosti výrobků v široké škále průmyslových odvětví. [8]

Polarion

Jedná se o softwarové řešení pro správu životního cyklu aplikací (ALM), které pomáhá organizacím řídit celý životní cyklus vývoje softwaru a systémů. [8]

Process Simulate

Process Simulate je digitální modelovací a simulační nástroj pro virtuální zprovoznění a optimalizaci výrobních systémů. Umožňuje uživatelům vytvářet modely jejich výrobních procesů, včetně robotů, výrobních linek a systémů pro manipulaci s materiálem, a simulovat jejich chování s cílem identifikovat potenciální problémy, optimalizovat procesy a snížit rizika. Pomocí nástroje Process Simulate mohou uživatelé simulovat a ověřovat své výrobní systémy před jejich zavedením do fyzického světa, což zkracuje dobu a snižuje náklady spojené s fyzickým uvedením do provozu a zlepšuje celkovou výkonnost systému. [8]

2.3.4.1 Plant Simulation

Tecnomatrix Plant Simulation je nástroj určený pro dynamickou simulaci diskrétních událostí. Umožňuje vytvářet modely výrobních a logistických systémů. Tímto nástrojem lze charakterizovat systémy a následně je optimalizovat. Lze tak provádět scénáře tzv. experimenty „Co se stane, když...“ a dané scénáře otestovat před tím, než jsou změny promítnuty do výrobního či logistického toku. Pomocí tohoto nástroje je uživatel schopen lépe rozpoznat úzká místa ve výrobě a následně je eliminovat. Pro své vlastnosti je vhodný pro plánování a řízení výroby tak, aby maximalizoval využití zdrojů při změnách vstupů. Simulace je vyhodnocena pomocí statistických, analytických a grafických nástrojů, která usnadňují opodstatnění strategických rozhodnutí. Stejně tak jako NX, Team Center. [9]

2.3.5 Petriho síť

Petriho síť byly nejprve využity v disertační práci Carla Adama Petriho v roce 1962. Často jsou tyto sítě využívány k pochopení konceptu. Jedná se jak o grafické zakreslení, tak o matematický model diskrétních distribuovaných systémů, ale jsou i přímo simulovatelné. Petriho sítě jsou obecně využívány v mnoha odvětvích. [14]

Petriho síť obsahují místa (p) a přechody (t) a hrany, spojující místa s přechody. Z jednoho místa do jiného se dá dostat pouze přes přechod. Místa mají libovolný počet teček neboli tokenů, které jsou odpalovány přechody ze vstupních míst. Přechod se může spustit jen za předpokladu, že je v každém ze vstupních míst alespoň jedna tečka. Po

odpálení jsou tečky odebrány ze vstupního místa, jsou provedeny výpočetní úlohy a zvolený počet teček se vloží do každého výstupního místa. [14]

Petriho sítě lze považovat za předchůdce modelovacích diagramů, mezi které se řadí diagram EPC (z angl. *Event Driven Process Chains*), které využívá mj. Sada nástrojů Aris pro modelování podnikových procesů, dále diagram aktivit UML (z angl. *Unified Modeling Language*). [14]

2.4 Technologie lakování

Nátěry jsou často pojmenovány dle pojiva nebo pryskyřice, ze kterého jsou vyrobeny – např. epoxidy, alkydy a uretany jsou některé z pryskyřic, které propůjčují nátěrům svůj název. Součástí povlaků jsou nejen částice, které propůjčují svoje vlastnosti a pigmenty, ale také je zde obsažen prvek – zkapalňovací činidlo, který je schopný vše rozpustit do kapaliny pro snadnou aplikaci. Zkapalňovací činidlo má buď formu vody, nebo chemického rozpouštědla, odtud termín „na vodní bázi“ a „na bázi rozpouštědla“.

2.4.1 Nátěry na vodní bázi

Tento nátěr je vhodný pro svoji nízkou hladinu zdraví škodlivých výparů, které jsou pro pracovníky nepříjemné, a v případě nedodržení zásad BOZP může být odpařování rozpouštědel až zdraví ohrožující. V případě nátěru palivových nádrží, železničních cisternových vozů atd., které se shromažďují v omezeném prostoru, jsou nátěry na vodní bázi vhodné především pro svoji vlastnost snižovat koncentraci hořlavých materiálů. Nicméně tento druh nátěru nutně nemusí obsahovat nulové procento rozpouštědel. Mohou obsahovat pomocná rozpouštědla, nebo rozpouštědla přítomná v nižších koncentracích. Důvodem jejich přítomnosti je vytlačení zbytku vody z nátěru při schnutí. Obecně tyto nátěry na vodní bázi obsahují méně VOC (z angl. *volatile organic compounds*).

Nátěry na vodní bázi také představují výzvu pro fázi přípravy povrchu projektu nátěru. Voda, i když je v některých situacích slibnou náhražkou rozpouštědel, je také klíčovou složkou procesu koroze. Pokud se voda dostane do kontaktu s podkladem před nanášením nátěru, mohou se začít objevovat bodová rezivění. Aby tomu tak nebylo, musí být nátěry na vodní bázi tvořeny tak, aby veškerá voda byla stažena přes povrchový film dříve, než dojde ke korozi. U nátěrů na bázi rozpouštědel se nebere v úvahu.

2.4.2 Nátěry na bázi rozpouštědla

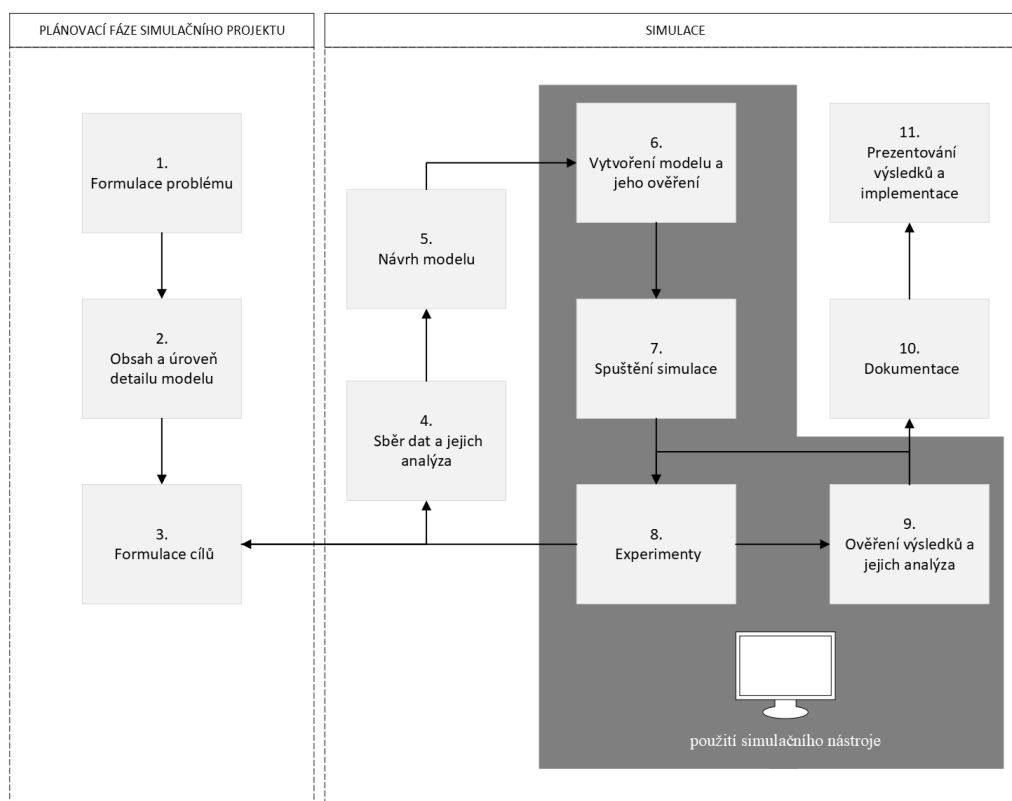
Barvy na bázi rozpouštědla se skládají ze zkapalňovacích činidel, které se mají odpařovat chemickou reakcí s kyslíkem. Pohyb vzduchu obklopující povlak na bázi rozpouštědla obvykle pomůže urychlit reakci a zkrátit dobu schnutí. Oproti nátěrům na vodní bázi mají tyto nátěry tu výhodu, že jsou méně náchylné na okolní podmínky, jako je teplota a vlhkost během fáze vytvrzování. Vlhkost může zabránit odpařování vody v nátěru na bázi vody, což je v některých klimatických podmínkách činí nepraktickými. [15]

Podniky se čím dál více přiklání k využití tohoto druhu nátěru, neboť jeho využití je vhodnější pro životní prostředí. Většina rozpouštědel se odpařuje na těkavé organické sloučeniny tzv. VOC (z *angl. volatile organic compounds*). Emisí VOC se od roku 1999 zabývá Evropská komise. VOC limity se měří a kontrolují, neboť se řadí k látkám, které znečišťují životní prostředí. Poplatky související s vypouštěním VOC dlouhodobě rostou, vzniká tak tlak na podniky tyto emise snižovat. V případě nedodržení limitů VOC jsou podniky pokutovány. [16]

3 METODICKÁ ČÁST

Proces vytváření simulace je komplexní a časově náročný proces. Simulační projekt můžeme rozdělit do 11 základních kroků. [17] Tyto kroky lze obecně rozdělit na 2 fáze: na fázi plánovací a na samotnou tvorbu simulace viz. Obrázek 3: Metodika Simulace (Vlastní zpracování dle [17]), jsou součástí fáze plánovací, body 3. - 11. se týkají samotné tvorby simulace. Dílčí kroky byly blíže popsány autorkou této práce v bakalářské práci. [18]

Simulace je často zaměřována s modelem, avšak simulace je výsledkem modelu, který vzniká jako první. Ten je následně použit k simulačním studiím. Běžně se simulují buď historická data, nebo data, která mají výstup předpovědět. [19]



Obrázek 3: Metodika Simulace (Vlastní zpracování dle [17] [21])

4 ANALYTICKÁ ČÁST

V této části je představen výrobní program podniku, dále je stručně popsán výrobní postup pro přehlednost. Následně je věnována kapitola detailní analýze procesu, který má být simulován, je popsán a nakreslen layout pracoviště, proces je zmapován a zobrazen v procesní mapě. Dále je proveden sběr dat a zjištěn způsob zadávání práce, jsou popsány Petriho sítě. Petriho síť je nástroj, který v tomto případě napomáhá rozkrýt fungování logiky procesu lakování.

4.1 Výrobní program podniku

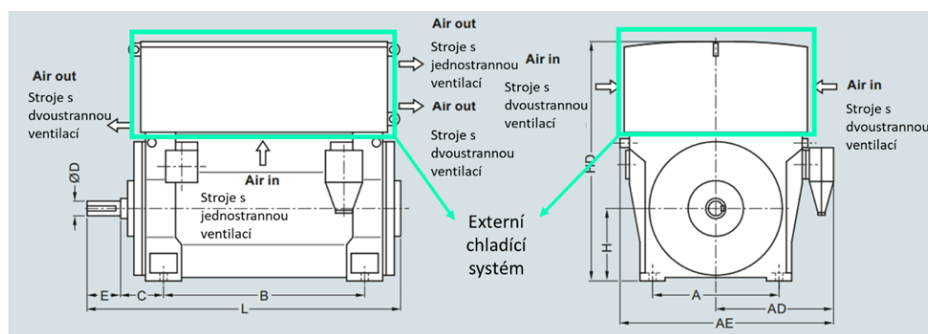
Portfolio LDA je široké, proto je rozděleno mezi pět výrob. Norimberská výroba (Německo) se zabývá následujícími typy motorů uvedených v Tabulka 2: Výrobní program Motory mohou být kompaktní nebo modulární. Kompaktní motory jsou katalogové řešení, naopak modulární motory jsou pro zákazníky se specifickými potřebami. Součástí modulárního řešení je externí chladicí systém, kde je možné vybírat si z chlazení vodou či vzduchem. Shaft height je výška od země po střed rotoru. Pro tuto práci se jedná o jeden z nejpodstatnějších údajů. Tato hodnota odkazuje na velikost a výkon motoru.

Tabulka 2: Výrobní program (vlastní zpracování)

Shaft Height[mm]	Typ napětí	Název
400 - 560	vysoké	SIMOTICS HV C new version
310 - 500	vysoké	SIMOTICS HV C
450 - 630	vysoké	SIMOTICS HV M
400, 450	nízké	SIMOTICS T
400, 450	nízké	SIMOTICS SD
450-560	nízké, vysoké	SIMOTICS flameproof
350	Nízké	SIMOTICS M

Simotics HV C new version je nový typ a nástupce HV C, tyto typy mají z historického hlediska podobné rozměry.

Stroje mohou být uloženy na odkladovou plochu vertikálně nebo horizontálně. V případě horizontálního uložení, bereme v potaz shaft height – rozměr H v Obrázek 4: Rozměry motoru.



Obrázek 4: Rozměry motoru (zpracováno dle prezentace společnosti Siemens)

SIMOTICS HV C

Jedná se o motor s unikátně řešeným chlazením. V roce 2018 vyhrál cenu Red Dot Award 2018 v oblasti průmyslového designu a je zobrazen na Obrázek 5: zleva SIMOTICS HV C a) air-cooled b) flameproof c) water jacket-cooled (z prezentace společnosti Siemens)



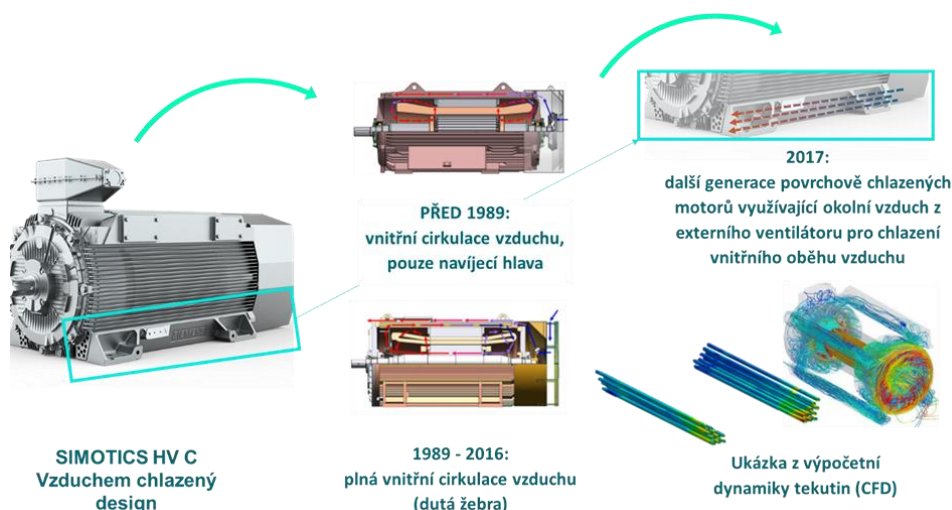
Obrázek 5: zleva SIMOTICS HV C a) air-cooled b) flameproof c) water jacket-cooled (z prezentace společnosti Siemens)

SIMOTICS HV C flameproof

Motory SIMOTICS HV C odolné vůči výbuchu nabízí nízkou úroveň vibrací a hlučnosti. Robustní provedení tohoto modelu zaručuje dlouhou životnost. Krytí IP až do IP6 umožňuje využít tento typ v chemickém, petrochemickém, plynárenském průmyslu, ale také v průmyslu námořním. Své využití nachází jako čerpadla, ventilátory a kompresory.

SIMOTICS HV C air-cooled

Tento typ Obrázek 6: SIMOTICS HV C air-cooled (zpracováno dle prezentace společnosti Siemens) je vhodný pro aplikace v extrémních prostředích a teplotách, výbušná prostředí. Disponuje nízkou hladinou hluku a vibrací. Splňuje všechny hlavní specifikace pro využití v ropném a plynárenském průmyslu. Je vhodný pro využití jako čerpadla, ventilátory a kompresory, stejně jako drtiče a dopravníky. Lze ho doporučit do následujících odvětví: petrochemický, těžební, námořní, vodní a odpadní hospodářství, energetický průmysl, výroba cementu, papíru a strojů při výrobě železa.

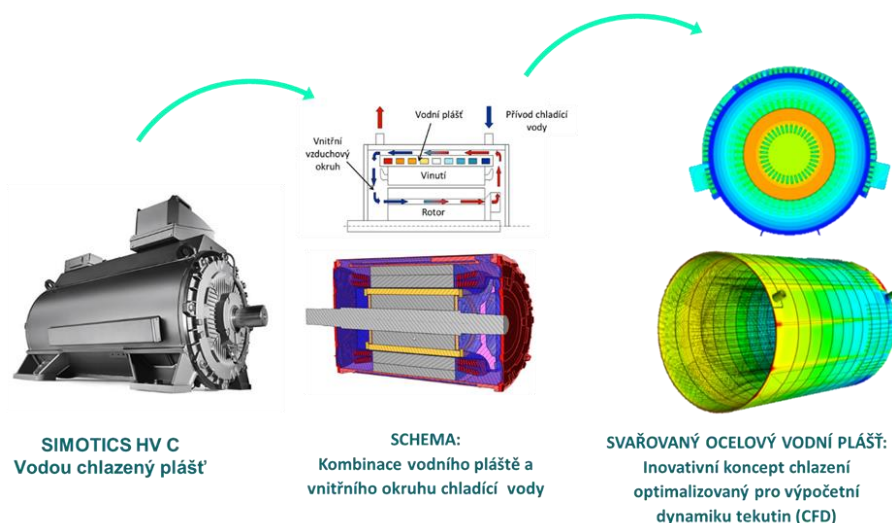


Obrázek 6: SIMOTICS HV C air-cooled (zpracováno dle prezentace společnosti Siemens)

SIMOTICS HV C water jacket-cooled

Inovativní koncept chlazení Obrázek 7: POPIS: SIMOTICS HV C water jacket-cooled (zpracováno dle prezentace společnosti Siemens) optimalizovaný pro výpočetní dynamiku tekutin (CFD) zlepšuje rozložení teploty a lepší odvod tepla, zvýšený výkon. V neposlední řadě jsou u tohoto typu sníženy nároky na prostor. Pro svůj inovativně řešený vodní plášť je vhodný do námořního průmyslu, chemického a těžebního, ve

výrobách papíru a také železa. Primární aplikace jsou: předřové trysky, hlavní pohony, kompresory, mixéry, extrudéry a ocelárny.

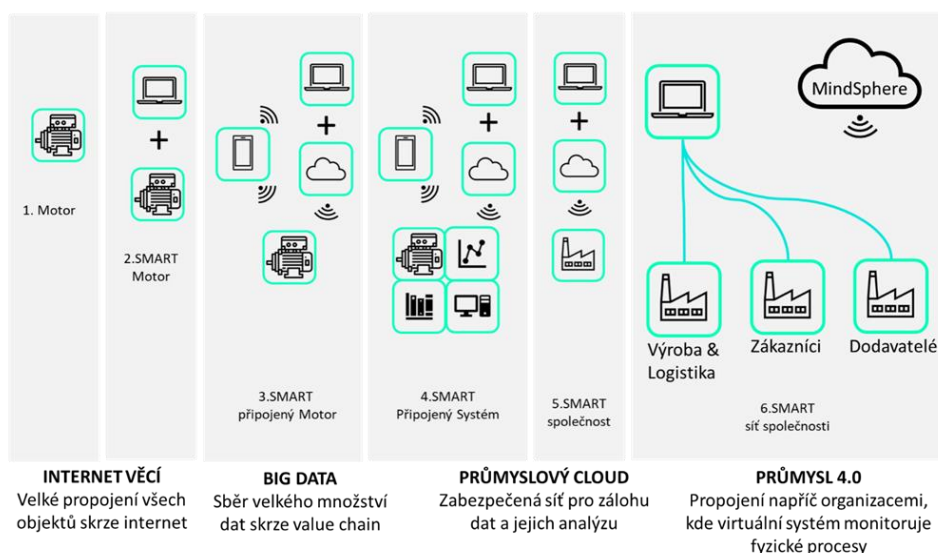


Obrázek 7: POPIS: SIMOTICS HV C water jacket-cooled (zpracováno dle prezentace společnosti Siemens)

Zaměřuje se na jeřáby a kladkostroje, kompresory, čerpadla a ventilátory. Je vhodný do následujících odvětví: Ohřivače, Ventilátory a klimatizace, námořní, těžební, chemický, petrochemický průmysl a textilní průmysl.

SIMOTICS SD

Tento typ byl vyvinut tak, aby bylo možné využít benefitů digitalizace a zákazník tak mohl optimalizovat celkové zapojení do systém. Spolu s motorem je vytvořen 2D výkres, 3D model, FEM analýza a model je podroben simulaci. DataMatrix-Code + Aplikace pro Simotics SD činí data transparentní. Tento přístup usnadňuje uvedení do provozu (nachází se zde manuály, potřebné certifikáty a také digitální jméno). Je počítáno se snadným objednáním náhradních motorů a náhradních dílů. Smart Motor Koncept zlepšuje výkon a provozuschopnost stroje díky nepřetržitým řízením motoru. Díky optimalizaci a sběru dat lze nastavit servis stroje na vhodný okamžik. Tento moderní koncept je dokreslen na Obrázek 8: Koncepte SIMOTICS SD new generation (zpracováno dle prezentace společnosti Siemens)



Obrázek 8: Koncepce SIMOTICS SD new generation (zpracováno dle prezentace společnosti Siemens)

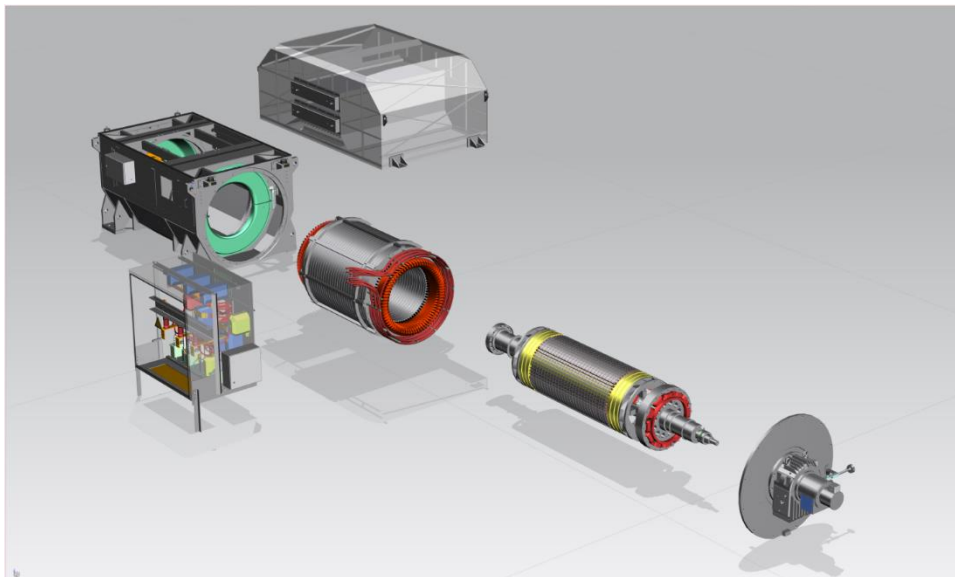
4.2 Stručný popis výrobního procesu

Pro stručnost je v této části diplomové práce velmi obecně popsán elektrický točivý stroj a výrobní proces pro lepší pochopení detailní analýzy. Obecně můžeme říct, že se elektrický točivý stroj skládá z mechanické konstrukce, z elektrického obvodu, magnetického obvodu a chlazení. Elektrický a magnetický obvod nám dává vzniknout motoru, který se skládá ze statoru a rotoru. Jak stator, tak rotor má své vlastní jádro a vlastní cívky, přičemž rotor upevněn na hřídeli je vložen do statoru, který je upevněn v kostře viz. Obrázek 9: Popis elektrického točivého stroje. Po vyrobení všech částí a montáži motoru dochází k finálním elektrickým zkouškám – k elektrickému testování. Po elektrických zkouškách dochází k nalakování vnější části motoru. Důvodů, proč dochází k lakování motoru je hned několik:

- Ochrana proti korozi
- Ochrana proti poškrábání
- Různé laky do různého prostředí (rozdíl mezi pouští či mořem)
- Přehlednost – např. aby bylo na první pohled znát, kolik motorů je v přídi lodi
- Estetická činnost – mnohdy zákazník vyžaduje z různých důvodů určitou barvu

- Bezpečnostní – v případě, že jde vidět např. podkladová barva, je zřejmé, že svrchní vrstva byla narušena a je nutné řešit zavčas, aby nedošlo k narušení funkce motoru.

Po lakování je motor zkontrolován a připraven na expedici. Více o procesu lakování, který je podstatou této diplomové práce bude zmíněno v další kapitole.



Obrázek 9: Popis elektrického točivého stroje (vlastní zpracování)

4.3 Detailní analýza procesů

Před vytvořením vlastní simulace je nutné provést observaci a zjistit informace, které se týkají procesu. Je nutné znát layout, jakým způsobem se provádí plánování, odkud se získávají data. Jaký proces vlastně bude simulován a jaké další procesy jsou před a za námi vytyčeným procesem. V následujících kapitolách budou tyto informace shrnuty.

4.3.1 Layout

Layout pracoviště je klíčovým vstupem do simulace viz. Obrázek 10: Layout pracoviště lakovny (vlastní zpracování). Jak bylo řečeno výše, bylo určeno, že proces lakování začíná elektrickou zkouškou, resp. elektrickým testováním. Produkt vstupuje nejprve do prostoru určenému pro elektrické testování, souhrnně se zde nachází tato místa dvě. Z elektrického testování putuje produkt do Zóny 1 pomocí Jeřábu 2, následně je buď umístěn do Velké lakovny nebo do Malé lakovny, dle parametrů. Malá lakovna má svoji

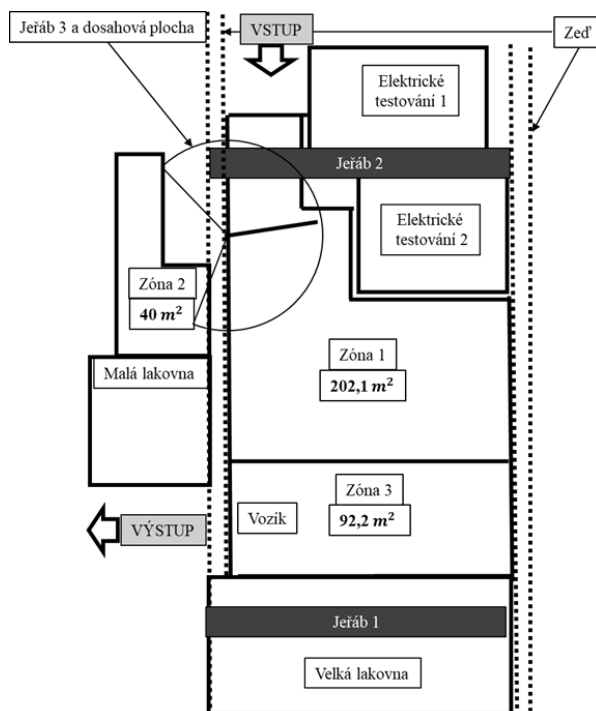
vlastní odkladovou plochu Zónu č. 2. Vzhledem k tomu, že se Malá lakovna nachází pod galerií, musí být ze Zóny 1 výrobek přemístěn pomocí Jeřábu 3. Zóna 3 bývá většinu času využívána jako Zóna 1, jedná se tudíž také o odkladovou plochu. Avšak na konci směny jsou nachystány hotové výrobky právě do této zóny, aby mohlo dojít k následnému vyvezení.

4.3.2 Proces

Proces je zakreslen pomocí diagramu BPMN 2.0 v softwaru Bizagi Modeler viz.

Obrázek 11: Proces lakování. Smontovaný motor je podroben elektrické zkoušce na pracovišti elektrické testování 1 nebo 2. V našem případě pracoviště nerozlišujeme. Po elektrické zkoušce je motor přesunut jeřábem do centrálního skladu. V dalším procesu se rozlišuje hodnota Shaft height motoru.

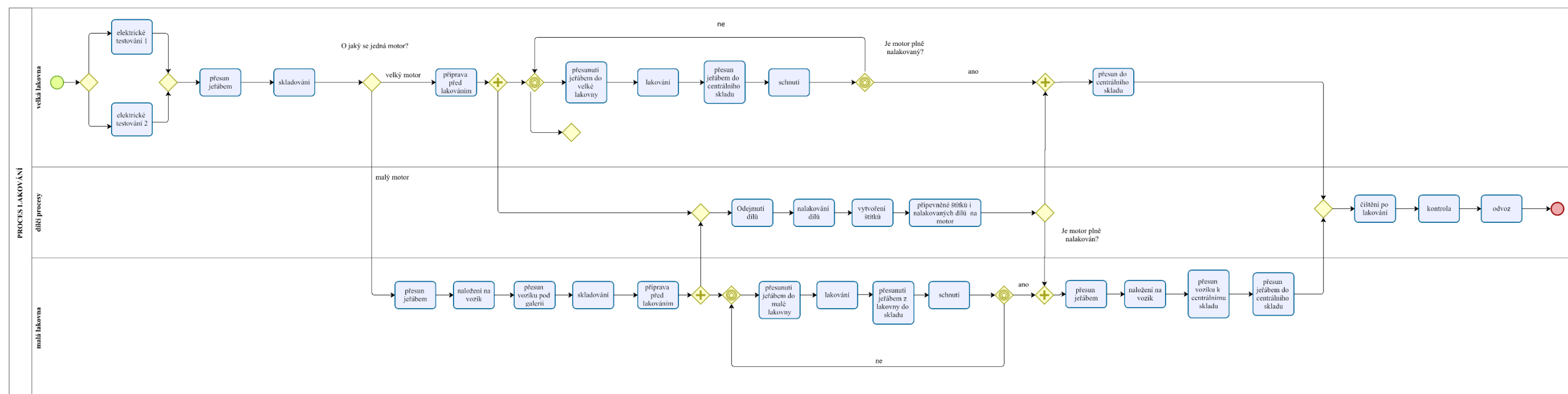
Pokud se jedná o velký motor a ve velké lakovně je volno, musí být jeřáb připraven na lakování. To obnáší oblepit ty části motoru, které nemají být nalakovány. Dále je motor jeřábem přesunut do velké lakovny, kde dochází k lakování. Z lakovny je za pomoci jeřábu přesunut na proces schnutí do centrálního skladu. Proces lakování se opakuje tak dlouho, dokud není motor dolakován. Poté dochází k odlepení zalepených míst, motor se kontroluje a je odvážen.



Obrázek 10: Layout pracoviště lakovny (vlastní zpracování)

Pokud se jedná o malý motor, je zapotřebí jeřábu k uložení do centrálního skladu a také k přemístění motoru na vozík. Vozík následně zajíždí pod galerii, kde je druhým malým jeřábem přesunut na menší sklad. Celkově je zde 6 skladovacích míst, kterými disponuje pracoviště malá lakovna. Ze skladu se za pomoci jeřábu přesune do lakovny, po nalakování z lakovny schne v malém skladu. Z malého skladu, pakliže je proces lakování dokončen, putuje do centrálního skladu.

Ve skutečnosti do procesu vstupují další nenadálé skutečnosti. Motor může být např. špatně nalakovaný, tzn. lakování se může opakovat. Také je možné, že motor neprojde finální zkouškou, takže se zpět vrací. V tuto chvíli je popsán proces tak, jak probíhá za normálních okolností.



Obrázek 11: Proces lakování (vlastní zpracování)

4.3.3 Sběr dat

Při shromažďování dat bylo nutné znát požadavky na simulaci. Aby si podnik zachoval atraktivitu pro zákazníka, je výhodné poskytnout co největší výběr motorů. Děje se tak i v tomto případě. Seznam všech nabízených produktů je obsažen v zákaznických katalozích. Každý motor obsahuje své klíčové číslo. Každý takto vedený motor se liší ve svých parametrech, i těch, které se týkají rozměrů. Bylo nutné rozklíčovat označení zakázek, které figurují v systému pro plánování a označení v zákaznických kategoriích, ze kterých lze vyčíst i rozměry produktů. Výstupem ze shromažďování dat je zjištění, že pro potřeby simulace je velká variace druhů produktů nežádoucí. Proto došlo k redukci na základní velikosti motorů a byly definovány následující nepostradatelné údaje:

Pro vstupní data je nutné znát následující hodnoty:

- Shaft height - Do 450 mm se jedná o malý motor, nad 450 mm o velký motor.
- druh lakování – Nátěr na vodní bázi schne 7 hodin, nátěr na bázi rozpouštědla 4-5 hodin.
- typ motoru – Délka lakování se odvíjí od velikosti motoru. Malý motor je lakován cca 20 minut, střední 45 minut, a velký 90 minut. Pokud se jedná o speciální typ motoru, probíhá lakování malého motoru 1 hodinu, středního 2 hodiny a velkého 4 hodiny. U těchto speciálních motorů schne barva 7 hodin.

4.3.4 Zadávání práce

Nachází se zde tři lakýrníci, každý na jednu lakovnu a jeden pracovník chodí občas na odpolední směnu do lakovny dle potřeby. Dva pracovníci se podílí na přípravě motorů pro lakování. Externí firma odváží nalakované motory každý všední den mezi 8:50 - 9:00.

4.4 Petriho síť

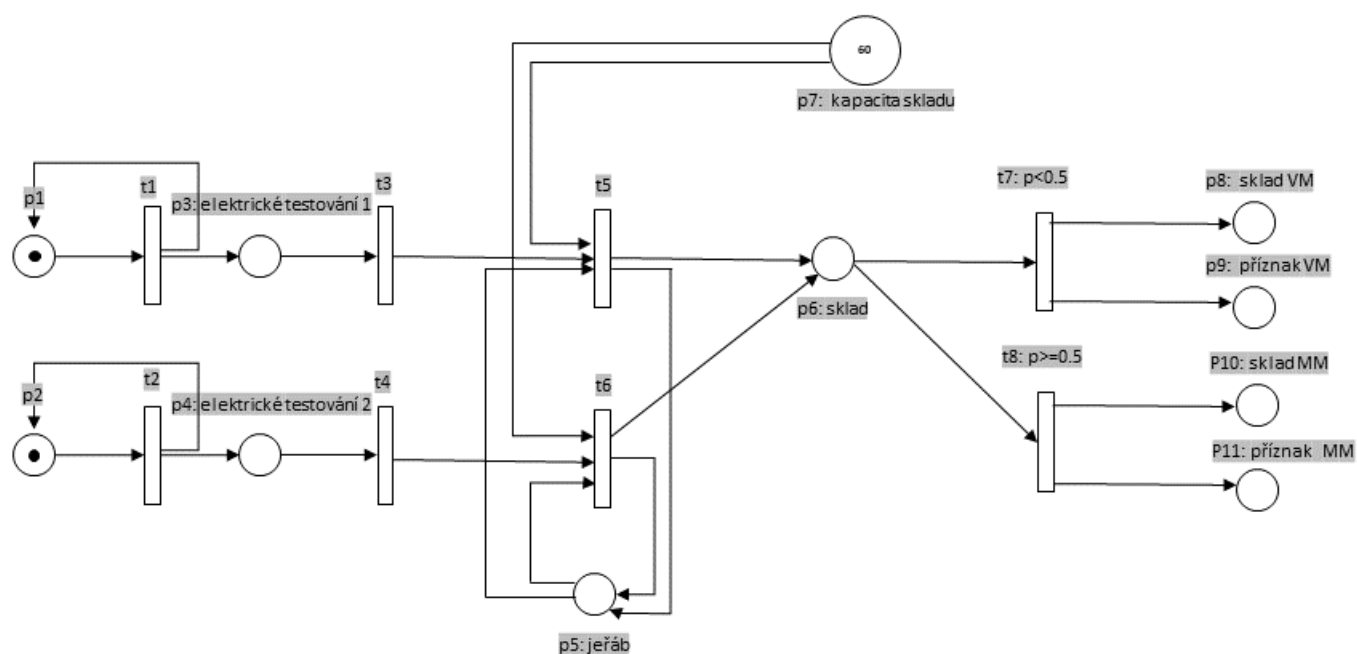
Pro lepší pochopení logiky systému, který chceme nasimulovat, bylo použito použito modelu Petriho sítí. Model byl zakreslen pomocí Microsoft Visio viz. Petriho síť. Systém určuje opakování lakování a rozlišení malých a velkých motorů pro jednoduchost skrze náhodu. Petriho síť byla modelována především aby rozkryla logiku pohybu v lakovacím procesu. Jedná se o nedeterministický systém, tzn. následující stav se generuje náhodně. Kvůli komplexnosti byla síť rozdělena do 3 částí. V Obrázek 12: Petriho síť A) vstup +

rozlišení velkých a malých motorů dochází nejprve ke generování tokenů (naše výrobky = motory), které následně putují na pracoviště elektrické testování 1 a 2. Aby mohly být tokeny přesunuty do skladu je zapotřebí zaktivovat další token, jeřáb. Po umístění do skladu se token (jeřáb) vrací zpět na své místo. Při přechodu do skladu je zapotřebí zaktivovat token (kapacita skladu), který nám udává, kolik je ve skladu volných míst, v našem případě momentálně uvažujeme kapacitu 60 míst. Pakliže by již nebyly volné žádné tokeny, nedojde k zaktivování a další tokeny nemohou být přesunuty do skladu. Ze skladu dochází k rozdělení na malé a velké motory, momentálně uvažujeme s pravděpodobností 50 %, je každý velký motor přesunut do skladu velkých motorů na základě příznaku. Stejně tomu je i u malých motorů.

Proces ve velké lakovně zobrazuje Obrázek 13: Petriho síť B) velká lakovna. K tomu, aby mohl být motor přesunut, je potřeba i token-jeřáb. Po dobu lakování jsou oba tokeny zabrány. Po lakování se token-motor a token-jeřáb přesunuty zpět do skladu, kde se uloží token-motor buď s příznakem, že byl již nalakovaný, nebo že ještě bude lakován. Token-jeřáb se následně vrátí na své místo. Token-motor opakuje cyklus lakování tak dlouho, dokud po lakování nezíská příznak o plném nalakování.

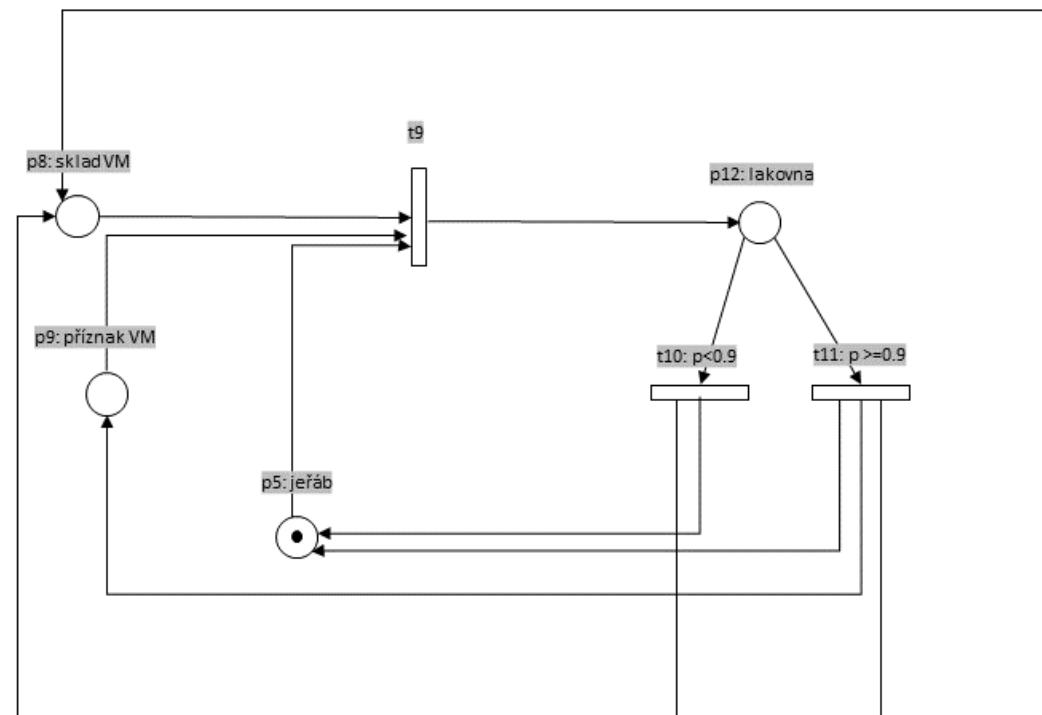
Poslední a nejkomplikovanější je síť malé lakovny viz. Obrázek 14: Petriho síť C) malá lakovna. Ze skladu malých motorů je zapotřebí token-jeřáb a token-vozík. Vstupuje sem i token-počet. Malá lakovna má totiž svůj malý sklad, kde se nachází 6 míst. Tokeny dále putují do skladu malé lakovny a dostávají příznak, že ještě nebyly motory nalakovány. Je zapotřebí jeřábu č. 2 k přesunu ze skladu malé lakovny do lakovny. Stejně jako v případě velké lakovny, je po dobu lakování jeřáb nedostupný. Motory se vrací zpět do skladu malé lakovny s pravděpodobností, že byly či nebyly nalakovány. Pokud motor nebyl nalakován, opakuje se tento cyklus tak dlouho, dokud z lakovny neodchází s příznakem, že je plně nalakovaný. Následně se vrací do skladu malých motorů, kde je zapotřebí token-jeřáb a token-vozík. Pokud počet neobsahuje žádný ze 6 tokenů, znamená to, že nelze do skladu malé lakovny přesunout další motor.

A) VSTUP + ROZLIŠENÍ VELKÝCH A MALÝCH MOTORŮ



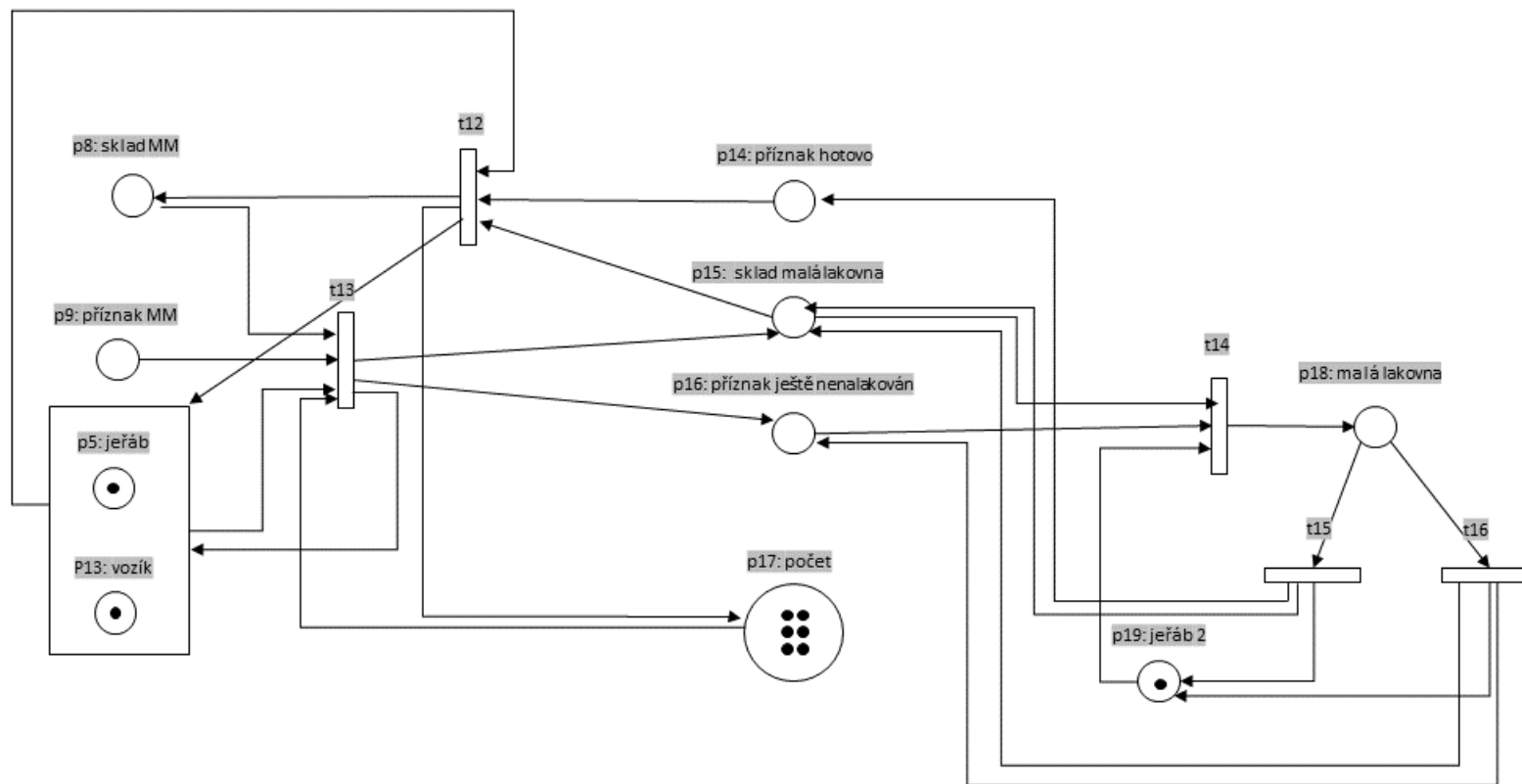
Obrázek 12: Petriho síť A) vstup + rozlišení velkých a malých motorů (vlastní zpracování)

B) VELKÁ LAKOVNA



Obrázek 13: Petriho síť B) velká lakovna (vlastní zpracování)

C) MALÁ LAKOVNA



Obrázek 14: Petriho sítě C) malá lakovna (vlastní zpracování)

4.5 Zhodnocení analytické části

V analytické části bylo provedeno seznámení s výrobním portfoliem společnosti. Výroba je přerušovaná, kusová, konkrétní typ jobbing, kdy rozdílné kusy sdílejí stejné výrobní zdroje. Uspořádání pracovišť je fixní a odpovídá technologickému pořadí popsané v kapitole 2.2.1. Portfolio, co do různých typů a rozměrů je rozsáhlé. Pro využití simulace je nutné motory rozdělit do rozměrových kategorií. Podobně je nutné přistupovat i k lakování. Popis procesu odhalil viz.

Obrázek 11: Proces lakování (vlastní zpracování), že nejsou lakovány jen motory, ale souběžně také některé jeho části a dochází k laserování štítků. Přestože celý proces lakování byl důkladně popsán, nebylo možné získat pro paralelní proces lakování menších dílů dodatečné informace tzn. jaké konkrétní díly, u kterých motorů jsou lakovány. Při debatách s managementem bylo zjištěno, že tento paralelní proces je bezproblémový, stejně tak i laserování štítků, a nebude tedy v této fázi součástí modelu.

Analýza layoutu a technologického procesu poukázala na využívání jeřábů, které jsou používány jak pro přesun, tak v procesu lakování. Jedná se pro nás tímto o jeden z podstatných prvků simulace. Pakliže je jeřáb vytížen, nemůže být použit pro jinou činnost. Toto dokazuje i analýza Petriho sítí, která byla v rámci analýzy celého procesu lakování vytvořena.

Jak lze vidět na obr. Obrázek 10: Layout pracoviště lakovny (vlastní zpracování), jsou všechny tři zóny pro simulaci důležité. Motory jsou zde uskladněny a čekají na další přesun, dále zde motory schnou. Je nutné v simulaci zohlednit obsah podstavky motorů, rozlohu zón. Poznatky zjištěné v této části práce jsou klíčové pro následný návrh simulace.

Přestože je na začátku výroby vždy stanoven plán, dochází v průběhu kusové výroby ke změnám v procesu plánování. Důvodem je, že výroba jednoho motoru se pohybuje v řádech měsíců. Do procesu výroby vstupuje nemalé množství materiálů, dodavatelů, ale také ekonomická situace. Je běžné, že dochází během výroby k přeplánování zakázkové náplně.

5 NÁVRHOVÁ ČÁST

V návrhové části je formulován problém založený na zjištěních z analytické části. Návrh řešení je zpracován pomocí simulace v softwaru Plant Simulation. Důvod pro výběr tohoto softwaru je:

- Licencí softwaru disponuje společnost, pro kterou autor pracuje.
- Licenci a školení užívají i ostatní podniky ve skupině nyní známé jako Innomotics.
- Další software je od společnosti Siemens Digital Industries, je zajištěna kompatibilita.
- Autorka práce absolvovala školení k softwaru.
- V případě nejasností či nutnosti pomoci je možné se bez problémů obrátit na konzultanty externích společností, které dodali software i provedli zaškolení, mají dlouholetou praxi s propojením softwarů ze skupiny Siemens Digital Industries.

5.1 Formulace problému

Byly iniciovány schůzky s mistrem, technologem, logistikem a vedoucím oddělení v norimberském závodě. Za palčivý problém výroby byla označena jedna z posledních fází výroby – lakování. Jak již bylo popsáno výše, do procesu lakování vstupují klíčoví činitelé: vyřízení jeřábu, velikost motoru, velikost odkladových ploch, druh lakování, doba lakování, schnutí a také počet lakování.

Ze schůzek vyplynulo, že v budoucnu dojde ke změně zakázkové náplně. Výrobky budou obecně větších rozměrů a bude kladen větší důraz na kvalitu a ekologii lakování. To s sebou přináší delší dobu schnutí i lakování. Dále je plocha schnutí pevně daná, neměnná.

Na základě získaných informací byla určena prediktivní simulace jako vhodný nástroj, který dokáže zohlednit veškeré výrobní faktory, bude možné model využít k experimentům se zakázkovou náplní, bude možné s předstihem nasimulovat např. zpoždění některého z předešlých procesů. Bude zřejmé, do jaké míry je limitující odkladová plocha určená ke schnutí motorů.

5.2 Obsah a úroveň detailu modelu

Model se bude oproti realitě mírně lišit. Jak bylo zmíněno, do modelu nebudou zahrnuty dílčí procesy. Za prvé jsou momentálně bezproblémové, za druhé nebylo možné získat veškeré vstupní informace. Dále v této fázi simulace nebudou zahrnuti operátoři. Model se bude zaměřovat v první řadě na vytvoření logiky systému tak, aby bylo možné v budoucnu snadno změnit zakázkovou náplň. Model bude obsahovat logiku odkladových ploch, jeřábů, lakoven, elektrické testování a směnnost. Simulace bude uvažovat využití všech jeřábů.

5.3 Formulace cílů

Cílem diplomové práce je analýza procesu lakování, popsání logiky procesu lakování, vypracování modelu lakovny, dále provést simulaci zakázkové náplně za minulé období. Zhodnotit efektivitu stávajícího procesu a využití lakoven a jeřábů. Poukázat na úzká místa v procesu a proces optimalizovat.

5.4 Sběr, analýza a příprava dat pro simulaci

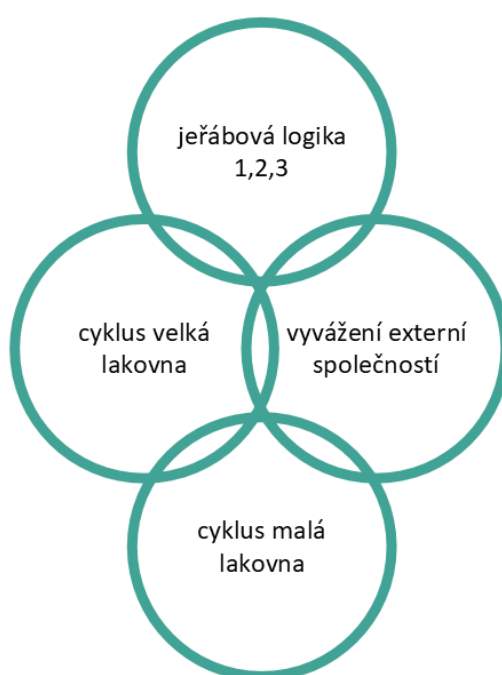
Zakázková náplň byla dodána podnikem v Norimberku, jedná se o seznam historických zakázek za určité období. Přestože by bylo možné čerpat data z ERP systému společnosti, popř. přes jinou databázi, třeba cloudovou, jedná se pro potřeby projektu o náročnou operaci, kterou není možné realizovat vzhledem k časové náročnosti této diplomové práce a potřeby odborníků z IT oddělení. Přesto autorka práce při tvorbě modelu zohledňuje i uživatelskou přívětivost, a to tak, aby práce vytváření modelu neskončila odevzdáním práce, ale aby uživatelé v norimberském podniku mohli model použít pro plánování zakázek. Zadávatí dat je vymyšleno tak, aby i pro nadcházejícího uživatele bylo zadávání zakázek pochopitelné. Nutně muselo dojít ke zjednodušení dat do takové míry, aby se neztratily klíčové hodnoty, ale pro uživatele se jevil systém přidávání dat jako jednoduchý. Jedná se o jeden z podstatných kroků, aby došlo k využití modelu i v budoucnu.

V tabulce nacházející se v příloze je zobrazena zakázková náplň za dané období viz. Tabulka 3: Zakázková náplň. V tabulce je vždy uveden druh motoru, hodnota Shaft height, délka lakování a délka schnutí.

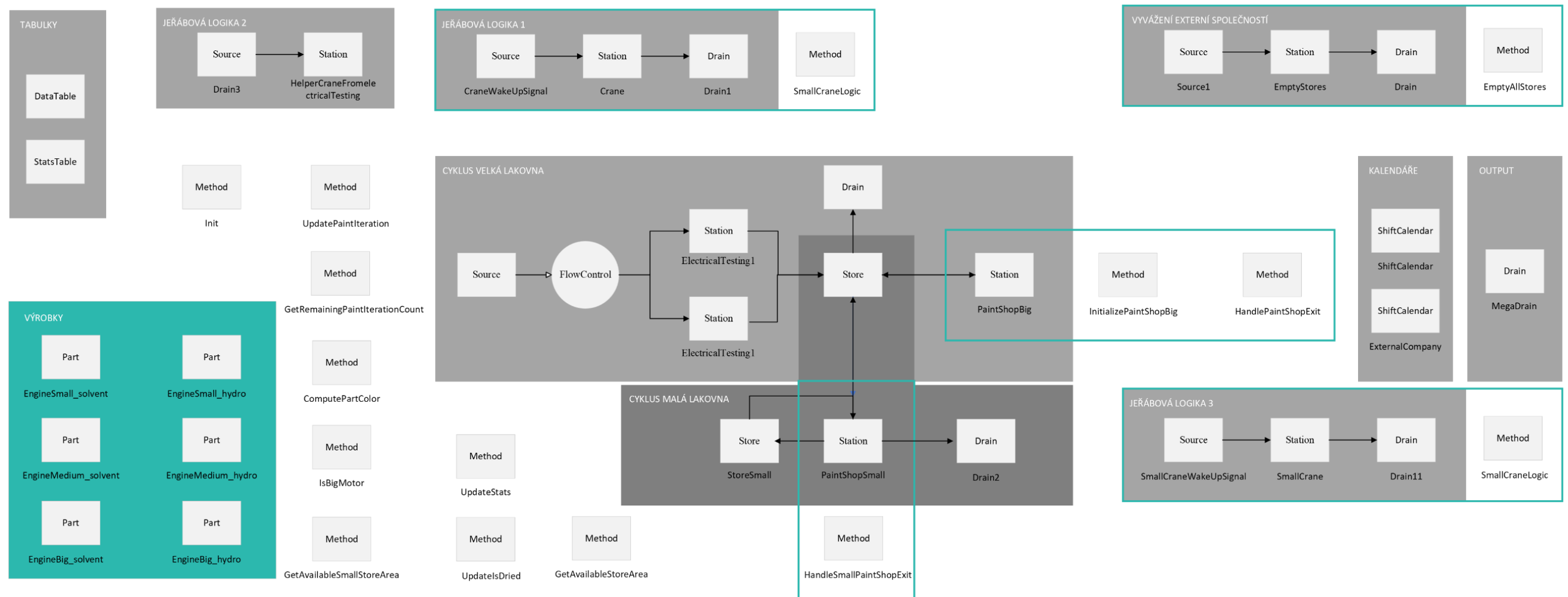
5.5 Návrh modelu

Návrh modelu vychází ze znalosti simulačního prostředí Plant Simulation. Již od začátku je tvořen s cílem využít model pro plánování výroby. Návrh modelu zahrnuje logiku všech tří jeřábů, logiku velké a malé lakovny a je zde i expedice motorů externí společností viz. Obrázek 15: Stručný model návrhu simulace.

Stručný model je detailněji popsán na obr. Obrázek 16: Konceptuální schéma procesu lakování v Plant Simulation (vlastní zpracování), kde jsou blíže popsány prvky obsažené v simulaci a vysvětlení, k čemu slouží.



Obrázek 15: Stručný model návrhu simulace (vlastní zpracování)



Obrázek 16: Konceptuální schéma procesu lakování v Plant Simulation (vlastní zpracování)

5.5.1 Popis použitých prvků

V následující části jsou popsány jednotlivé prvky návrhu simulace viz. Obrázek 16: Konceptuální schéma procesu lakování v Plant Simulation (vlastní zpracování).

5.5.1.1 MUs

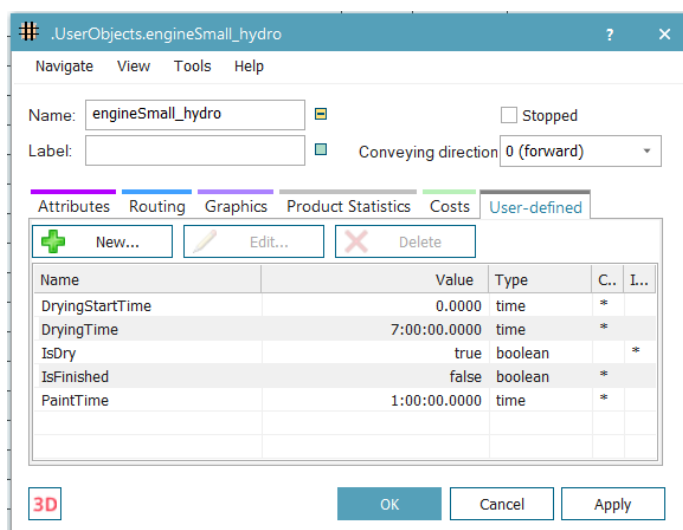
Základním prvkem je prvek Part ze sekce MUs. V našem případě se jedná o 3 typy motorů, které ještě rozlišujeme podle typu lakování:

- engineSmall_hydro
- engineSmall_solvent
- engineMedium_hydro
- engineMedium_solvent
- engineBig_hydro
- engineBig_solvent

Každý z těchto prvků je nositelem následujícího atributu velikost [MU Size], tzn. výška, šířka, délka. Uvedené hodnoty jsou v metrech. Rozdíl mezi hydro a solvent je v délce schnutí. Dále objekty obsahují atributy viz. Obrázek 17: User-defined atributy, konkrétně se jedná o:

- DryingStartTime – zaznamená začátek spuštění procesu schnutí
- DryingTime – čas schnutí
- IsDry – datový formát boolean, informace pro metodu
- IsFinished – datový formát boolean, informace pro metodu
- PaintTime – čas lakování

Dalším nositelem atributů je tabulka DataTable.



Obrázek 17: User-defined atributy (vlastní zpracování)

5.5.1.2 DataTable

Objekt DataTable z prvků typu Information Flow obsahuje informace o tom, jaký typ motoru lakuje [MU], počet lakovaných motorů [Number], je zde informace o velikosti motoru [Name] a další atributy:

- IsPainted – datový formát boolean, informace pro metodu
- IsDried – datový formát boolean, informace pro metodu
- PaintIterations – počet lakování

object 1	integer 2	string 3	table 4
string MU	Number	Name	Attributes
1 .UserObjects.engineBig_hydro	1	big	@Atr
2 .UserObjects.engineSmall_hydro	1	small	@Atr
3 .UserObjects.engineBig_hydro	1	big	@Atr
4 .UserObjects.engineMedium_solvent	1	medium	@Atr
5 .UserObjects.engineBig_hydro	1	big	@Atr
6 .UserObjects.engineSmall_solvent	1	small	@Atr
7 .UserObjects.engineMedium_hydro	1	medium	@Atr
8 .UserObjects.engineBig_solvent	1	big	@Atr
9 .UserObjects.engineMedium_solvent	1	medium	@Atr
10 .UserObjects.engineBig_solvent	1	big	@Atr

string 1	integer 2	time 3	boolean 4
string Name	ShaftHeight	PaintTime	Boolean
1 IsPainted			false
2 IsDried			false
3 PaintIterations	5		

Obrázek 18: DataTable a Atributy (vlastní zpracování)

Jak je možné vidět, lze pro zadávání charakteristik motoru (prvek MU) využít jak DataTable, tak oblast User-Defined. Důvod rozmístění informací není náhodný. V některých situacích je vhodnější spojit informaci s konkrétním typem motoru a ten následně využít v zakázkové náplni, jak je zobrazeno na Obrázek 18: DataTable a Atributy. Některé jsou naopak charakteristické pro každý výrobek, proto zakázková

výroba. Právě díky pozorování bylo zjištěno, že např. velikosti motorů a délka schnutí a lakování, jsou charakteristiky spjaté s konkrétním typem motoru. Naopak počet lakování je pro každý motor odlišný. Proto právě z hlediska snadnějšího zadávání zakázkové náplně je možné měnit charakteristiky na dvou místech.

5.5.1.3 Source

Prvek typu Source spouští simulaci. Nese informaci o tom, v jakých intervalech motory vytvářet. My zde máme nastaveno MU selection: Sequence, tedy prvky se načítají postupně. Také jsme zde nastavili, že se data načítají z námi vytvořené tabulky DataTable.

5.5.1.4 FlowControl

Zodpovědnost za distribuci na pracoviště ET1 a ET2 (elektrické testování) zajišťuje prvek FlowControl.

5.5.1.5 Station

Prvek typu Station se chová tak, že určitou dobu výrobek zpracovává. V simulaci máme uvedené následující prvky typu station:

- **Elektrické testování:** ET1, ET2
- **Lakovací boxy:** PaintShopSmall, PaintShopBig
- **Jeřáby:** Crane, Small Crane, HelperCraneFromElectricalTesting
- **Pomocný prvek:** EmptyStores

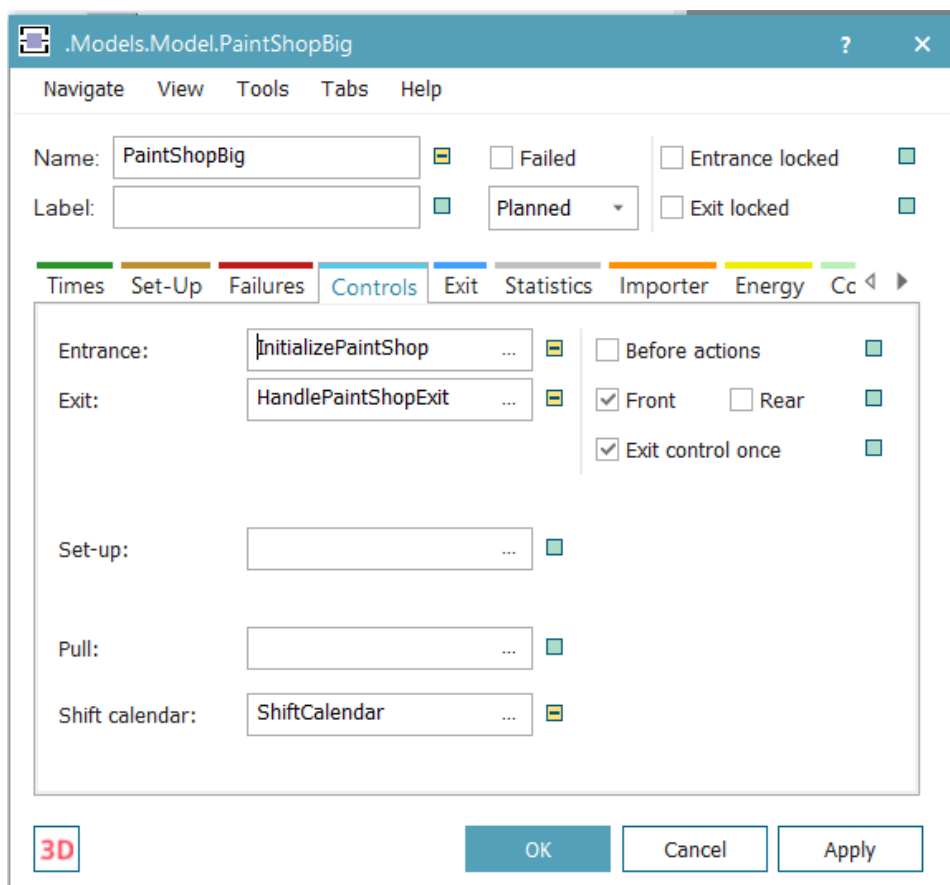
Elektrické testování

ET1/ET2 (z angl. Electrical Testing 1/2) nese informaci o tom, jak dlouho trvá elektrické testování na daných pracovištích.

Lakovací boxy

Lakovací boxy (z angl. PaintShop) kromě nalakování, nenesou informaci. Spouštějí specifikované metody, když přijmou motor a když posílají motor dál. a výstupu (z angl. Entrance, Exit). Na vstupu se vyvolává metoda *InitializePaintShop* a na výstupu

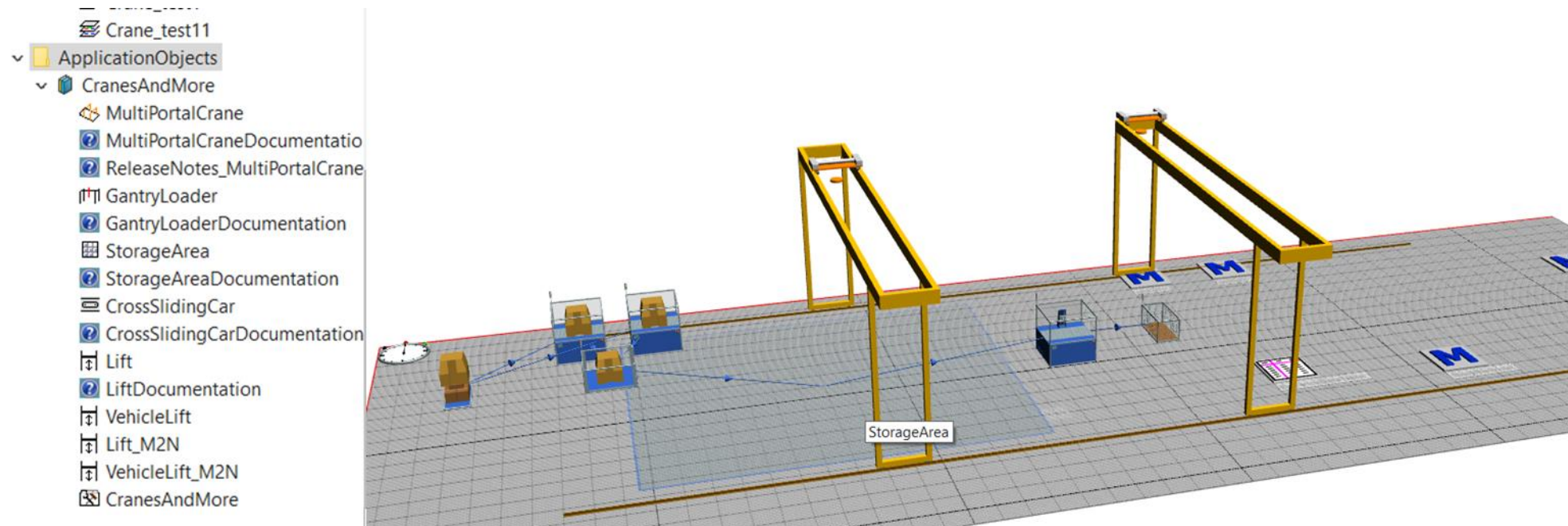
HandlePaintShopExit viz. Obrázek 19: Station_PaintShopBig_Controls. U malé lakovny se nachází na Exitu metoda *HandleSmallPaintShopExit*.



Obrázek 19: Station_PaintShopBig_Controls (vlastní zpracování)

Jeřáby

V programu Plant Simulation lze pro simulaci využít již předem definovaný objekt jeřáb (z angl. *Crane* popř. *MultiportalCrane*) Obrázek 20: Multiportal Crane (vlastní zpracování). Přestože bylo vyvinuto velké úsilí tento prvek využít, nebylo možné si logiku prvku přizpůsobit natolik, aby byl vhodný pro naši simulaci. Namísto tohoto prvku je využít objekt typu Station s názvy **Crane**, **Small Crane** a **HelperSmallCraneFromElectricalTesting** tak, že v intervalu jedna vteřina spouští dedikované metody, které se starají o obsluhu nejdůležitějších částí simulace.



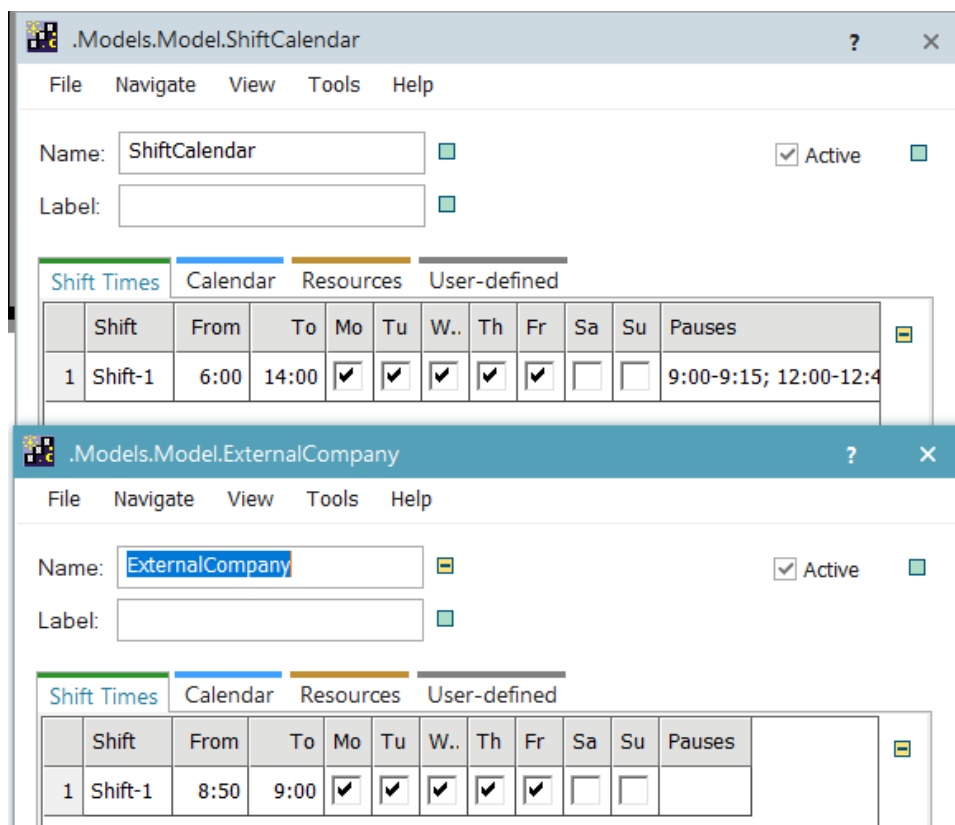
Obrázek 20: Multiportal Crane (vlastní zpracování)

5.5.1.6 Store

Pro odkladové plochy, které jsou zobrazeny na layoutu Obrázek 10: Layout pracoviště lakovny (vlastní zpracování) je využit prvek typu Store. Rozlišujeme velkou odkladovou plochu –pojmenovaná jako **Store**, vznikla sloučením zóny 1 a zóny 3. V simulaci je ještě jeden prvek typu Store, jedná se o **Store Small**, zóna 2 vyobrazenou na layoutu pracoviště.

5.5.1.7 Shifts

V našem modelu jsou zohledněny směny, ty můžeme vidět na Obrázek 21: ShiftCalendar (vlastní zpracování). 1. plánovací kalendář uvažuje ranní směnu 6:00-14:00 se dvěma patnácti minutovými přestávkami. Druhý plánovací kalendář je nastaven pro vývoz již hotových motorů, každý den od 8:50-9:00. O víkendech se v dané společnosti nepracuje, neprobíhá ani expedice výrobků.



Obrázek 21: ShiftCalendar (vlastní zpracování)

5.5.2 Metody

Pomocí programovacího jazyku SimTalk2 lze naprogramovat prvek zvaný Method. Dalším důvodem je i to, že pracovníci používají nestandardní způsoby, jak proces optimalizovat (jako používání jeřábů z jiných stanovišť) a tyto výjimky bylo nutné specifikovat vlastním kódem.

Námi naprogramované metody, jejichž obsah lze zobrazit v příloze viz. Použité metody.

5.5.3 Popis metod

5.5.3.1 Init

Tato metoda při restartu simulace smaže data v tabulce StatsTable.

5.5.3.2 GetAvailableStoreArea

Tato metoda slouží k určení volné plochy prvku Store. Známe délku a šířku odkladové plochy označené jako Store. Délka a šířka je 14 metrů. Metoda bere v potaz i součástky v malé dokladové ploše StoreSmall, tak aby se měly kam vracet.

5.5.3.3 UpdateStats

Tato metoda slouží k nahrání dat do tabulky StatsTable.

5.5.3.4 UpdateIsDried

Při lakování motorů dochází k tomu, že některé motory jsou lakovány opakovaně. Avšak motor může být znovu lakován pouze po skončeném schnutí, které nastává po každém lakování. V této metodě je nastaven atribut “IsDry”, který se nastaví u každého motoru na hodnotu true, následně může být motor nalakován. Lakování se opakuje tak dlouho, dokud není dosaženo počtu lakování uvedených ve výchozí tabulce DataTable. Po ukončeném procesu nabude motor atributu “IsFinished”. Systém tak ví, že tento motor je dokončený a může ho později expedovat.

5.5.3.5 UpdatePaintIterations

V tabulce Data Table je uvedený počet lakování. Díky této metodě probíhá lakování tak dlouho, dokud se počet lakování v tabulce DataTable nerovná reálnému počtu lakování. Do té doby je nastaven atribut “isDry” na false.

5.5.3.6 GetRemainingIterationsCount

Vrací, kolikrát má být motor lakován. Pokud ve zdrojové tabulce DataTable nemá tuto hodnotu specifikovanou, vrací 1.

5.5.3.7 ComputePartColor

Vypočítává RGB hodnotu barvy součástky pro účely vizualizace. Barva závisí na velikosti a počtu zbývajících iterací a stavu schnutí

5.5.3.8 IsBigMotor

Za velký motor se považuje takový, který má hodnotu MUHeight (Shaft Height) větší než 0,45 m.

5.5.3.9 GetAvailableSmallStoreArea

Kapacita StoreSmall je nastavena na 6 míst. Od stanovené kapacity je odečteno počet motorů ve SmallStore a počet motorů v malé lakovně – PaintShopSmall. Výsledný počet ukazuje na počet volných míst tak, aby se vždy vracející motor z malé lakovny měl kam vrátit.

5.5.3.10 CraneLogic

Jedná se o nejobsáhlejší metodu v této práci. V této metodě je popsán přesun motoru jeřábem. Protože tato logika potřebuje periodicky kontrolovat, v jakém stavu je celá simulace a podle toho provádět další kroky, je tato metoda spouštěna mechanismem source → factory → drain, která periodicky generuje součástku, ta při příchodu do factory volá tuto metodu a následně zaniká.

Je zde nastavena následující priorita pohybům

1. Nejdříve je přesunut ten motor, který jde na lakování do velké lakovny

2. Je přesunut plně nalakovaný motor z odkladové plochy SmallStore na odkladovou plochu Store.
3. Motor putuje ze Store na lakování do malé lakovny tzn. Bude umístěn do SmallStore
4. Motor je přesunut z elektrického testování na odkladovou plochu Store

Je zajištěno střídání v odběru motorů z elektrického testování. Protože je jeřáb využíván i při lakování konkrétně ve velké lakovně, využívá se v praxi toho, že si pracovníci občas pomohou jeřábem, který bývá využit na jiném pracovišti – Jeřáb č. 2 viz. Obrázek 10: Layout pracoviště lakovny (vlastní zpracování). Důvodem je, aby motory mohly být přesunuty směrem do malého lakovacího boxu a nebyla tím jedna větev pohybu zcela blokována.

5.5.4 InitiazePaintShop

Každý motor nese hodnotu času lakování. Pokaždé když vstoupí, je nastaven pracovní čas lakovny na tuto dobu.

5.5.5 HandlePaintShopExit

Handle PaintShopExit aktualizuje počet iterací počtu lakování, nastavuje se čas schnutí, mění se barva a motor je přesunut na odkladovou plochu jeřábem, který se tím uvolňuje pro další použití.

5.5.6 HandleSmallPaintShopExit

Identické chování s předchozí metodou, pouze s rozdílem, že se motor přesouvá z malé lakovny na odkladovou plochu StoreSmall a uvolňuje se jeřáb přidružený k malé lakovně.

5.5.7 SmallCraneLogic

Tato logika zajišťuje přesuny malým jeřábem. Je taktéž spouštěna periodicky jako u hlavního jeřábu, ale řeší pouze přesuny ze StoreSmall do malé lakovny a zpět.

5.5.8 EmptyAllStores

Modelování expedice motorů ven ze systému. Každý všední den mezi 8:50-9:00 hodinami ráno přijíždí expediční společnost a vyváží všechny motory, které jsou plně nalakované a usušené.

5.6 Simulace

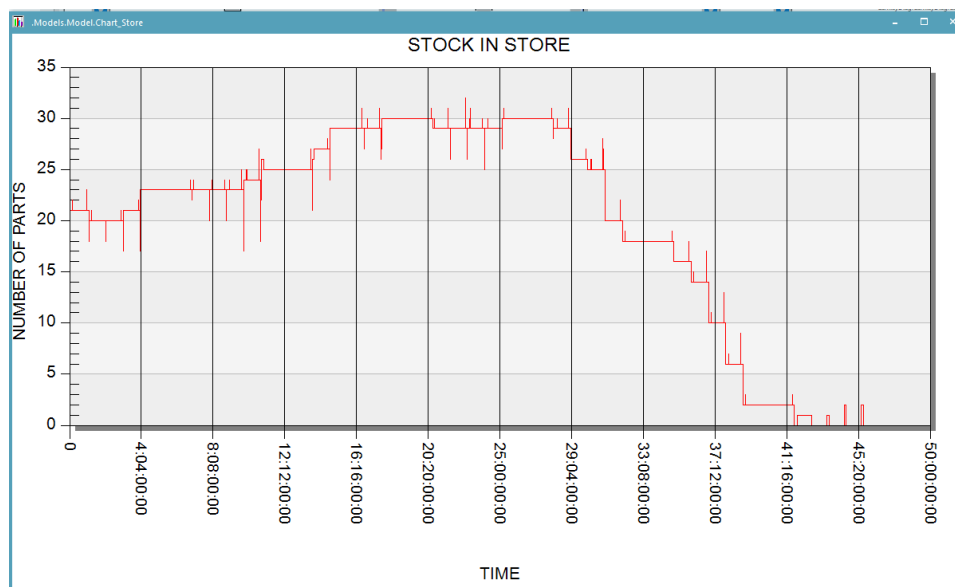
Simulace dané zakázkové náplně trvala pouze při ranní směně 46 dní 2 hodiny 51 minut. Výstřižek ze simulace v softwaru Plant Simulation zde: Obrázek 22: Obrázek ze simulace Simulací prošlo 16 velkých motorů (16,67 %), 63 středních (65,62 %) a 17 malých (17,71 %).

ET1, ET2 – pracoviště elektrické testování:

Et1 bylo obsazeno 56,43 % (zpracováno 42 motorů) času a Et2 z 59,31 % (zpracováno 54 motorů).¹

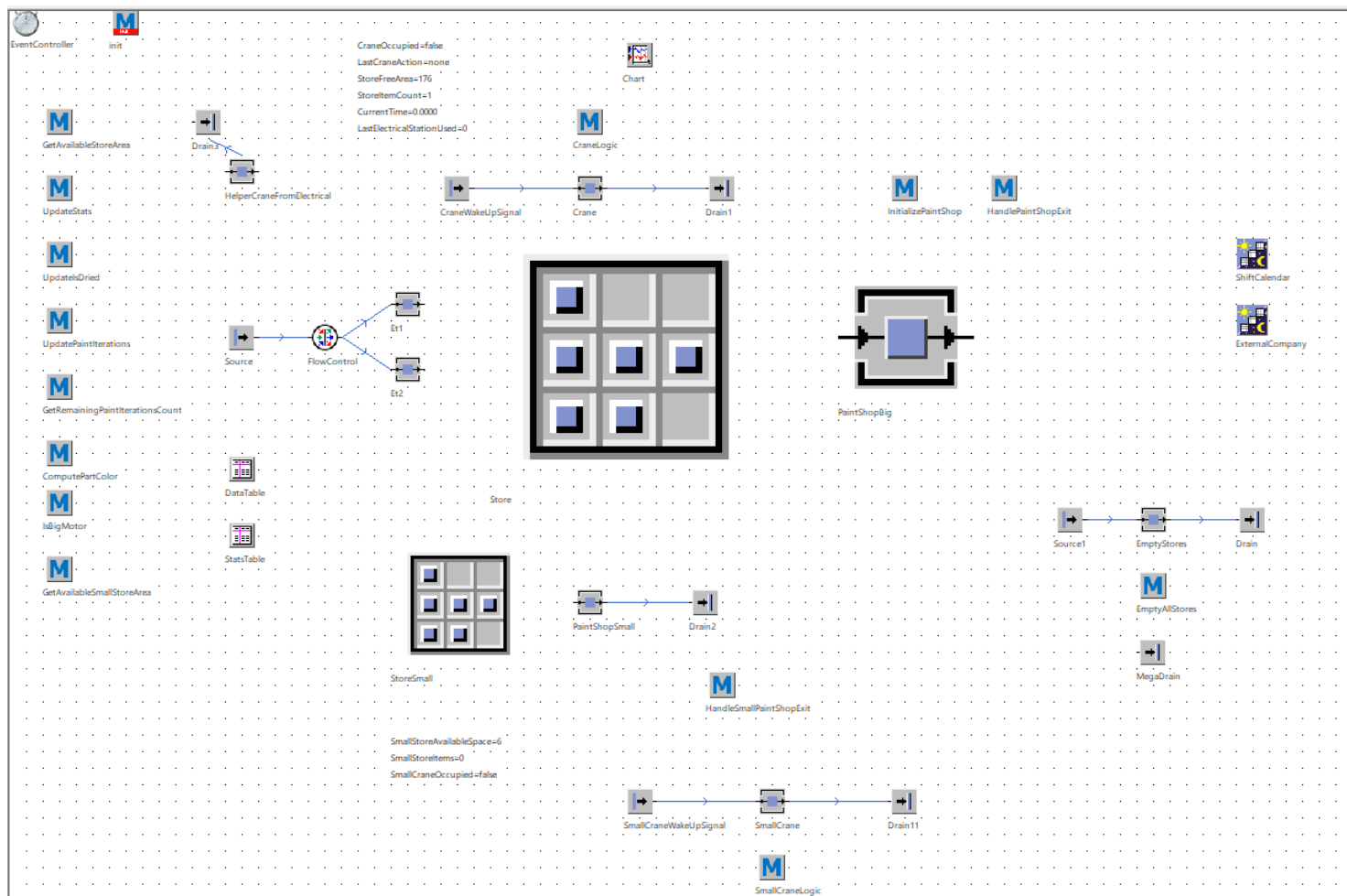
Store – velká odkladová plocha

Odkladová plocha v simulaci označená jako Store byla maximálně okupována 32 motory. Obecně byl v průběhu času na této ploše uskladněn motor 202krát. Průměrně zde motor setrval 23 hodin 52 minut a 57 vteřin. Vytížení velké odkladové plochy (sloučená zóna 1 a 3 viz Obrázek 10: Layout pracoviště lakovny (vlastní zpracování) je zobrazen na Graf 1: Simulace_obsazenost Store.



Graf 1: Simulace_obsazenost Store

¹ Relativní obsazenost s přerušením je součet všech dob pobytu všech MU na objektu během období sběru statistik, dělený kapacitou a celým obdobím sběru statistik.



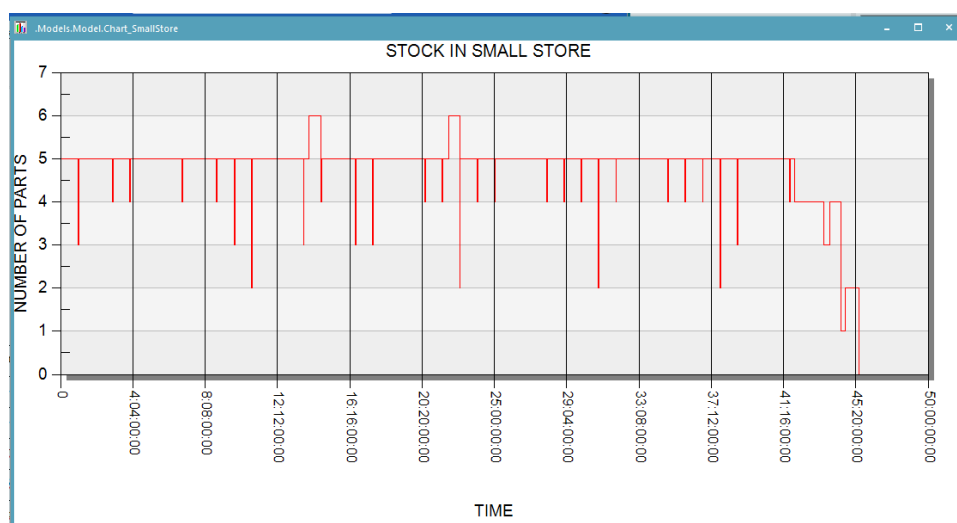
Obrázek 22: Obrázek ze simulace (vlastní zpracování)

PaintShopBig, PaintShopSmall – lakovací boxy

PaintShopBig lakoval motor celkem 26x. Toto pracoviště bylo obsazeno¹ pouze z 29,69 %. PaintShopSmall lakoval motor celkem 167x. Došlo k obsazenosti¹ z 97,5 %

StoreSmall – malá odkladová plocha

Odkladová plocha označená v layoutu jako Zóna 2 a v simulaci jako StoreSmall mohla uložit maximálně 6 motorů v jeden okamžik. V průběhu času byl na dané ploše motor uložen celkem 247krát. Průměrná doba setrvání motoru je 4 hodiny 36 minut a 36 vteřin. Vytížení StoreSmall je zobrazeno na Graf 2: Simulace_obsazenost StoreSmall



Graf 2: Simulace_obsazenost StoreSmall

Jeřáb

Jak Crane, tak SmallCrane jsou vždy obsazeny¹ na 100 %.

5.6.1 Výsledky analýzy současného stavu

Model byl ověřen pomocí simulace procesu lakování s jednou směnou. Simulace proběhla za 46 dní 2hodiny 51 minut. Jeřáby 1, 2, 3 jsou vždy vytíženy, to znamená, že např. opravy i poruchy jeřábu ovlivní celý systém. Opravy je tudíž nutné plánovat dopředu. Co se týká obsazenosti pracovišť elektrické testování, stále je zde prostor pro např. opakování elektrického testování v případě nouze.

5.7 Experimenty s modelem

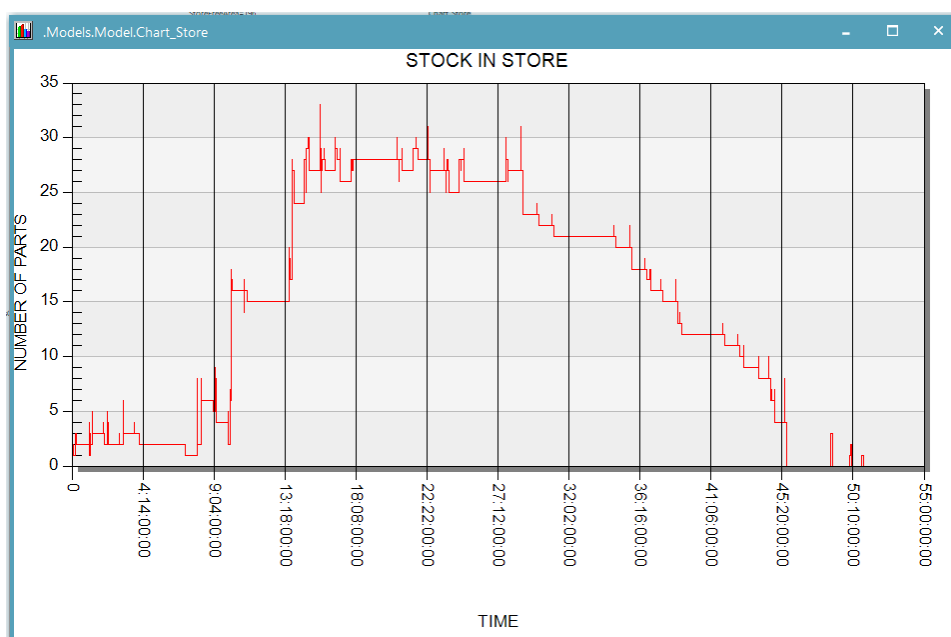
V rámci návrhů řešení bylo provedeno pět experimentů s modelem. Cílem experimentů bylo zkrácení průběžné doby výroby a zjištění obsazenosti odkladových ploch.

V jednotlivých experimentech byly testovány:

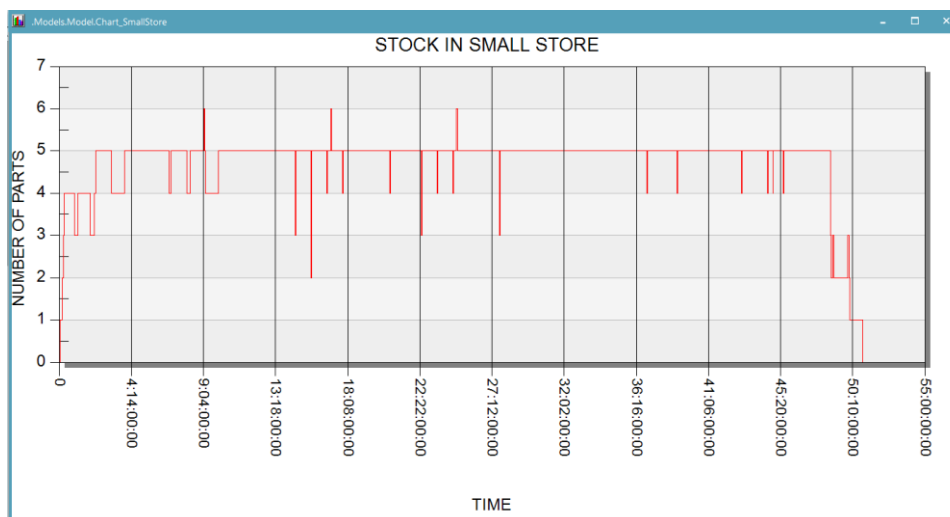
- Experiment č. 1 – změna využití jeřábu č. 3
- Experiment č. 2,3,4 – změna směnnosti
- Experiment č. 5 – změna času vyvážení externí společností

5.7.1 Experiment č. 1

Tento experiment má za cíl poukázat na to, do jaké míry nemožnost využití jeřábu č. 3 ovlivní situaci na odkladové ploše Store. Simulace trvala 53 dní 2 hodiny a 51 minut. Při dané zakázkové náplni bylo na ploše maximálně 33 motorů. Vytíženost odkladových ploch je doložena grafy Graf 3: Experiment1_obsazenost Store a Graf 4: Experiment1_obsazenost SmallStore



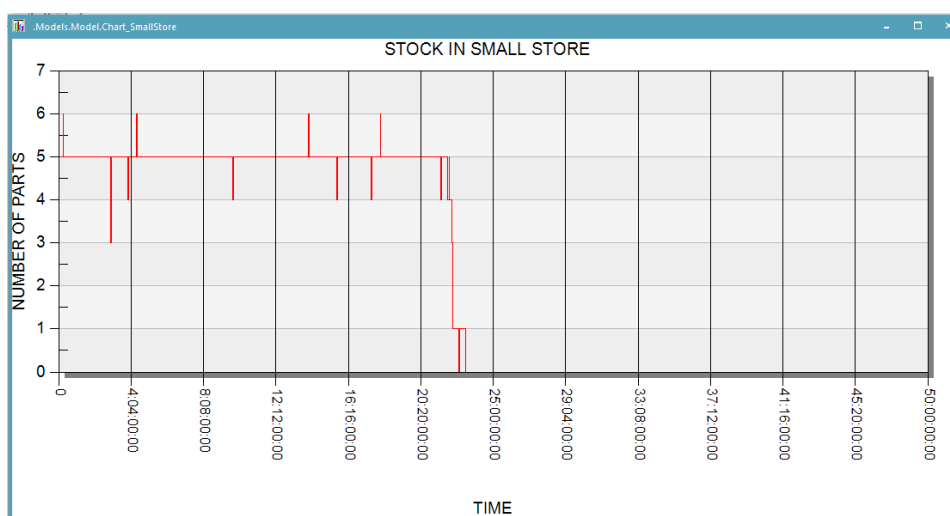
Graf 3: Experiment1_obsazenost Store

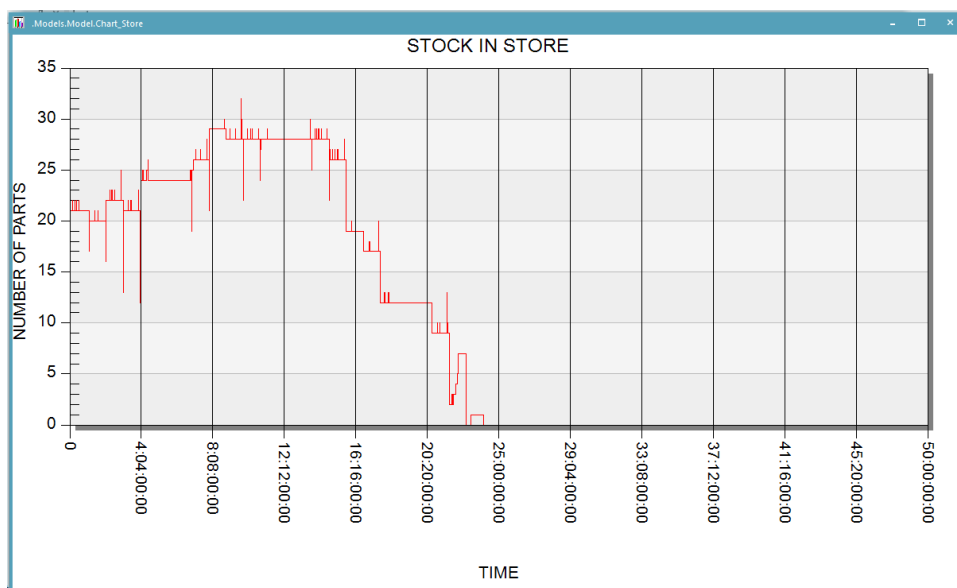


Graf 4: Experiment1_obsazenost SmallStore

5.7.2 Experiment č.2

Simulace zahrnuje ranní i odpolední směnu na všech pracovištích se směnností, kromě dvou pracovišť elektrického testování, kde bude pouze ranní směna. Délka trvání simulace je 24 dní, 2 hodiny a 51 minut. Simulace trvá cca polovinu toho, co trvala při jedné směně. Pracoviště elektrického testování jsou obsazena¹ cca na 62 %. Na odkladové ploše Store bylo umístěno v jednu chvíli 30 motorů. PaintShopBig byl obsazen¹ z 29,04 %, a průměrný čas setrvání motoru je 2 hodiny 50 minut. PaintShopSmall byl obsazen¹ z 92,64 %, a průměrný čas setrvání motoru je 1 hodina a 24 minut. Obsazenost odkladových ploch je zobrazen na grafech níže.



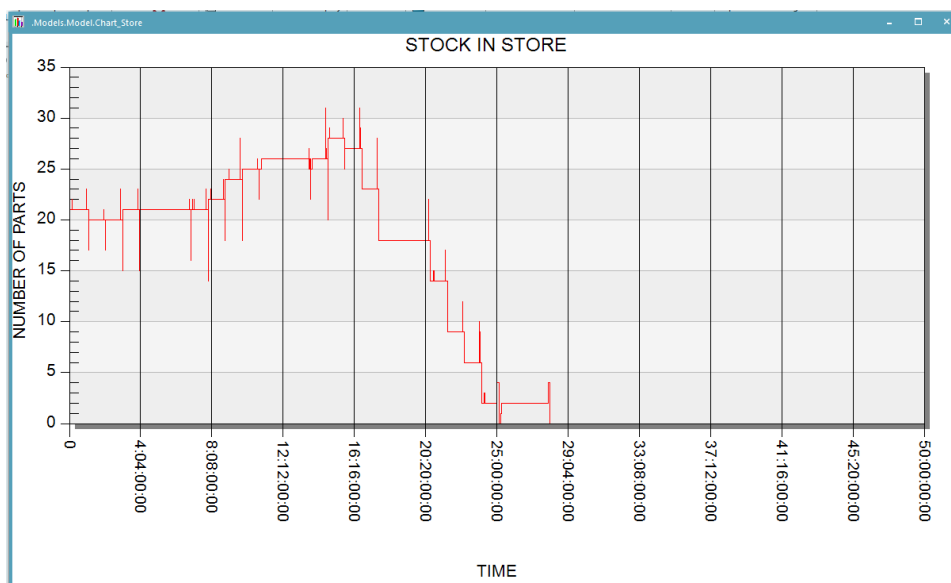


Graf 6: Experiment2_obsazenost SmallStore

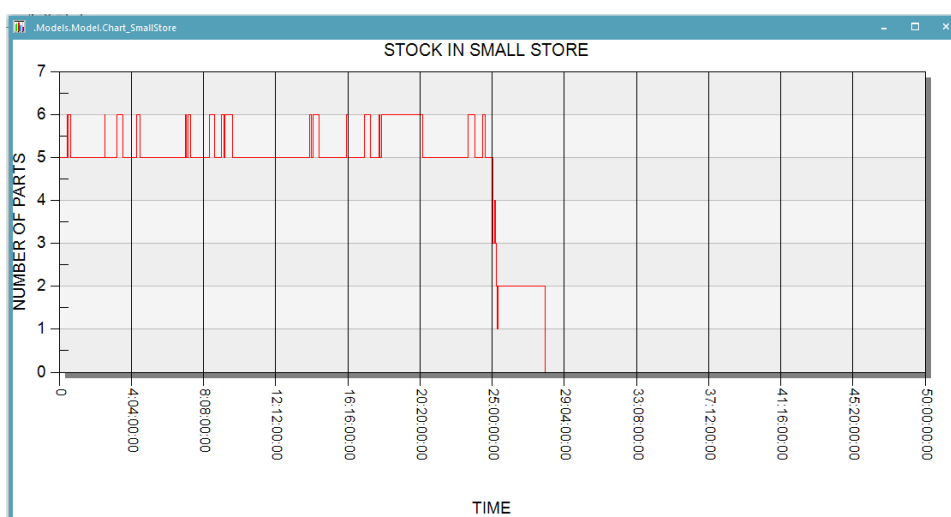
5.7.3 Experiment č. 3

V případě tohoto experimentu je nastavena odpolední směna pouze v malé lakovně – PaintShopSmall. Délka trvání simulace je 28 dní, 2 hodiny a 51 minut.

Pracoviště elektrického testování ET1 je obsazeno¹ 88,89 % času a ET2 51,07 % času. Na odkladové ploše Store bylo umístěno v jednu chvíli 32 motorů. PaintShopBig byl obsazen¹ z 50,05 %, a průměrný čas setrvání motoru je 2 hodiny 45 minut. PaintShopSmall byl obsazen¹ z 83,02 %, a průměrný čas setrvání motoru je 1 hodina a 24 minut. Obsazenost odkladových ploch je zobrazen na grafech níže.



Graf 7: Experiment3_obsazenost Store

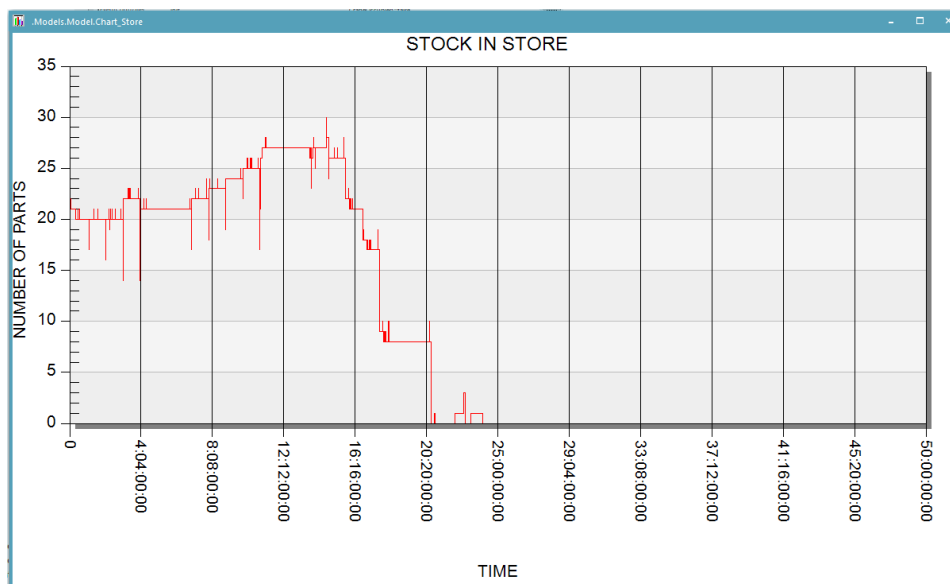


Graf 8: Experiment3_obsazenost SmallStore

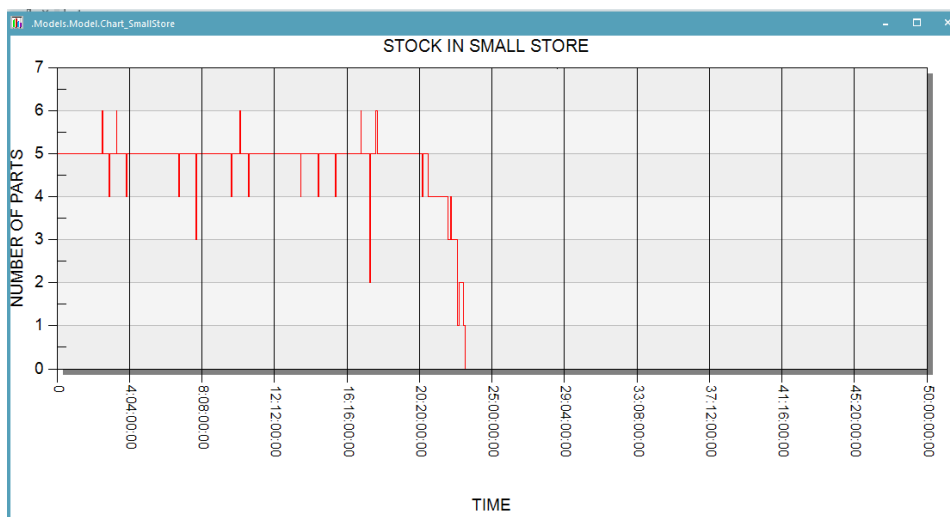
5.7.4 Experiment č. 4

Experiment, kdy je nastavena odpolední směna v malé lakovně, ale zároveň na odkladové ploše Store a StoreSmall, tzn. Lakýrník, popř. jiná osoba umožňuje, aby se motory mohly přemísťovat jak do, tak z malé lakovny, ale také v případě přeplněnosti malé lakovny přemístit motor na velkou odkladovou plochu Store. Takto nastavená simulace probíhala 24 dnů 2 hodiny a 51 minut. Pracoviště elektrického testování jsou obsazena¹ cca na 62 %. Na odkladové ploše Store bylo umístěno v jednu chvíli až 30 motorů. PaintShopBig byl

obsazen¹ z 55,49 %, a průměrný čas setrvání motoru je 2 hodiny 45 minut. PaintShopSmall byl obsazen¹ z 92,15 %, a průměrný čas setrvání motoru je 1 hodina a 24 minut. Obsazenost odkladových ploch je zobrazena níže.



Graf 9: Experiment4_obsazenost Store



Graf 10: Experiment4_obsazenost SmallStore

5.7.5 Experiment č. 5

V tomto experimentu byla nastavena expedice externí společností 2x denně od 8:50-9:00; 14:00- 14:10. Toto nastavení nepoukázalo na významné zlepšení toku motorů procesem ani na zkrácení doby simulace.

5.8 Vyhodnocení experimentů

Simulace modelu při ranní směně probíhala cca 46 dní, pokud by byla zavedena na všech pracovištích i odpolední směna, trvalo by zpracování zakázkové náplně cca polovinu času 24 dní. Experimenty poukázaly na nutnost jeřábů, bez kterých lakovací proces nemůže probíhat viz. 5.6. Dále je velice podstatný pomocný jeřáb č. 3., na jehož potřebu poukázal experiment č. 1. viz. 0. Možnost využít pomocný jeřáb, tedy jeřáb č. 2, zlepšuje distribuci motorů a snižuje počet motorů odkládaných na odkladové ploše Store, což je pro společnost velkým benefitem. Mj. také snižuje délku simulace o 7 dní.

Experimenty se směnností ukázaly, že nejlépe vychází Experiment č. 4 viz. 5.7.4. Zvýšená směnnost, zvyšuje náklady. Experiment č. 4 jasně dokazuje, že není potřeba zvýšit směnnost všude, ale pouze na pracovišti malá lakovna, StoreSmall a Store Big, abychom dosáhli času simulace cca 24 dnů. Dosáhne se tak stejného času jako v experimentu č. 2 při nastavené odpolední směně na všech pracovištích.

Experiment č. 3 přinesl průměrné výsledky např. délka simulace cca 28 dní, nejedná se ani o nejlepší, ale ani o nejhorší výsledek.

Experiment č. 5 – nastavení expedice motorů externí společností nepřinesl výrazné zlepšení.

Nebyl vytvořen experiment se změněnou zakázkovou náplní. Důvodem jsou proměnné, které zde figurují. Společnost uvedla, že v budoucnu dojde ke zvýšení lakování velkých motorů. Tento stav by bylo možné bez problémů promítnout do zakázkové náplně. Dokonce by bylo i zřejmé o jaký druh lakování by se jednalo – typ hydro. Nikdo ale v dané chvíli není schopen říct jaký zákazník si motor koupí, do jakého prostředí motor půjde a kolik vrstev lakování bude potřebovat. Právě počet lakování hraje velkou roli.

6 ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ NÁVRHU ŘEŠENÍ

V této práci byl popsán a vytvořen základní model simulace pro danou výrobní společnost. Byl vytvářen tak, aby mohlo dojít k pozdějším úpravám v reálném použití plánovačem při plánování výroby. V modelu je zahrnuta a popsána logika celého procesu lakování. Do modelu je vložena i reálná zakázková náplň. Jak bylo zmíněno v kapitole výše Vyhodnocení experimentů, Experimenty se směnností ukázaly, že nejlépe vychází Experiment č. 4 viz. 5.7.4, kde bylo možné dosáhnout nejlepšího času simulace cca 24 dnů při použití zvýšené směnnosti jen na určitých pracovištích. V potaz byly brány i jeřáby, které jsou nutné pro přesun výrobku. Vytvořený model bylo možné podrobit experimentům:

- bez použití přídavného jeřábu
- změna směn
- změna vyvážecího času externí společnosti

Pokud známe zakázkovou náplň, můžeme odhalit, které dny bude využití odkládacích ploch největší. Výhodou je to, že společnost přesně ví, kdy daný okamžik nastane a je schopna to řešit buď:

- v dané dny vytvořit dodatečné místo na jiných pracovištích
- posílit směny na konkrétních pracovištích
- pokusit se o změnu zakázkové náplně

Z našich výsledků vyplývá, že by např. podniku vůbec nepomohlo, kdyby vynaložil více finančních prostředků na zaplacení externí společnosti, která by motory, ihned hotové, vyvážela ven. Naopak větší benefit by přinesl další jeřáb, který by umožnil lepší transfer především do velkého lakovacího boxu, čímž by došlo ke snížení nároků na odkládací prostor Store, který téměř dosahuje svého horního limitu, je tedy naším úzkým místem.

6.1 Další doporučení

Kvůli časové náročnosti modelu, získávání dat, úpravě dat, nebylo možné upravit tok dat tak, aby se dal ihned implementovat dle reálných dat pro plánování lakovny. Každopádně námi vytvořený model byl navržen tak, aby v budoucnu mohlo dojít k jeho rozšíření. Navrhujeme napojit model na databázi, kde budou umístěny katalogy výrobků.

Katalogy obsahují všechny produktové informace, podle kterých lze zadat konkrétní hodnoty do simulace. Následně dle plochy motoru bude vypočítáno volné místo ve skladu. Díky tomuto napojení nebude muset oddělení plánování vybírat, do jaké skupiny motor zařadí (malý, střední, velký), ale pouze zadá produktový typ výrobku a zbylé informace se do simulace doplní.

Dále by bylo vhodné vložit do simulace i pracovníky. Bylo by nutné zmapovat všechny práce, které vykonávají a určit posloupnost prací, Výsledkem by byl model, který by pomohl lépe plánovat směny, ale také i náklady.

7 ZÁVĚR

Podařilo se nám zmapovat výrobní proces pomocí observace, zaznamenat proces do BPMN diagramu a použít modelaci Petriho sítí k odhalení logiky lakovny motorů. Dále byl navržen model simulace, došlo k popsání všech použitých prvků a naprogramovaných metod. Simulace byla úspěšně spuštěna a výsledky zanalyzovány. Bylo provedeno pět experimentů. Nejúspěšněji dopadl experiment simulující možnost mít ranní a odpolední směnu jen na vybraných pracovištích. Díky tomu bylo možné dosáhnout polovičního času simulace, než jak tomu je pouze v simulaci s ranní směnou. Zároveň je možné ušetřit náklady, které by byly navíc generovány v případě, že by byly dvě směny na všech pracovištích. Bylo poukázáno na úzká místa a prvky simulace, které mají na proces lakování největší vliv. Na druhou stranu bylo popsáno, do kterých částí procesu se na základě provedené simulace nevyplatí investovat finanční prostředky.

Jak již bylo popsáno v úvodu, pokud má společnost zaměstnance, kteří jsou schopni s programy jako Plant Simulation pracovat a využít tak jejich potenciál, lze výrazně zlepšit fungování podniků. Mnohdy jsou společnosti zaměřeny na konkrétní problém, na konkrétní pracoviště, avšak ty největší mezery vznikají na rozmezí procesů. Tyto příležitosti ke zlepšení je možné odhalit pouze tehdy, pokud vnímáme proces jako celek a jsou zahrnuty ti činitelé, kteří mají na proces vliv, což nemusí být na první pohled patrné.

Výsledky této práce i vytvořený model budou prezentovány ve výrobním závodě Siemens v Norimberku jako možné vstupy pro zlepšení efektivity procesu lakování.

8 Seznam literatury

- [1] Stories - History - Global. In: *Siemens* [online]. Germany: Siemens, 2023 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/global/en/company/about/history/stories.html>
- [2] Full Siemens Report: FOR FISCAL 2022. In: *Siemens* [online]. Germany: Siemens, 2023 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: https://www.siemens.com/applications/b09c49eb-3a14-73b3-9f71-e30e3c2dfdbd/s3_assets/pdfs/en/Siemens_Report_FY2022.pdf?ste_sid=2e81e0d6415b24d5d7132bcd6a83dd94
- [3] Siemens prepares separation of large drive business. In: *Reuters | Breaking International News & Views* [online]. Toronto, Ontario, Canada: Reuters, 2022 [cit. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/technology/siemens-prepares-separation-large-drive-business-2021-10-18/>
- [4] Portfolio & Industries | Siemens LDA Portal. In: *Siemens LDA Portal | Home* [online]. Německo: Siemens, 2023 [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.lda-portal.siemens.com/siemlda/en/portfolioandindustries>
- [5] HUEBNE, Alexander, Zuzanna SZYMANSKA, John REVILL a Jason NEELY. Siemens prepares separation of large drive business | Reuters. In: *Reuters | Breaking International News & Views* [online]. London: Thomson Reuters, 2023 [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/technology/siemens-prepares-separation-large-drive-business-2021-10-18/>
- [6] [NewCo] – Launch of a new leading motors and large drives company | Press | Company | Siemens. In: *Siemens* [online]. Munich: Siemens, 1996-2023 [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/newco-launch-new-leading-motors-and-large-drives-company>

- [7] KEŘKOVSKÝ, Miloslav a Ondřej VALSA. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 3., dopl. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2012. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-319-9.
- [8] *Siemens Digital Industries Software | Siemens Software* [online]. Plano, Texas, United States: Siemens, 2023 [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.sw.siemens.com/en-US/>
- [9] Plant Simulation - AXIOM TECH s.r.o. In: *Úvod - AXIOM TECH s.r.o.* [online]. Zlín: AXIOM TECH s.r.o., 2023 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25357-tecnomatix-plant-simulation>
- [10] JURCZYK-BUNKOWSKA, M. Tactical manufacturing capacity planning based on discrete event simulation and throughput accounting: A case study of medium sized production enterprise. *Advances in production engineering & management* [online]. Maribor: University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Production Engineering Institute, 2021, **16**(3), 335-347 [cit. 2023-03-17]. ISSN 1854-6250. Dostupné z: doi:10.14743/apem2021.3.404
- [11] SEYEDAN, Mahya a Fereshteh MAFAKHERI. Predictive big data analytics for supply chain demand forecasting: methods, applications, and research opportunities. *Journal of big data* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2020, **7**(1), 1-22 [cit. 2023-03-17]. ISSN 2196-1115. Dostupné z: doi:10.1186/s40537-020-00329-2
- [12] KAMPA, Adrian, Grzegorz GOŁDA a Iwona PAPROCKA. Discrete Event Simulation Method as a Tool for Improvement of Manufacturing Systems. *Computers (Basel)* [online]. Basel: MDPI AG, 2017, **6**(1), 10 [cit. 2023-03-17]. ISSN 2073-431X. Dostupné z: doi:10.3390/computers6010010
- [13] PATALAS-MALISZEWSKA, J. a M. TOPCZAK. *A new management approach based on Additive Manufacturing technologies and Industry 4.0 requirements* [online]. 2021, **16**(1), 125-135 [cit. 2023-03-17]. ISSN 18546250. Dostupné z: doi:10.14743/apem2021.1.389

- [14] *Unifying Petri nets*. Berlin: Springer-Verlag, 2001. ISBN 35-404-3067-9.
- [15] *Water-based coating vs. solvent-based coating | US Coatings* [online]. Cypress Creek Parkway, Houston, USA: US Coatings [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.uscoatings.com/blog/water-based-coating-vs-solvent-based-coating/>
- [16] EUR-Lex - 4406074 - EN - EUR-Lex. In: *EU law - EUR-Lex* [online]. EU: European Union, 2023 [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/emissions-of-volatile-organic-compounds-in-paints-varnishes-and-vehicle-refinishing-products.html>
- [17] *WITNESS - Learning book number one: Manufacturing Performance Edition* [online manuál k aplikaci]. United Kingdom: © Lanner Group Ltd, 2016, 112 s. [cit. 24.4.2021]. ISBN: 978-1-291-47674-3. Dostupné v rámci aplikace Witness Horizon.
- [18] MACHAČOVÁ, Simona. *Optimalizace pracoviště tvarování*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/135028>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav managementu. Vedoucí práce Zdeňka Videcká.
- [19] LYMAN, Philip. Process simulation benefits for manufacturers. *Control Engineering*. Barrington: CFE Media, 2020, **67**(7), 7-8. ISSN 00108049. Dostupné také z: <https://www.proquest.com/trade-journals/process-simulation-benefits-manufacturers/docview/2428114438/se-2?accountid=17115>
- [20] SHARMA, Prateek. Discrete-event simulation. *International journal of scientific & technology research* [online]. International Journal of Scientific & Technology Research, 2015, **4**(4), 136–140 [cit. 2023-04-22]. ISSN 2277-8616. Dostupné z: <https://www.ijstr.org/final-print/apr2015/Discrete-event-Simulation.pdf>
- [21] BANKS, Jerry, John S. CARSON II, Barry L. NELSON a David M. NICOL. *Discrete-Event System Simulation*. 5. New Jersey: Pearson Education, Inc., 2010. ISBN 0-13-815037-0.

9 Využitý software

- Tecnomatrix Plant Simulation
- Microsoft Visio
- Bizagi Modeler

10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Souvislost mezi volbou uspořádání výroby a uspořádáním pracovišť [7] ...	15
Obrázek 2: Souvislost rozhodování o uspořádání výroby a pracovišť [7].....	18
Obrázek 3: Metodika Simulace (Vlastní zpracování dle [17] [21]).....	25
Obrázek 4: Rozměry motoru (zpracováno dle prezentace společnosti Siemens).....	27
Obrázek 5: zleva SIMOTICS HV C a) air-cooled b) flameproof c) water jacket-cooled (z prezentace společnosti Siemens)	27
Obrázek 6: SIMOTICS HV C air-cooled (zpracováno dle prezentace společnosti Siemens).....	28
Obrázek 7: POPIS: SIMOTICS HV C water jacket-cooled (zpracováno dle prezentace společnosti Siemens).....	29
Obrázek 8: Koncepce SIMOTICS SD new generation (zpracováno dle prezentace společnosti Siemens).....	30
Obrázek 9: Popis elektrického točivého stroje (vlastní zpracování).....	31
Obrázek 10: Layout pracoviště lakovny (vlastní zpracování)	32
Obrázek 11: Proces lakování (vlastní zpracování)	34
Obrázek 12: Petriho síť A) vstup + rozlišení velkých a malých motorů (vlastní zpracování).....	37
Obrázek 13: Petriho síť B) velká lakovna (vlastní zpracování)	38
Obrázek 14: Petriho síť C) malá lakovna (vlastní zpracování)	39
Obrázek 15: Stručný model návrhu simulace (vlastní zpracování)	43
Obrázek 16: Konceptuální schéma procesu lakování v Plant Simulation (vlastní zpracování).....	44
Obrázek 17: User-defined atributy (vlastní zpracování).....	46
Obrázek 18: DataTable a Atributy (vlastní zpracování)	46
Obrázek 19: Station_PaintShopBig_Controls (vlastní zpracování).....	48
Obrázek 20: Multiportal Crane (vlastní zpracování)	49
Obrázek 21: ShiftCalendar (vlastní zpracování).....	50
Obrázek 22: Obrázek ze simulace (vlastní zpracování).....	55
Obrázek 23: Experiment1_vytížení Store.....	57
Obrázek 24: Experiment1_vytížení SmallStore	58

11 Seznam grafů

Graf 1: Simulace_obsazenost Store	54
Graf 2: Simulace_obsazenost StoreSmall.....	56
Graf 3: Experiment1_obsazenost Store	57
Graf 4: Experiment1_obsazenost SmallStore	58
Graf 5: Experiment2_obsazenost Store	58
Graf 6: Experiment2_obsazenost SmallStore	59
Graf 7: Experiment3_obsazenost Store	60
Graf 8: Experiment3_obsazenost SmallStore	60
Graf 9: Experiment4_obsazenost Store	61
Graf 10: Experiment4_obsazenost SmallStore	61

12 Seznam tabulek

Tabulka 1: Nejdůležitější výhody a nevýhody jednotlivých způsobů uspořádání pracovišť [7].....	17
Tabulka 2: Výrobní program (vlastní zpracování)	26
Tabulka 3: Zakázková náplň (vlastní zpracování)	82

13 Přílohy

13.1 Použité metody

13.1.1 GetAvailableStoreArea

```
-> integer

var storeLength := 14 // in meters
var storeWidth := 14 // in meters
var availableStoreArea := storeLength * storeWidth

var stores := [ Store, StoreSmall, PaintShopBig,
PaintShopSmall ]

for var i := 1 to stores.dim
    var store := stores[i]

    for var p := 1 to store.NumMUParts
        var part := Store.MUPart(p)
        var partArea := part.MULength * part.MUWidth
        availableStoreArea := availableStoreArea -
partArea
    next
next

result := availableStoreArea
```

13.1.2 UpdateStats

```
StoreFreeArea := GetAvailableStoreArea()
StoreItemCount := Store.NumMUParts()
CurrentTime := EventController.SimTime
SmallStoreItems := StoreSmall.NumMUParts
SmallStoreAvailableSpace := GetAvailableSmallStoreArea()

StatsTable[1, StatsTable.yDim + 1] := CurrentTime
StatsTable[2, StatsTable.yDim] := StoreFreeArea
StatsTable[3, StatsTable.yDim] := SmallStoreItems

var sumPaintedBig := 0
var sumPaintedSmall := 0

for var i := 1 to Store.NumMUParts
    var part := Store.MUPart(i)
```

```

    if part.GetAttribute("IsFinished")
        if IsBigMotor(part)
            sumPaintedBig := sumPaintedBig + 1
        else
            sumPaintedSmall := sumPaintedSmall + 1
        end
    end
end

UpdateIsDried(part, makeRGBValue(10,120,120))
next

for var j := 1 to StoreSmall.NumMUParts
    var smallPart := StoreSmall.MUPart(j)

    if smallPart.GetAttribute("IsFinished")
        sumPaintedSmall := sumPaintedSmall + 1
    end

    UpdateIsDried(smallPart, makeRGBValue(120,10,120))
next

StatsTable[4, StatsTable.yDim] := sumPaintedBig
StatsTable[5, StatsTable.yDim] := sumPaintedSmall
StatsTable[6, StatsTable.yDim] := PaintShopBig.NumMUParts >
0
StatsTable[7, StatsTable.yDim] := PaintShopSmall.NumMUParts
> 0

```

13.1.3 UpdateIsDried

```

param part : object, targetColor : integer

// Test whether it is dried
if part.getAttribute("IsDry")
    return
end

var dryTime : Time := part.getAttribute("DryingTime")
var dryingStartedAt : Time :=
part.getAttribute("DryingStartTime")
var isBig := IsBigMotor(part)
var remainingPaintIterations :=
GetRemainingPaintIterationsCount(part)

if CurrentTime - dryingStartedAt > dryTime
    part.setAttribute("IsDry", true)
    part.VectorgraphicsColor :=
ComputePartColor(remainingPaintIterations, isBig, true)

```

```

        if remainingPaintIterations = 0
            part.setAttribute("IsFinished", true)
        end
    end
end

```

13.1.4 UpdatePaintIterations

```

param part : object -> integer

// Unless part has PaintIterations attribute explicitly
// set,
// we assume the motor is only painted once
var paintIterations :=
    GetRemainingPaintIterationsCount(part)

// Subtract from number of paint iterations left
// write back to part memory if needed
paintIterations := paintIterations - 1
if part.hasAttribute("PaintIterations")
    part.setAttribute("PaintIterations", paintIterations)
end

// Because it was recently painted, it is wet and needs to
// dry
part.setAttribute("IsDry", false)

result := paintIterations

```

13.1.5 GetRemainingIterationsCount

```

param part : object -> integer

var paintIterations := 1
if part.hasAttribute("PaintIterations")
    paintIterations :=
        part.getAttribute("PaintIterations")
end

result := paintIterations

```

13.1.6 ComputePartColor

```

param paintIterationsLeft : integer, isBig : boolean, isDry
: boolean -> integer

var mainColorComponent: integer := 255 - 40 *
    paintIterationsLeft

```

```

var minorColorComponent: integer := 40 *
paintIterationsLeft

if isDry
    minorColorComponent := minorColorComponent - 40
end

if isBig
    result := makeRGBValue(minorColorComponent,
mainColorComponent, mainColorComponent)
else
    result := makeRGBValue(mainColorComponent,
minorColorComponent, mainColorComponent)
end

```

13.1.7 IsBigMotor

```

param part : object -> boolean
result := part.MUHeight > 0.45m

```

13.1.8 GetAvailableSmallStoreArea

```

-> integer

var objectCapacity := 6 // There can be 6 small engines in
total

result := objectCapacity - StoreSmall.NumMUParts -
PaintShopSmall.NumMUParts

```

13.1.9 CraneLogic

```

var TIME_TO_MOVE_MOTOR_FROM_ET_TO_STORE :=
str_to_time("00:01:30.0") // 1m30s
var TIME_TO_MOVE_MOTOR_FROM_STORE_TO_SMALLSTORE :=
str_to_time("00:03:00.0") // 1m30
var AUXILIARY_CRANE_HACK_ENABLED := true

// In each invocation, reset crane processing time
Crane.setAttribute("ProcTime", str_to_time("00:01:00.0"))

UpdateStats()

var objectToMoveFromEt : object
var objectToMoveToBigPaintShop : object
var objectToMoveToSmallStore : object
var objectToMoveFromSmallStore : object

```

```

// Sorted by priority
var thereIsObjectReadyForBigPaintShop := false
var thereIsObjectReadyToMoveFromSmallStore := false
var thereIsObjectReadyToMoveToSmallStore := false
var thereIsObjectToMoveFromEtToStore := true

var availableStoreArea := GetAvailableStoreArea()
var availableSmallStoreArea :=
GetAvailableSmallStoreArea()

var et1HasMotor := Et1.empty = false
var et2HasMotor := Et2.empty = false
var et1HasSmallMotor : boolean := et1HasMotor and not
IsBigMotor(Et1.MUPart(1))
var et2HasSmallMotor : boolean := et2HasMotor and not
IsBigMotor(Et2.MUPart(1))

// This will make sure we're alternating between electrical
testing stations
if et1HasMotor and et2HasMotor
    if LastElectricalStationUsed = 0
        et1HasMotor := false
    else
        et2HasMotor := false
    end
end
end

// Max one of these predicates will be true at any given
time (see the code above)
if et1HasMotor
    objectToMoveFromEt := Et1.MUPart(1)
    LastElectricalStationUsed := 0 // Mark the last station
used so we can use the other one next time
elseif et2HasMotor
    objectToMoveFromEt := Et2.MUPart(1)
    LastElectricalStationUsed := 1
else
    thereIsObjectToMoveFromEtToStore := false
end

// Check if we have capacity in the system to actually move
stuff from electrical
// to store
// If the current station holds something too big that
doesn't fit and the
// other one holds something small that could still fit, it
will be tested
// in the next pass because we're alternating the stations
if thereIsObjectToMoveFromEtToStore

```

```

    var engineArea := objectToMoveFromEt.MULength *
objectToMoveFromEt.MUWidth
    var storeIsFull := engineArea > availableStoreArea

    if storeIsFull
        thereIsObjectToMoveFromEtToStore := false
    end
end

// Look for engines not painted yet
for var i := 1 to Store.numMuParts()
    var obj := Store.MUpart(i)
    var isPaintCandidate : boolean :=
obj.getAttribute("IsDry") and not
obj.getAttribute("IsFinished")

    // Skip this one, it is either drying or finished
    if not isPaintCandidate
        continue
    end

    if IsBigMotor(obj)
        objectToMoveToBigPaintShop := obj
        thereIsObjectReadyForBigPaintShop := true
    elseif availableSmallStoreArea > 0
        objectToMoveToSmallStore := obj
        thereIsObjectReadyToMoveToSmallStore := true
    end
end
next

// Look for finished engines in the small store
for var j := 1 to StoreSmall.NumMUParts()
    var obj2 := StoreSmall.MUpart(j)
    var isFinished : boolean :=
obj2.getAttribute("IsFinished")

    if not isFinished
        continue
    end

    objectToMoveFromSmallStore := obj2
    thereIsObjectReadyToMoveFromSmallStore := true
end
next

// There are unwritten rules that paintshops needs to be
occupied as
// often as possible and workers do everything to enable
that. For
// example, they can leverage some auxiliary crane from

```

```

another station
// to move engines from electrical to stores and then to
small store
// to increase efficiency.
if CraneOccupied
    var auxiliaryCraneNotOccupied :=
HelperCraneFromElectrical.empty
    var procTime : time

    if AUXILIARY_CRANE_HACK_ENABLED and
auxiliaryCraneNotOccupied
        if thereIsObjectReadyToMoveToSmallStore
            objectToMoveToSmallStore.move(StoreSmall)
            procTime :=
TIME_TO_MOVE_MOTOR_FROM_STORE_TO_SMALLSTORE
        elseif thereIsObjectReadyToMoveFromSmallStore
            objectToMoveFromSmallStore.move(Store)
            procTime :=
TIME_TO_MOVE_MOTOR_FROM_STORE_TO_SMALLSTORE
        elseif thereIsObjectToMoveFromEtToStore
            if et1HasSmallMotor
                Et1.MUPart(1).move(Store)
            elseif et2HasSmallMotor
                Et2.MUPart(1).move(Store)
            else
                objectToMoveFromEt.move(Store)
            end
        end

        procTime :=
TIME_TO_MOVE_MOTOR_FROM_ET_TO_STORE
    end

    .UserObjects.HelperCraneUsedToken.Create(HelperCran
eFromElectrical)
    HelperCraneFromElectrical.setAttribute("ProcTime",
procTime)
end

return
end

// These conditions are ordered by the priority they
// should happen in
if thereIsObjectReadyForBigPaintShop
    objectToMoveToBigPaintShop.move(PaintShopBig)
    CraneOccupied := true
elseif thereIsObjectReadyToMoveFromSmallStore
    objectToMoveFromSmallStore.move(Store)
    Crane.setAttribute("ProcTime",

```

```

TIME_TO_MOVE_MOTOR_FROM_STORE_TO_SMALLSTORE)
elseif thereIsObjectReadyToMoveToSmallStore
    objectToMoveToSmallStore.move(StoreSmall)
    Crane.setAttribute("ProcTime",
TIME_TO_MOVE_MOTOR_FROM_STORE_TO_SMALLSTORE)
elseif thereIsObjectToMoveFromEtToStore
    objectToMoveFromEt.move(Store)
    Crane.setAttribute("ProcTime",
TIME_TO_MOVE_MOTOR_FROM_ET_TO_STORE)
end

```

13.1.10InitializePaintShop

```

// Ask the engine how long it should be painted then set it
as a processing time for this paintshop
var paintTime : Time := @.getAttribute("PaintTime")
?.setAttribute("ProcTime", paintTime)

```

13.1.11HandlePaintShopExit

```

// Move the painted object back to store and release the
crane
var iterationsLeft := UpdatePaintIterations(@)
@.setAttribute("DryingStartTime", EventController.SimTime)
@.VectorgraphicsColor := ComputePartColor(iterationsLeft,
true, false)
CraneOccupied := false
@.move(Store)

```

13.1.12HandleSmallPaintShopExit

```

// Move the painted object back to store and release the
crane
var iterationsLeft := UpdatePaintIterations(@)
@.setAttribute("DryingStartTime", EventController.SimTime)
@.VectorgraphicsColor := ComputePartColor(iterationsLeft,
false, false)
SmallCraneOccupied := false
@.move(StoreSmall)

```

13.1.13SmallCraneLogic

```

if SmallCraneOccupied
    return
end

// In each invocation, reset crane processing time

```

```

SmallCrane.setAttribute("ProcTime",
str_to_time("00:01:00.0"))

for var i := 1 to StoreSmall.NumMUParts
    var part := StoreSmall.MUPart(i)
    var isPaintCandidate : boolean :=
part.getAttribute("IsDry") and not
part.getAttribute("IsFinished")

    // Skip this one, it is either done or drying
    if not isPaintCandidate
        continue
    end

    part.move(PaintShopSmall)
    SmallCraneOccupied := false
    return
next

```

13.1.14EmptyAllStores

```

var offset := 1
for var i := 1 to Store.NumMUParts
    var obj := Store.MUPart(offset)
    var isReadyForExtraction :=
obj.getAttribute("IsFinished")

    if isReadyForExtraction
        obj.move(MegaDrain)
    else
        offset := offset + 1
    end
next

```

13.2 Zakázková náplň

Tabulka 3: Zakázková náplň (vlastní zpracování)

druh motoru	druh lakování	ShaftHeight	délka lakování[hod]	schnutí[hod]
engineBig	hydro	56	4	7
engineSmall	hydro	35	1	7
engineBig	hydro	56	4	7
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineBig	hydro	50	4	7
engineSmall	solvent	31	1	7
engineMedium	hydro	45	2	7
engineBig	solvent	56	1,5	4
engineMedium	solvent	45	0,75	5
engineBig	solvent	50	1,5	5
engineMedium	hydro	40	2	7
engineBig	solvent	50	1,5	4
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	solvent	50	0,75	5
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	solvent	40	0,75	4
engineBig	hydro	50	4	7
engineMedium	solvent	50	0,75	4
engineBig	hydro	50	4	7
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	solvent	40	0,75	4
engineMedium	solvent	45	0,75	5
engineMedium	hydro	40	2	7

engineBig	hydro	50	4	7
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	hydro	40	2	7
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	hydro	45	2	7
engineBig	solvent	50	1,5	4
engineSmall	hydro	35	1	7
engineBig	solvent	56	1,5	4
engineBig	solvent	56	1,5	4
engineSmall	hydro	35	1	7
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	solvent	50	0,75	5
engineBig	hydro	50	4	7
engineSmall	solvent	35	1	7
engineSmall	hydro	35	1	7
engineMedium	hydro	40	2	7
engineMedium	hydro	40	2	7
engineMedium	solvent	50	0,75	5
engineMedium	solvent	50	0,75	5
engineMedium	hydro	50	2	7
engineMedium	solvent	40	0,75	4
engineMedium	solvent	40	0,75	4
engineMedium	solvent	40	0,75	4
engineBig	hydro	50	4	7
engineBig	hydro	50	4	7
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	solvent	40	0,75	4
engineMedium	solvent	40	0,75	4

engineMedium	solvent	40	0,75	4
engineBig	solvent	50	1,5	4
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	hydro	40	2	7
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	hydro	40	2	7
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	hydro	40	2	7
engineSmall	hydro	35	1	7
engineSmall	solvent	31	1	7
engineSmall	solvent	31	1	7
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineSmall	solvent	31	1	7
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	hydro	45	2	7
engineSmall	hydro	35	1	7
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineSmall	solvent	35	0,3	4
engineMedium	hydro	45	2	7
engineSmall	solvent	35	0,3	4
engineSmall	solvent	35	0,3	4

engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	hydro	50	2	7
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	solvent	40	0,75	5
engineMedium	hydro	45	2	7
engineMedium	hydro	45	2	7
engineSmall	hydro	35	1	7
engineSmall	hydro	35	1	7
engineMedium	hydro	50	2	7
engineSmall	hydro	35	1	7