Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky

Disertační práce

Optimalizace výrobních systémů využitím simulačních modelů

Optimization of production systems using simulation models

Autor: Ing. Ivo Novák

Studijní program: P 6208 Ekonomika a management

Studijní obor: 6208V038 Management a ekonomika

Školitel: doc. Ing. David Tuček, Ph.D.

Rok: 2012

© Ing. Ivo Novák

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji všem, kteří přispěli jakýmkoliv způsobem ke zpracování disertační práce a nejen k ní. Děkuji svým rodičům za obětavou a trpělivou podporu, kterou mně po celou dobu studia poskytovali. Především děkuji za spoustu rad, tipů a zejména velmi příjemnou spolupráci svému školiteli doc. Ing. Davidu Tučkovi, Ph.D. a také Ing. Liboru Sargovi za pomoc se statistickým vyhodnocením dotazníku.

ABSTRAKT

Disertační práce se zabývá problematikou počítačových simulací.

V první části se práce zabývá současným stavem řešené problematiky. Jednak trendy ve vývojích podniků a výrobních systémů, jejich produktivitou či plánováním a také popisem principu počítačových simulací, vhodným softwarem.

V druhé části jsou popsány cíle disertační práce a hypotézy, z nichž práce vychází.

Ve třetí kapitole jsou popsány zvolené metody zpracování.

Ve čtvrté, hlavní kapitole, je rozbor výsledků práce rozdělen do tří částí. V první části je výzkum výměny dat mezi modely prováděný v rámci projektu GAČR 402/08H051 Optimalizace multidisciplinárního navrhování a modelování výrobního systému virtuálních firem. Druhá část je zaměřena na dotazníkový průzkum, týkající se především využití simulací v českých výrobních podnicích. Třetí část obsahuje výsledky případových studií zaměřených cíleně na využití simulací.

Pátá kapitola je zaměřena na vyhodnocení dosažených výsledků práce. Jednak z pohledu dosažených cílů a také z pohledu verifikace hypotéz.

Šestá kapitola popisuje přínosy disertační práce, dělené na přínosy pro praxi a teorii.

Klíčová slova: Optimalizace, výrobní systém, WITNESS, Plant Simulation, počítačová simulace

ABSTRACT

The thesis deals with computer simulations. The first part deals with the current situation of the problematics, with trends in developments of enterprises and production systems, with their productivity and planning then with the description of the principle of computer simulations, with the appropriate software.

The next part describes the aims of the thesis and hypotheses on which is the work based.

The third chapter describes the chosen method of processing.

In the fourth main chapter are discussed the results of the work which are divided into three parts. The first part is the research of data exchange between models done under the terms of the project GACR 402/08H051. Optimization of multidisciplinary design and modeling of manufacturing system of virtual companies. The second part focuses on a questionnaire survey on the use of simulations, especially in the Czech manufacturing companies. The third part contains the results of case studies using simulations.

The fifth chapter focuses on the evaluation of the results of the work. From the views of achievements and also in terms of verification of hypotheses.

The sixth chapter describes the benefits of the thesis which are divided into the practical and theoretical parts.

Keywords: optimization, manufacturing systems, WITNESS, Plant Simulation, computer simulation

OBSAH

PODĚKOVÁNÍ **3**
SEZNAM OBRÁZKŮ **9**
SEZNAM TABULEK **12**
ÚVOD **13**
1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY **14**
1.1 VÝROBNÍ SYSTÉMY 14
1.1.1 Štíhlý podnik 15
1.1.2 Výrobní systém firmy Toyota (Toyota Production System) 18
1.1.3 Štíhlá výroba 19
1.1.4 Produktivita 20
1.1.5 Plýtvání 24
1.1.6 Podnikový proces 28
1.2 PLÁNOVÁNÍ, ORGANIZACE A EFEKTIVNÍ VÝROBA 29
1.3 POČÍTAČOVÉ SIMULACE 30
1.3.1 Přínosy a použití simulace 30
1.3.2 Modelování, simulace, optimalizace 31
1.3.3 Typy simulací 32
1.3.4 Modelování struktury systému 32
1.3.5 Simulační programy 33
1.3.6 Simulace z několika základních pohledů 36
1.3.7 Příklady využití simulací v praxi 38
1.3.8 Provázanost simulačních programů a Excelu 39
2 CÍLE A HYPOTÉZY DISERTAČNÍ PRÁCE **41**
2.1 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE 41
2.1.1 Oblast řešení problematiky 41
2.1.2 Důvody řešení problematiky 41
2.2 HYPOTÉZY DISERTAČNÍ PRÁCE 42
3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ **44**

3.1 ANALÝZA 44
3.2 SYNTÉZA 44
3.3 INDUKCE 45
3.4 DEDUKCE 45
3.5 KVALITATIVNÍ VÝZKUM 45
3.6 KVANTITATIVNÍ VÝZKUM 45
4 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE 46
4.1 ANALÝZA A NÁVRH MOŽNÝCH ZPŮSOBŮ VZÁJEMNÉ VÝMĚNY DAT MEZI JEDNOTLIVÝMI MODELY VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ NEBO ČÁSTÍ VÝROBNÍHO SYSTÉMU 46
4.1.1 Představení výrobního systému 48
4.1.2 Využití software WITNESS pro výměnu dat mezi modely procesů 49
4.1.3 Využití software Plant Simulation pro výměnu dat mezi modely procesů 61
4.1.4 Vzájemná výměna dat mezi software Plant Simulation a WITNESS 78
4.1.5 Dílčí závěr kapitoly výzkumu GAČR 83
4.2 VÝSLEDKY DOTAZNÍKOVÉHO PRŮZKUMU 84
4.2.1 Kvantitativní výzkum 85
4.2.2 Kvalitativní výzkum 96
4.2.3 Dílčí závěr kapitoly dotazníkového šetření 99
4.3 VÝSLEDKY PŘÍPADOVÝCH STUDIÍ 101
4.3.1 Případová studie č. 1 – Výrobce oken XY, s.r.o. 101
4.3.2 Případová studie č. 2 – Lisovna plastů XZ, s.r.o. 107
4.3.3 Případová studie č. 3 – Lisovna plastů XZ, s.r.o. 114
4.3.4 Případová studie č. 4 – Lisovna plastů XZ, s.r.o. 118
4.3.5 Dílčí závěr kapitoly případových studií 126
5 VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ DISERTAČNÍ PRÁCE 128
5.1 SPLNĚNÍ CÍLŮ PRÁCE 128
5.2 VERIFIKACE HYPOTÉZ 129
6 PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE 130
6.1 PŘÍNOSY PRO TEORII 130
6.2 PŘÍNOSY PRO PRAXI 130
ZÁVĚR 132

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 135
SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA 140
CURICULLUM VITAE.....142
PŘÍLOHY.....145

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1.1: Změny paradigmat v podnicích 15
Obrázek č. 1.2: Stavební štíhlý a inovativní podnik 15
Obrázek č. 1.3: Výrobní systém Toyoty 18
Obrázek č. 1.4: Moderní stroje zvyšují produktivitu procesů 23
Obrázek č. 1.5: Transformační proces 28
Obrázek č. 1.6: Princip simulace 30
Obrázek č. 1.7: Úspory času a nákladů s podporou modelování a simulace 31
Obrázek č. 1.8: Ukázka z prostředí WITNESS a Plant Simulation 35
Obrázek č. 1.9: Obalová křivka 37
Obrázek č. 4.1: Popis systému 48
Obrázek č. 4.2: Moduly 50
Obrázek č. 4.3: Běh modelu 51
Obrázek č. 4.4: Lisovna kapot 52
Obrázek č. 4.5: Řezárna polepů 53
Obrázek č. 4.6: Lakovna a polepovna 54
Obrázek č. 4.7: Průběh simulace 55
Obrázek č. 4.8: Hlavní frame 62
Obrázek č. 4.9: Frame Cowls1 62
Obrázek č. 4.10: Frame Adhesives1 63
Obrázek č. 4.11: Frame Varnishing_only_once_ks 63
Obrázek č. 4.12: Frame Varnishing_only_one_time 64
Obrázek č. 4.13: Používané frame 65
Obrázek č. 4.14: Lisovna kapot 66
Obrázek č. 4.15: Řezárna polepů 67
Obrázek č. 4.16: Lakovna a polepovna 67
Obrázek č. 4.17: Průběh simulace 68
Obrázek č. 4.18: Nový layout 70
Obrázek č. 4.19: Dialogové okno zápis kapot 75

Obrázek č. 4.20: Dialogové okno načítání kapot 75
Obrázek č. 4.21: Běh modelu 76
Obrázek č. 4.22: Dialogové okno 77
Obrázek č. 4.23: Běh simulace 79
Obrázek č. 4.24: Nový layout 80
Obrázek č. 4.25: Běh simulace 81
Obrázek č. 4.26: Část dotazníku v prostředí dokumentů google 85
Obrázek č. 4.27: Využití simulací ve výrobních podnicích bez rozdílu velikosti 86
Obrázek č. 4.28: Využití simulací ve výrobních podnicích malé velikosti 87
Obrázek č. 4.29: Zájem malých podniků o nasazení simulací 87
Obrázek č. 4.30: Využití simulací ve výrobních podnicích střední velikosti 88
Obrázek č. 4.31: Zájem středních podniků o nasazení simulací 88
Obrázek č. 4.32: Využití simulací ve výrobních podnicích velkých 89
Obrázek č. 4.33: Zájem velkých podniků o nasazení simulací 90
Obrázek č. 4.34: Layout pracoviště 101
Obrázek č. 4.35: Layout v modelu 103
Obrázek č. 4.36: Nastavení stroje pro navíjení drátu a látky 104
Obrázek č. 4.37: Provedený běh simulace pro dva operátory 105
Obrázek č. 4.38: Layout pracoviště 107
Obrázek č. 4.39: Hotové výrobky 108
Obrázek č. 4.40: Zadávací tabulka v Excelu 109
Obrázek č. 4.41: Výsledky simulace 109
Obrázek č. 4.42: Výsledky simulace 110
Obrázek č. 4.43: Výsledky simulace pro dopravníky otočené k sobě 111
Obrázek č. 4.44: Výsledky simulace pro dopravníky otočené k sobě a optimalizované manipulační práce operátorů 112
Obrázek č. 4.45: Výsledky simulace pro zkrácení času kontroly 113
Obrázek č. 4.46: Layout pracoviště 114

Obrázek č. 4.47: Výsledky simulace pro signalizační úroveň 100 ks 116
Obrázek č. 4.48: Výsledky simulace po další optimalizaci 117
Obrázek č. 4.49: Layout výroby 118
Obrázek č. 4.50: Layout výroby komponent 120
Obrázek č. 4.51: Layout finální montáže 121
Obrázek č. 4.52: Layout systému 121
Obrázek č. 4.53: Kompletní subframe finální montáže 122
Obrázek č. 4.54: Kompletní subframe komponent 123
Obrázek č. 4.55: Výsledky základního modelu 124

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1.1: Produktivita práce v ČR, SR, EU 15 a EU 25 21
Tabulka č. 1.2: Vztahy mezi modelováním, simulací, optimalizací 32
Tabulka č. 4.1: Přínosy k úspoře času simulace 57
Tabulka č. 4.2: Přínosy k úspoře času simulace 58
Tabulka č. 4.3: Úspory času při simulaci 60
Tabulka č. 4.4: Měření náročnosti času zápisu 68
Tabulka č. 4.5: Dosažené časové úspory při simulaci 71
Tabulka č. 4.6: Plant Simulation 72
Tabulka č. 4.7: WITNESS 72
Tabulka č. 4.8: Náročnost zápisu textových souborů 74
Tabulka č. 4.9: Náročnost čtení textových souborů 75
Tabulka č. 4.10: Obecný tvar kontingenční tabulky 92
Tabulka č. 4.11: Kontingenční tabulka kombinace odpovědí 92
Tabulka č. 4.12: Cyklové časy 102
Tabulka č. 4.13: Výsledky simulačního běhu 104
Tabulka č. 4.14: Cyklové časy v sekundách 108
Tabulka č. 4.15: Cyklové časy v sekundách 115
Tabulka č. 4.16: Cyklové časy v sekundách 119
Tabulka č. 4.17: Cyklové časy v sekundách 125

ÚVOD

Svůj život žijeme v době velmi hektické a chaotické, jsme svědky častých změn okolního světa.

Podniky jsou tlačeny svým okolím v podobě zákazníků či konkurentů ke zvyšování své výkonnosti, poklesu cen produkce a zároveň růstu kvality, ke zvyšování variability svých výrobků nebo zkracování dodacích lhůt. Jestliže se podnik nedokáže přizpůsobit, nemůže za běžných okolností v tržním prostředí přežít, pokud nemá významné know – how, či jiné výsadní postavení dané např. legislativou. Své výrobní systémy musí podnik navrhovat tak, aby byl schopný se pružně a rychle přizpůsobit požadavku zákazníka. To znamená s důrazem na minimální, až nulové prostoje, vysokou variabilitu výroby, krátké časy změn výroby, atp.

Nasazení výpočetní techniky může při správném způsobu použití vést k významně vyšší efektivitě nejen výrobních procesů. Kombinace lidského kreativního myšlení a hrubé výpočetní síly běžného PC značně zrychluje a zkvalitňuje dosažené výsledky. Počítačové simulace umožňují rychle zkoušet různé varianty výroby. V krátkém čase vyzkoušet mnoho důsledků změn, jež provádíme ve výrobním procesu a vybrat tu nejefektivnější.

V disertační práci se nejprve budu zabývat současným stavem řešené problematiky pro položení vhodných základů pro výzkum v dalších částech. Samotná disertace však stojí na třech základních pilířích, které se mezi sebou vzájemně prolínají. Prvním pilířem je výzkum výměny dat mezi modely prováděný v rámci projektu GAČR 402/08H051 Optimalizace multidisciplinárního navrhování a modelování výrobního systému virtuálních firem. Tato část se zaměřuje na formulaci metodiky výměny dat mezi modely výrobních systémů, přičemž se jedná jak o zákazníky interní, tak zejména externí. V době outsourcingu nabývá řešená problematika na významu, kdy výstupy jednoho modelu dodavatele jsou vstupy do modelu dalšího dodavatele v řetězci výrobců finálního produktu. Druhým pilířem je dotazníkový průzkum zaměřený na využití simulací v českých výrobních podnicích. Cílem tohoto výzkumu je nejen zjistit rozšíření simulací ve společnostech, nýbrž také odhalit klady simulačních programů pro jejich uživatele a naopak i bariéry, které jejich zavedení brání. Poslední pilíř je zaměřen na případové studie, provedené přímo v reálných podmínkách firem. Cílem této části je poukázat na možnosti využití simulačních programů k modelování výrobních systémů a jejich následné optimalizaci. Cílem jedné případové studie také bude prokázat v praktických podmínkách funkčnost navrhované metodiky pro výměnu dat mezi modely řešené v rámci problematiky projektu GAČR.

Následovat bude zhodnocení dosažených výsledků v porovnání s cíli práce.

1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

1.1 Výrobní systémy

Úkolem výrobního systému je přeměna vstupujícího materiálu na výrobky. Obsahuje obvykle mnoho prvků, např.:

- výrobní zařízení (stroje),
- pracovní místa,
- zaměstnance,
- tok materiálu,
- tok informací,
- manipulační zařízení,
- organizace práce,
- plánování a řízení výroby,
- podpůrné procesy [15].

Trendy ve vývoji podniků a výrobních systémů

V posledních letech se okolní svět vyvíjí velmi dynamicky a s ním i výrobní systémy. Výrobní systémy jsou charakterizovány např.:

- velkým pohybem nejen pracovníků, ale také materiálu, což umožňuje stále pružnější a rychlejší doprava,
- vysokou rychlostí předávání informací o výrobcích a konkurenci,
- na straně jedné spojováním podniků do obrovských nadnárodních celků a na straně druhé naopak vyčleňováním různých oborů podnikání, využíváním outsourcingu služeb, specializací na činnosti, ve kterých má podnik největší přidanou hodnotu,
- masovou customizací výroby, zkracováním dodacích lhůt, zkracováním životních cyklů výrobku, vysokou informovanost zákazníků a jejich vysokými požadavky na výrobky, obchodováním přes internet,
- obrovskou konkurencí na trzích, nadbytkem výrobních kapacit a také informovaností konkurence projevující se např. v kopírování výrobků [15].

ZMĚNY PARADIGMAT V PODNICÍCH		
1990	2005	2015
Lean, TQM, CIM	Lean/Six Sigma	podnik jako živý organizmus
napodobování, kopírování	benchmarking, world class	individualita, učení se
informační systémy, automatizace	procesní organizace, procesní management	podnik postavený na lidech, management znalostí
konkurence přes výrobní technologie – hardware	konkurence přes informační technologie – software	konkurence přes lidský kapitál a znalosti peopleware
řízení podle informací	řízení podle cílů	řízení podle příležitostí
kvalita a produktivita	produktivita a inovace	inovace a znalosti
inovace produktů	inovace procesů a produktů	inovace myšlení a biznisu
mass production / customisation	flexibilní a variantní výroba	mass customisation
zlepšování procesů, kaizen, BPR, change management	inovační management	trh myšlenek a nápadů
manažeři produktivity	manažeři změn a projektů	manažeři inovací a znalostí

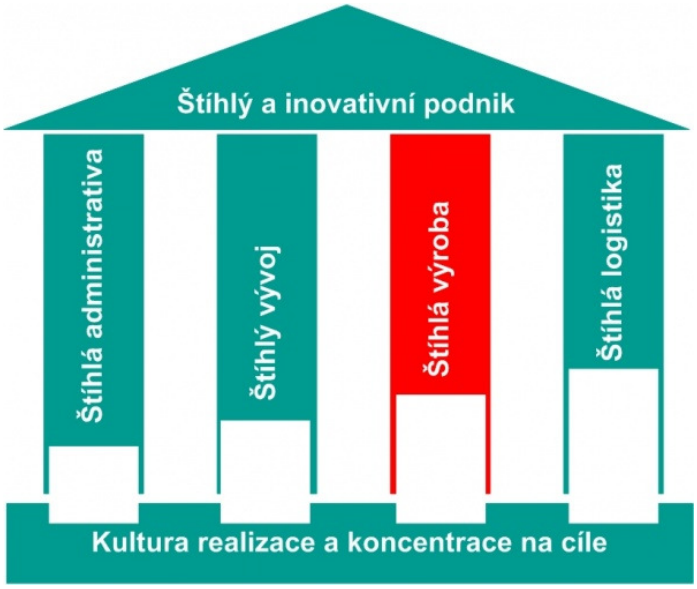
Obrázek č. 1.1: Změny paradigmat v podnicích Zdroj: [16]

Aby podnik uspěl v tomto náročném prostředí, musí se chovat „štíhle“.

1.1.1 Štíhlý podnik

Pro úspěch na trhu musí podniky respektovat trendy štíhlé produkce výrobků. Jedná se tedy o:

- štíhlou administrativu,
- štíhlý vývoj výrobků,
- štíhlou logistiku,
- štíhlou výrobu [8].



Obrázek č. 1.2: Stavební štíhlý a inovativní podnik Zdroj: [8]

Hlavní principy štíhlého myšlení jsou:

- hodnota pro zákazníka,
- identifikace toku hodnot,
- princip toku,
- princip tahu,
- excelence [55].

Duch štíhlé výroby pochází z Japonska, kde se tyto metody rozvíjely po druhé světové válce. V Evropě tyto trendy nastaly v devadesátých letech předchozího století, především v automobilovém průmyslu, trend se však šíří i do dalších odvětví, nastává éra celosvětového zeštíhlování [17]. Je důležité si uvědomovat, že štíhlá výroba nesmí byt upřednostňována na úkor kvality [18].

Štíhlý podnik uspokojuje zákazníky vysokou flexibilitou, krátkou dodací dobou a prvotřídní kvalitou [42]. Orientuje se na odstraňování plýtvání, podporuje operace přidávající hodnotu, což jsou operace, kdy se mění zákazníkem požadovaným způsobem vlastnosti výrobku [34].

Důležité je vidět věci v jejich celkové komplexnosti, resp. alespoň co nejdále dohlédneme. Při štíhlé výrobě nejde pouze o prvoplánovitou redukci nákladů, jde o maximalizaci hodnoty pro zákazníka [27], přičemž ne každé ušetření nákladů automaticky znamená jejich globální optimalizaci.

Přínosy štíhlého podniku lze definovat nejen pro zákazníky a majitele, ale také pro zaměstnance:

1) přínosy pro zákazníky:

- flexibilita,
- cena,
- kvalita,
- přidaná hodnota.

2) přínosy pro majitele:

- zisk,
- nižší nutné investice,
- redukce zásob,
- vyšší flexibilita,
- víc volného prostoru.

3) přínosy pro zaměstnance:

- lepší organizace práce,
- kvalitnější pracovní prostředí,
- lepší pracovní prostředky,
- odměny [20].

Projektování štíhlého podniku

Dle IPA Slovakia je navrhován následující postup:

1. Audit produktivity.
2. Mapování hodnotového toku.
3. Časové hospodářství.
4. Ergonomie.
5. Eliminace plýtvání – Kaizen.
6. Standardizace práce,
7. Výrobní buňky,
8. Týmová práce,
9. Vizualizace.
10. Nízkonákladová automatizace.
11. Kanban, DBR (Drum Buffer Rope), plynulé toky.
12. TPM (Total Productive Maintenance).
13. SMED (Single Minute Exchange of Die).
14. Štíhlý layout a štíhlá logistika.
15. Štíhlá administrativa.
16. Štíhlý vývoj a náběh výroby.
17. Hodnotové inovace [21].

Inspirací mnoha štíhlých podniků je výrobní systém firmy Toyota.

1.1.2 Výrobní systém firmy Toyota (Toyota Production System)

Výrobní systém firmy Toyota využívá hodně firem jako vzor pro prvky štíhlosti. Je důležité, aby se firmy skutečně inspirovaly a tyto prvky aplikovaly ve svojí společnosti pro své vlastní specifické podmínky.

Systém Toyoty vznikl jako reakce na potřeby trhu, který žádal výrobní portfolio v mnoha variantách a z toho vyplývající relativně malé množství opakujících se typů výrobků.

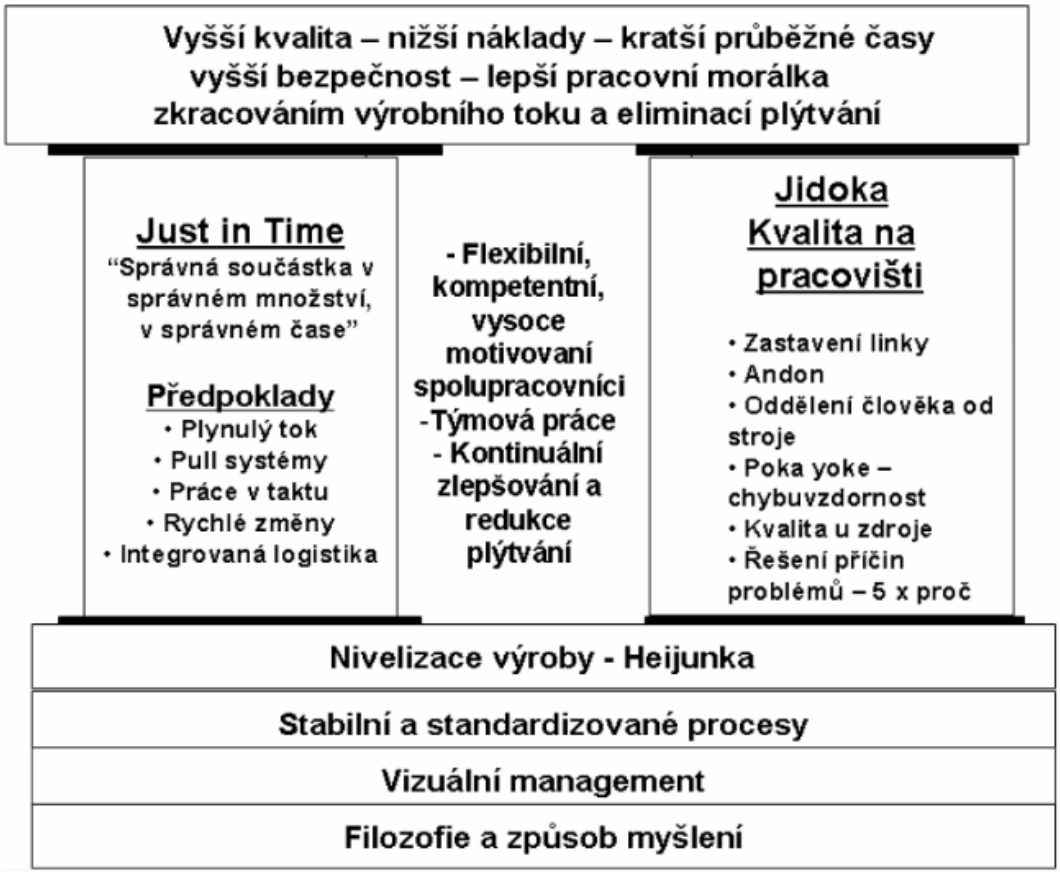
Jedním z hlavních prvků TPS (Toyota Production System) je Kaizen, tedy systém neustálého zlepšování sebe sama v malých krocích.

Cílem TPS je vyrobit produkt nejvyšší kvality za nejnižší možnou cenu [19].

Toto je možné dosáhnout díky neustálé eliminaci plýtvání všeho druhu [40].

TPS systém je postaven na dvou pilířích:

- just-in-time (JIT),
- autonomnost, nebo automatizace s lidským zásahem (Jidoka).



Obrázek č. 1.3: Výrobní systém Toyoty Zdroj: [4]

Dále, v duchu tématu disertační práce, se autor zabývá štíhlou výrobou.

1.1.3 Štíhlá výroba

Je to výrobní filozofie zkracující čas mezi zákazníkovou objednávkou a dodáním výrobku prostřednictvím eliminace všech forem plýtvání [29]. Napomáhá firmám ke snižování nákladů, cyklových časů a zbytečných aktivit.

Je to strategie zaměřující se na přidanou hodnotu a to ze zákazníkova pohledu. Je potřebné plnit zákazníkům jejich přání a to:

- kdy to vyžadují,
- kde to vyžadují,
- za dobrou cenu,
- v množství a variantnosti, kterou vyžadují,
- v očekávané kvalitě.

Štíhlá výroba je systematickým přístupem k identifikování a odstraňování plýtvání pomocí neustálého zlepšování, produkce výrobků je tažená zákazníkem [14].

Štíhlá výroba, jak uvádí Kysel a Debnár, je způsob změny myšlení, který je nejčastěji spojen s cílem navýšení zisku. Toho firma dosáhne zaměřením se na snížení celkových nákladů [26].

Principy štíhlé výroby

Pět základních principů štíhlé výroby:

1. Porozumění tomu, co zákazník považuje za hodnotu, to je jediný důležitý pohled na produkované výrobky.

2. VSM (Value Stream Mapping) – je třeba určit kroky ve výrobním procesu, které přidávají hodnotu pro zákazníka. Ostatní je třeba eliminovat.

3. Plynulý tok – omezit zásoby rozpracované výroby a skladových zásob.

4. Aplikace tahového (PULL) systému – nevyrábí se na sklad, ale výroba je podmíněna požadavkem zákazníka.

5. Dokonalost – po aplikaci všech předcházejících principů je třeba hledat neustálé možnosti zlepšení sebe sama [2], [26].

Štíhlé pracoviště

Štíhlé pracoviště je základním stavebním kamenem štíhlé výroby. Na jeho návrhu záleží, jak efektivně budou poté uspokojovány požadavky zákazníka s minimálními náklady [28].

Pracovník musí vykonávat jen potřebné pohyby a činnosti, které zvyšují jeho produktivitu. Při minimální námaze je jeho výkon nejlepší. Je třeba dodržovat

principy ergonomie, analyzovat a měřit pracovní úkony, zavést prvky autonomnosti a POKA-YOKE, ke štíhlému pracovišti patří i zásady 5S.

Jednou z možností, jak měřit výkon štíhlého pracoviště, je sledovat jeho produktivitu

1.1.4 Produktivita

Vyjadřuje využití výrobních faktorů, které jsou k dispozici při tvorbě finálního produktu [49].

Za účelem co nejlepšího využití výrobních faktorů je snahou celkovou produktivitu zvyšovat. Toto poskytuje konkurenceschopnost na trhu díky nižším nákladům na jednotku produkce.

Produktivita se obvykle značí písmenem P. Obecný vzorec je vyjádřen P = výstup / vstup.

Stranu vstupů obvykle tvoří kapitál, materiál, suroviny, pracovní síla, energie, know-how, atp. Vstup i výstup je možné pro srovnání vyjádřit např. finanční hodnotou nebo v naturálních jednotkách (objemu, hmotnosti, atp.).

Produktivitu obecně dělíme na více úrovní, k nimž jsou vstupy vztahovány:

- národní,
- oborová,
- podniková,
- týmu,
- jednotlivce [36].

Ukazatele produktivity

Celkovým ukazatelem produktivity je totální produktivita (TP), která vyjadřuje všechny vstupy do výrobního procesu a celkový, jejich pomocí vytvořený výstup.

TP = celkový měřitelný výstup / celkový měřitelný vstup.

Měřit je možné také parciální produktivitu (PP) pro jednotlivé vstupy výrobního procesu, např. pro stroje poměrem celkového výstupu a vstupu lidského kapitálu. PP = celkový výstup / lidský kapitál.

Index produktivity (IP) poskytuje pohled na aktuální plnění výkonů v poměru k standardu produktivity, jenž je stanoven jako optimální.

IP = aktuální produktivita / standard produktivity.

Hodnoty pod 1 znamenají výkonnost pod optimem, naopak index vyšší než 1 napovídá možnosti špatně definovaného optima (příliš měkce).

Sledování produktivity

Produktivita je jeden z klíčových faktorů úspěchu. Z tohoto důvodu je třeba produktivitu sledovat, analyzovat a zvyšovat.

Podle Mašína a Vytlačila sledování produktivity také poskytuje pohled na vývoj ve firmě, pomáhá kvantifikovat zdroje potřebné na jednotku výstupu a umožňuje určovat výkonnost zaměstnanců či pracovišť [35].

V našich podmínkách (ČR) ve strojírenských podnicích byla v roce 2000 produktivita práce dle odhadů odborníků na zhruba 20-40 % ve srovnání s vyspělými průmyslovými zeměmi [49].

Celková produktivita práce na odpracovanou hodinu a její vývoj v ČR v letech 2004 – 2009 ve srovnání s EU 15, EU 25 a Slovenskem je v tabulce č. 1.1 – údaje jsou uvedeny v procentech. Produktivita práce v daném roce v EU 15 je brána jako srovnávací základna, je tedy vždy 100%.

Tabulka č. 1.1: Produktivita práce v ČR, SR, EU 15 a EU 25

Rok / Stát	2004	2005	2006	2007	2008	2009
EU 15	100	100	100	100	100	100
EU 25	90,8	90,8	90,7	90,9	90,9	91,2
ČR	**51,1**	**51,1**	**51,7**	**53,8**	**54,1**	**56,2**
SR	55,4	56,9	59,6	63,9	66,1	69,3

Zdroj: [Přepracováno podle 5]

Z tabulky č. 1.1 je zřejmá nízká produktivita České Republiky ve srovnání s průměrem EU, je však možno vysledovat tendenci k postupnému růstu produktivity v naší zemi ve srovnání s EU. Je také patrné, že v růstu zaostáváme za naším blízkým sousedem Slovenskou republikou.

Pro sledování produktivity potřebujeme znát faktory, které ji ovlivňují.

Faktory ovlivňující produktivitu:

- fyzický kapitál,
- lidské zdroje,
- přírodní zdroje a know-how [3].

Pod fyzickým kapitálem si můžeme představit stroje, zařízení či budovy.

Lidské zdroje přináší obvykle možnost výroby na kapitálu fyzickém.

Přírodní zdroje a know-how poskytují suroviny pro výrobu a také znalosti, jak tyto výrobky zhotovit.

Při podrobnějším pohledu produktivitu ovlivňují:

- postupy práce,
- strojní vybavení,
- schopnosti pracovní síly,
- systém motivace, hodnocení a odměn,
- úroveň zavedení metod průmyslového inženýrství,
- stav ekonomiky, její výkonnost,
- legislativní omezení [35].

Z pohledu průmyslového inženýrství můžeme kategorizovat faktory ovlivňující produktivitu do těchto skupin:

- **míra využití zdrojů (U – utilization)** – porovnává se teoretická dosažitelná kapacita s kapacitou aktuální,
- **míra výkonnosti procesu (P – performance)** – hodnotí se rychlost a tempo provedené práce, srovnává se ke standardu, který se nastaví např. na základě historických údajů, či za využití časových a pohybových studií, atp.
- **míra kvality práce (Q – quality)** – hodnotí se počet shodných (kvalitních) a neshodných (nekvalitních) kusů, jelikož zmetky snižují produktivitu v důsledku jejich další nepoužitelnosti,
- **úroveň metod práce (M – methods)** – jedná se o pracovní postupy, organizaci práce, ergonomii, atp. [35].

Tyto kategorie nejen poskytnou přehled o produktivitě, ale především napomohou jejímu zvyšování.

Zvyšování produktivity

Sledování a analýza produktivity musí pro dosažení úspěchu vést k jejímu zvýšení. Zde lze využít mnoha nástrojů průmyslového inženýrství. Je naší snahou zvyšovat výkonnost, snižovat celkové náklady, omezovat plýtvání.

Růst produktivity ovlivníme zaměřením právě na čtyři faktory zmíněné v předchozí kapitole, tedy využití, výkonnost, kvalita a metody.

Je třeba zajistit podmínky pro vysokou produktivitu a její další růst, používat zásady ergonomie při tvorbě pracovišť, posilovat motivaci lidí k provedení kvalitní práce, využívat metody průmyslového inženýrství, významnou možností pro zvyšování produktivity je **eliminace plýtvání**.

Obrázek č. 1.4: Moderní stroje zvyšují produktivitu procesů Zdroj: [41]

1.1.5 Plýtvání

Důležitým faktorem, který ovlivňuje produktivitu, je plýtvání. Pro její zvýšení musíme odstranit činnosti nepřidávající hodnotu výrobku. Je to veškerá činnost, kterou zákazník není ochoten zaplatit, protože nemá důvod platit za něco, co děláme špatně. Tyto aktivity spotřebovávají zdroje, avšak nepřidávají hodnotu.

V podnicích se vyskytuje plýtvání zjevné, o kterém obvykle víme. Mnohem těžší je však odstranit plýtvání skryté, jenž lidé zatížení „provozní slepotou“ nevidí. To mohou být kupříkladu činnosti, jež se na první pohled zdají nutné vykonat, avšak po úpravě stávajících výrobních postupů by bylo možné je omezit, zefektivnit, či zcela vypustit [52].

Velmi často používanou klasifikací druhů plýtvání je sedm druhů plýtvání dle Toyoty:

- nadvýroba,
- čekání,
- zbytečná manipulace,
- špatný pracovní postup,
- nadbytečné zásoby,
- zbytečné pohyby,
- zmetky [53].

Dnes je často uváděn také osmý druh plýtvání – nevyužití schopností lidí.

Nadvýroba

První a zřejmě také nejhorší druh plýtvání. V případě dobře fungující výroby neodoláme a vyrábíme více, než jaká je potřeba – tedy na sklad. Problémem však je, že nedojde k tržnímu zhodnocení výrobků. Jsou vyrobeny na sklad, zde pouze zabírají místo a vyžadují péči projevující se v podobě skladovacích nákladů. Po čase je však musíme zlikvidovat nebo prodat se ztrátou, což znamená další náklady [35].

Tento způsob výroby s sebou nese mnohé další náklady, např.:

- náklady na lidské zdroje použité při jejich výrobě zbytečně,
- náklady na technické vybavení spotřebované a opotřebované zcela zbytečně,
- finanční náklady v podobě přímé, co se např. úvěrů týče, tak náklady obětované příležitosti, kdy je možno peněžní prostředky zhodnotit jinde,
- energetické náklady - energie spotřebovaná na jejich výrobu byla vynaložena zcela zbytečně [35].

A především tento způsob plýtvání v sobě ukrývá další druhy plýtvání, jako např. zbytečnou manipulaci, zbytečné pohyby, zbytečné čekání, protože vše, co bylo vykonáno pro výrobu těchto výrobků, bylo zcela zbytečné – násobí tedy ještě další druhy plýtvání.

Čekání

Čekání je plýtváním většinou dobře viditelným, kdy pracovníci nemají momentální náplň práce a musí na ni čekat. V té chvíli spotřebovávají zdroje, avšak nepřidávají žádnou hodnotu.

Druhy čekání jsou např.:

- na materiál,
- na opravu nefungujícího stroje,
- na kontrolu (již připraveného stroje),
- na seřizování či výměnu nástroje.

Zbytečná manipulace

Manipulace s výrobky je častým druhem plýtvání. Opakovaný transport výrobků na jednotlivé operace je často dělán bez rozmyslu, je prováděna dávková výroba, rozpracované výrobky jsou průběžně transportovány do meziskladu a poté zase z něj. Často také dochází ke zbytečné manipulaci přímo na pracovišti vinou špatného layoutu, kdy zaměstnanci musí pro díly chodit příliš daleko a často je překládat z místa na místo.

Manipulace je nutná, musí však být racionalizovaná co nejvíce, aby výrobky vykonávaly co nejkratší a nejrychlejší cesty a to pouze ty nutné k jejich zpracování [35].

Špatný pracovní postup

Špatný pracovní postup může způsobit zbytečné využití zdrojů, nepotřebné pro zhotovení výrobku. Může také způsobit potřebu dodatečné práce pro vykonání činností, které mohou být eliminovány.

Jde např. o:

- používání materiálu nevhodného pro daný typ výroby či výrobku,
- špatně navrženou konstrukci výrobku zapříčiňující přílišnou složitost jeho výroby,
- dlouhé dráhy nástrojů před započetím operace [35].

Tyto problémy vznikají tam, kde se zapomíná na to, co skutečně požaduje zákazník a dělá se „nadstandard“ v podobě nepožadované kvality výrobku, nepožadovaných vlastností, zbytečně drahých a přetechnizovaných výrobních zařízení, atp.

Nadbytečné zásoby

Zásoby a jejich množství jsou také obvyklým problémem. Zejména tam, kde se systém výroby plánuje tlačným systémem a ne tahem, dochází k vysokým zásobám, jelikož potřeba zákazníka se od představ firmy často liší. Všechny nepotřebné výrobky, suroviny, či rozpracovanou výrobu je třeba někde skladovat, což vyvolává nadbytečné skladovací náklady a také náklady udržovací.

Vysoké zásoby také zakrývají různé problémy, jež se řeší jejich zvyšováním – místo odstraňování těchto nedostatků [35].

Např.:

- dlouhotrvající výměny nástrojů,
- vadné výrobky,
- poruchy strojů [35].

Zbytečné pohyby

Tento druh plýtvání obsahuje pohyby nejen pracovníků, které nezvyšují hodnotu výrobku.

Např. na nevhodně uspořádaném pracovišti z hlediska layoutu je pracovník nucen např. chodit pro vzdálený polotovar, přičemž ztrácí čas zbytečně. Při vícestrojové obsluze je často plýtváno časem při přecházení od jednoho stroje ke stroji druhému [35].

Ke zbytečným pohybům tedy dochází při nevhodném layoutu pracoviště, přímo s nimi souvisí ergonomie pracoviště. Při ergonomicky špatně uspořádaném pracovišti musí operátor dělat spoustu zbytečných pohybů jako je zohýbání, naklánění, dosahování na vzdálená místa, atp. Tyto zpomalují práci a také dochází ke zvýšené zátěži pracovníka a tím pádem k dalšímu zpomalení práce. Hrozí také následná zdravotní rizika.

Zbytečnými pohyby plýtvají i stroje např. v podobě dlouhých drah přípravků, nástrojů, či polotovarů nebo hotových výrobků.

Zmetky

Nekvalitní výrobky často pramení z nedodržování pracovních postupů, či z chyb v nich, anebo z chyb pracovníků.

Tyto výrobky poté zapříčiňují růst nákladů např.:

- v podobě potřebné plochy a nádob k jejich odkládání,
- několikanásobnou kontrolou,
- transportem a manipulací,
- opakovanými operacemi např. v podobě oprav,
- ztrátou obchodních příležitostí v případě odhalení u zákazníka,
- energií a materiálem potřebným k jejich opravě [35].

Nevyužívání znalostí

Plýtvání tohoto druhu je rozšířeno tam, kde pracovníci nemají dostatečné podmínky pro využití svých schopností a je jimi tímto plýtváno. Je to např. prostředí nestimulující inovační myšlení či nemotivující k výkonům.

Odstraňování plýtvání

Plýtvání je třeba odstraňovat za účelem efektivnější výroby s vyšší produktivitou, abychom za menší náklady produkty více přiblížili zákazníkovi a přidávali jim hodnotu. V případě vyšší produktivity získáváme konkurenční výhodu.

Abychom dokázali plýtvání odstraňovat, musíme jej nejprve identifikovat, což nám umožní **poznávání podnikového procesu**.

1.1.6 Podnikový proces

Proces je charakterizován jako transformace vstupů na výstupy prostřednictvím aktivit přidávajících těmto výstupům hodnotu [36].

Obrázek č. 1.5: Transformační proces Zdroj: [Vlastní zpracování]

Jde o systém, kdy na začátku stojí požadavek na uskutečnění nějaké činnosti. Tato se následně spustí a dle předem definovaných kroků s použitím předem určených zdrojů se za použití potřebných aktivit docílí výstupu procesu pro zákazníka [49].

Podnikové procesy můžeme rozdělit do těchto skupin:

- průmyslové,
- administrativní,
- řídící.

V podniku probíhá mnoho procesů, ne všechny jsou však prospěšné a nutné.

Na straně jedné jsou procesy opravdu přidávající hodnotu pro zákazníka – tyto jsou užitečné a pro výrobu potřebné.

Často však probíhá mnoho procesů ve skutečnosti hodnotu k výrobku nepřidávajících a tyto pouze spotřebovávají zdroje bez jejich užitečného vynaložení. Za účelem udržení konkurenceschopnosti podniku a jejího dalšího zvyšování je nutné se na takovéto procesy zaměřit a zlepšovat je, nahrazovat nebo zcela eliminovat, což je nejlepší řešení, je-li možné. K tomuto lze s úspěchem využít různé metody a nástroje přidávající procesnímu řetězci hodnotu. Dominantní roli hrají různé metody průmyslového inženýrství, které proces analyzují, zjišťují slabá místa a pomocí následných opatření tato místa odstraňují [36].

Zlepšování procesů

Přístupy používané ke zlepšování procesů můžeme rozdělit např. na tyto:

- kontinuální zlepšování – kaizen, kdy pomocí drobných krůčků se neustále hledají a odstraňují chyby, je velmi závislé na všech pracovnících v podniku,
- skokové zlepšování – reengineering, kdy je použito radikální přestavby procesu,
- evoluční zlepšování – podmíněné např. novými vynálezy, atp.,
- existují i další přístupy, např. KVP2 (Kontinuierlicher Verbesserungsprozess), KVP2000 atp.

Pro zlepšování procesů můžeme použít různé techniky, je možné např:

- proces nějakým způsobem zjednodušit,
- některé kroky procesu zcela eliminovat,
- změnit pořadí operací v procesu,
- zkombinovat některé operace dohromady.

Pro úspěch zavedení nového procesu je třeba udělat vše, jelikož dobrá změna má šanci na pozitivní výsledek pouze v případě, že bude úspěšně zavedena. Změny přitom nemusí znamenat jen např. uspoření nákladů a zvýšení produktivity, mohou také znamenat příjemnější pracovní prostředí pro zaměstnance, kteří se ve výsledku odvděčí lepším pracovním výkonem.

Jednou z možností jak přispět k efektivnímu plánování a řízení výroby jsou **počítačové simulace.**

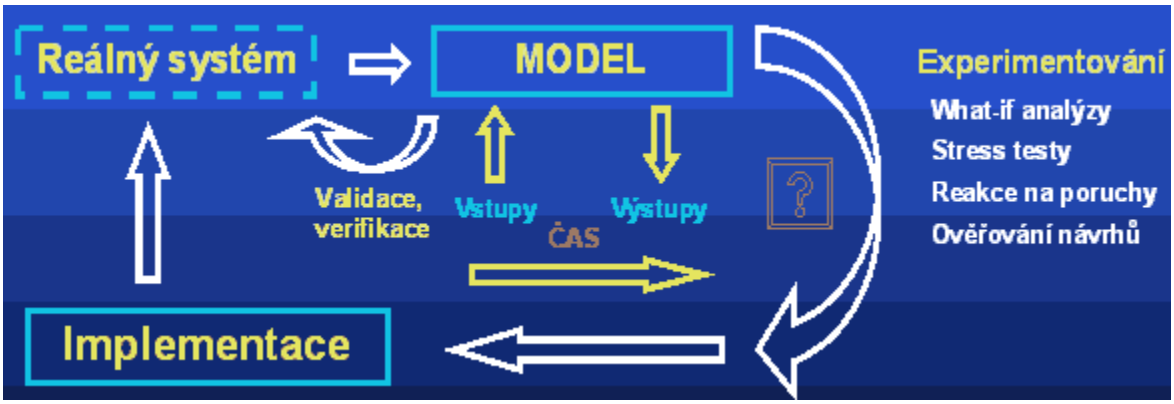
1.2 Plánování, organizace a efektivní výroba

V době růstu nákladů, zvyšujících se požadavků na flexibilitu výroby, schopnosti plnit přání zákazníka se do popředí dostává potřeba plánovat výrobní procesy a procesy s nimi spojené rychle, přesně a především efektivně. A to s důrazem na efektivitu globální a nikoliv lokální, která naopak může přinést zvýšené náklady celkové i přes uspoření místních nákladů. Je třeba efektivně alokovat zdroje a zvyšovat produktivitu. Tam, kde je to možné, je třeba vyrábět s využitím systémů JIT.

Toto si vyžaduje nástroje, které managementu umožní objektivně porovnat a zhodnotit různé přístupy k uspokojení potřeby zákazníka. Počítačové simulace, s jejichž pomocí se vytváří virtuální modely reálných systémů a následně se s nimi experimentuje, jsou právě takovým nástrojem, který při adekvátním nasazení pomůže ve výběru vhodné strategie [43].

1.3 Počítačové simulace

Jsou nástrojem jak pro optimalizaci stávajících systémů, tak pro konstrukci nových. Simulace můžeme použít jak pro výrobní systémy, tak i pro systémy služeb a jejich modelování. Výsledky simulací jsou využitím kombinace brutální výpočetní síly počítače a kreativního lidského mozku. Umožňují vyzkoušet mnoho variant řešení dané situace, např. při řešení layoutu dílny je možné vyzkoušet rozmístění strojů, jejich počty, materiálový tok, počty pracovníků, atp. Tato etapa se nazývá dynamické zkoumání systému. Experimentujeme s počítačovým modelem, který musí být dostatečně přesným obrazem daného systému v pro výstupy klíčových aspektech za účelem zajištění maximální relevance získaných dat. Simulujeme stavy v závislosti na čase, jejichž změna nastává diskrétně při určitých událostech, jako např. obdržení zakázky, začátek výroby, oprava zařízení, atp. Úkolem je najít hodnoty modelu vyhovující daným požadavkům. Vstupní hodnoty jsou poté použitelné pro reálný systém [32].



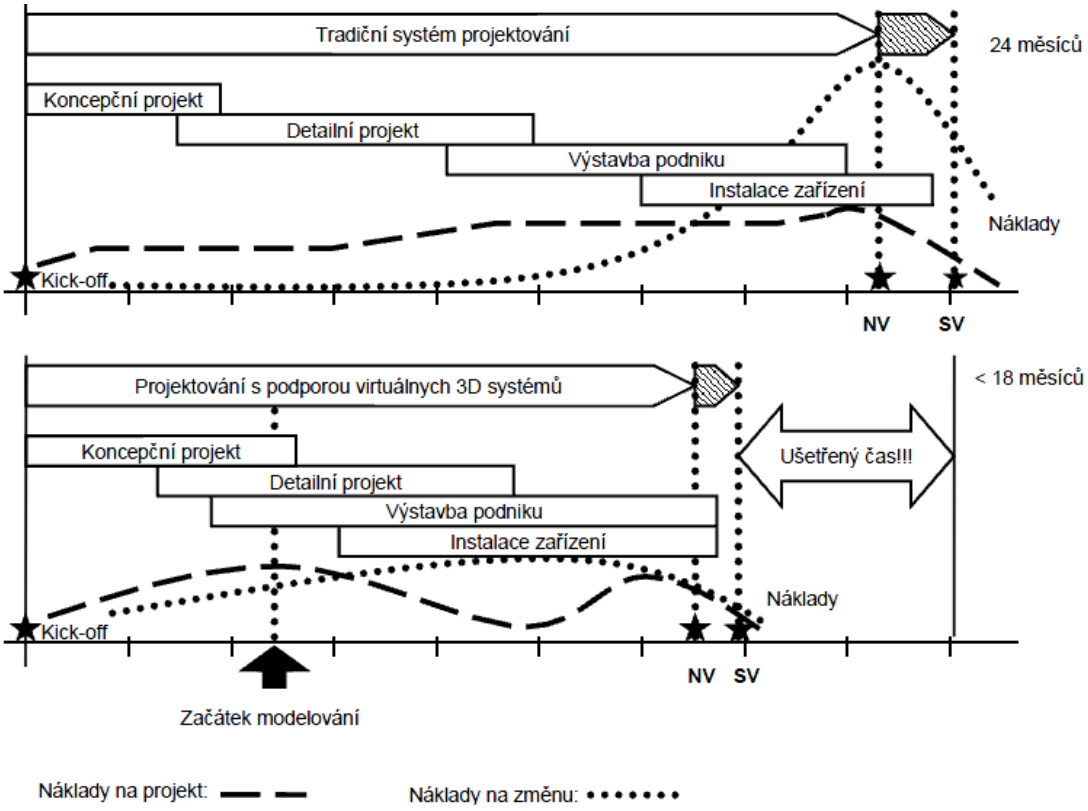
Obrázek č. 1.6: Princip simulace *Zdroj: [6]*

1.3.1 Přínosy a použití simulace

Simulace v případě správného nasazení poskytuje mnoho přínosů, některé z nich jsou uvedeny níže.

- Simulací je možné řešit složité systémy, které metodami analytickými řešit nelze, nebo jen s pomocí přílišného zjednodušení.
- Simulace může probíhat v čase reálném, zpomaleném, anebo zrychleném – nemusíme čekat na výsledky z reálné výroby, můžeme během chvíle nasimulovat mnoho variant výroby.
- Simulace nabízí komplexní pohled na problematiku, na modelu je možné sledovat různé parametry systému.

- Sledování modelu vede k lepšímu pochopení systému, změnami parametrů lze sledovat změny v chování systému.
- Simulací prověříme mnoho variant řešení. Umožňuje vybrat nejlepší dostupné řešení, zmenšit rizika neefektivních [6].



Obrázek č. 1.7: Úspory času a nákladů s podporou modelování a simulace Zdroj: [22]

1.3.2 Modelování, simulace, optimalizace

- **Modelování** – hledáme model M daného systému, jenž zajišťuje jeho požadované chování, jde o propojení vstupů X a výstupů Y.
- **Simulace** – hledáme odpověď na otázku, co se stane s výstupy Y po změně vstupů X v daném modelu M.
- **Optimalizace** – hledáme optimální vstupy X pro daný model M za účelem zajištění výstupů Y [1], [3].

Tabulka č. 2.2: Vztahy mezi modelováním, simulací, optimalizací

	Vstup X	**Model M**	**Výstup Y**
Modelování	známe	**hledáme**	známe
Simulace	známe	známe	**hledáme**
Optimalizace	**hledáme**	známe	známe

Zdroj: [1], [3]

1.3.3 Typy simulací

Simulace můžeme dělit na dva základní typy - simulace spojitá nebo diskrétní.

Spojité simulace

Charakter jejich průběhu je kontinuální. Tj. atributy se v průběhu času mění pouze spojitě [23]. Například let letadla simulovaný kontinuálně od jeho startu až po přistání je spojitou simulací.

Diskrétní simulace

Při jejich simulaci jsou sledovány pouze změny atributů. Čas, kdy v modelu nedochází ke změnám je jakoby přeskakován. Příkladem může být např. příchod výrobku na linku, začátek jeho opracování, ukončení opracování. Jde tedy o sledování modelu pouze v určitých významných bodech, nikoliv kontinuálně. V disertační práci se budu zabývat simulací diskrétních událostí.

1.3.4 Modelování struktury systému

Systémem je v simulaci myšlena část reálného světa, která je předmětem našeho zájmu. Jeho struktura se skládá ze tří základních prvků:

- entity,
- aktivity (a procesy),
- zdroje [9].

Entita

Je dynamickým objektem, v průběhu času se pohybuje systémem, vyžaduje provedení činností a nakonec systém opustí. Entitou může být výrobek, zákazník, atp. [9].

Aktivity (a procesy)

Systém je složen z procesů, což jsou vzájemně provázané činnosti vytvářející hodnotu ve formě výstupu pro následující procesy. Tyto jsou dělitelné na dané rozlišovací úrovni až na základní dále nedělitelné aktivity sloužící k zajištění chodu procesů [9].

Zdroje

Jsou využívány entitami po určený čas. Jde např. o stroje, obsluhu. Základní atribut je kapacita zdroje. Entity obvykle vyžadují přiřadit různou kapacitu zdroje. V případě nedostatečné kapacity zdroje se obvykle entity řadí do fronty dle definovaných pravidel modelu [9].

1.3.5 Simulační programy

V disertační práci využívám simulační software pro zpracování případových studií a také analýz jejich možností na vzorových příkladech, především v zaměření na externí komunikaci mezi jednotlivými modely.

Tvorba modelu je obvykle práce kreativní, uplatní se zkušenosti zpracovatele, přičemž je často potřebné improvizovat a možnosti simulačního programu nejsou neomezené – z tohoto důvodu je třeba hledat řešení, jak reálnou situaci co nejvěrněji přenést do modelu pro zajištění kvalitních výsledků [1].

Z dostupných simulačních software jsem pro účely disertační práce zvolil WITNESS a Plant Simulation. Tyto software patří dle současných informací k nejrozšířenějším a především dynamicky rozvíjejícím se. Mají v České republice kvalitní zákaznickou podporu v podobě firem Humusoft a Siemenes Industry Software. Dostupné jsou také školící programy potřebné pro modelování v těchto programech. Výhodou také je, že FaME UTB je vlastníkem jejich licencí.

WITNESS

Programuje ho firma Lanner Group Ltd.

V praxi mohou uživatelé WITNESS používat např. pro:

- návrh výrobních systémů,
- plánování a rozvrhování výroby,
- rozmístění výrobních zařízení,
- logistiku dodávek součástí k výrobním a montážním linkám,
- optimalizace výroby pohonných jednotek a dalších komponent [7].

Logika prostředí WITNESS

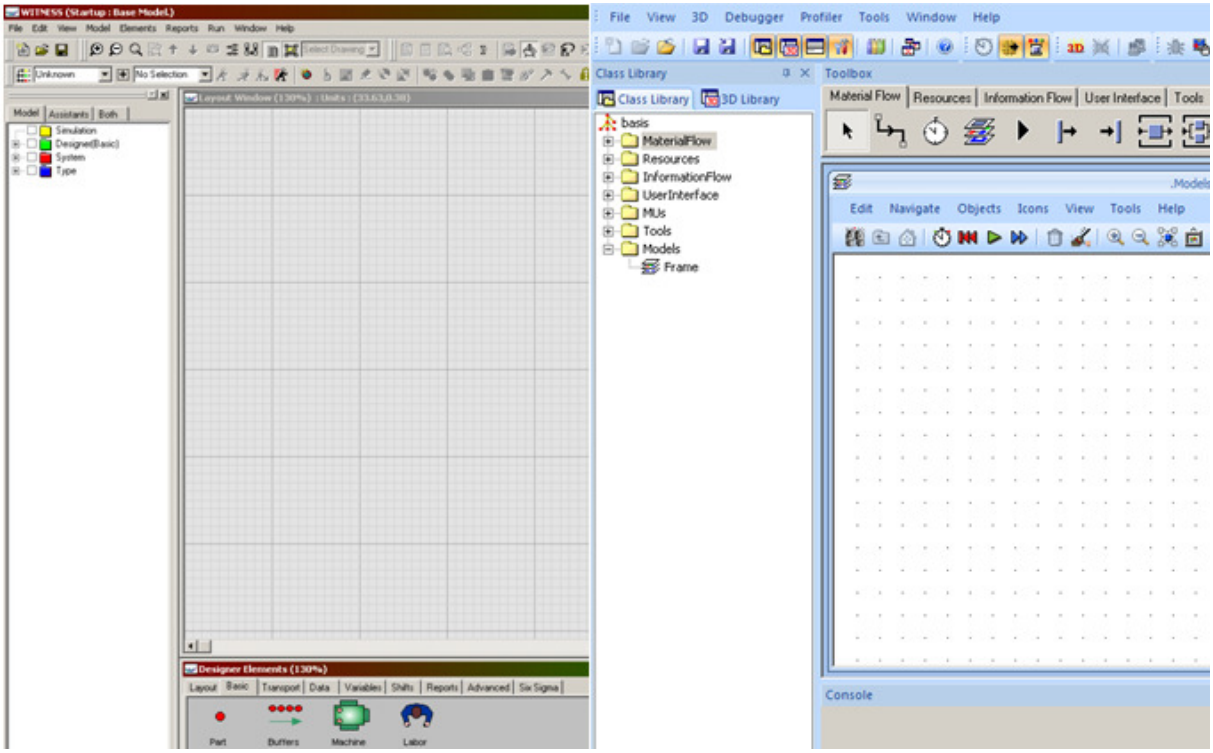
Pro přenesení reálného systému do modelovacího programu je potřebné, aby počítač rozuměl našim požadavkům a tento systém přenášel co nejvěrněji do modelovacího software za účelem zajištění dostatečně validních výsledků. V softwaru WITNESS je použito tzv. Elementů které představují jednotlivé prvky výrobního systému (např. stroje, zaměstnance) ovšem nejen reálné prvky, ale také různé proměnné, směny, statistiky, které jsou využívány jednak pro správnou funkci modelu a přiblížení realitě, ale také pro různé reporty, či propojení s dalším softwarem. Samotné elementy vnesené do programu ještě nezaručí jeho běh. Je potřebné nastavit těmto elementům správné parametry, jaké mají v realitě a především nastavit pravidla jejich chování a komunikace s ostatními elementy. Používají se tzv. pravidla, hlavními jsou pravidla vstupní (např. určují, jakým způsobem do elementu vstupují jiné elementy) a výstupní (např. určují, kam je po proběhnutí procesu posílán element dále v systému).

Plant Simulation

Výrobcem je společnost Siemens PLM software, program je z rodiny Tecnomatix.

Slouží např. k:

- vytváření digitálních modelů systémů (např. výroby),
- zkoumání charakteristiky systémů,
- optimalizaci jejich výkonnosti [43].



Obrázek č. 1.8: Ukázka z prostředí WITNESS (vlevo) a Plant Simulation (vpravo) Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikacích WITNESS, Plant Simulation]

Další simulační programy

Kromě dvou výše zmíněných programů jsou dostupné i další simulační programy, popis některých z nich uvádím níže.

ARENA

Tento software dodává firma Rockwell Automation. Je vhodné jej využívat k analýze dopadů rozhodnutí, která chceme provést, k prověření různých variant výroby, atp. Je možné modelovat velmi složité procesy s mnoha různými komponenty systému.

QUEST

Výrobcem tohoto programu je Dassault Systèmes. Slouží pro ověření navrženého výrobního systému z pohledu časů při využití omezených kapacit výrobního systému. Na základě simulačního modelu lze ověřit, jestli je výrobní systém schopen vyrobit požadované výrobky v daném čase. Zjistí se využití všech disponibilních zdrojů (strojů, přípravků, pracovníků, atd.) a které zdroje jsou případně poddimenzované a které předimenzované. Po provedení simulačních experimentů se navrhují optimalizační změny, které se mohou ihned v tomto nástroji ověřit [31].

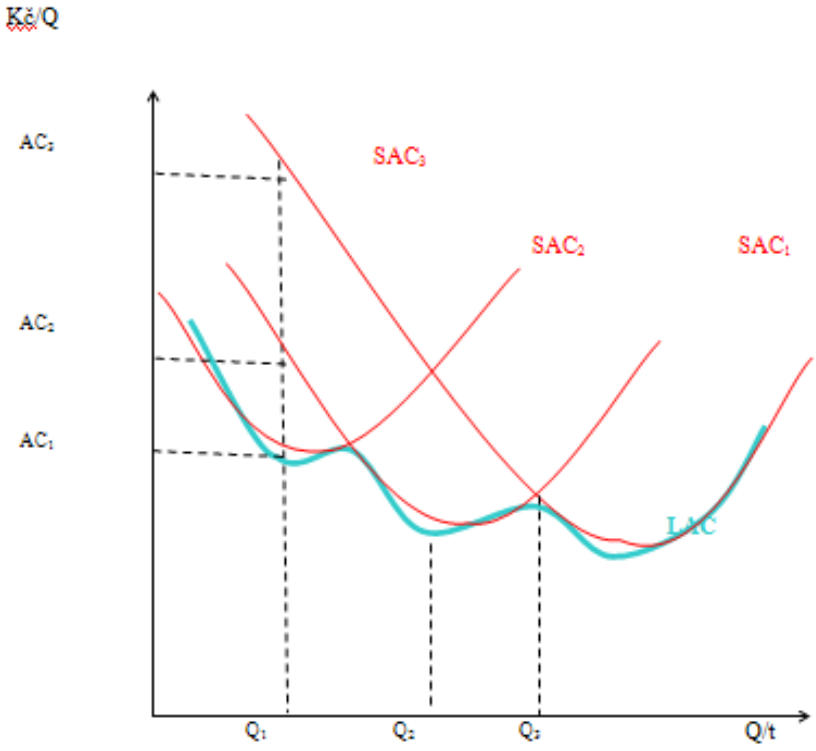
1.3.6 Simulace z několika základních pohledů

V následujících podkapitolách stručně představím využití simulací z pohledu teoretických disciplín studovaných v průběhu mého doktorského studia a jejich praktickou aplikaci do modelu.

Simulace z pohledu ekonomického

Studuji na Fakultě managementu a ekonomiky a jedním z nejdůležitějších pohledů na simulaci a její přínosy je pohled ekonomický. Téměř vždy nás zajímá, co nám simulace přinese, jaké budou její přínosy pro optimalizaci firmy z hlediska nákladů. V případě optimalizace výrobního systému konkrétní firmy se jedná především o pohled mikroekonomický.

Jedním z hlavních pohledů na náklady je jejich dělení na fixní a variabilní. Toto dělení má smysl především z krátkodobého pohledu. Rozhodování o produkci tyto náklady ovlivňuje. Při vyšším využití produkční kapacity dochází k „rozpouštění“ fixních nákladů na jednotlivé výrobky a celkové náklady na kus produkce klesají, tzv. úspory z rozsahu. Křivky krátkodobých průměrných nákladů mají obvykle nejprve klesající charakter a po dosažení minima opět stoupají. V závislosti na dispozici výrobního zařízení jsou tyto křivky pro různou velikost zařízení různé. Toto ilustruje tzv. obalová křivka.



Obrázek č. 1.9: Obalová křivka *Zdroj: [vlastní zpracování podle 44]*

Modelování reálných systémů mimo jiné skýtá také mnoho výhod z hlediska ovlivňování nákladů. Na základě prováděných simulací a jejich výsledků můžeme rozhodovat o zapojení dodatečných výrobních faktorů do produkčního procesu, přičemž ihned vidíme důsledky změn. Můžeme na základě statistik optimalizovat množství nevyužitých výrobních faktorů, na základě objednávek zákazníka předpovídat potřebu strojního zařízení a dle toho měnit jeho rozsah, atp.

Simulace z pohledu statistiky a modelování náhodných událostí

Realita není jednoznačně dána a tak často dochází k různým náhodným jevům a nečekaným vývojům situací kolem nás.

Tato sub-kapitola pojednává o využití počítačových simulací a jejich programových možností k rozdělení náhodných veličin k co nejpřesnějšímu modelování skutečných systémů. V realitě se často setkáváme s operacemi, které nemají přesnou dobu trvání, zvláště pokud závisí na lidské činnosti a ne přesném strojovém čase. Obvykle máme k dispozici průměrné hodnoty, avšak můžeme mít také intervaly trvání činnosti od-do nebo např. interval od-do a zároveň s nejpravděpodobnější dobou trvání. Aplikace WITNESS umožňuje zahrnout tyto náhodné veličiny do výsledků simulace, právě pokud známe jejich rozdělení. Pro mnou zmíněná rozdělení je ve WITNESSU k dispozici

Poissonovo rozdělení (průměrné hodnoty), Uniformní (interval od-do) a Triangulární (od-do a nejčtenější hodnota). Díky využití těchto rozdělení obdržíme validnější výsledky samotné simulace. Samotný běh funguje na principu náhodných čísel, která vždy vychází ze stejného základu, pokud tedy zvolíme deset běhů po sobě, budou generována stejná náhodná čísla. Tato vlastnost má své opodstatnění – při optimalizaci modelu nás zajímají důsledky našich zásahů a změna náhodných čísel by uváděla zpracovatele do nejistoty, jakým způsobem se promítly jeho zásahy. V případě potřeby je však možné změnit násady náhodných čísel a dostat různé výsledky. Také v případě dvojnásobně dlouhého běhu simulace již díky náhodným číslům nedostáváme dvojnásobné výsledky.

Simulace z pohledu kvality

Kvalita. Vždy byla důležitá, nikdo logicky nechce špatný produkt. Soudím však, že v současnosti (a nedávné minulosti) nabývá na významu. Zvyšuje se konkurence, rostou nároky zákazníků. Již si nemůžeme dovolit produkovat zmetky, protože hrozí ztráta zákazníka, poškození renomé firmy, informace se v době internetu šíří poměrně rychle. Firmy se tedy musí zaměřit na kvalitu své produkce, řídit své výrobní (nejen) procesy tak, aby jejich výrobky dosahovali vysoké kvality. V tomto mohou pomoci počítačové simulace – pro mnoho typů výrob (a nejen výrob) velmi silný nástroj pro přípravu výroby, pro její optimalizaci a i pro operativní řízení a kapacitní plánování. Tento software mimo jiné disponuje i prvky, které umožní simulovat zmetkovitost naší výroby a tyto zmetky vyloučit z procesu. Poskytují tak co nejpřesnější obraz o pravděpodobném průběhu výroby či vyrobených kusech. Na základě požadovaného počtu hotových kvalitních výrobků můžeme tedy díky modelu, kde je postižena i zmetkovitost jednotlivých částí našeho výrobního procesu, získat během vteřin informace o tom, kolik polotovarů musíme na začátku uvolnit do výroby, abychom obdrželi na jejím konci poptávaný počet dobrých kusů.

1.3.7 Příklady využití simulací v praxi

V této kapitole jsou uvedeny některé konkrétní příklady využití řešení simulačních úloh v praxi. Jedná se např. o:

Simulace montáže rozvaděčů při zavádění konceptu štíhlé výroby

Cílem projektu byla snaha dosahovat zlepšení a nalézat kontinuálně úspory ve výrobě. V tomto případě možností zlepšení vyvážení pracovišť a zlepšení plynulosti materiálové toku. Během práce jako část projektu vznikl model, který relativně věrně umožňuje simulovat hlavní výrobní proces podniku. Zlepšilo se poznání probíhajících procesů v podniku a bylo umožněno vyzkoušet fungování

různých variant průběhu procesu výroby. I přes snahu co nejvěrohodněji zachytit realitu, nebylo možné se vyhnout určitým zjednodušením a omezením modelovaného procesu. Jako přínos bylo možné pozorovat:

- lepší poznání výroby prostřednictvím analýzy a tvorby modelu,
- zlepšení podpory při rozhodování díky existenci modelu,
- nově získané naměřené časy, které neexistovaly a tím,
- vytvoření podkladu pro kontrolu kalkulace,
- zjištění využití pracovníků a pracovišť [37].

Model várkové linky na výrobu chloridu železnatého pro farmaceutické účely.

Byl vytvořen simulační model várkové výroby chloridu železnatého pro farmaceutické účely. Na základě simulačních experimentů byly navrženy úpravy technologického reglementu s cílem dodržet požadavky na regeneraci provozních chemikálií obvyklých ve farmaceutické výrobě. Dále bylo možné navrhnout několik jednoduchých variant řazení operací, které mohly zvýšit produkci bez mimořádných investičních nákladů. Do modelu byl zaveden kalendářní čas, protože várkové výroby se obvykle provozují ve dvousměnném a třísměnném pracovním systému. To umožnilo sledování využití pracovních sil na výrobní lince, protože mzdové náklady představují výraznou část výrobních nákladů [37].

Simulační studie výroby krátkých hlavní ve společnosti Česká Zbrojovka, a. s.

Je demonstrováno využití simulačního prostředí Witness při návrzích na zvýšení efektivity výroby krátkých hlavní ve firmě vyrábějící zbraně. Na základě mnoha simulačních pokusů byla odstraněna úzká místa původního výrobního systému. Řešení spočívalo v eliminaci počtu strojů na vybraných pracovištích. U jiných pracovišť bylo navrženo snížit popřípadě zvýšit počet směn provozu. Všechny tyto návrhy pak vedly nejenom ke zvýšení produkce výroby (v našem případě až o 1000 ks denně) ale také k úsporám pracovních míst a energií [37].

1.3.8 Provázanost simulačních programů a Excelu

Možnost využití propojení WITNESSu a Excelu je poměrně dobře známa a mnozí autoři se o této možnosti zmiňují, obvykle však pouze jako o významné funkcionalitě tohoto systému, např. Przybylski [45] a Šilhánek [46]. Další autoři poukazují již na možnosti načítání dat z Excelu a jejich aplikaci do modelu, například cyklové časy strojů, jejich cesty výrobním systémem, což je užitečná funkce pro zvýšení přístupnosti modelu i laikům jako např. Daněk [7]. Další

autoři popisují modely, které jsou postaveny s funkcemi nejen načítání dat do WITNESSu z Excelu, ale také, po ukončení simulace, jsou např. údaje o statistikách převedeny opět do Excelu (např. Kumar, Nottestad, Macklin, Lassalle, Wang, Owen, Mileham [25], [30]). Zde se již ukazuje síla tohoto propojení, kdy je Excel se simulačním programem provázán na stránce vstupu i výstupu a poskytuje značné množství dat. Především Lassalle, Wang, Owen, Mileham [30] popisuje propojení včetně předávaných informací o počtu výrobků, atp.

2 CÍLE A HYPOTÉZY DISERTAČNÍ PRÁCE

Následující podkapitoly popisují cíle, které budu při zpracování disertační práce plnit a hypotézy, z nichž budu vycházet a jejichž platnost bude po splnění cílů možné potvrdit či vyvrátit.

2.1 Cíle disertační práce

Cíle disertační práce popsané v této podkapitole dělím z více pohledů. Jednak z pohledu oblasti řešené problematiky jako takové, dále z důvodů pro řešení dané problematiky a následně použitelnosti výsledků, přičemž tento pohled je dále rozveden v kapitole pojednávající o přínosech disertační práce. Cíle práce jsou následující:

2.1.1 Oblast řešení problematiky

V disertační práci bude řešena možnost využití simulací pro optimalizaci podnikových procesů se zaměřením na výrobní podniky. Simulace je možné nasadit i do dalších odvětví, např. služeb. Záběr by však byl příliš široký a tyto systémy mají svá vlastní specifika. I samotné simulační programy jsou tvořeny jejich výrobci spíše s ohledem právě na výrobní systémy.

Cíl č. 1: Prvním cílem je charakteristika zásad nasazení simulací pro optimalizaci jednotlivých částí produkčního řetězce.

Tento cíl bude splněn pomocí dotazníkového výzkumu a spoluprací s firmami Humusoft (zastoupení v ČR pro WITNESS) a Siemens Industry Software (zastoupení v ČR pro Plant Simulation).

2.1.2 Důvody řešení problematiky

Využití počítačových simulací pro optimalizaci procesů ve firmách není stále masivní záležitostí a nejsou k disposici ani práce, které by se zabývaly „rentabilitou“ využití simulací se SW podporou pro různé typy a rozsahy výrob.

Zajímavou možností je také předávání výstupů jednoho procesu jako vstupů pro další proces, tedy výstupy z jednoho modelu anebo části modelu jako vstupy do modelu dalšího. Cílem je možnost rychlé výměny části celého systému za jinou část bez nutnosti úpravy modelů všech systémů.

Cíl č. 2: Zjistit důvody nízké rozšířenosti simulací ve výrobní sféře pomocí dotazníkového průzkumu. Formulovat nedostatky simulačních software, a analyzovat možné překážky, pro jejich zavedení do výroby.

Cíl bude splněn pomocí dotazníkového šetření.

Cíl č. 3: Na základě dotazníkového průzkumu formulovat důvody využití simulací ve firmách.

Cíl bude splněn pomocí dotazníkového šetření.

Cíl č. 4: Zjistit rozšíření simulací dle velikosti podniků.

Cíl bude splněn pomocí dotazníkového šetření.

Cíl č. 5: Analýza a návrh možných způsobů vzájemné výměny dat mezi jednotlivými modely výrobních systémů nebo částí výrobního systému. Problematika přitom bude řešena jak z pohledu externích, tak interních zákazníků jednotlivých procesů.

Tento cíl bude splněn v rámci výzkumu projektu GAČR 402/08H051 *Optimalizace multidisciplinárního navrhování a modelování výrobního systému virtuálních firem*.

Cíl č. 6: Na vhodných případových studiích demonstrovat přínosy nasazení simulačních programů.

Cíl bude splněn pomocí případových studií ve vybraných firmách.

2.2 Hypotézy disertační práce

- **Hypotéza č. 1** – Nasazení počítačových simulací pro modelování výrobních procesů přináší optimalizace těchto systémů. K potvrzení či vyvrácení povede splnění cílů č. 3 a 6.

- **Hypotéza č. 2** – Propojení modelů jednotlivých procesů pomocí externích či interních řešení zrychluje výsledky simulace řady těchto procesů a zpružňuje záměnu modelů jednotlivých procesů v jejich řetězci (v případě výměny dodavatele). K potvrzení či vyvrácení povede splnění cíle č. 5.

- **Hypotéza č. 3** – Simulace a následné optimalizace výrobních procesů jsou využívány pouze u omezeného počtu (do 10%) podniků z kategorie velkých. K potvrzení či vyvrácení povede splnění cíle č. 4.

Použitelnost výsledků

1) Pro zákaznickou sféru: přínosy jednak v podobě samotné optimalizace výrobních systémů, také přínosy v rychlé výměně dat mezi modely, čímž lze např. rychleji predikovat výkonnost (počet vyrobených kusů) celé řady na sebe navazujících procesů, zvláště u náročných modelů.

2) Pro akademickou sféru: v podobě zapojení nových poznatků do výuky, lepší příprava studentů pro praxi. Konkrétně na FaME se jedná především o studijní obor Průmyslové inženýrství, v jehož rámci je vyučován předmět počítačové simulace.

3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

Příprava textu disertační práce musí být podložena vlastními znalostmi autora, neboť smyslem disertační práce je přinést nové poznatky studované problematiky. Je třeba vědecký přínos autora. Při tvorbě disertační práce jsou použity mnohé vědecké metody, podrobnější popis vybraných je uveden níže [33].

3.1 Analýza

Je metodou cíleného poznávání skutečností. Zkoumané celky dělíme na dílčí části a postupně je zkoumáme. Je to rozbor vlastností, vztahů, faktů postupujících od celku k částem. Znamená to jít až ke studiu příčin vztahů. Snažíme se poznat skutečnosti ve vývoji, nebo statickém stavu. Určujeme podmínky vzniku, etapy vývoje, oddělujeme podstatné a nepodstatné. Směřujeme od složitého k jednoduchému. Analýza je použita v mnoha vědách. Může být prováděna s reálnými objekty nebo i v myšlenkách s tzv. ideálními objekty [11], [39], [47], [50], [54].

Úrovně analýzy dělíme na klasifikační, kdy se rozlišuje mezi jednotlivými částmi systému nebo subsystému. Vyšší úroveň je vztahová, kdy odhalujeme složitější závislosti mezi prvky a strukturálně genetickou, která se soustřeďuje na dynamiku systému a jeho chování v závislosti na podnětech [50].

Analýza je v disertační práci využita prakticky ve všech pilířích, u výzkumu GAČR především v rámci studia simulačních programů, u dotazníkového výzkumu při studiu odpovědí a v rámci případových studií při studiu výrobních systémů daných firem.

3.2 Syntéza

Je metodou vědeckého zkoumání celku a jeho vlastností. Je založena na postupném sjednocování prvků a části, jež vznikly analýzou. Vytvořené celky mohou být reálného i abstraktního charakteru. Syntéza je tedy procesem, kdy kombinací správných prvků ve správném množství tvoříme nové výsledky [13], [38].

Analýza i syntéza jsou provázané. Nejprve rozebíráme jev na malé složky - provádíme analýzu. Poté sestavíme ze součástí celek – provedeme syntézu. Syntéza však není pouhé skládání jednotlivých částí, je to činnost k odhalování nových vztahů a zákonitostí [12].

Výsledkem disertační práce bude syntéza poznatků provedená na základě analytické části práce. Metoda zpracování práce, se opírá o doporučené

zpracování vědeckých problémů a vychází z logické struktury a návaznosti výzkumné práce [11], [48].

Syntéza je v práci použita v návaznosti na analýzu a výsledky pomocí ní získané převádí do výsledné podoby.

3.3 Indukce

Je metodou usuzování z jednotlivého na obecné, při indukci vycházíme ze zjištěných faktů a vyvozujeme obecné závěry. Indukci dělíme na neúplnou, kdy neznáme všechna fakta nebo prvky systému. Při indukci úplné se jedná o uzavřený systém, známe všechna jeho fakta, z nichž usuzujeme na obecné závěry [51].

Tato metoda je využita zejména při tvoření závěrů z případových studií a také při kvalitativním dotazníkovém šetření.

3.4 Dedukce

Je metodou odvozování důsledků z jednoho nebo více tvrzení pomocí logických pravidel odvození. Zvláštnosti prvků jsou odvozovány z obecných vlastností celků. Jde tedy o postup od obecného ke zvláštnímu. Pro pravdivé závěry je nutné dedukovat z pravdivých premis. Při deduktivním myšlenkovém pochodu postupujeme obráceně než při induktivním, usuzujeme z obecně platných principů na zvláštní [11], [39].

Metoda je použita v rámci aplikace obecné metodiky z projektu GAČR na konkrétní podmínky firmy z případové studie.

3.5 Kvalitativní výzkum

Poskytuje hlubší pohled do postojů a názorů dotazovaných. Přináší odpovědi na otázky typu proč a může sloužit jako základ pro pozdější kvantitativní výzkum, tento výzkum vysvětluje motivaci dotazovaných [4], [24].

Tato metoda je využita primárně v kvalitativní části dotazníkového výzkumu, kde jsou zkoumány přednosti a záporné stránky simulačních software pro jeho stávající uživatele.

3.6 Kvantitativní výzkum

Je metodou standardizovaného výzkumu popisující zkoumané jevy pomocí proměnných zkonstruovaných pro měření určitých vlastností. Tento výzkum oproti kvalitativnímu zkoumá větší okruh informací [4].

Tato metoda je využita v části dotazníkového výzkumu, který se věnuje primárně zjištění rozšíření simulací v českých výrobních podnicích.

4 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

Hlavní výsledky disertační práce jsou děleny do několika oblastí dle logiky jejich typů v souladu s cíli a hlavními oblastmi, jimiž se práce zabývá. Jedná se o:

1) Analýzu a návrh možných způsobů vzájemné výměny dat mezi jednotlivými modely výrobních systémů nebo částí výrobního systému. Řešeno v rámci projektu GAČR 402/08H051.
2) Výsledky dotazníkového šetření a cíle na něj navázané.
3) Výsledky případových studií.

4.1 Analýza a návrh možných způsobů vzájemné výměny dat mezi jednotlivými modely výrobních systémů nebo částí výrobního systému

Tato kapitola popisuje výsledky analýzy a následné syntézy simulačních software WITNESS a Plant Simulation se zaměřením na komunikaci jednotlivých procesů mezi sebou navzájem. Je zpracována pro splnění cíle č. 5.

K výsledkům prezentovaných v této kapitole, jsem dospěl zejména využitím metod analyticko-syntetických, ale i dalších. Navrhovaná metodika je celá výsledkem vlastního zkoumání.

Kompletní řešená problematika je příliš rozsáhlá, následující kapitoly tedy obsahují zestručnění výsledků. Detailnější pohled poskytují výtahy z projektových závěrečných zpráv v příloze na elektronickém nosiči. Tyto přílohy obsahují i programové kódy vkládané na klíčová místa v simulačním software. Jejich přečtení je doporučeno pro mnohem lepší pochopení výsledků. V příloze je možné nalézt také hotové modely WITNESS i Plant Simulation a studovat tak přímo techniky použité k řešení problematiky.

Daná problematika byla řešena v rámci projektu GAČR 402/08H051 s názvem *Optimalizace multidisciplinárního navrhování a modelování výrobního systému virtuálních firem.*

Jedná se o doktorandský projekt, do nějž byli zapojeni studenti jednak z Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, spolupráce také probíhala s Vysokou školou báňskou – Technickou univerzitou Ostrava, Fakultou ekonomickou a hlavní sídlo projektu bylo na Západočeské univerzitě v Plzni, Fakultě strojní. Účast autora disertační práce na projektu probíhala od listopadu 2009 do prosince 2011, kdy byl projekt řádně ukončen.

Tato kapitola je dělena do několika logických částí a to v základní úrovni na:

1) Využití software WITNESS pro výměnu dat mezi modely procesů.
2) Využití software Plant Simulation pro výměnu dat mezi modely procesů.
3) Vzájemná výměna dat mezi software Plant Simulation a WITNESS.

Tyto hlavní body byly zvoleny v návaznosti na výběr simulačních software pro zpracování disertační práce a také s ohledem na zadání výzkumného úkolu GAČR.

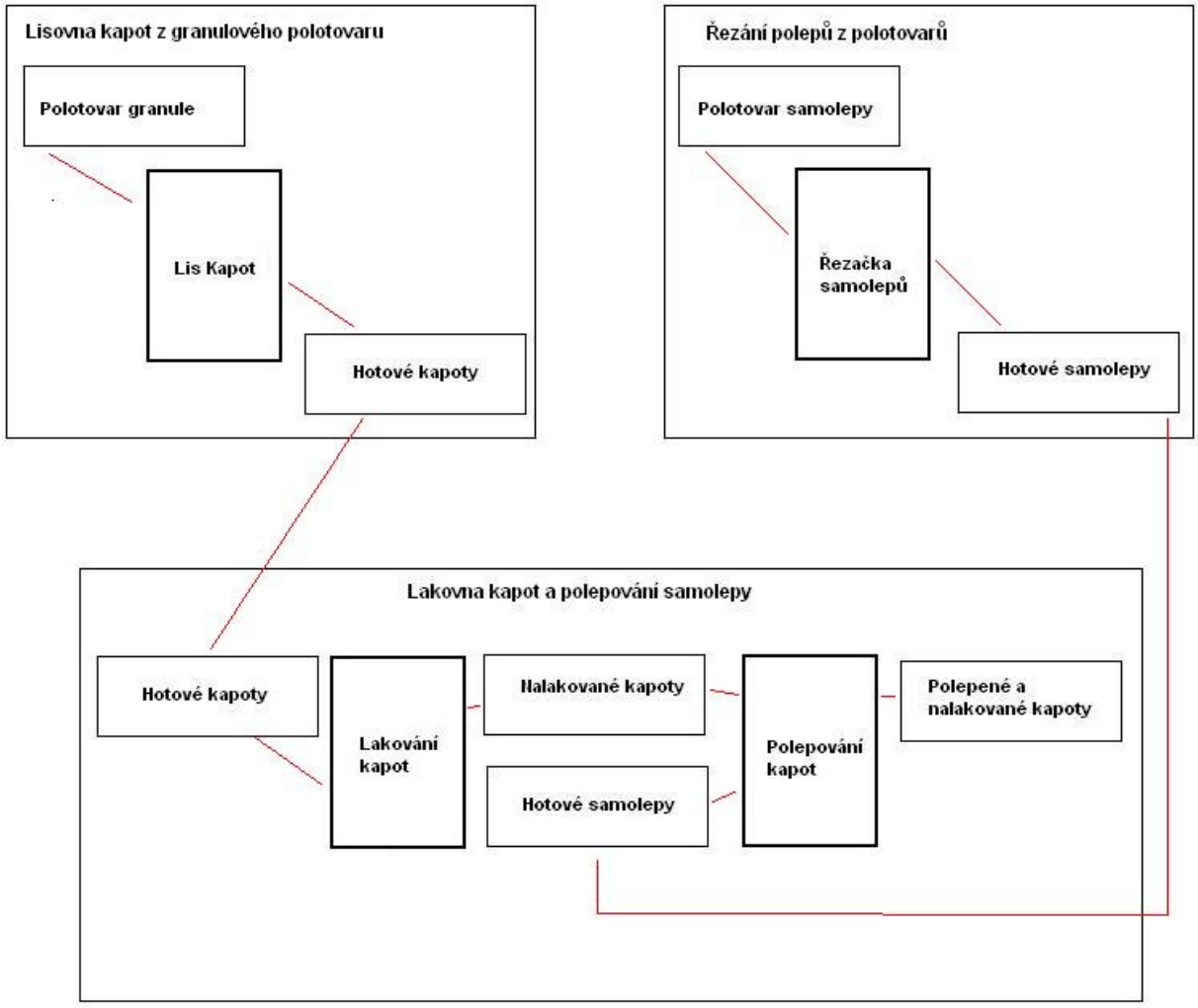
Poté ještě dochází k dělení z pohledu zákazníků procesů – jak WITNESS, tak Plant Simulation popisuje metody výměny dat, které jsou vhodné pro interní zákazníky procesů, a především jsou představena řešení pro externí zákazníky procesů, což v době zeštíhlování firem a outsourcingu nabývá na významu. Výměna dat mezi dvěma software navzájem je z podstaty věci řešena pouze u externích zákazníků, uvedené výsledky je však možné využít i pro zákazníky interní.

Řešení je zaměřeno jednak na efektivní (rychlou) komunikaci mezi modely a také na usnadnění ovládání modelů.

4.1.1 Představení výrobního systému

Pro demonstraci možností výměny dat těchto programů slouží modelový výrobní systém, který je aplikován jak pro externí řešení u WITNESSU, tak pro interní i externí řešení u Plant Simulation. Pouze u interních řešení pro WITNESS bude použit jiný systém.

Popis systému:



Obrázek č. 4.1: Popis systému *Zdroj: [vlastní zpracování]*

U jednoho výrobce jsou vyráběny kapoty z granulového polotovaru, tento projde lisem a hotové kapoty jsou poté odesílány k druhému výrobci, který je lakuje a na nalakované kapoty jsou poté lepeny odpovídající samolepy. Mezitím u třetího výrobce dochází k řezání těchto samolepů a hotové jsou dodávány k druhému výrobci, který je lepí na nalakované kapoty.

Lisovna kapot

V lisovně kapot jsou dva typy výrobků – dávky granulí pro jednotlivé kusy kapot a poté hotové kapotáže.

V lisovacím stroji je prováděno lisování kapot z granulátu.

Řezání polepů

Zde dochází k řezání polepů na hotové kapoty. Vyskytují se zde dva elementy – polotovar pro samolepy v podobě lepicího papíru a strojem vyřezané hotové samolepy.

Lakovna a polepovna

V lakovně a polepovně se sbíhají výrobky z předchozích systémů. Kapoty z předchozího systému jsou nejprve nalakovány a poté jsou na ně umístěny samolepy.

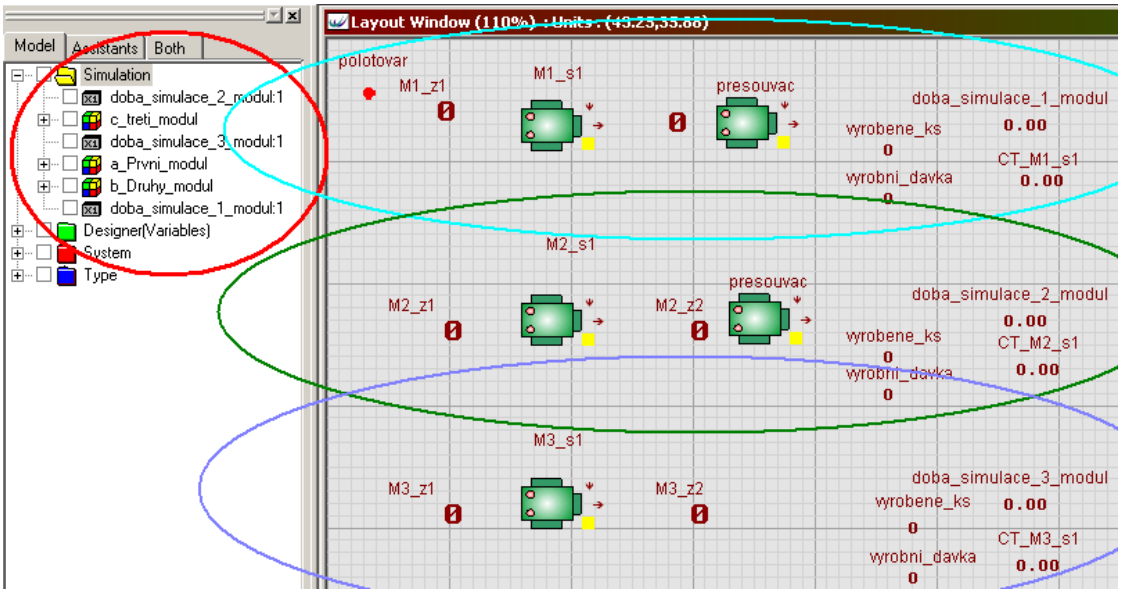
Tyto systémy z kapitoly 4.1.1 budou detailněji popsány vždy v jednotlivých kapitolách týkajících se daného software.

4.1.2 Využití software WITNESS pro výměnu dat mezi modely procesů

Nejprve budou popsána řešení, která doporučuji především pro interní zákazníky procesů, a poté půjde o řešení vhodná spíše pro zákazníky externí. Je však možné tato řešení využívat kombinovaně pro oba způsoby.

Způsoby výměny dat doporučené pro interní zákazníky procesů – využití modulů

Software WITNESS umožňuje použití modulů. Je možné říci, že se jedná o modely jednotlivých výrobních systémů, kdy každý je ukryt ve vlastním modulu. Tyto moduly je poté možné vkládat do jednoho velkého modelu. Je poté možné nastavit vstupní a výstupní pravidla pro jednotlivé moduly a zbytek se děje na základě vnitřních pravidel modulu. Moduly lze poměrně snadno replikovat a je i poměrně snadné skládat celý výrobní řetězec z modulů dle aktuální situace. Nastavení ilustruje obrázek č. 4.2, v červené elipse jsou vidět ve WITNESSu použité moduly. V samotném modelu je každý modul taktéž v elipse.

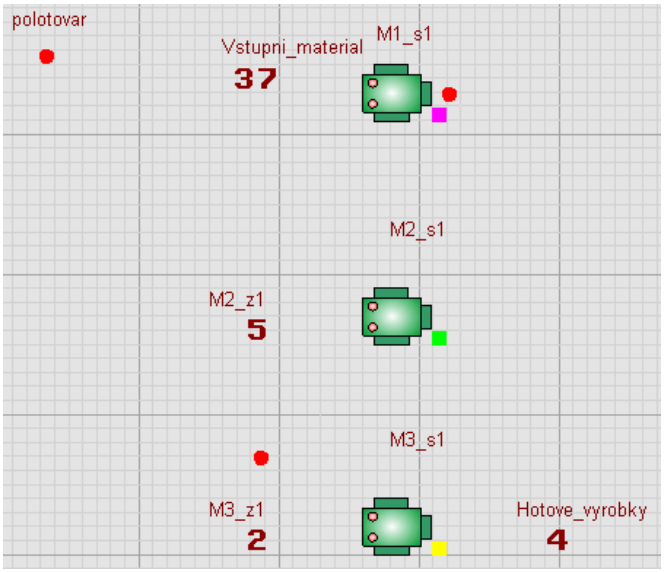


Obrázek č. 4.2: Moduly

Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

Okamžitá výměna dat – interní zákazníci

Výhodou modulů může být okamžitá komunikace výrobních systémů mezi sebou, čili je možné okamžitě předávat výrobky z jednoho systému do druhého. Toto se hodí především, když jde o interní zákazníky, kdy různě postavená pracoviště na sebe přímo v realitě fyzicky navazující. Díky modularizaci je hotový výrobek z jednoho modulu ihned odeslán do modulu druhého, kde dochází k práci na něm. V případě např. poruchy či seřízení je zastavena celá linka v případě nemožnosti tvorby mezioperačních zásob, anebo je zastavena po naplnění jejich maximální kapacity. Jednoduchý model tohoto typu ilustruje obrázek č. 4.3, kde je zachycen jeho běh.



Obrázek č. 4.3: Běh modelu *Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]*

Jedná se zde o tři moduly navazující na sebe. Přitom u každého modulu stačí nadefinovat jeho vnitřní pravidla, vstupní a výstupní element a ponechat u nich pravidla „wait.“ Poté, po vložení modulů do jednoho modelu stačí u samotných modulů nastavit pouze cestu, kudy mezi sebou jednotlivé moduly komunikují, čili např. ve vlastnostech modulu prvního v položce output nastavíme výstupní pravidlo:

PUSH to b_Druhy_modul

A o zbytek se již postarají interní pravidla jednotlivých modulů.

Způsoby výměny dat doporučené pro externí zákazníky procesů – využití Excelu

V této části bude představeno propojení na sobě nezávislých modelů (každý ve vlastním souboru) pomocí softwaru MS Office Excel.

První model - lisovna kapot

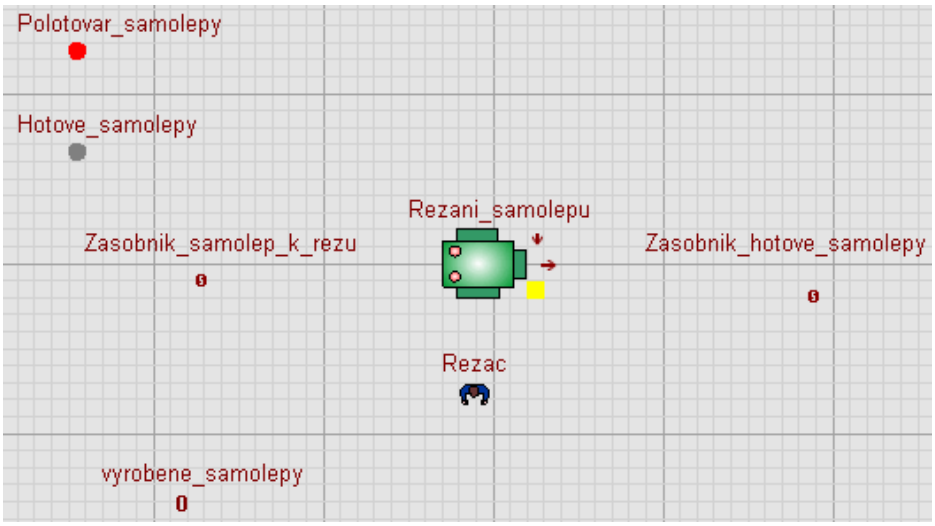
Obrázek č. 4.4 Lisovna kapot *Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]*

V lisovně kapot jsou dva typy výrobků – dávky granulí pro jednotlivé kusy kapot a poté hotové kapotáže.

V lisovacím stroji je po dávkách 4 kusů prováděno lisování kapot, jedna dávka trvá 10 minut. Na konci každé operace je počet vyrobených kusů zapisován do Excelu.

Hotové výrobky jsou odesílány do zásobníku pro hotové kapotáže (odlitky).

Druhý model - řezání polepů



Obrázek č. 4.5: Řezárna polepů *Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]*

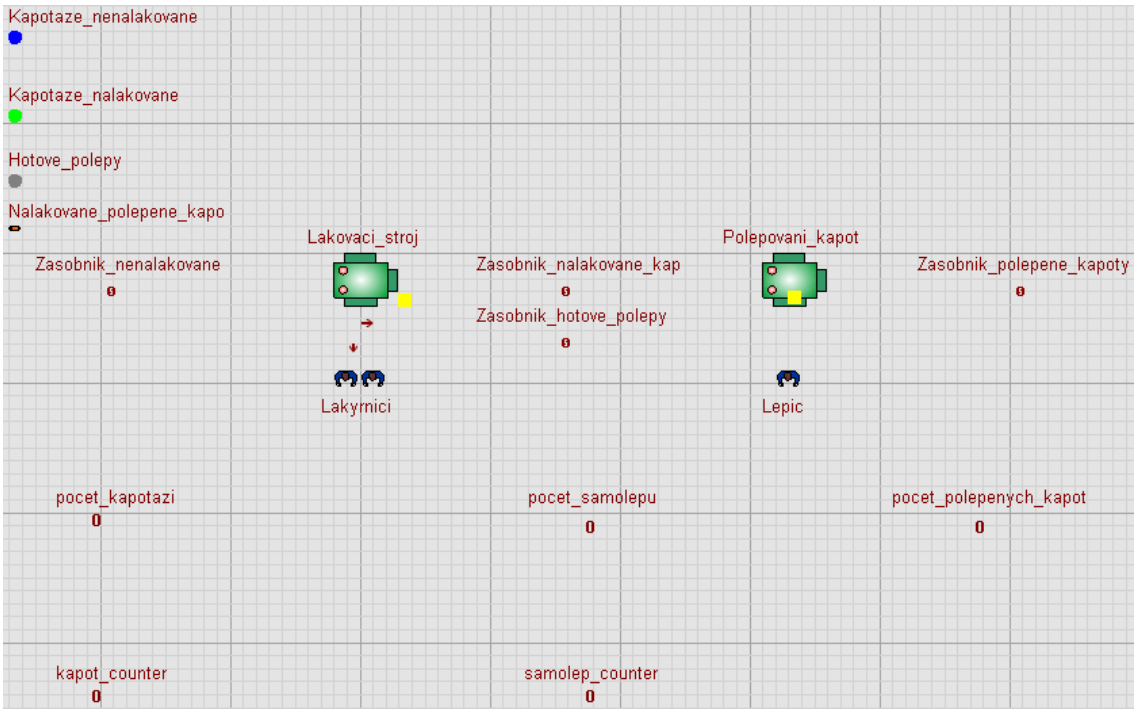
Zde dochází k řezání polepů na hotové kapoty. Vyskytují se zde dva elementy – polotovar pro samolepy v podobě lepicího papíru a hotové vyřezané samolepy.

Dochází zde na stroji k řezání samolepů a to v dávce 10 ks, cyklový čas je 6 minut.

Na konci operace je počet hotových výrobků zapisován do Excelu.

Hotové výrobky putují do zásobníku.

Třetí model - lakovna a polepovna



Obrázek č. 4.6: Lakovna a polepovna Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

V lakovně a polepovně se sbíhají výrobky z předchozích systémů.

Nejprve před začátkem simulace jsou načteny počty vyrobených samolepů a kapotáží z předchozích systémů. Toto je ošetřeno pomocí inicializačních akcí celého modelu, kdy je v nich zadána funkce pro načtení výrobků.

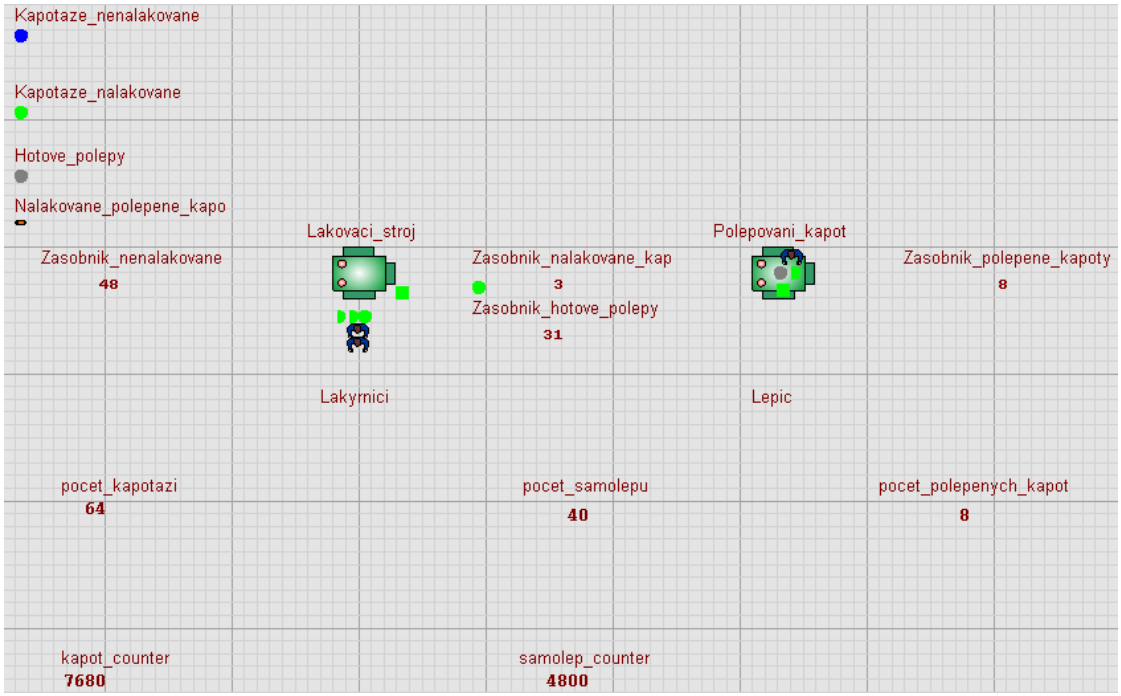
Dojde tedy k tomu, že ještě před začátkem běhu simulace je načten do proměnných počet kapotáží a počet samolepů z Excelových souborů, do kterých předchozí systémy zapsaly aktuální vyrobené kusy.

Po načtení správného počtu kusů do proměnných je tyto třeba umístit do modelu. Vzhledem k omezením WITNESSu jsem přistoupil k metodě, kdy příchozí čas výrobků je 1 minuta. Přijdou tedy v první minutě a velikost příchozí dávky se rovná počtu vyrobených ks, tedy dané proměnné. Bohužel nebylo možno omezit maximální počet příchozích kusů taktéž proměnnou – toto software nepodporuje. Přikročil jsem tedy k vynesení pomocné proměnné, kterou jsem nazval „counter“. Definoval jsem jí sérii pravidel, jejichž důsledkem je, že ve chvíli, kdy je počet daných elementů větší nebo roven úvodnímu počtu elementů, do zásobníků již nejsou dodávány další elementy, ale

jsou odstraňovány ze systému. Praktickým důsledkem tedy je, že přijde pouze první dávka tak, jak si v praxi přejeme a žádné další se již procesu neúčastní.

Průběh procesu je takový, že nejdříve jsou brány nenalakované kapotáže ze zásobníku a jsou lakovány na stroji za pomocí dvou operátorů. Tato operace trvá 30 minut a je prováděna v dávce 4 ks. Na konci operace jsou změněny elementy na nalakované kapotáže a odeslány do zásobníku.

Poté na stroji pro polepování kapot dochází k polepení kapot samolepy, každý element je brán z příslušného zásobníku a montován dohromady. Stroj je tedy typu "assembly". Tato operace trvá 10 minut, provádí ji operátor a lepí vždy dávku polepů na jednu kapotáž. Po skončení operace je výstupní element změněn na nalakované polepené kapotáže a na výstupu ze stroje je opět počet hotových kapotáží zapisován do Excelu.



Obrázek č. 4.7 Průběh simulace Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

Propojování pomocí software Excel má z mého pohledu více výhod. Jednak je zde snadná dostupnost tohoto software, jelikož kancelářský balík Office je značně rozšířen. Na velkou rozšířenost se balí také poměrně dobrá uživatelská znalost software Excel. Naopak nevýhodou je vyšší náročnost zapisování do Excelu.

Snahou autora v další fázi tedy bylo se zaměřit právě na:

- využití znalosti Excelu i mírně proškoleným uživatelem,
- snaha o vylepšení uživatelského prostředí WITNESSu opět pro snazší práci mírně proškoleného uživatele,
- snížení potřebného času pro zápis do Excelu, tím zkrácení času potřebného k dosažení výsledků,
- zpřesnění některých parametrů modelu pro snížení zátěže hardwaru a přesnější statistické výsledky simulace.

Zpřesnění některých parametrů modelu pro snížení zátěže hardwaru a přesnější statistické výsledky simulace.

V předchozím představeném modelu na pracovišti lakovna a polepovna docházelo k načtení první dávky výrobků z Excelu a jejího odeslání do zásobníku se vstupním materiálem. Ve chvíli, kdy byla odeslána tato první dávka do zásobníku, docházelo k dalším kontrolám a periodickému načítání proměnné pro kontrolu dávek. Do systému neustále přicházel další materiál, ten byl posílán do "scrapu" a kontrolní proměnná rostla každou minutou k astronomickým hodnotám.

Tomuto bylo třeba předejít pro snížení zátěže systému a zrychlení simulace.

Jelikož simulace je nastavena tak, že do modelu vejdou všechny výrobky z předchozích systémů v okamžiku startu simulace, využil jsem pro zastavení načítání "Input actions" u prvního stroje. Tyto akce se provedou ve chvíli, kdy do stroje vstoupí první výrobek, tedy ve chvíli, kdy už jsou vstupy do modelu kompletně načteny. Zde došlo k vložení kódu, který kompletně zastavil další akumulaci proměnných, jelikož zastavil příchody výrobků do systému.

Přínosy v úspoře času simulace

Pro posouzení přínosu z hlediska časové náročnosti simulace a tedy době nutné pro obdržení výsledků jsem provedl kontrolní měření, výsledky jsou v tabulce níže.

Tabulka č. 4.1: Přínosy k úspoře času simulace

Dosažené výsledky při simulačním času 450 minut	čas (sekundy)				
	první měření	druhé měření	třetí měření	aritm. průměr	úspora času
Dva vstupující typy výrobků - permanentní kontrola a načítání výrobků	37,5 s	37,2 s	39,5 s	38,1 s	-
Dva vstupující typy výrobků - jednorázová kontrola a načítání výrobků	3,7 s	3,6 s	3,8 s	3,7 s	90,28%

Zdroj: [vlastní zpracování]

Z tabulky je zřejmé, že tímto řešením dojde nejen ke zpřesnění výsledků simulace, ale také k značnému zrychlení simulace, více jak 90% nárůstu výkonu.

Snížení potřebného času pro zápis do Excelu a vylepšení prostředí pro práci mírně proškoleného uživatele

Zde popisované techniky jsou poměrně složité a je třeba dobrá uživatelská znalost software. Aby mohly přínosy modelů využívat i další uživatelé, jsou zde nasazeny techniky, které toto umožní pouze základně proškoleným uživatelům.

Zaměřme se nyní na model pro řezání polepů z předchozí kapitoly. U tohoto modelu nyní dochází k periodickému zapisování každého vyrobeného výrobku do Excelu zvlášť. Toto je poměrně časově náročné a mou snahou bylo tyto časy zkrátit. Vzhledem k tomu, že se jedná o stroj dávkový, první úsilí směřovalo k zapisování počtu výrobků pouze po každé vyrobené dávce naráz.

Zápis po dávkách

Pro zajištění zápisu po dávkách bylo třeba do akcí ve stroji, díky nimž již dochází k zápisu každého výrobku do Excelu doplnit kódy, které umožní tuto činnost provést pouze po každé vyrobené dávce.

V nastavení stroje byly pomocí proměnných naprogramovány řešení zajišťující zápis pouze po dávkách. Dosažené časové úspory popisuje následující tabulka.

Tabulka č. 4.2: Přínosy k úspoře času simulace

Čas je v sekundách	první měření	druhé měření	třetí měření	aritm. průměr	úspora
zápis jedné proměnné do Excelu na konci každého cyklu CT 1 minuta velikost dávky 10 ks simulační čas 1440 minut	45,5 s	45,5 s	44 s	45,0 s	
zápis jedné proměnné do Excelu na konci každého cyklu dle velikosti dávky jednou CT 1 minuta velikost dávky 10 ks simulační čas 1440 minut	6 s	5,5 s	5,5 s	5,7 s	87,42%

Zdroj: [vlastní zpracování]

Je zřejmé, že při dávkovém způsobu zápisu dochází ke značné časové úspoře. Zajímavé je i sledovat časy v závislosti na velikosti dávky, viz následující tabulka.

Ovšem nevýhodou tohoto nastavení je jednak stále ještě poměrně častý zápis do Excelu, ale především to, že ne vždy jsou stroje nastaveny jako dávkové, může se jednat o kusovou výrobu. V takovém případě bychom buď opět zapisovali každý kus a došlo k nárůstu náročnosti, anebo bychom stanovili nějakou vlastní dávku, po které by se zapisovalo. To by však znamenalo nesoulad mezi skutečně vyrobenými výrobky a těmi zapsanými do Excelu v případě zastavení simulace v jiném bodě, než je aktuální velikost dávky. Proto jsem přistoupil k dalším úpravám a to k zápisu pouze na konci simulace.

Zápis na konci simulačního času a zjednodušení prostředí

Jelikož známe obvykle čas, po který hodláme simulovat (např. 1 směna), považuji za možné, aby se počet výrobků zapsal do Excelu pouze jednou a to na konci simulačního času. Je pravděpodobné, že dojde ke značnému urychlení simulace. V této fázi rovněž zapojím jisté prvky, které zároveň ulehčí ovládání modelu i mírně poučenému laikovi.

V prvé řadě je tedy třeba zajistit zápis do Excelu pouze na konci simulačního času. Za tímto účelem použijeme několik proměnných a budeme s nimi pracovat tak, abychom správně formulovali bod zápisu do Excelu. Půjde o to, aby ve chvíli, kdy reálný simulační čas dosáhne hodnoty času, po který chceme simulovat (uložený v proměnné), zapíšou se hodnoty do Excelu.

Vzniká otázka, jakým způsobem plnit proměnnou pro simulační čas. Můžeme zajistit vstup z Excelu, což je přijatelné pro laika, ale dochází k časové prodlevě. Čas může být nastaven přímo v modelu naplněním proměnné, což je ovšem složité a i zdlouhavé. Pro ulehčení plnění této proměnné je využito ve WITNESSu tzv. "interact boxu". Ve chvíli, kdy uživatel stiskne tlačítko pro simulaci, vyskočí "interact box", který vyzve k zadání doby simulačního času. Tímto je následně naplněna adekvátní proměnná.

Zde je možné využít ještě další „nadstavby“. Uživatel musí běžně omezovat čas simulace vložením maximálního simulačního času do okýnka na ovládací liště. Jelikož nyní jej zadává i do interact boxu, jde o jistou duplicitu činností.

Můžeme tedy úpravou kódu zajistit, aby se simulace sama zastavila ve chvíli, kdy dosáhne požadované délky.

Dosažené časové úspory ukazuje následující tabulka, kde jsou srovnány varianty zápisu každého kusu, dávkového zápisu a zápisu na konci simulace. Úspora času se pohybuje v případě varianty zápisu na konci simulace a každého výrobku při zvolené variantě kolem 98%. Čas je stejný, jako v případě modelu bez zápisu do Excelu.

Tabulka č. 4.3: Úspory času při simulaci

Čas je v sekundách	první měření	druhé měření	třetí měření	aritm. průměr	úspora
zápis jedné proměnné do Excelu na konci každého cyklu CT 1 minuta velikost dávky 5 ks simulační čas 1440 minut	23 s	23,5 s	22 s	22,8 s	
zápis jedné proměnné do Excelu na konci každého cyklu CT 1 minuta velikost dávky 10 ks simulační čas 1440 minut	45,5 s	45,5 s	44 s	45,0 s	
zápis jedné proměnné do Excelu na konci každého cyklu dle velikosti dávky jednou CT 1 minuta velikost dávky 5 ks simulační čas 1440 minut	5,5 s	5,5 s	5,5 s	5,5 s	75,91%
zápis jedné proměnné do Excelu na konci každého cyklu dle velikosti dávky jednou CT 1 minuta velikost dávky 10 ks simulační čas 1440 minut	6 s	5,5 s	5,5 s	5,7 s	87,41%
bez zápisu do Excelu CT 1 minuta velikost dávky 5 ks simulační čas 1440 minut	0,5 s	0,5 s	0,5 s	0,5 s	
bez zápisu do Excelu CT 1 minuta velikost dávky 10 ks simulační čas 1440 minut	0,5 s	0,5 s	0,5 s	0,5 s	
zápis jedné proměnné do Excelu na konci casu simulace - interactbox CT 1 minuta velikost dávky 5 ks simulační čas 1440 minut	0,5 s	0,5 s	0,5 s	0,5 s	97,81%
zápis jedné proměnné do Excelu na konci casu simulace - interactbox CT 1 minuta velikost dávky 10 ks simulační čas 1440 minut	0,5 s	0,5 s	0,5 s	0,5 s	98,89%

Zdroj: [vlastní zpracování]

Vzhledem k tomu, že přichází objednávky od zákazníků, může být také užitečné mít běh modelu omezen nejen simulačním časem, ale také velikostí objednávky zákazníka.

Zápis na základě velikosti objednávky

Ne vždy je třeba omezovat běh modelu tím, jak dlouho budeme simulovat. Může nás také zajímat, jak dlouho nám potrvá vyrobit určité množství výrobků. I takto je možné model přizpůsobit a zároveň nastavit, aby se provedl zápis vyrobeného počtu kusů do Excelu až poté, co budou všechny vyrobeny a nikoliv po každém kusu.

V modelu oproti předchozí verzi není třeba velkých změn. Potřebujeme proměnnou, jež na začátku simulace pomocí interactboxu naplní uživatel hodnotou, kolik kusů chce vyrobit. Poté tuto proměnnou budeme dále aplikovat k zajištění toho, že se bude počítat každý vyrobený samolep. Ve chvíli, kdy se počet vyrobených samolepů vyrovná počtu, který jsme plánovali vyrobit, dojde k zápisu do Excelu a zastavení simulace.

Zde je třeba počítat s jevem, jelikož se jedná o dávkový stroj, že pokud zadáme požadavek do výroby, který nebude v násobcích velikosti dávky, tak se do zásobníku s hotovými výrobky odešle více hotových kusů, než jsme zadali, tedy i zbytek dávky. Nicméně do Excelu se zapíše pouze požadovaný počet kusů. Tomuto jevu je možné předejít, je-li třeba. Lze naprogramovat způsob, kdy všechny výrobky nad zvolený počet ks nejdou do zásobníku, ale do odpadu. Můžeme také místo odpadu zvolit např. jiný zásobník.

Časová náročnost zápisu tohoto řešení bude velmi podobná variantě zápisu na konci simulačního času – jedná se opět pouze o jeden zápis.

4.1.3 Využití software Plant Simulation pro výměnu dat mezi modely procesů

Také tato kapitola bude nejprve koncipována se zaměřením na způsoby vhodné pro interní zákazníky procesů a poté na externí.

Způsoby výměny dat doporučené pro interní zákazníky procesů – využití hierarchizace frame a transferu dat mezi frame

Výměna dat v jednom modelu pomocí hierarchizace frame

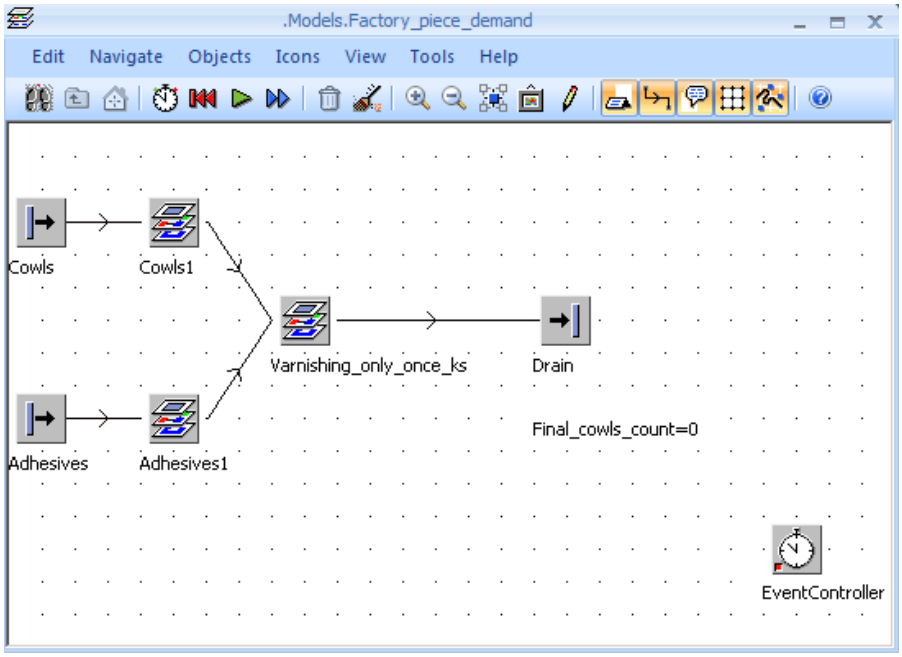
Následující subkapitola pojednává o výměně dat mezi modely jednotlivých procesů a to pomocí hierarchizace "frame" – vyberu hlavní frame, který bude představovat model továrny a v něm budou další frame jako komponenty představující jednotlivé na sebe navazující procesy. Toto řešení je vhodné zejména pro interní zákazníky.

Opět budu klást důraz na snadnou obsluhu a model bude představen ve dvou variantách možností simulace:

1) na základě velikosti objednávky,
2) na základě simulačního času.

Simulace na základě velikosti objednávky

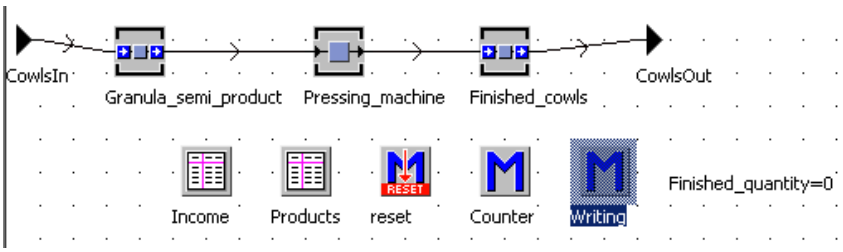
Hlavní model ilustruje obrázek č. 4.8, na kterém je zobrazen "frame" celé výroby. Jednotlivé "subframe" představují modely oddělených na sebe navazujících procesů.



Obrázek č. 4.8: Hlavní frame Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

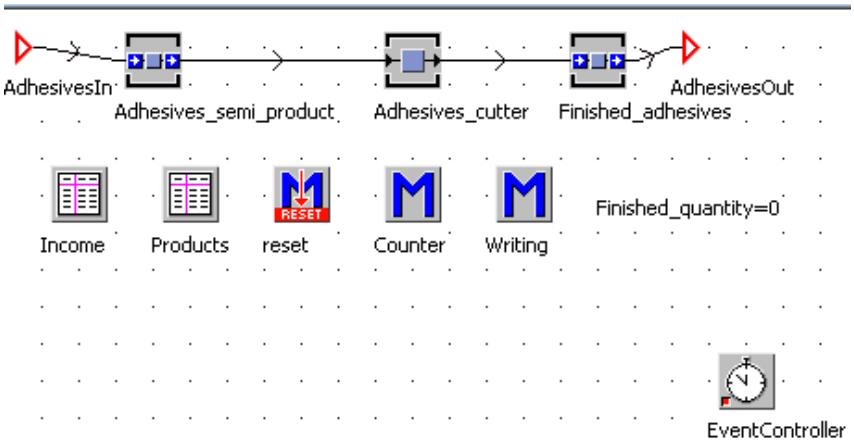
Nyní se podíváme blíže na nastavení jednotlivých "subframe".

Cowls1



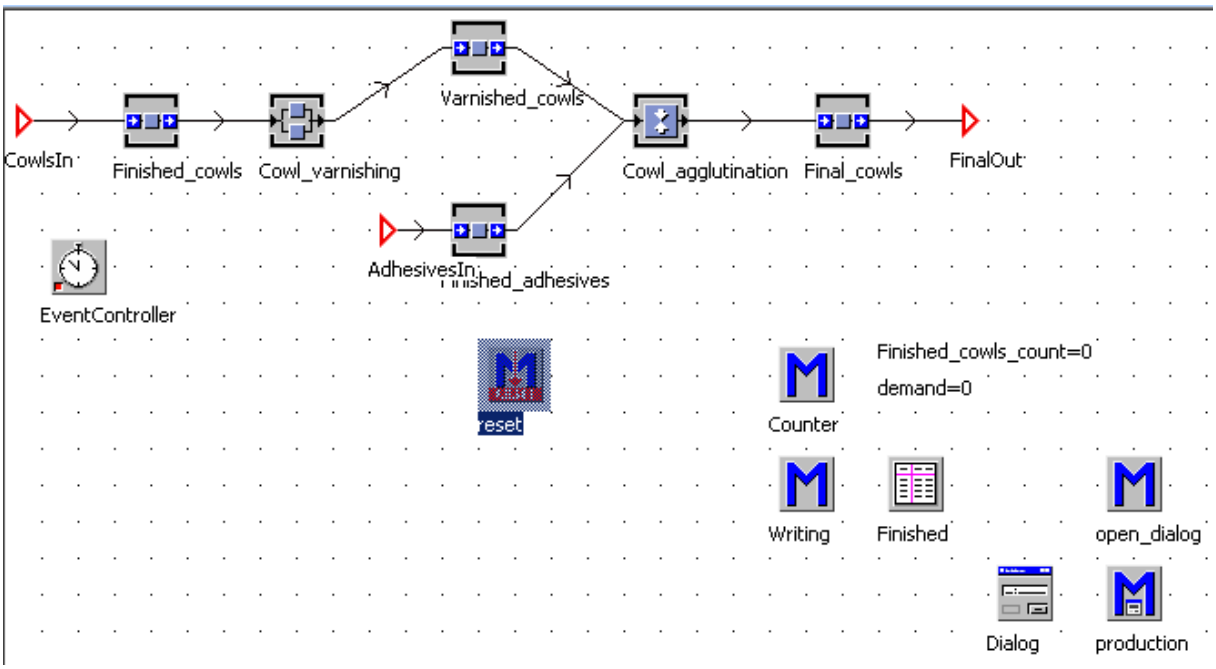
Obrázek č. 4.9: Frame Cowls1 Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Adhesives1



Obrázek č. 4.10: Frame Adhesives1 Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Varnishing_only_once_ks



Obrázek č. 4.11: Frame Varnishing_only_once_ks Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

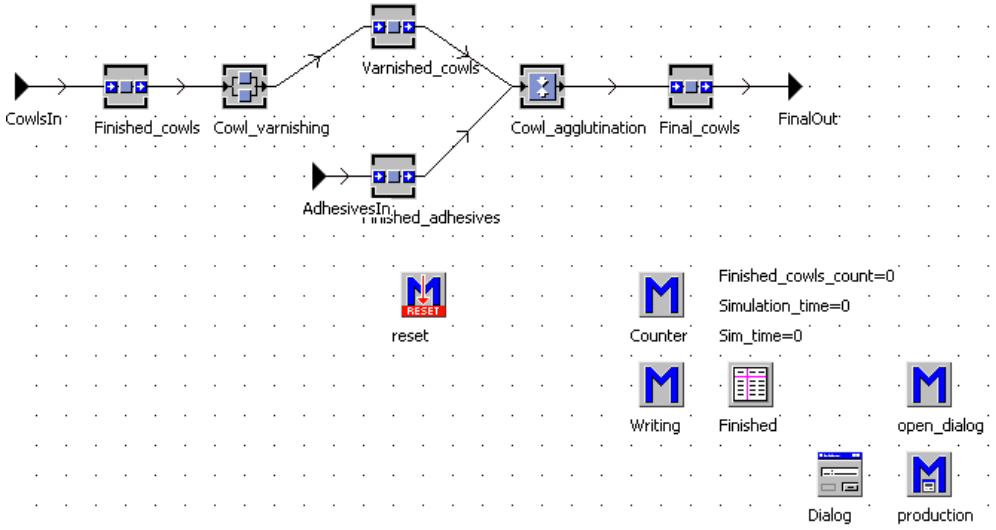
Tento frame v sobě spojuje příchozí kapoty a samolepy z předchozích frame. Proto jsou z obrázku zřejmé dva vstupní interface – pro kapoty a pro samolepy. Díky nim je možné pomocí konektorů napojit správné elementy k sobě.

Běh hlavního frame

Ve chvíli, kdy spustíme hlavní "frame", objeví se okno načtené ze "subframe varnishing", které chce zadat počet kusů, které chceme vyrobit. Poté proběhne simulace, která se zastaví přesně v okamžiku vyrobení požadovaného počtu kusů.

Simulace na základě simulačního času

Nastavení celého modelu je velice podobné, jako v případě zápisu na základě velikosti objednávky, jediný větší rozdíl je ve framu "Varnihing_only_once_time", kde jsou metody upravené pro zápis na základě času, nikoliv požadavku na kusy.



Obrázek č. 4.12: Frame Varnishing_only_one_time
Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Frame ilustruje obrázek č. 4.12. Je zřejmé, že přibyly proměnné pro časové kalkulace a naopak zmizela proměnná použitá pro požadavek na kusy.

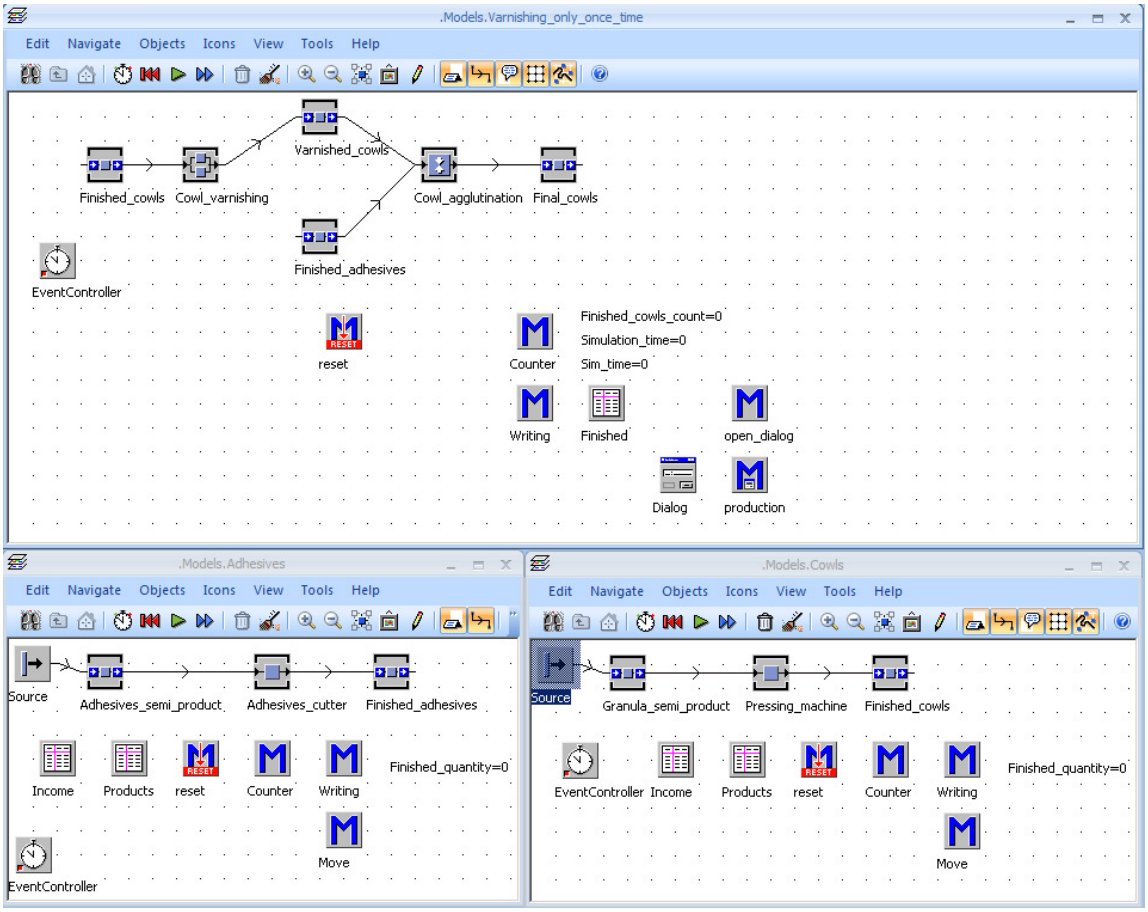
Dialog, který se na začátku simulace objeví, se poté uživatele ptá na simulační čas, který je k dispozici.

Shrnutí části modelování procesů pomocí hierarchizace frame

Tento způsob stavění modelů je poměrně rychlý a pohodlný. Je velmi vhodný pro interní zákazníky, jelikož dochází k vzájemnému ovlivňování na sebe navazujících procesů jak ve směru výroby, tak i v protisměru, což je často společné s realitou. Je zde také vysoká flexibilita, pokud máme hotové frame s připravenými modely procesů, je dílem sekund je zaměnit. Nevýhodou může být např. vyšší náročnost na hardware v případě velké komplexnosti výrobního procesu, kdy vše běží současně.

Transfer dat mezi frame

Další možností je mít v každém frame oddělený model procesu a výstupní pravidla z jednoho frame nastavit tak, aby byly výrobky posílány do dalšího frame. Základní model bude opět stejný, použijeme frame pro výrobku kapot, frame pro výrobu samolepů a finální frame s kompletací bude na základě časového požadavku (pro kapacitní požadavky bude platit stejný princip tvorby).



Obrázek č. 4.13: Používané frame Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Na obrázku je znázorněný výrobní systém. Oproti předchozímu postupu nejsou použity propojující Interface, jelikož se nebude jednat o propojení v jednom velkém frame. V obou modelech, které jsou první v celkovém procesu, také přibyly metody, které zajišťují transfer výrobku. Jmenují se "move" a jsou právě tou klíčovou změnou.

Díky tomuto kroku jsou hotové výrobky přesouvány z frame pro kapoty a samolepy rovnou do zásobníků se vstupním materiálem v kompletačním frame. Dochází k efektu, kdy pokud pustíme simulaci výroby kapot nebo samolepů,

výrobky jsou předávány do dalšího frame. Pokud simulaci zastavíme, případně resetujeme a poté znova pustíme, zásobník v následujícím frame se nevyprázdnil a výrobky se kumulují. To je poměrně logické chování – polotovary můžeme vyrábět na několikrát a postupně dodávat.

Pokud bychom však chtěli, aby se s resetem modelu kapot nebo samolepů zároveň vymazaly výrobky i ve finálním kompletačním frame, stačí upravit metodu reset.

Shrnutí transferu dat mezi frame

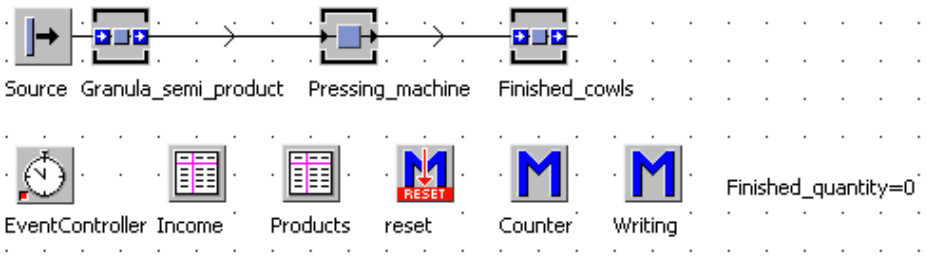
Tento způsob výměny dat je možné používat, je vhodný jak pro interní zákazníky procesů, tak i pro externí. Jednotlivé frame totiž můžeme do modelu volně nahrávat a poté pomocí příkazů propojovat. Slabinu tohoto řešení vidím v jeho větší složitost při práci laika – je totiž potřebné doprogramovat cesty, kudy se výrobek pohybuje a to vyžaduje více, než elementární znalosti, i když se jedná o jednoduché příkazy.

Způsoby výměny dat doporučené pro externí zákazníky procesů – využití Excelu a textových souborů

Propojení nezávislých modelů pomoci MS Office Excel

V této části je představeno propojení na sobě nezávislých modelů (každý ve vlastním frame a nebo každý ve vlastním souboru s modelem) pomocí softwaru MS Office Excel. Jsou použity již známé modely, pro potřeby práce s Excelem jsou však upraveny.

Lisovna kapot

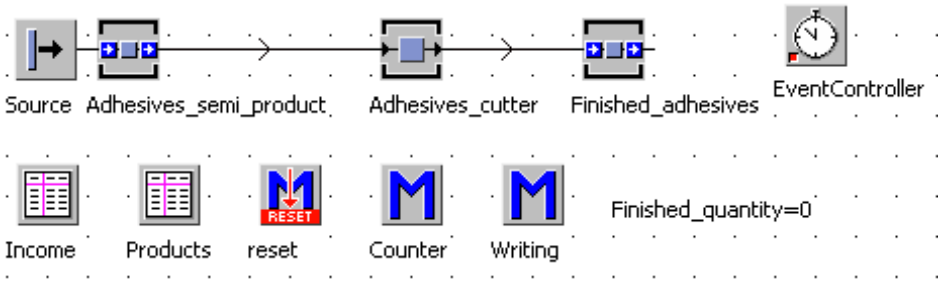


Obrázek č. 4.14: Lisovna kapot Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Díky metodám "Counter" a "Writing" jsou počítány výrobky a poté je vyvoláno zapisování do Excelu pokaždé, když je hotový výrobek expedován ze stroje.

Hotové výrobky jsou odesílány do zásobníku pro hotové kapotáže ("Finished_cowls").

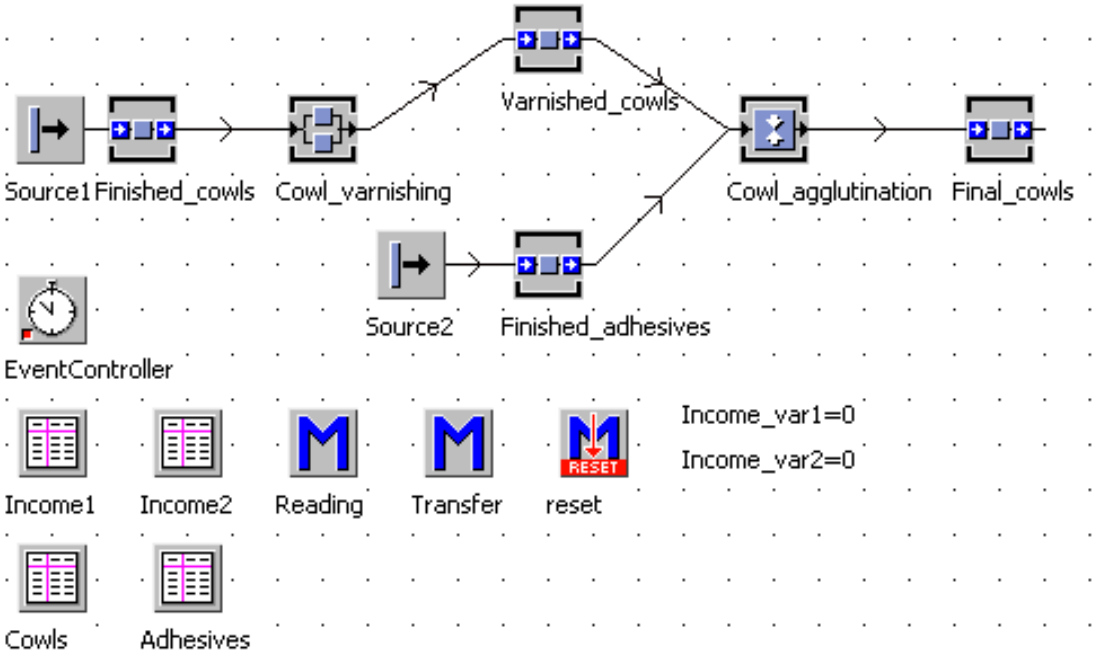
Řezání polepů



Obrázek č. 4.15: Řezárna polepů Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Nastavení je téměř stejné, jako u předchozího modelu, zejména v klíčových vlastnostech využitých pro zápis do Excelu.

Lakovna a polepovna



Obrázek č. 4.16: Lakovna a polepovna Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

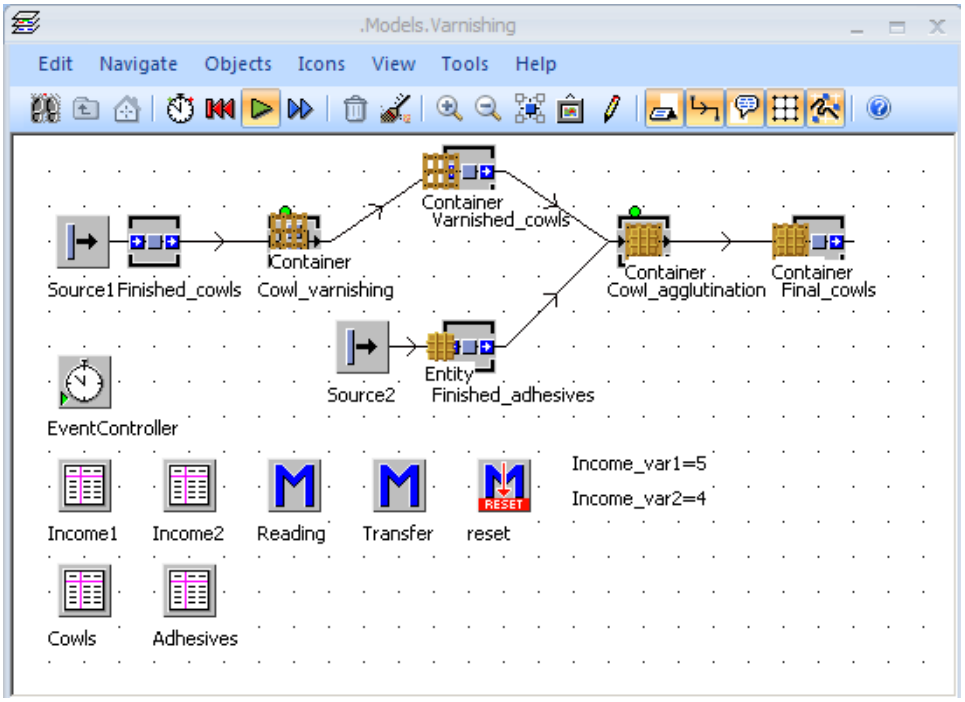
V lakovně a polepovně se sbíhají výrobky z předchozích systémů.

Nejprve před začátkem simulace jsou načteny počty vyrobených samolepů a kapotáží z předchozích systémů. Toto je ošetřeno pomocí několika metod, jejich naprogramování je autorův vlastní koncept.

První z nich je metoda "Reset", která vyčistí při resetu simulace údaje, které zůstaly z předchozích běhů.

Další metodou je "Reading", která zajišťuje načtení počtu kusů jednotlivých výrobků z předchozích modelů.

Důležité je nastavení místa, kde se bude načítání výrobků do modelu realizovat. Metoda Reading je tedy nastavena k provedení v "EventController" v jeho "controls" v položce "init".



Obrázek č. 4.17: Průběh simulace Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Měření náročnosti zápisu výrobků do Excelu

Stejně jako v případě WITNESSU i zde bylo provedeno měření časové náročnosti zápisu do Excelu.

Tabulka č. 4.4: Měření náročnosti času zápisu

Čas je v sekundách	první měření	druhé měření	třetí měření	aritm. průměr
zápis jedné proměnné do Excelu na konci každého cyklu CT 1 minuta, simulační čas 1440 minut, nastavena maximální rychlost simulace	4560 s	4080 s	4119 s	4253 s

Zdroj: [vlastní zpracování]

Zpřesnění některých parametrů modelu pro snížení zátěže hardwaru a zlepšení ovládání pro laiky

Propojování pomocí software Excel má mnoho výhod zmíněných dříve a opět je nevýhodou vyšší náročnost na hardware při zapisování do Excelu.

Mou snahou v této fázi tedy bylo zaměřit se na:

- Využití znalosti Excelu i relativním laikem.
- Snaha o vylepšení uživatelského prostředí Plant Simulation opět pro snazší práci laika.
- Snížení potřebného času pro zápis do Excelu, tím zkrácení času potřebného k dosažení výsledků.
- Zpřesnění některých parametrů modelu pro snížení zátěže hardwaru.

Snížení potřebného času pro zápis do Excelu a vylepšení prostředí pro práci laika

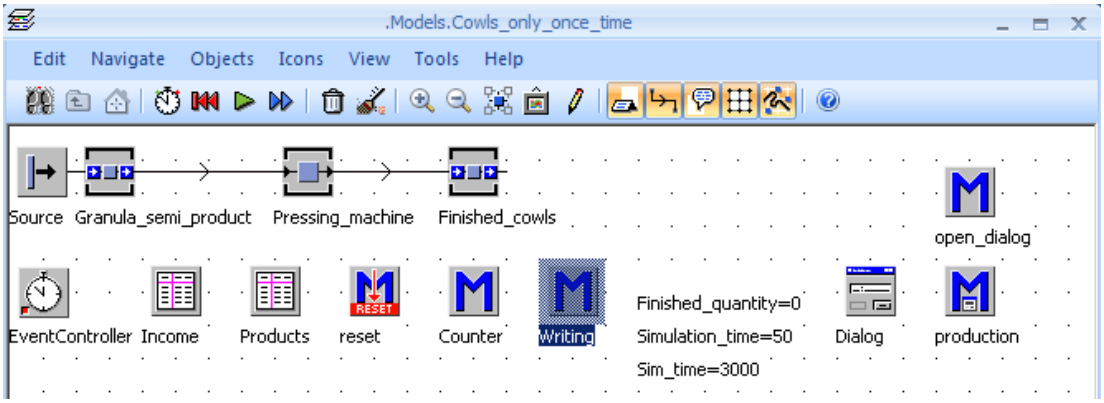
Zaměřme se nyní na model pro výrobu kapot z předchozí kapitoly. U tohoto modelu nyní dochází k periodickému zapisování každého vyrobeného výrobku do Excelu zvlášť. Toto je poměrně časově náročné a mou snahou bylo tyto časy zkrátit. Opět jsem zvolil dva přístupy k řízení tohoto pravidla:

1. Zápis na konci simulačního času
2. Zápis na základě velikost výrobní dávky

Zápis na konci simulačního času a zjednodušení prostředí

Jelikož známe obvykle čas, po který hodláme simulovat (např. 1 směna), považuji za možné, aby se počet výrobků zapsal do Excelu pouze jednou a to na konci simulačního času. Je pravděpodobné, že dojde ke značnému urychlení simulace. V této fázi rovněž zapojím jisté prvky, které zároveň ulehčí ovládání modelu i mírně poučenému laikovi.

Použijeme shodný model, dojde však k rozšíření o několik dalších elementů a úpravu stávajících metod.



Obrázek č. 4.18: Nový layout Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

V prvé řadě je tedy třeba zajistit zápis do Excelu pouze na konci simulačního času. Za tímto účelem použijeme proměnnou, které bude přiřazena hodnota celkového času, který plánujeme simulovat. S touto proměnnou budeme následně pracovat tak, abychom zajistili požadované akce, bude důležitá ve chvíli, kdy budeme formulovat bod zápisu do Excelu. S její pomocí zajistíme, že ve chvíli, kdy aktuální čas v simulaci dosáhne hodnoty proměnné, dojde k zápisu vyrobeného počtu kusů do Excelu.

Vzniká otázka, jakým způsobem plnit proměnnou pro simulační čas. Můžeme zajistit vstup z Excelu, což je přijatelné pro laika, ale dochází k časové prodlevě. Čas může být nastaven přímo v modelu naplněním proměnné manuálně, což je ovšem složité a i zdlouhavé. Pro ulehčení plnění této proměnné je využito v Plant Simulation tzv. Dialogu. Ve chvíli, kdy uživatel stiskne tlačítko pro spuštění simulace, vyskočí Dialogové okno, které vyzve k zadání doby simulačního času. Tímto je následně naplněna proměnná.

Zde je možné využít ještě další „nadstavby“. Uživatel musí běžně omezovat čas simulace vložením maximálního simulačního času do okýnka na "EvenetController". Jelikož nyní jej zadává do dialogu, jde o jistou duplicitu činností. Upravíme metodu "Writing" a tímto zajistíme, aby se simulace sama ukončila po provedení simulačního času. Není tedy třeba toto omezovat v ovládací liště a dále to zpružňuje ovládání modelu a snižuje nároky na kvalifikaci obsluhy.

Vyhodnocení časových úspor řešení

Dosažené časové úspory ukazuje následující tabulka, kde jsou srovnány varianty zápisu každého kusu a zápisu na konci simulace. Úspora času se pohybuje v případě varianty zápisu na konci simulace a každého výrobku při zvolené variantě kolem 99%.

Tabulka č. 4.5: Dosažené časové úspory při simulaci

Čas je v sekundách	první měření	druhé měření	třetí měření	aritm. průměr	úspora
zápis jedné proměnné do Excelu na konci každého cyklu, CT 1, simulační čas 1440 minut, maximální rychlost simulace	4560 s	4080 s	4119 s	4253 s	
zápis jedné proměnné do Excelu na konci casu simulace, CT 1, simulační čas 1440 minut, maximální rychlost simulace	3,5 s	3,5 s	3,5 s	3,5 s	99,91%

Zdroj: [vlastní zpracování]

Vzhledem k tomu, že nám přichází objednávky od zákazníků, může být také užitečné mít běh modelu omezen nejen simulačním časem, ale také velikostí objednávky zákazníka.

Zápis na základě velikosti objednávky (výrobní dávky)

Ne vždy je třeba omezovat běh modelu tím, jak dlouho budeme simulovat. Může nás také zajímat, jak dlouho potrvá vyrobit určité množství výrobků. I takto je možné model přizpůsobit a zároveň nastavit, aby se provedl zápis vyrobeného počtu kusů do Excelu až poté, co budou všechny vyrobeny a nikoliv po každém kusu.

V modelu oproti předchozí verzi není třeba velkých změn. Potřebujeme proměnnou, jež na začátku pomocí dialogu naplní uživatel hodnotou, kolik kusů chce vyrobit. Poté tuto proměnnou budeme dále aplikovat. Ve chvíli, kdy se počet vyrobených kapot vyrovná počtu, který jsme plánovali vyrobit, dojde k zápisu do Excelu a zastavení simulace.

Časová náročnost zápisu tohoto řešení bude velmi podobná variantě zápisu na konci simulačního času – jedná se opět pouze o jeden zápis.

Srovnání časové náročnosti při zápise do Excelu mezi Plant Simulation a WITNESS

Tabulka č. 4.6: Plant Simulation

Čas je v sekundách	první měření	druhé měření	třetí měření	aritm. průměr	úspora času
Standard model: zápis jedné proměnné do Excelu na konci každého cyklu, CT 1, simulační čas 1440 minut, maximální rychlost simulace	4560 s	4080 s	4119 s	4253 s	
Pokročilý model: zápis jedné proměnné do Excelu na konci času simulace, CT 1, simulační čas 1440 minut, maximální rychlost simulace	3,5 s	3,5 s	3,5 s	3,5 s	99,91%

Zdroj: [vlastní zpracování]

Tabulka č. 4.7: WITNESS

Čas je v sekundách	první měření	druhé měření	třetí měření	aritm. průměr	úspora času
Standard model: zápis jedné proměnné do Excelu na konci každého cyklu, cyklový čas 1 minuta, simulační čas 1440 minut	45,5 s	45,5 s	44 s	45,0 s	
Bez zápisu do Excelu: cyklový čas 1 minuta, simulační čas 1440 minut	0,5 s	0,5 s	0,5 s	0,5 s	
Pokročilý model: zápis jedné proměnné do Excelu na konci času simulace – interactbox, cyklový čas 1 minuta, simulační čas 1440 minut	0,5 s	0,5 s	0,5 s	0,5 s	98,89%

Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Z tabulek je patrné, že v případě obou simulačních software dochází ke značné časové procentuální úspoře, pokud zavedeme zápis pouze jednou na konci simulace. V absolutních číslech je znatelné, že v případě Plant Simulation má toto obzvláštní význam – jeho komunikace s Excelem je totiž značně pomalejší, než WITNESSu.

Propojení nezávislých modelů pomoci textových souborů

K propojování externích modelů je v Plant Simulation možné používat nejen softwaru Excel, ale také „běžných“ souborů, v tomto případě jsou zvoleny s příponou „.txt“, která umožňuje snadné prohlížení. Následující subkapitoly popíší způsob tvorby těchto modelů a budou také změřeny výsledky dosažené pomocí této metodiky. Opět bude zvolena metoda zápisu na konci simulačního času a metoda zápisu na základě velikosti objednávky. Použit bude stejný systém, jako v předchozím případě.

Zápis na základě simulačního času

Princip je velmi podobný jako při zápise do Excelu. Na začátku při spuštění modelu se program opět zeptá na délku simulace a tu zapíše do proměnné, na jejímž základě je poté simulace ukončena a výsledky zapsány do textového souboru.

Hlavní rozdíl oproti Excelu je v metodě "writing", kde už není použita funkce pro zápis do Excelu, ale do běžného souboru typu "file". Toto zajistí, že na konci simulace bude zapsán počet vyrobených kusů do souboru "cowls.txt".

Zápis na základě velikosti objednávky

Princip je opět stejný, jako v předchozím případě, tedy je oproti Excelu změněna metoda "writing", která obsahuje identický text, jako ta z předchozí kapitoly.

Model místo simulačního času na začátku žádá po uživateli zadání požadavku na počet kusů, které chce vyrobit.

Časová náročnost zápisu pomocí .txt souborů a srovnání s časovou náročností zápisu do Excelu.

Srovnání časové náročnosti bude provedeno na modelu se zápisem na základě doby simulace, jako v předchozích případech. Náročnost bude podobná, jako v případě zápisu na základě velikosti objednávky – vždy se jedná pouze o jeden zápis.

Tabulka č. 4.8: Náročnost zápisu textových souborů

Čas je v sekundách	první měření	druhé měření	třetí měření	aritm. průměr	úspora času
Excel: zápis jedné proměnné do Excelu na konci času simulace, CT 1, simulační čas 1440 minut, maximální rychlost simulace	3,5 s	3,5 s	3,5 s	3,5 s	
.txt soubory: zápis jedné proměnné do Excelu na konci času simulace, CT 1, simulační čas 1440 minut, maximální rychlost simulace	0,5 s	0,5 s	0,5 s	0,5 s	85,71%

Zdroj: [vlastní zpracování]

Z tabulky je zřejmé, že zápis pomocí textových souborů je značně rychlejší, než zápis pomocí Excelu. Dosažená úspora je zhruba 85% času. Tato úspora by navíc zřejmě rostla v případě použití složitějších modelů v případě více zápisů, jelikož naměřené časy jsou tak nízké, že jsou ovlivněny reakční dobrou měřící osoby.

Načítání výrobků z .txt Souborů

Stejně, jako je možné a potřebné počty hotových výrobků načítat z Excelu, jejich načítání je možné i z textových souborů.

Ve srovnání načítání s Excelovou variantou má varianta načítaní pomocí textových souborů opět upravenou pouze jednu metodu, zbytek modelu zůstal stejný. Touto metodou je reading, která zajistí načtení počtu vyrobených kusů ze souborů "cowls.txt" a "adhesives.txt", které obsahují počty vyrobených kusů v předchozích systémech.

Je opět možné srovnat časovou náročnost v případě použití Excelu a textových souborů.

Tabulka č. 4.9: Náročnost čtení textových souborů

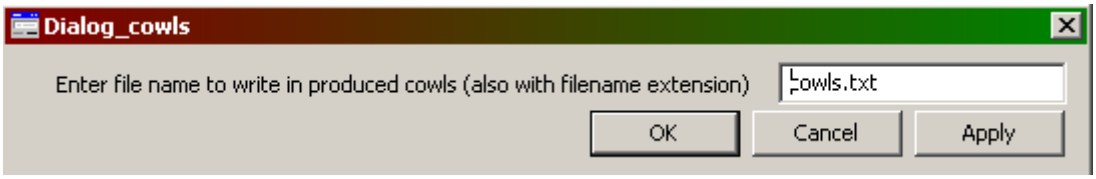
Čas je v sekundách	první měření	druhé měření	třetí měření	aritm. průměr	úspora času
Excel: načítání dvou hodnot z nezávislých souborů	5,5 s	5,8 s	6,1 s	5,8 s	
.txt soubory: načítání dvou hodnot z nezávislých souborů	0,5 s	0,5 s	0,5 s	0,5 s	91,37%

Zdroj: [vlastní zpracování]

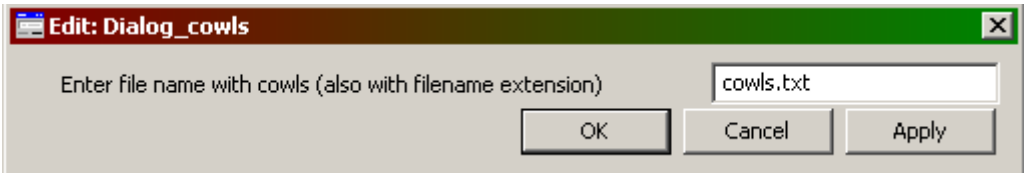
Z tabulky je patrné, že načítání z Excelu je opět pomalejší, než textové soubory. Rozdíl je ještě větší, než v případě zápisu – zatímco načtení z textového souboru zůstalo téměř okamžité, doba načítání dvou hodnot z různých Excelových souborů narostla. Je pravděpodobné, že při použití více vstupních hodnot by dále narůstala výhodnost ".txt" souborů.

Volitelný název souboru pro zápis a načítání

Předchozí modely měly vždy naprogramované pevně dané názvy souborů pro zápis počtu hotových výrobků. Je však praktické, aby uživatel měl možnost snadno definovat vlastní název souboru. Je např. možné mít předem připravené počty vyrobených kusů za určité obvyklé časy, např. směna. Mohou být také definovány standardní názvy souborů pro jednotlivé zákazníky. Pomocí dialogových oken, metod a proměnných je možné naprogramovat, aby si uživatel volil název souboru, kam svá data ukládá anebo odkud je načítá.

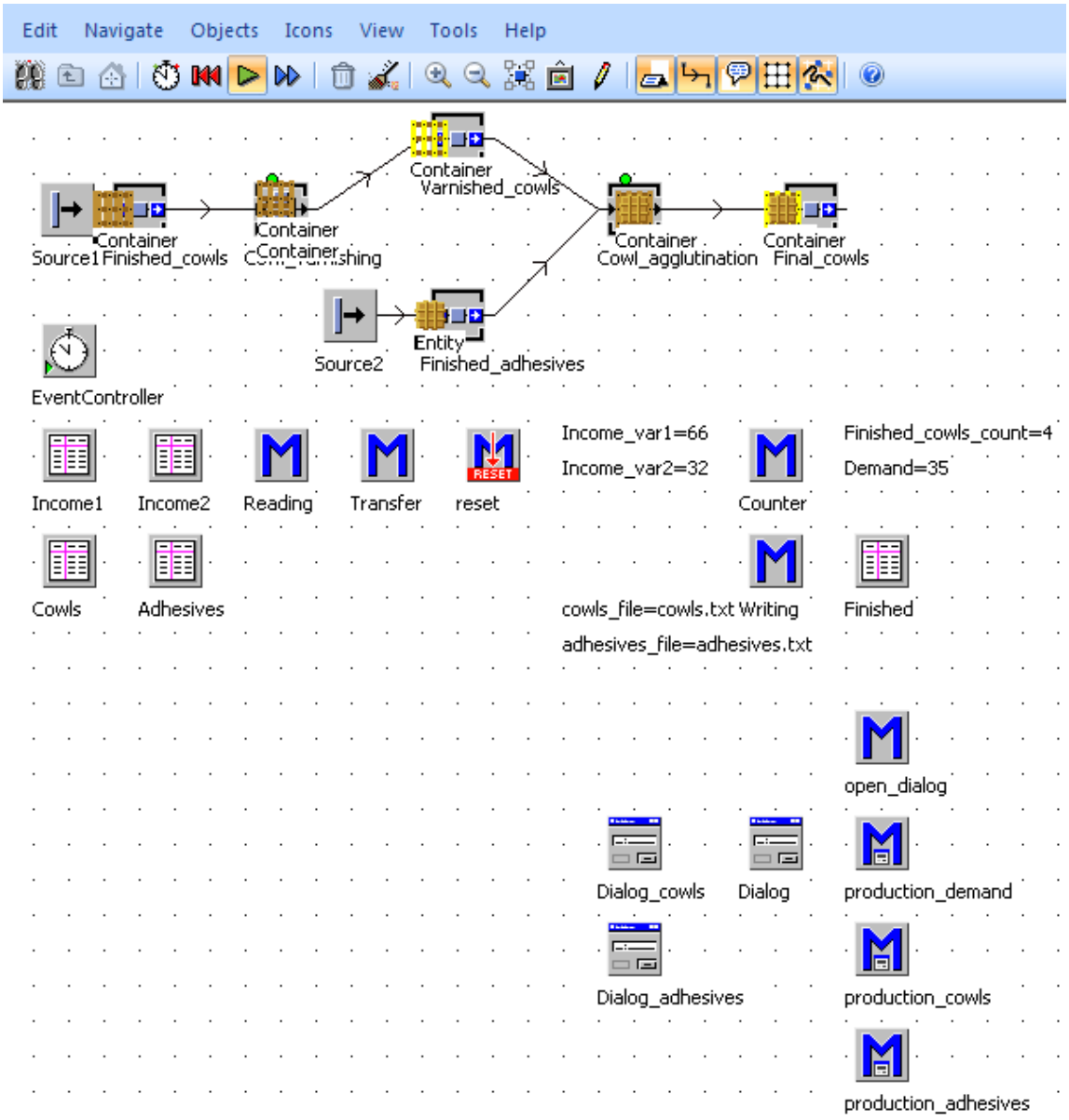


Obrázek č. 4.19: Dialogové okno zápis kapot Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]



Obrázek č. 4.20: Dialogové okno načítání kapot Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Běh modelu s načtenými všemi hodnotami ilustruje obrázek č. 4.21.

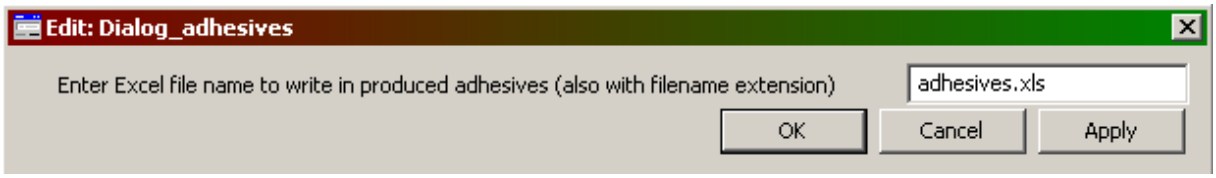


Obrázek č. 4.21: Běh modelu Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Volitelný název souboru pro zápis do načítání z Excelu

Tak, jako je možné využívat volitelné názvy textových souborů, i u zápisu do Excelu nebo načítání z něj můžeme vložit název souboru, jaký chceme. Princip je stejný jako v případě textových souborů.

Dialogové okno se změní, aby bylo jasné, že jde o zápis do Excelového souboru – viz obrázek č. 4.22.



Obrázek č. 4.22:Dialogové okno Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Volitelný název souboru pro zápis a načítání jak z Excelu tak z textového souboru

Jako zajímavá možnost se také jeví načítání nebo zápis souborů jak z Excelu, tak z textového souboru v jednom modelu – dle toho, co si uživatel zvolí. Bylo zjištěno, že pokud je model nastaven na zápis do Excelu a uživatel zadá příponu textového souboru, provede se zápis do textového souboru. K jediným změnám tedy došlo o dialogových oken v podobě rozšíření pro zadání přípony z důvodu odlišení typu souboru.

Shrnutí kapitol o výměně dat pomocí externích souborů

Výměna dat mezi různými modely pomocí externích souborů je výhodná zejména v případě, kdy se jedná o externí zákazníky procesů. Tedy například různé výrobce v rámci dodavatelského řetězce.

Byly zvoleny dva způsoby výměny dat:

1) MS Office Excel,
2) textové soubory.

Excel poskytuje především vysokou úroveň přehlednosti a snadnosti pochopení, formát je velmi rozšířen. Jeho nevýhodou je vyšší náročnost zejména s ohledem na dobu potřebnou k zápisu a načítání. Naproti tomu textové soubory vynikají vysokou rychlostí zpracování, avšak formát není tak často používán a také jeho přehlednost je na nižší úrovni.

Pomocí různých technik, zejména s využitím metod a dialogů byla tvorba modelů zaměřena na zjednodušení orientace uživatele v simulačním programu, na snadnost definice parametrů simulace, které chce uživatel použít. Byly také definovány metody, které snižují náročnost na dobu běhu simulace omezením zápisu do externích souborů až na chvíli dokončení simulace, nikoliv periodicky.

4.1.4 Vzájemná výměna dat mezi software Plant Simulation a WITNESS

Jelikož se výzkum v rámci tohoto projektu odehrával ve dvou simulačních software, jsou tyto dva zvoleny pro demonstraci jejich vzájemné možnosti výměny dat. V následujících kapitolách tedy budou popsány možnosti výměny dat mezi modely vytvořenými v software WITNESS a v Plant Simulation.

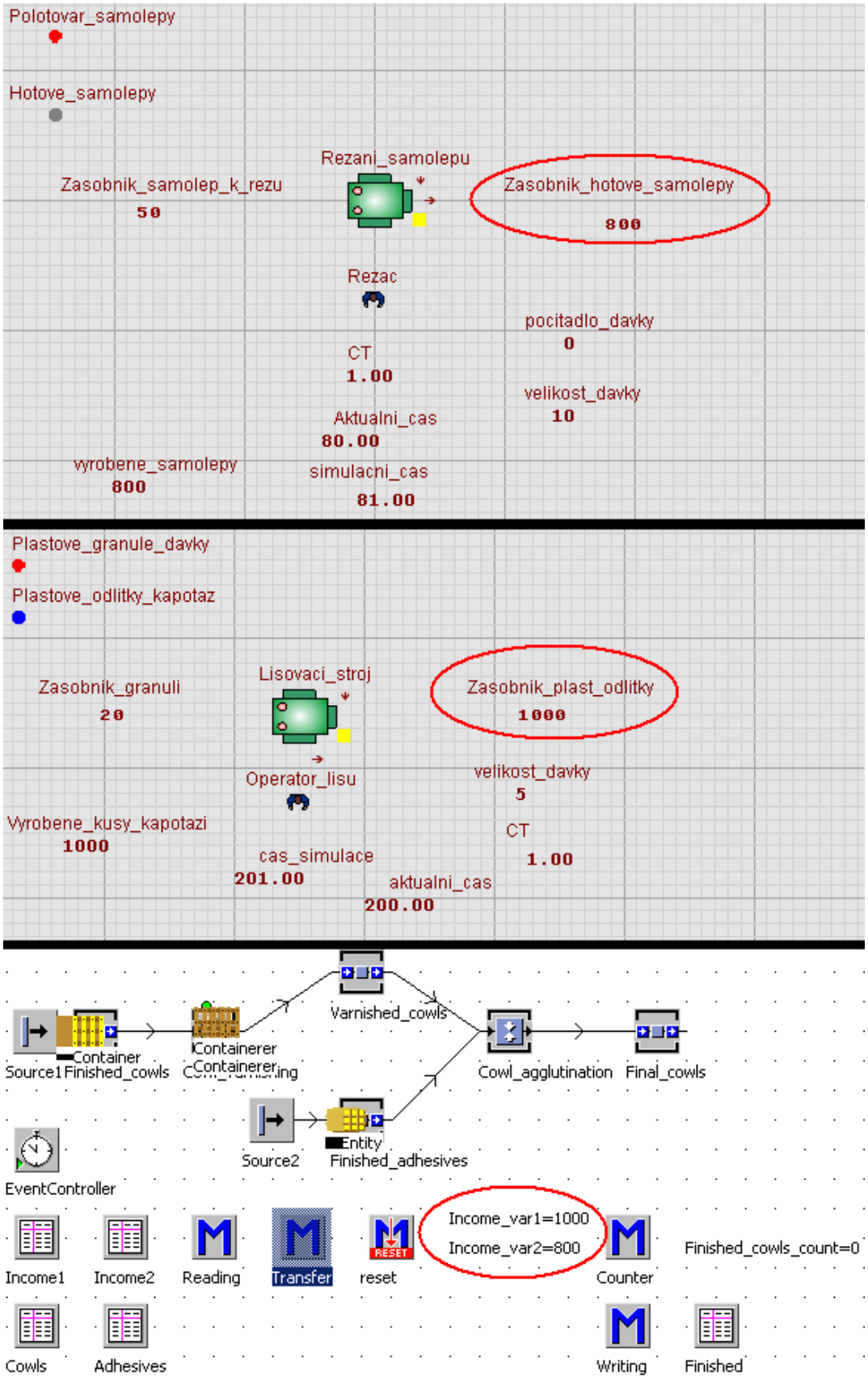
Propojování pomocí Excelu

V této kapitole bude znázorněna výměna dat pomocí prostředníka v podobě software Excel. Bude použit opět stejný výrobní systém popisovaný v předchozích kapitolách. Budou také využity už hotové modely použité v této práci, které budou dále upravovány pro zajištění správné funkce. Jako reprezentant je vybrán zápis na základě simulačního času.

U zápisů na základě velikosti požadavku zákazníka je princip stejný.

Pro správnou komunikaci jednotlivých modelů je klíčové sladit používané názvy Excelových souborů a také konkrétní buňky, kam programy zapisují data.

Výsledkem je korektní předávání dat, viz screenshot z běhů simulace (obrázek č. 4.23). Klíčové hodnoty jsou zvýrazněny v červených elipsách. Jedná se o počty vyrobených kusů samolepů a kapot ve Witnessu a jejich následný funkční transfer do Plant Simulation.



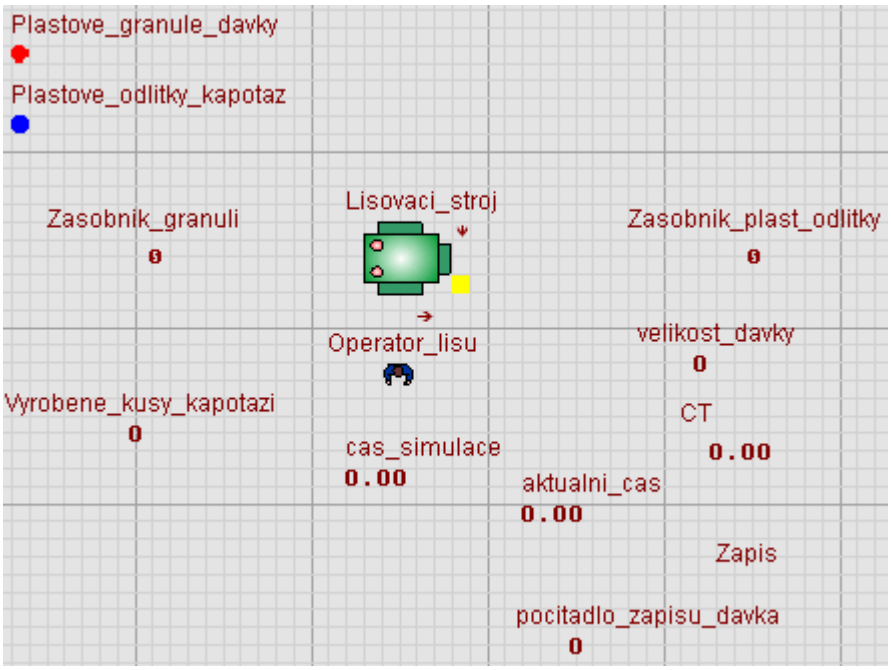
Obrázek č. 4.23: Běh simulace Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikacích WITNESS a Plant Simulation]

Propojování pomocí textových souborů

Propojování pomocí textových souborů bylo již úspěšně aplikováno v Plant Simulation a bude tedy využito i v propojování Plant Simulation a Witness mezi sebou.

Ve WITNESSU použijeme již hotové modely z předchozích kapitol, určené pro zápis do Excelu, je však třeba je výrazněji upravit, aby sloužily pro zápis do textových souborů.

Nový layout modelu ilustruje obrázek č. 4.24.

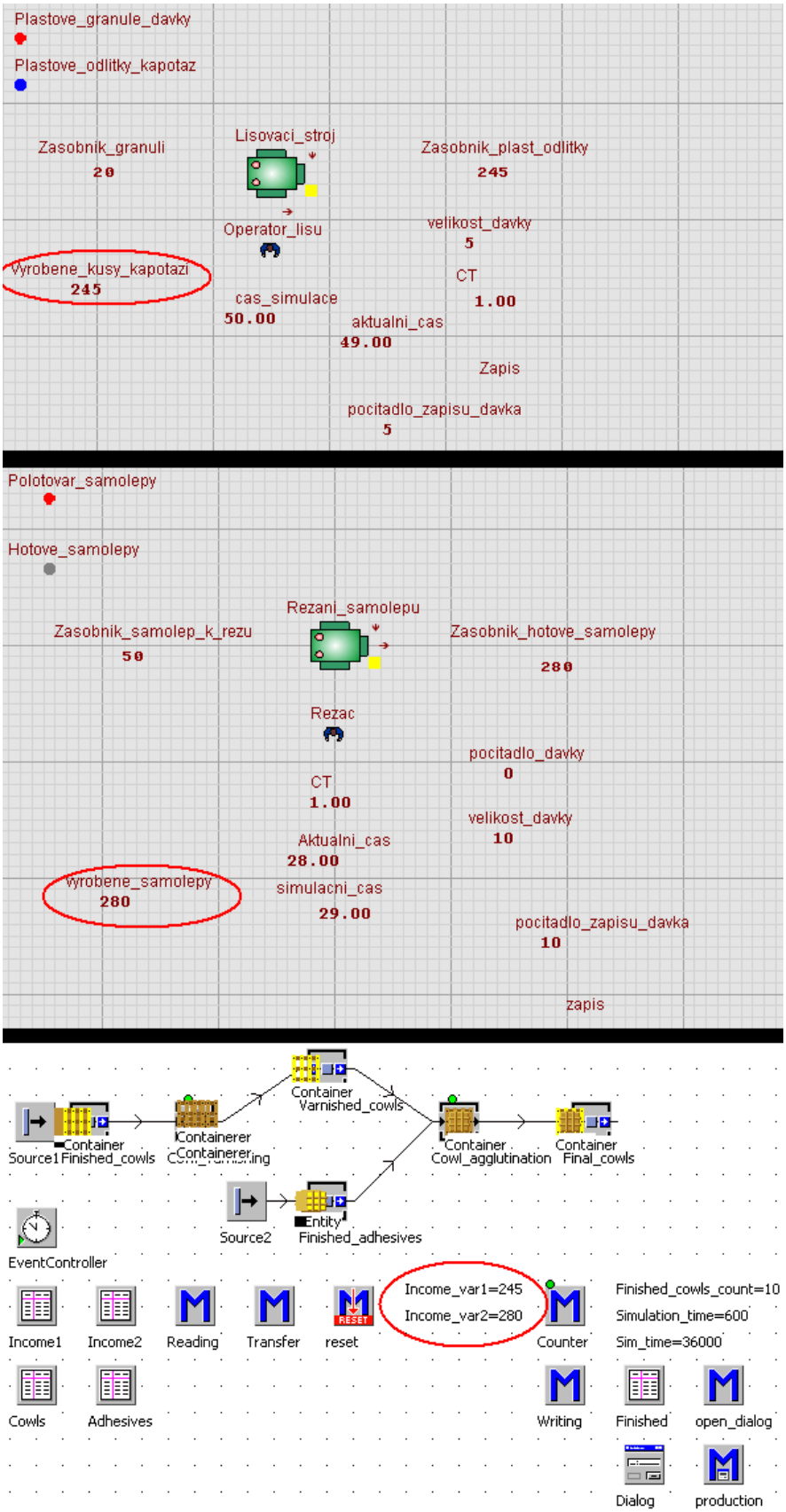


Obrázek č. 4.24 Nový layout: Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

Přibyly nové elementy. Jde o proměnnou "pocitadlo_zapisu_davka" a o "zapis". Tyto dodatečné elementy je třeba nakonfigurovat a poté následně použít ve stroji.

Velice důležité je, ve chvíli, kdy je zcela dosimulováno a máme vyrobeny všechny výrobky, zmáčknout ve Witnessu tlačítko "begin". Totiž až v této chvíli dojde k transferu hodnot z Witnessu do textového souboru.

Kompletační model v Plant Simulation je už dříve představený v předchozích kapitolách, jeho nastavení je takové, že vytvořené textové soubory ve Witnessu si plynule načte při startu simulace. Screenshot z běhu modelu ilustruje obrázek č. 4.25, elipsy znázorňují důležité hodnoty.



Obrázek č. 4.25: Běh simulace *Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikacích WITNESS a Plant Simulation]*

Shrnutí propojení pomocí Excelu a textových souborů

Excel je výhodný ve snadné orientaci v něm a uživatelské znalosti, naopak textové soubory jsou v práci s nimi méně intuitivní a chybí formátování zajišťující lepší přehlednost. Naopak jejich výhodou před Excelem je jejich menší hardwarová náročnost při zápisu a tím vyšší rychlost a také menší velikost souboru.

Propojování pomocí Excelu s výběrem názvu souboru

Pro ještě lepší variabilitu jsem v Plant Simulation nastavil zadávání názvů Excelových souborů manuálně dle preference uživatele. Toto je možné i ve chvíli, kdy propojujeme Plant Simulation s Witnessem. Modely s variabilním jménem Excelového souboru v Plant Simulation byly popsány dříve v této práci, nyní se tedy zaměříme na soubory ve Witnessu. Zde je název souboru plněn pomocí interactboxu a pomocí proměnné dále používán v modelu.

Shrnutí propojování modelů vytvořených v různém software pomocí externích souborů

Na příkladu komunikace mezi Witnessem a Plant Simulation se ukázalo, že pomocí externích souborů lze efektivně zajistit výměnu dat mezi modely a to automaticky. Zde jako příklad byl zvolen Excel jako rozšířený software s vysokou uživatelskou znalostí a snadností obsluhy. Jako další prvek byly zvoleny textové soubory. Tyto byly vybrány pro svoji nenáročnost a zároveň ještě stále dobrý komfort obsluhy. Není nutné volit pouze textové dokumenty, simulační programy umí operovat i se soubory typu "*.dat" anebo i bez přípony. Ty však poskytují nižší komfort obsluhy, na stranu druhou se tímto může zamezit jejich otevření a neodborné manipulaci laikem s daty. Výměna dat mezi různým software se nemusí omezovat jen na tyto dva programy. Všechny simulační software, které umožňují komunikaci s Excelem anebo jinou formu externích souborů, mohou mezi sebou měnit data v případě, že se podaří objevit kompatibilní způsob jak toto do software naprogramovat.

4.1.5 Dílčí závěr kapitoly výzkumu GAČR

V této kapitole jsem představil techniky a možnosti propojení jednotlivých modelů a to jak z pohledu interních tak především externích zákazníků procesů. Poukazuji na mnohá řešení, která zrychlují a zpřesňují výsledky simulací. V závislosti na nastavení systému se úspory **zpracování dat v rámci simulace** pohybují i kolem 99% simulačního času. Zároveň je patrná snaha zjednodušit obsluhu hotových modelů a tím jejich přiblížení větší uživatelské skupině. Ta je korunována navržením řešení, jak propojit modely různých simulačních software, což významně zvyšuje uplatnění simulací při výměně dat při simulaci celého řetězce dodavatelů. Tito nejsou omezeni využitím pouze jediného software. Autorem disertační práce představená řešení jsou obecně popsána, podrobnější řešení, včetně klíčových kódů programu a podrobného popisu všech nastavení, které jsem jako autor navrhl, je možné nalézt v příloze A disertační práce – DVD nosič.

4.2 Výsledky dotazníkového průzkumu

Jedním z pilířů disertační práce je provedení dotazníkového výzkumu. Cílovou skupinou tohoto dotazníkového průzkumu jsou v duchu zaměření cílů disertační práce české výrobní podniky. Dotazníkové šetření probíhalo během září až listopadu roku 2011.

Byly zvoleny dva typy výzkumu:

1) kvantitativní,
2) kvalitativní.

Počet oslovených firem celkem není možné vzhledem k značné varietě zvolených komunikačních kanálů určit, mohu ho pouze odhadnout na cca 200.

Bylo využito např. univerzitních kontaktů na spolupracující podniky, kontaktů autora disertační práce a také kontaktů některých respondentů. Použit byl i registr firem Creditinfo Albertina. Osoby vyplňující dotazníky byly z řad průmyslových inženýrů, výrobních ředitelů, případně ředitelů firem. Vždy bylo požadováno, aby dotazník vyplňovala osoba, která má o firmě přehled a zná odpovědi na otázky. O spolupráci byli respondenti požádáni nejčastěji prostřednictvím emailu, ale také telefonicky a osobním kontaktem.

Počet navrácených vyplněných dotazníků činil 101 ks u výzkumu kvantitativního a 14 ks u výzkumu kvalitativního.

Dotazník byl koncipován v prostředí dokumentů prohlížeče google (https://docs.google.com). Tato forma byla zvolena, jelikož dotazník nacházející se ve webovém prostředí značně respondentům usnadňuje vyplnění dotazníku. Stačí kliknout na adresu, kterou obdrželi emailem a mohou ihned vyplňovat. Výsledky jsou zpracovány bez nutnosti další emailové komunikace. Další výhodou je samotná variabilita nastavení dotazníku, kdy je možné vybrat různé typy otázek (otevřené, uzavřené, výběrové) a také, aby se dotazník dále v závislosti na zvolených odpovědích větvil.

Otázky použité v obou variantách dotazníku jsou v příloze B - DVD nosič.

Samotný dotazníkový průzkum sloužil jako podpora k naplnění cílů č. 2, 3, 4.

Výzkum využití počítačových simulací v českých podnicích realizovaný Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně

Stránka 1 ze 2
*Povinné pole

Jméno Vaší firmy - nebude součástí výsledků dotazníku a slouží pouze pro kontrolu validity obdržených výsledků

Jaký je předmět činnosti Vaší firmy? *

Kolik zaměstnanců má Vaše firma? *

Jaký je zhruba roční obrat Vaší společnosti?

Používáte ve vaší firmě počítačové simulace (Např. WITNESS, Plant Simulation, atp., Excel se nepočítá) pro optimalizace svých procesů? *

ANO
NE

Pokračovat »

Používá technologii Dokumenty Google

Ohlásit zneužití - Smluvní podmínky služby - Další smluvní podmínky

Obrázek č. 4.26: Část dotazníku v prostředí dokumetů google
Zdroj: [Vlastní zpracování v prostředí Google.]

4.2.1 Kvantitativní výzkum

Pro výzkum kvantitativní byl zvolen dotazník o dvou stranách. První zaznamenávala informace o dané společnosti a po poslední klíčové otázce zda firmy simulace využívají, či ne, se následně dotazník větvil na otázky pro firmy simulace využívající a nevyužívající. Nejprve je využití simulací vyhodnoceno globálně pro všechny firmy a poté jsou respondenti rozděleni do skupin podle velikosti podniků.

Obrázek č. 4.27: Využití simulací ve výrobních podnicích bez rozdílu velikosti Zdroj: [vlastní zpracování]

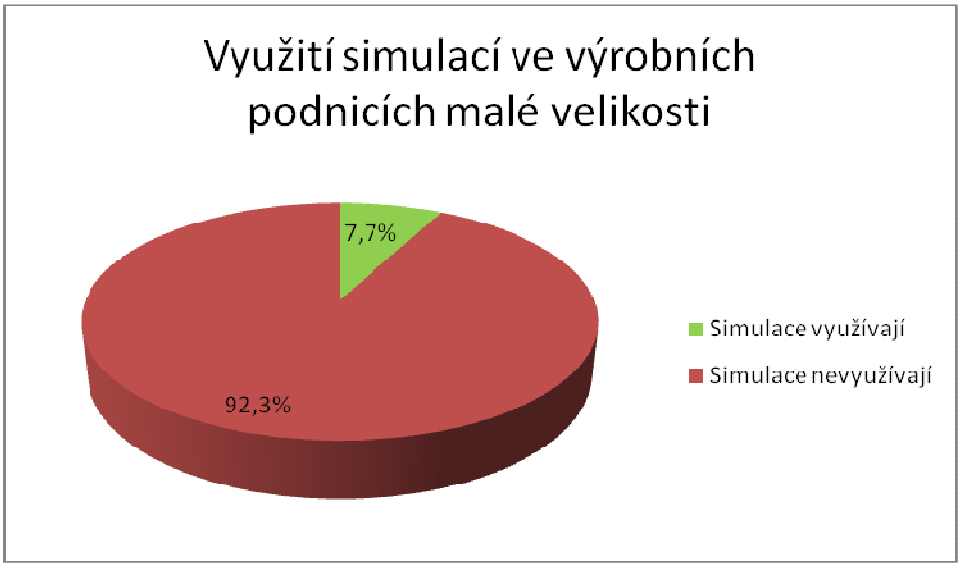
Z grafu je zřejmé, že české výrobní podniky simulace využívají. Nicméně využití simulací je poměrně malé. Na důvody využití u pouhých 4% podniků se pokusím odpovědět vyhodnocením dalších otázek. Jelikož simulační software jsou poměrně drahé, typická licence WITNESS stojí cca 700 tis. Kč dle typu licence (Zdroj Dynamic Future, s.r.o., listopad 2011) a obvyklá licence Plant Simulation cca 43 tis. Euro (Zdroj Siemens Industry software, listopad 2011), je zajímavé výsledky vyhodnotit na základě velikosti firem. Je pravděpodobné, že v mnoha případech si větší firmy mohou snáze dovolit takovéto investice.

Vyhodnocení na základě velikosti firem

Soubor respondentů je rozdělen do tří skupin a následně je dotazník vyhodnocován pro každou skupinu zvlášť.

1) Malé firmy v rozsahu 0-49 zaměstnanců,
2) střední firmy v rozsahu 50-249 zaměstnanců,
3) velké firmy v rozsahu 250 a více zaměstnanců.

1) Malé firmy v rozsahu 0-49 zaměstnanců



Obrázek č. 4.28: Využití simulací ve výrobních podnicích malé velikosti Zdroj: [vlastní zpracování]

Z grafu je vidět relativně vysoké procento využití simulací v malých firmách. Toto číslo je poměrně překvapivé. Je však důležité podívat se hlouběji na jeho podstatu. Ve skutečnosti jde o jediného respondenta, který odpověděl souhlasně. Dotazník byl totiž primárně cílen na větší podniky a tak soubor malých podniků tvoří pouhých 13 respondentů.

Více mohou napovědět výsledky odpovědí na otázku, zda se podniky o nasazení simulací do výroby zajímají.

Obrázek č. 4.29: Zájem malých podniků o nasazení simulací Zdroj: [vlastní zpracování]

Celá třetina malých podniků se zajímá o možnost nasazení simulací do výrobního procesu. To je poměrně značný potenciál pro uplatnění simulačních metod.

2) Střední firmy v rozsahu 50-249 zaměstnanců

Obrázek č. 4.30: Využití simulací ve výrobních podnicích střední velikosti Zdroj: [vlastní zpracování]

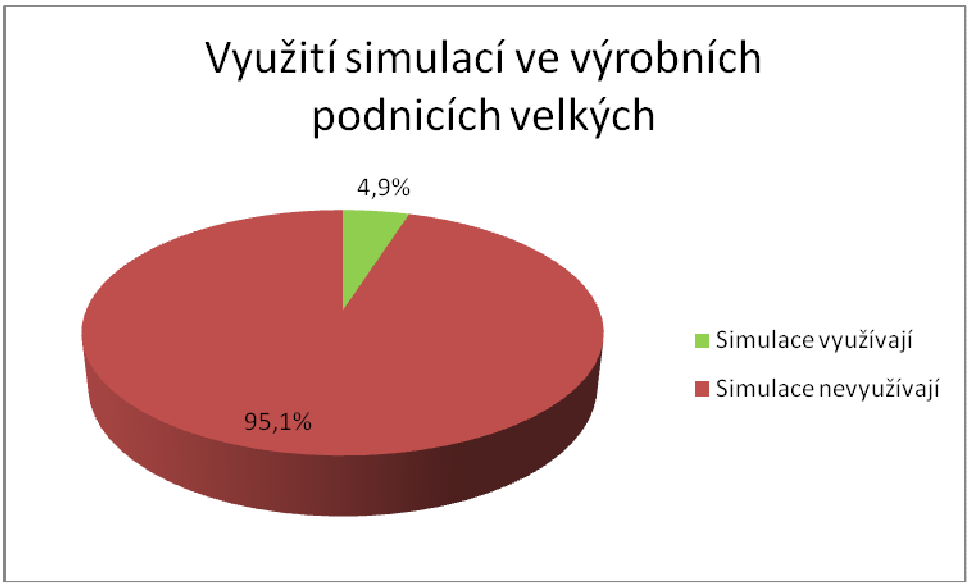
Zde je situace zcela jasná, 27 respondentů, žádný simulace ve svém podniku nevyužívá.

A jaký mají zájem tyto podniky o využití simulací v jejich výrobě?

Obrázek č. 4.31: Zájem středních podniků o nasazení simulací Zdroj: [vlastní zpracování]

Výsledky jsou poměrně zajímavé. Potenciál 11% je poměrně slušný v komparaci nulového využití simulací. Avšak zájem středních firem o simulace je menší, než malých. Může to být například způsobeno nižší dynamičností středních firem díky složitější organizační struktuře, avšak přitom ještě nejsou velké dost na to, aby se o simulace skutečně zajímaly.

3) Velké firmy v rozsahu 250 a více zaměstnanců



Obrázek č. 4.32: Využití simulací ve výrobních podnicích velkých Zdroj: [vlastní zpracování]

Kategorie, která je pro disertační práci nejvýznamnější. Zapojilo se 61 respondentů. Téměř 5% odpovědělo, že simulace jsou v jejich firmě využity.

Ještě důležitější je odpověď na otázku, zda se tyto firmy o nasazení simulací zajímají.

Obrázek č. 4.33: Zájem velkých podniků o nasazení simulací Zdroj: [vlastní zpracování]

Celých 43% velkých podniků se zajímá o možnost nasazení simulací. To je velký potenciál. Firmy zřejmě cítí, že pro složité a komplexní výrobní procesy v tak velké firmě potřebují výkonný nástroj pro jejich optimalizaci a plánování.

Statistická analýza dotazníkového šetření

Pro statistickou analýzu dat z dotazníkového šetření využijeme Fisherův exaktní test.

Fisherův test je parametrickým testem statistické významnosti, speciálně navržený pro zpracování malých výběrových souborů dat. Předpokladem jeho použití jsou dvě nominální (někdy také nazývané kategoriální) proměnné, z nichž je možné sestavit kontingenční tabulku. Kategoriální proměnná je takový typ proměnné, který klasifikuje každou statistickou jednotku souboru do jedné a právě jedné z konečného počtu vzájemně disjunktních kategorií, obvykle slovních (pohlaví: muž/žena, vzdělání: základní/střední/vysokoškolské). Přestože je možné Fisherův exaktní test teoreticky provádět až na kontingenčních tabulkách řádu $m \times n$, z důvodu rychle rostoucích výpočetních nároků jako důsledku využití faktoriálů je prakticky používán obvykle pouze pro kontingenční tabulky řádu 2×2.

Pro malé rozsahy pozorování v některé z kategorií je Fisherův exaktní test doporučován spíše než Pearsonův χ^2 test z důvodu nedodržení základního požadavku, který je pro korektní statistickou interpretaci u výběrového souboru

předpokládán: očekávané hodnoty v jednotlivých buňkách kontingenční tabulky. V případě, že hodnota v buňce nepřekročí hodnotu 5 (někdy je uváděna jako směrodatná hodnota 10), nelze Pearsonův χ^2 test využít. Lze zde sice využít Yatesovu korekci, to však do výpočtu dodává další, nepříliš často využívanou výpočetní vrstvu, jež navíc má tendenci z důvodu přílišné konzervativnosti při nepotvrzení nulové hypotézy zkreslovat výsledek.

Fisherův exaktní test navíc náleží do kategorie exaktních testů, jejichž výsledkem je p hodnota (p-value), vyjadřující významnost odchylky od premisy nulové hypotézy, jež je následně srovnána s předem stanovenou hladinou významnosti α, na jejímž základě je možné vyslovit závěr o srovnávané dvojici proměnných přímo, a není tak nutné spoléhat na aproximaci příslušným rozdělením pravděpodobnosti, prokazatelně přesným pouze s limitním růstem počtu vzorků souboru k nekonečnu, jak je tomu u Pearsonova χ^2 testu. Předpokladem použití Fisherova exaktního testu je, že řádkové ani sloupcové součty se nemění (zůstávají konstantní) [10].

Nejprve je nutné formulovat nulovou a alternativní hypotézu H_0 a H_1 spolu se stanovením hladiny významnosti α, na níž bude test proveden. Dobrým kompromisem mezi přesností a vypovídací hodnotou je $\alpha = 0{,}05$, tedy 5% pravděpodobnost chyby 1. druhu. Chyba 1. druhu nastává v případě, kdy testem nepotvrdíme H_0, přestože ve skutečnosti tato hypotéza neměla být zamítnuta. Chyba 2. druhu (β) pak nastává v případě, kdy testem nezamítneme H_0, přestože ve skutečnosti tato hypotéza neměla být vyvrácena. Se snižováním chyby 1. druhu se zvyšuje pravděpodobnost chyby 2. druhu, přičemž v testu máme zájem obě tyto chyby snížit na minimum. Hodnota $\alpha = 0{,}05$ je obecně přijímaným konsenzem.

H_0: nelze prokázat statisticky významný rozdíl mezi daty (odpověďmi) o využívání simulací ve výběrovém souboru malých a velkých společností (alternativně: rozložení četnosti jedné proměnné není závislé na rozložení četností druhé proměnné),

H_1: lze prokázat statisticky významný rozdíl mezi daty (odpověďmi) o využívání simulací ve výběrovém souboru malých a velkých společností (alternativně: rozložení četnosti jedné proměnné je závislé na rozložení četností druhé proměnné).

Pro výpočet p je nejprve nutné uvést obecný tvar vztahu, pomocí kterého budeme tuto pravděpodobnost výskytu hodnoty alespoň tak extrémní, jako je hodnota napozorovaná (za předpokladu, že platí H_0).

Tabulka č. 4.10: Obecný tvar kontingenční tabulky

	Kategoriální proměnná x	Kategoriální proměnná y	Celkem
Obměna znaku 1	četnost a	četnost b	$a+b$
Obměna znaku 2	četnost c	četnost d	$c+d$
Celkem	$a+c$	$b+d$	$a+b+c+d=n$

Zdroj: [vlastní zpracování podle 10]

Potom p hodnota:

$$p=\frac{\binom{a+b}{a}\binom{c+d}{c}}{\binom{n}{a+c}}=\frac{(a+b)!(c+d)!(a+c)!(b+d)!}{a!b!c!d!n!}$$

Vzorec 4.1

Je zřejmé, že zejména z důvodu obsažení $n!$ ve vztahu budou s rostoucím počtem pozorování nároky na výpočetní přesnost podstatně růst.

Pro reálná data z realizovaného výzkumu lze sestrojit následující kombinační tabulka, střední podniky nejsou zakomponovány, jelikož všechny odpovědi byly záporné.

Tabulka č. 4.11: Kontingenční tabulka kombinace odpovědí

	Malé společnosti	Velké společnosti	Celkem
Využívají simulace	1	3	4
Nevyužívají simulace	12	58	70
Celkem	13	61	74

Zdroj: [vlastní zpracování]

Fisherův text pro výpočet p hodnoty využívá hypergeometrického rozdělení, pomocí něhož přímo zjišťujeme pravděpodobnost získání totožných dat a všech shluků dat s většími odchylkami za předpokladu pravdivosti nulové hypotézy, že rozložení četností obou proměnných je nezávislé. Bude vypočítán dvoustranný test, který předpokládá výskyty totožných dat a všech shluků dat s většími odchylkami, a to v obou směrech.

$$p_0 = \frac{\binom{4}{1}\binom{70}{12}}{\binom{74}{13}} = \frac{4!70!13!61!}{1!3!12!58!74!} = 0{,}406622134$$

Vzorec 4.2

Pravděpodobnost p_0 tedy plní funkci horní meze a zároveň reprezentuje pravděpodobnost získání totožných dat, jako která jsme získali z výzkumu, za předpokladu platnosti nulové hypotézy. V následujícím kroku je nezbytné enumerovat všechny rozložení četností z výše naznačené kombinační tabulky tak, aby sumy četností v řádcích a sloupcích zůstaly totožné, a vyřadit pravděpodobnosti vyšší než p_0. Pro úsporu místa budou tyto kombinace naznačeny maticově:

$$\begin{bmatrix} 0 & 4 \\ 13 & 57 \end{bmatrix} \qquad p_1 = \frac{\binom{4}{0}\binom{70}{13}}{\binom{74}{13}} = \frac{4!70!13!61!}{0!4!13!57!74!} = 0{,}453540072 > p_0$$

Vzorec 4.3

Pravděpodobnost $p_1 > p_0$, proto bude z dalších úvah eliminována. Jestliže bychom skončili výpočet v tomto kroku, získali bychom jednostranný Fisherův exaktní test, neboť bychom uvažovali všechna rozložení četností v kombinační tabulce extremizované pouze jednostranně. U dvoustranného testu podobným způsobem zjistíme všechny kombinace na další pozici (b), opět za předpokladu konstantních řádkových a sloupcových součtů $(a+b, c+d, a+c, b+d)$.

$$\begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 11 & 59 \end{bmatrix} \qquad p_2 = \frac{\binom{4}{2}\binom{70}{11}}{\binom{74}{13}} = \frac{4!70!13!61!}{2!2!11!59!74!} = 0{,}124054210 < p_0$$

Vzorec 4.4

Pravděpodobnost $p_2 < p_0$, bude proto zahrnuta do dalších výpočtů.

$$\begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 10 & 60 \end{bmatrix} \qquad p_3 = \frac{\binom{4}{3}\binom{70}{10}}{\binom{74}{13}} = \frac{4!70!13!61!}{3!1!10!60!74!} = 0{,}015162181 < p_0$$

Vzorec 4.5

Pravděpodobnost $p_4 < p_0$, bude proto zahrnuta do dalších výpočtů.

$$\begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 9 & 61 \end{bmatrix} \qquad p_4 = \frac{\binom{4}{4}\binom{70}{9}}{\binom{74}{13}} = \frac{4!70!13!61!}{4!0!9!61!74!} = 0{,}000621400 < p_0$$

Vzorec 4.6

Pravděpodobnost $p_4 < p_0$, bude proto zahrnuta do dalších výpočtů.

Součet všech takto získaných hodnot musí být roven 1 pro respektování celkového pravděpodobnostního prostoru. Pro obecný počet n kombinací lze proto psát:

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1.$$

Vzorec 4.7

Po vyčíslení pravděpodobností všech dalších kombinací shluků dat získáme sumací všech pravděpodobností $\geq p_0$ výsledek dvoustranného Fisherova exaktního testu: $p = 0{,}546459927$

Jelikož platí $p > \alpha$, nevyvracíme nulovou hypotézu (nepotvrzujeme alternativní hypotézu H_1), stanovenou na začátku tohoto testu.

Na základě dat získaných z průzkumu mezi malými a velkými firmami se podařilo prokázat závislost mezi četnostmi odpovědí malých a středních firem o využívání simulací. Tento závěr můžeme s pravděpodobností 95 % zobecnit na veškeré malé a velké firmy v základním souboru, přičemž maximální možná chyba je v tomto případě rovna hladině významnosti, 5 %.

Závěrem Fisherova exaktního testu tedy je statistickými postupy podložený a s přesně stanovenou, kvantifikovatelnou chybou zobecnitelný výsledek. Testem bylo zjištěno, že mezi daty získanými z malých a daty získanými z velkých firem existuje významná závislost, tedy že využívání simulací nezávisí na velikosti společnosti, neboť v obou typech byly nalezeny shodné vzory

odpovědí. Přestože mezi daty bylo možné již před provedením testu pozorovat jasnou shodu, k testu jsme přistoupili objektivně a vytvořili jeho dvoustrannou variantu, nepředpokládající mezi dvojicí proměnných apriorně jakoukoliv závislost. Tak byla eliminována chyba způsobená subjektivním zkreslením.

Hladina významnosti má tu vlastnost, že se nevztahuje pouze na výběrový soubor firem participujících ve výzkumu, s nímž jsme pracovali, ale také na celý základní soubor, teoreticky všech malých a velkých společností na globální úrovni. Tento postup, nazývaný statistickou indukcí, z menšího počtu pozorování usuzuje na vlastnosti celého souboru, a to s přesně stanovenou chybou, stanovenou před začátkem testu $(\alpha = 0{,}05)$.

Kdybychom chtěli chybu 1. druhu ještě snížit (např. na $1\,\%$), museli bychom výslednou pravděpodobnost komparovat s $\alpha = 0{,}01$, což by teoreticky mohlo vyústit v situaci, kdy bychom byli nuceni nepotvrdit nulovou hypotézu, přestože na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$ bychom tutéž hypotézu nezamítli. V našem testu si tak můžeme dovolit i snížení chyby 1. druhu na $1\,\%$, což odpovídá přesnosti $99\,\%$ $(1 = 1 - \alpha \to 1 - 0{,}01 = 0{,}99)$, přičemž hodnota 1 reprezentuje celkový pravděpodobnostní prostor.

S chybou $1\,\%$ jsme tedy o základním souboru malých a velkých firem schopni postupem inference tvrdit, že podíl společností využívajících simulace se statisticky významným způsobem neliší a je identický s výsledkem, jejž jsme získali z dat výběrového souboru. V tomto vzorku firem pak chyba $1\,\%$ může znamenat, že nanejvýš 0,74 firmy: $(61 + 13) \times 0{,}01$ zaokrouhleno na 1, jsme identifikovali špatně a tedy že buď jedna malá, nebo velká společnost vykazuje jinou charakteristiku, než která byla testem postulována. Při zobecnění na základní soubor $500\,000$ firem (uvedeno jako příklad) stejná velikost chyby povede k nesprávné klasifikaci $(500\,000) \times 0{,}01 = 5\,000$ firem. Tendence minimalizovat chybu 1. druhu je proto z této modelové situace evidentní.

Konzultační společnosti

V rámci kvantitativního výzkumu bylo také osloveno několik významných konzultačních společností z oblasti průmyslového inženýrství působících v ČR nebo i SR. Konzultační společnosti pro výrobní podniky tvoří poněkud specifické odvětví. Jsou často nositeli pokrokových metod a pomocí pilotních projektů mohou firmám demonstrovat možnosti využití simulací i poskytnout potřebné odborníky pro zpracování.

Výsledky dotazování konzultačních společností potvrzují, že simulační software je pro ně vhodnou součástí jejich portfolia, které poskytují svým klientům. Využívají simulačních programů k optimalizaci výrobních procesů, navrhování layoutů, zásobování. Zároveň společnosti, které simulace využívají, jsou i vlastníky licencí. Přínosy simulací hodnotí tyto společnosti pozitivně.

Jako hlavní výhody vidí možnosti řešit simulací složité problémy a také velkou přehlednost obdržených výsledků s jasnou strukturou nákladů a přínosů, což je důležité pro management podniků.

4.2.2 Kvalitativní výzkum

Při kvalitativním výzkumu bylo využito spolupráce z firmami Humusoft, s.r.o. jako českým zastoupením pro software WITNESS a Siemens Industry Software, s.r.o. které je zastoupením pro software Plant Simulation.

Jelikož kvalitativní část byla cílena na uživatele simulačních programů, byli pomocí těchto firem osloveni partneři tyto programy používající. Bylo také využito údajů od společností, u kterých bylo v rámci kvantitativního výzkumu zjištěno využití simulačního software. Podařilo se shromáždit údaje od 14 institucí.

Společnostem byl předložen dotazník, jehož vzor se nalézá v příloze B-DVD nosič. Dále jsou výsledky výzkumu rozděleny dle jednotlivých otázek a na základě analýzy všech odpovědí jsou níže syntetizovány výsledky.

1) **K jakému účelu jsou ve Vaší firmě simulace využity?**

Primární využití nacházejí simulační programy v oblasti výroby a to zejména při plánování výrobních linek. Jedná se o uspořádání linek, jejich kapacitní plánování, optimalizace toků materiálu, rozvržení pracovníků, případně zásobování linek materiálem.

2) **Vlastníte licenci nebo využíváte cizí licence (např. poradenská firma)?**

Drtivá většina respondentů vlastní licenci software, pouze jeden respondent uvedl, že vlastní run-only variantu software a plnou verzi vlastní poradenská firma, s níž spolupracují.

3) **Máte vlastní experty pro zpracování simulačních modelů?**

Pouze 3 respondenti ze 14 nemají vlastní experty pro zpracování modelů, je tedy zřejmé, že organizace jsou v tomto ohledu poměrně soběstačné.

4) **Jak hodnotíte přínosy simulací?**

Důležitá otázka, která ukazuje, nakolik je simulace pro firmu přínosná, když se pro její zavedení rozhodne. **Všichni** respondenti přitom uvedli, že simulace pro jejich firmu jsou přínosné. Z výhod byly zmiňovány například možnosti lepší prezentace managementu, zejména však šlo o snazší návrh systémů v podmínkách nejistoty, kdy je pomocí simulace možné udělat predikci budoucího chování systému, dostupnost statistik, které není možné jinak zjistit. Společnosti využívají simulace nejen pro optimalizace stávajících systémů, ale

také pro návrh nových. Někteří respondenti dokonce uvádí simulační nástroje jako nezbytný předpoklad úspěšného fungování jejich systému.

5) Jaké důvody Vás ve firmě vedly k využití simulací?

Hlavními důvody pro zavedení simulací byla zmiňována komplexnost výrobních systémů, kdy je obtížné běžnými metodami postihnout jejich chování a společnosti chtěly pokročilými metodami optimalizovat svou výrobu.

6) Jaké nedostatky má dle Vás simulační software, který používáte?

Byla vícekrát zmíněná cena licence a také náklady na údržbu, především však samotná komplikovanost software. Přičemž nejde jen o složitost programu a nutnost být pro složitější modely velmi pokročilý v jeho ovládání, ale také omezené možnosti samostudia díky nedostatku kvalitních materiálů.

7) Jaké silné stránky má simulační software, který používáte?

Uživatelé uvádějí zejména možnosti nasimulovat téměř jakýkoliv proces, rychlost a snadnost postavení jednodušších modelů, optimalizační nástroje.

8) Jaké překážky se u Vás vyskytly/stále vyskytují, které stojí v cestě zavádění simulací?

V podstatě všichni respondenti uváděli dva stejné důvody, resp. překážky. A to vysoká cena jak za licenci, tak za údržbu a ještě větším problémem je kvalifikace lidí pro obsluhu těchto programů, kdy není dostatek odborníků.

Charakteristika zásad nasazení simulací pro optimalizaci jednotlivých částí produkčního řetězce

Ke splnění tohoto cíle sloužilo mnoho osobních rozhovorů ve firmách, na jeho vyřešení se spolupodílely také firmy Humusoft a Siemens Industry software a především výsledky kvalitativní části dotazníkového šetření, proto je splnění tohoto cíle zařazeno do kapitoly dotazníkového šetření.

Pro nasazení simulací je tedy dle mého názoru vhodné dodržet následující zásady:

1) Stanovit cíl, který chceme simulací dosáhnout - je třeba vědět, co chceme simulací ověřit či optimalizovat, simulovat bez daného cíle může znamenat, že žádný cíl dosažen nebude.
2) Zjistit, zda složitost procesu odpovídá nasazení simulačních nástrojů - mnohdy i na první pohled jednoduché procesy mohou mít složitou dynamiku a nasazení simulací je vhodné.
3) Vymezit oblast, která bude modelována a simulována - je třeba stanovit ve výrobě přesně oblast, která bude modelována, následně simulována a optimalizována.

4) Mít dostatečně kvalitní a přesná vstupní data - výsledky simulace primárně závisí na dvou pilířích.
    - Prvním z nich je požadavek na vstupní data pro simulaci, kdy je třeba mít přesná data o klíčových (nikoliv všech) parametrech systému. Jen tak můžeme zároveň zajistit přesná výstupní data.
    - Druhým pilířem je potřeba kvalifikovaných odborníků pro zpracování modelu - pouze správně nastavený simulační model poskytne správné výsledky aplikovatelné do reality, proto je třeba adekvátní kvalifikace zpracovatele problému pro danou obtížnost situace.
5) Podpora managementu - simulační software je poměrně nákladný, stejně tak kvalifikovaný pracovník pro jeho obsluhu vyžaduje investice do jeho rozvoje. V tomto případě je plná podpora managementu nezbytná a to nejen pro zhotovení modelu, ale také pro jeho aplikaci do reality.

Negativa simulací

V rámci kvantitativního šetření bylo firmám položeno mnoho otázek týkajících se jejich důvodů, proč simulace nevyužívají. Jelikož v kvantitativní části šetření bylo zjištěno, že největší zájem o nasazení simulací vykazují firmy velké, následující část bude syntézou důvodů nevyužití simulací.

Půjde o následující otázky:

1) Jaké důvody vás vedou k tomu, že simulace nepoužíváte?
2) Mají simulační software nějaké nedostatky, které Vám brání v zavedení? Jaké?

1) V odpovědí na otázku, jaké důvody vedou firmy k tomu, že simulace nepoužívají, byly jako hlavní důvody vyhodnoceny:

- finanční náročnost,
- složitost prosazení v managementu,
- výrobní systém, kde simulace nenajdou uplatnění,
- nekvalifikovaní pracovníci.

Odrážky zároveň vyjadřují i četnost odpovědí. Přílišnou finanční náročnost zavedení tohoto software zmiňovala velká většina firem. Je tedy na místě otázka, zda snížení ceny simulačního software by nevedlo k celkovému nárůstu tržeb z důvodu větší dostupnosti pro jednotlivé firmy. Přičemž nižší cena by nejspíše ovlivnila i druhý nejčastěji zmiňovaný důvod - odpor managementu.

2) Mají simulační software nějaké nedostatky, které Vám brání v zavedení? Jaké?:

- nevědí,
- náročnost na zpracování modelů,
- obava z nemožnosti postihnout složité procesy.

Tyto odpovědi zcela jasně ukazují, že firmy ve skutečnosti neví, k čemu by jim mohly simulace pomoci. Odpověď, že neví, jaké mají nedostatky, byla vysoce frekventovaná, několik respondentů zmínilo náročné zpracování. Několik odpovědí také vyjadřovalo obavu z neschopnosti simulačních software postihnout složité výrobní procesy - přitom simulační programy mohou často pomoci právě při přílišné složitosti procesu. Je tedy potřebné firmám především ukázat možnosti simulačních programů - k tomuto může posloužit právě i tato disertační práce.

4.2.3 Dílčí závěr kapitoly dotazníkového šetření

Provedl jsem dotazníkové šetření v rámci českých výrobních podniků. Šetření bylo rozděleno na dvě fáze. Jednalo se o průzkum kvantitativní a kvalitativní.

V rámci kvantitativního šetření bylo cílem zjistit zejména rozšíření simulačních programů v podnicích. V této části byly zároveň zapojeny i prvky kvalitativního výzkumu, jelikož bylo očekáváno poměrně nízké rozšíření simulací, což se následně potvrdilo, v této fázi byly zodpovězeny zejména otázky týkající se důvodů nevyužívání simulací a právě tato výsledky uvádím v dané podkapitole.

V rámci kvalitativního šetření pak byly osloveny společnosti, jež simulace využívají. Tyto zejména odpovídaly na dotazy ohledně důvodů, které je k využití simulací vedly a na přínosy těchto programů pro jejich podnikání.

Při celkovém pohledu na výsledky obou částí šetření je možné odvodit jisté závěry. Simulace využívá poměrně málo firem. Důvody, které je k tomu vedou, jsou velmi často příliš vysoká cena software a zároveň nesouhlas managementu, což jsou spojené nádoby, kdy při nižší ceně se dá očekávat lepší přijetí vedením firmy. Pokud se zajímáme o nedostatky těchto programů pro samotné společnosti, obvykle se setkáme s odpovědí nevím. Je to pochopitelné, když ještě mnoho společností nemá konkrétní zkušenosti. Pokud se však zaměříme na firmy, které tyto programy již využívají, zcela jednoznačně dominují pozitivní zkušenosti s těmito software a pro firmy jsou přínosem. Přes spokojenost s programy i tyto firmy zmiňují jako hlavní negativum cenu licence a také složitost obsluhy.

Mohu tedy formulovat atributy, které na základě výsledků šetření mohou být nápomocny vyššímu rozšíření simulačních programů.

Jednoznačně je hlavní překážkou zmiňována vysoká cena. Je tedy pravděpodobné, že v případě snížení ceny licencí může být celkový generovaný zisk vyšší díky zvýšené poptávce.

Velmi důležitě se také jeví intenzivnější osvěta týkající se možností programů. Jednak je třeba klást důraz na dostupnost výukových materiálů pro uživatele, avšak je třeba především uživatelům ukazovat možnosti využití pro jejich firmy. Zde se nabízí využití předkládané disertační práce - v části dotazníkové ukazuje klíčové prvky potřebné k vyššímu rozšíření simulací a ve svém dalším obsahu jiných kapitol ukazuje právě možnosti, k čemu je možné simulace konkrétně využít.

4.3 Výsledky případových studií

Tato kapitola prezentuje výsledky případových studií ve výrobních podnicích. Důraz je kladen na popis přínosů počítačových simulací. Data potřebná pro tvorbu modelů jsem získal přímo v daných firmách vlastním pozorováním a měřením, případně z firemní dokumentace. Firmy si přály zůstat v anonymitě.

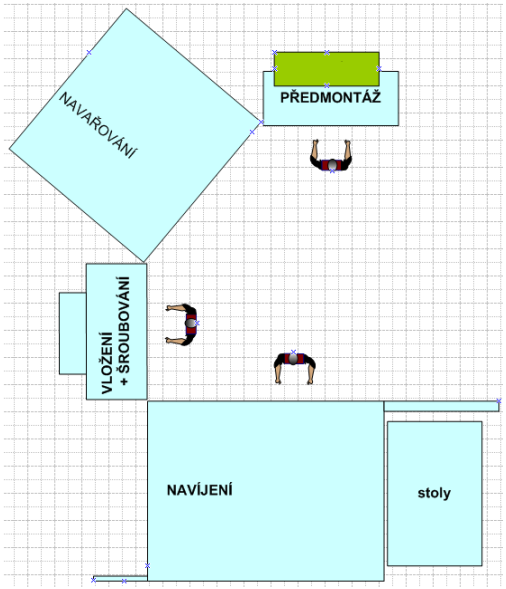
4.3.1 Případová studie č. 1 – Výrobce oken XY, s.r.o.

Úvod

Případová studie se zaměřuje na optimalizaci pracovní síly na pracovišti pro výrobu komponent do oken. Je představeno pracoviště, pomocí simulace navržena optimalizace výrobního postupu a využité pracovní síly.

Představení pracoviště

Firma XY je nadnárodní společnost zabývající se výrobou oken, rolet a žaluzií. Je zde mnoho pracovišť, přičemž bylo vybráno jedno pro analýzu a zpracování v počítačové simulaci. Firemním průmyslovým inženýrem byla zpracována dokumentace pracoviště, tedy layout v podobě obrázku, tok materiálu a cyklové časy. Situaci přibližují následující obrázky a tabulky.



Obrázek č. 4.34: Layout pracoviště Zdroj: [Vlastní zpracování]

Na obrázku vidíme rozvržení pracoviště. Produkt postupuje ze stolů nejprve na navíjení látky a drátu, poté je předán k vložení trubky a šroubování, následně k navařování kuliček a poslední operací je předmontáž těsnění. V současnosti jsou na pracovišti 3 operátoři, přičemž činnosti jsou poměrně snadné a operátoři se umí navzájem zastoupit. Cyklové časy jednotlivých operací přibližuje následující tabulka.

Tabulka č. 4.12: Cyklové časy

Navíjení		
položení látky na stůl	6 s	o
vložení ovládací lišty	5 s	o
Stroj	20 s	s
vyjmutí polotovaru s přípravku	2 s	o
Montáž profilu		
vložení polotovaru do přípravku	2 s	o
vložení horního profilu do přípravku	4 s	o
vložení trubky se zátkou do přípravku	7 s	o
vložení vsuvky do přípravku	4 s	o
Stroj	11 s	s
vyjmutí polotovaru s přípravku	2 s	o
Navařování		
vložení polotovaru do čelistí	3 s	o
Stroj	25 s	s
sebrání zpracovaného výrobku s č.	3 s	o
kontrola provedené práce	4 s	o
Předmontáž		
vložení polotovaru do přípravku	5 s	o
vložení těsnění do výrobku	7 s	o
nalepení etikety na profil	5 s	o
Stroj	17 s	s
odložení polotovaru	3 s	o
		o- operátor
		s - stroj

Zdroj: *[Vlastní zpracování]*

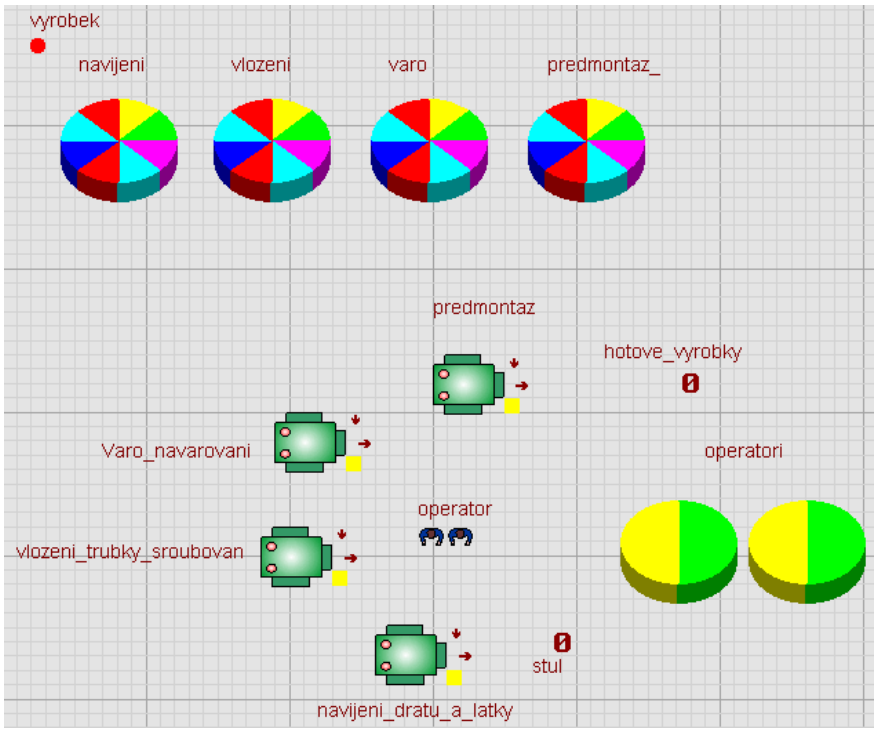
Činnosti jsou rozdělené. Nejprve pracuje operátor manuálně vykonávající na jednotlivých pracovištích činnosti popsané v tabulce. Poté probíhá strojní čas, kdy není třeba asistence operátora a celá činnost na pracovišti je završena opět prací operátora. Cyklové časy jsou v sekundách, v tabulce jsou pomocí vysvětlivek rozděleny činnosti na operátora a stroje.

Zadání úkolu

Požadavek z firmy zněl namodelovat výrobní buňku a zjistit, jestli práci mohou zvládnout dva operátoři a navrhnout sekvenci pohybu v buňce.

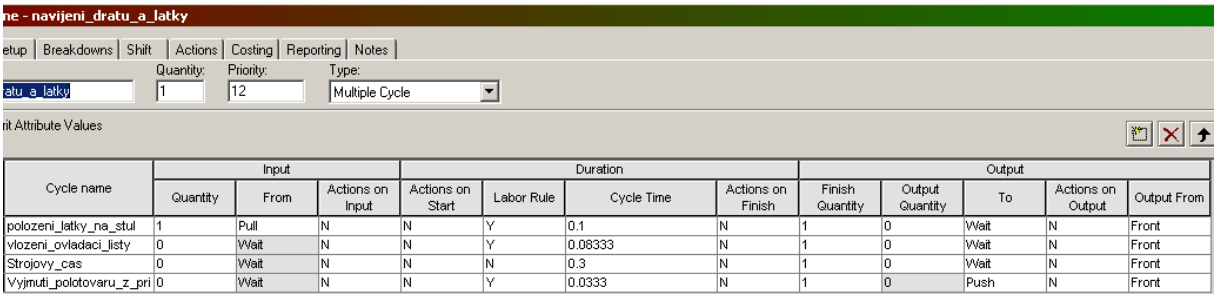
Model

K tvorbě modelu a provedení simulace jsem zvolil software WITNESS.



Obrázek č. 4.35: Layout v modelu Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

Na obrázku je layout pracoviště ve WITNESSu. Nachází se zde všechny stroje, navíc byl přidán zásobník hotových výrobků pro sledování počtu vyrobených ks. Jsou doplněny koláčové grafy pro statistiku vytížení strojů a především dva koláčové grafy sledující vytížení operátorů. Do modelu byli v tomto případě vloženi již jen dva operátoři, což je kýžený stav. Během experimentování s modelem byl však počet operátorů měněn od počtu jednoho po pět. Vstupní zásobník stůl byl nastaven s pravidelným doplňováním zásob. Výrobek postupně prochází celou buňkou, přičemž hotový polotovar z jednoho stroje je vždy tlačen na stroj další. Tyto mají vstupní pravidlo buffer umožňující odkládat výrobky na další stroj. Avšak kapacita je pouze jeden ks, aby nedocházelo k tvoření zásob, ale výrobek plynule procházel procesem. Důležité bylo také nastavení priorit obsluhy strojů pro adekvátní rozložení zatížení celého systému. Pro ilustraci nastavení následující obrázek přibližuje parametry vybraného stroje.



Cycle name	Input			Duration				Output				
	Quantity	From	Actions on Input	Actions on Start	Labor Rule	Cycle Time	Actions on Finish	Finish Quantity	Output Quantity	To	Actions on Output	Output From
polozeni_latky_na_stul	1	Pull	N	N	Y	0.1	N	1	0	Wait	N	Front
vlozeni_ovladaci_listy	0	Wait	N	N	Y	0.08333	N	1	0	Wait	N	Front
Strojovy_cas	0	Wait	N	N	N	0.3	N	1	0	Wait	N	Front
Vyjmuti_polotovaru_z_pri	0	Wait	N	N	Y	0.0333	N	1	0	Push	N	Front

Obrázek č. 4.36: Nastavení stroje pro navíjení drátu a látky Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

Stroj je typu multiple cycle, s na sebe navazujícími operacemi a odlišením účasti operátora a strojního času.

Výsledky simulace

Bylo provedeno několik simulačních běhů a sledovány statistiky vytížení strojů, ale především operátorů a v závislosti také počet vyrobených kusů. Následující tabulka zobrazuje dosažené výsledky v počtu vyrobených kusů. Čas běhu simulace byl zvolen 450 minut, tedy osmihodinová směna s odečtením zákonné přestávky.

Tabulka č. 4.13: Výsledky simulačního běhu

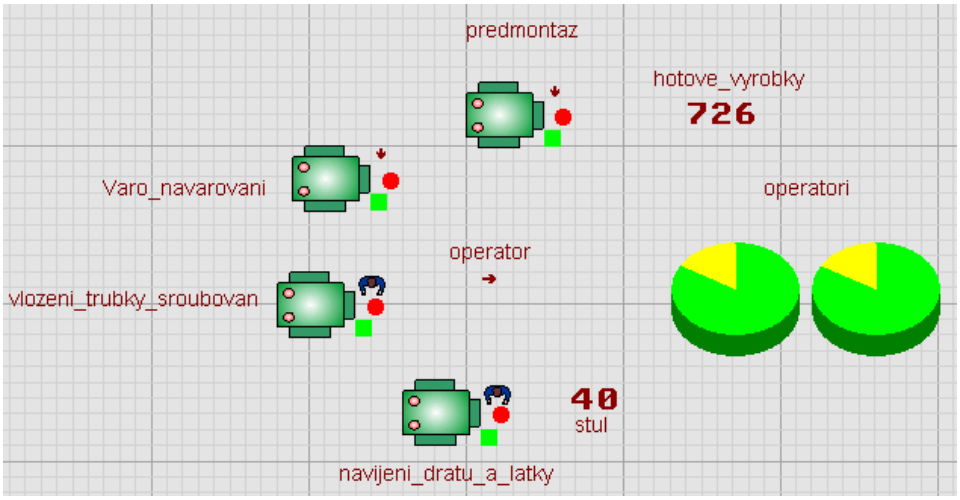
Počet operátorů	Počet vyrobených kusů
1	316 ks
2	**726 ks**
3	727 ks
4	727 ks
5	727 ks

Zdroj: [Vlastní zpracování]

Z tabulky je zřejmé, že jeden operátor vyrobí pouze 316 ks. Avšak již dva operátoři vyrobí 726 ks a v případě obsluhy 3 - 5 operátory dojde ke zvýšení kapacity výroby pouze o 1 ks. Je tedy zřejmé, že počet dvou operátorů není z tohoto pohledu brzdou výroby a je možné celou buňku obsluhovat pouze ve dvou lidech.

Co se týká reálné situace ve firmě, 3 operátoři skutečně za tento čas vyrobí kolem 727 kusů, skutečné číslo poněkud kolísá kolem této hodnoty v závislosti na schopnostech konkrétních pracovníků a nepředvídaných událostech.

Důležité je však také vytížení operátorů v případě využití pouze dvou pracovníků. Pokud by bylo na úrovni sta procent, bude obtížné v reálném procesu toto aplikovat.



Obrázek č. 4.37 Provedený běh simulace pro dva operátory Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

Vytížení v případě dvou operátorů je 83,5 % pro oba, rozdíly jsou pouze v desetinách procenta. Jelikož v reálné výrobě je třeba, aby se operátoři pohybovali v buňce, je vhodné výsledky simulace ověřit i v reálném systému, avšak model je dobrý základ. Zároveň byla ze simulace zjištěna potřebná sekvence pohybu operátorů v buňce, tato byla firmě předána s podrobným popisem a doplněna videosekvencí, ze které je posloupnost operací dobře zřetelná. První operátor je využit pro obsluhu prvního a posledního stroje buňky a zároveň přinášení a odkládání materiálu. Druhý operátor obsluhuje druhý a třetí stroj, přičemž si bere hotové výrobky z prvního stroje.

V případě provedené simulace se třemi operátory jejich vytížení dosáhlo 62 %, 70 % a 35 %.

Závěr

V případové studii bylo představeno pracoviště firmy, jeho layout, materiálový tok a cyklové časy. Byl specifikován úkol ověření využití operátorů a zpracování možnosti využití dvou operátorů místo stávajících tří na pracovišti. Byl vytvořen model pracoviště, provedeny simulační běhy a přehledně popsány výsledky. Při stávajícím layoutu a cyklových časech je možné využití dvou operátorů, avšak při relativně vysokém vytížení, což vzhledem k nutnému pohybu v buňce může být případným zdrojem komplikací. Výsledky simulace včetně sekvence pohybu operátorů je vhodné ověřit v reálném systému. Avšak i v případě snížení produkční kapacity při využití dvou operátorů místo tří může být situace výhodná. Důležité je znát celkové náklady na produkční zařízení, kdy např. malý pokles výroby díky snížení počtu pracovníků může přinést pozitivní efekt. Další důležité hledisko jsou aktuální požadavky trhu, kdy v době vysoké poptávky je možno kombinovat operátory tři a v době nízké poptávky jednoho či dva operátory, přičemž simulace napoví pravděpodobný průběh výroby. Na případové studii byly demonstrovány možnosti simulací pro optimalizaci reálné výroby. Závěrem je, že lze se dvěma pracovníky zvládat téměř stejný objem výroby, jako s původními třemi pracovníky. Výsledkem je úspora jednoho pracovníka a navržení optimální a přehledné sekvence pohybu pracovníků v buňce.

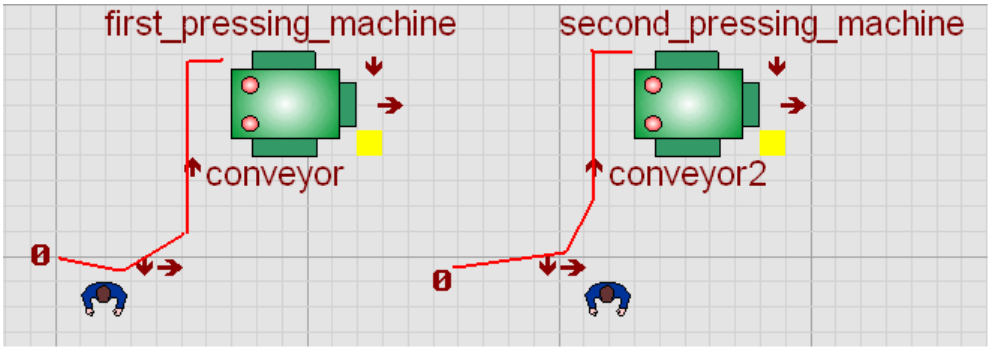
4.3.2 Případová studie č. 2 – Lisovna plastů XZ, s.r.o.

Úvod

Případová studie se zaměřuje na optimalizaci pracoviště a pracovní síly na pracovišti pro výrobu plastových výlisků – cestovních obalů na zubní kartáčky. Je představeno pracoviště, současný stav a pomocí simulace navrženy varianty nového uspořádání.

Představení pracoviště

Firma XZ je společností se zahraničními vlastníky zabývající se výrobou plastových výlisků. Pro účely této studie bylo vybráno pracoviště se dvěma stroji, které vyrábí identické výrobky (obaly na zubní kartáčky). Cyklové časy a postupy práce byly nasnímány autorem práce během dvou směn na čtyřech pracovnících. Situaci přibližují následující tabulky a obrázky.

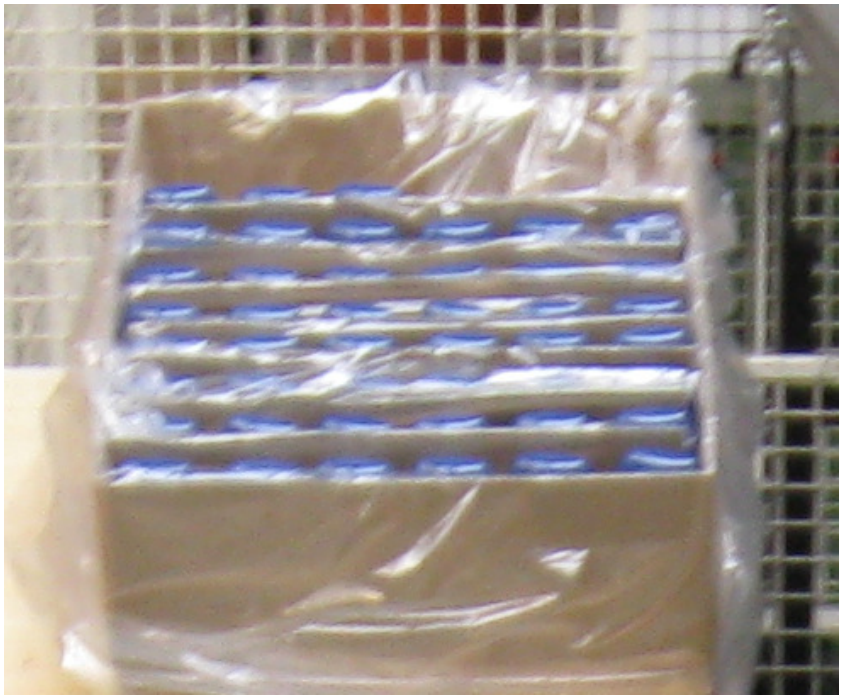


Obrázek č. 4.38: Layout pracoviště Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

V současném stavu jsou na pracovišti dva lisy. Každý lis jede automaticky a má daný strojní čas. Hotové výrobky odkládá stroj na dopravník a putují k operátorovi. Ten je vkládá do krabice s hotovými výrobky. Červené čáry naznačují postup materiálu přes pracoviště. První lis momentálně pracuje v dávce 2 ks výrobků, druhý lis v dávce 4 ks výrobků.

Úkoly operátora jsou:

- Vzít hotový výrobek z dopravníku, provést vizuální kontrolu a uložit jej do krabice,
- každých 6 operací vložit do krabice mezi výrobky prokládací papír,
- každých 60 operací krabici zabalit, odnést a přichystat další.



Obrázek č. 4.39 Hotové výrobky Zdroj: [Vlastní zpracování]

Cyklové časy v následující tabulce:

Tabulka č. 4.14: Cyklové časy v sekundách

Takt stroje	První	Druhý
Čas	40 s	43 s
Odebrání, kontrola, uložení		
Čas	6,5 s	
Vložení prokládacího papíru		
Čas	7 s	
Zabalení, odnesení, nachystání		
Čas	102 s	

Zdroj: [vlastní]

Zadání úkolu

Současná situace je, že stroje obsluhují dva operátoři. Požadavek z firmy byl namodelovat současný stav, dále navrhnout řešení, která by vedla k možnosti využití obsluhy pouze jedním operátorem a také prozkoumat varianty, kdy stroje budou pracovat v dávce 4 ks oba, prozatím pracují v dávce 2 a 4 ks, ovšem během několika měsíců se přejde na systém 4 + 4.

Model – současný stav

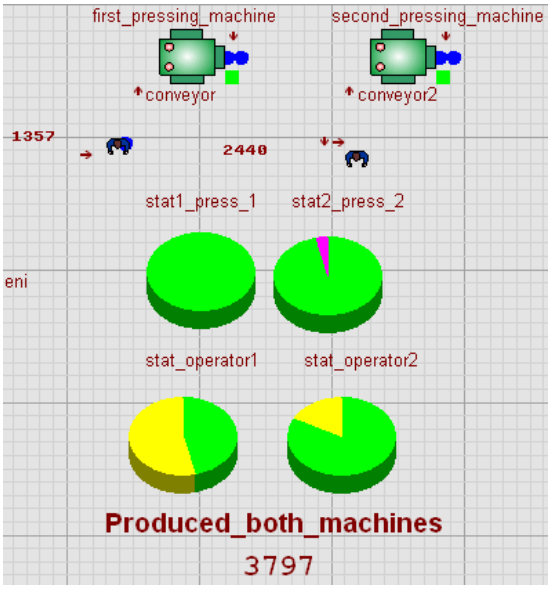
Pro snadnost změny parametrů a zjištění jejich vlivu na výsledky simulace byl samotný model na straně vstupu propojen s programem MS Office Excel. Díky tomu je možné veškerá potřebná vstupní data zadávat pomocí Excelu pohodlně a není třeba je zdlouhavě měnit přímo v modelu. To přináší jednak časovou úsporu a také možnost obsluhy laikem.

Zadávací tabulka v Excelu vypadá následovně.

Cyklus1	0,67		0,67
Cyklus2	0,72		0,72
Davka1	2		2
Davka2	4		4
Doba_prechodu	0,10		0,10
Odneseni_krabice	0,25		0,25
Nachystani_krabice	0,05		1,17
Cas kontroly a vlozeni	0,11		0,11
buffcap1	10		10
buffcap2	10		10
			DEFAULT
Zabaleni krabice	Jen ve Witness		0,28
Vlozeni papiru do krabice	Jen ve Witness		0,12

Obrázek č. 4.40: Zadávací tabulka v Excelu Zdroj: [Vlastní zpracování]

Firma je schopna vyrábět každou směnu (8 hodin) 453 minut čistého času, tento čas byl tedy zvolen jako doba simulace. Na dalším obrázku bude ukázán výsledek běhu simulace právě po této době.



Obrázek č. 4.41: Výsledky simulace Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

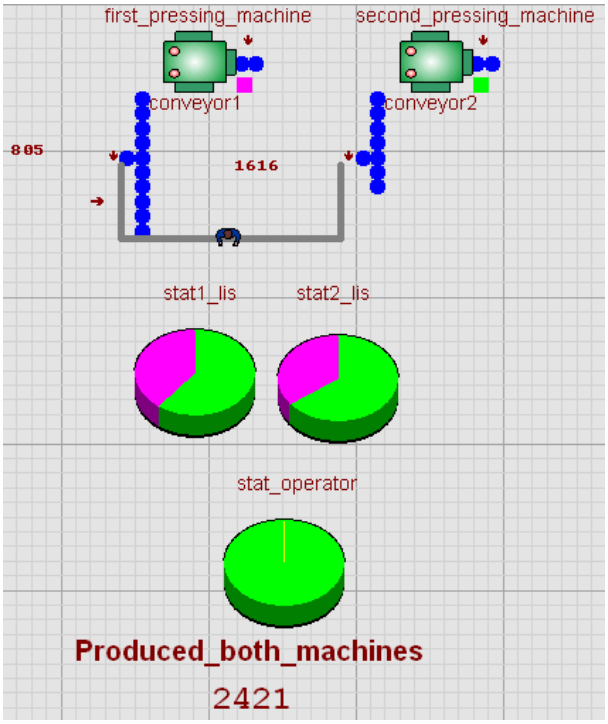
Je patrné, kolik vyrobíme za směnu výrobků. Tento počet také odpovídá realitě, liší se pouze o několik málo kusů. Toto číslo poslouží jako srovnání pro výsledky dalších simulací v optimalizovaném modelu.

Využití operátorů je 46% a 83%. U druhého operátora jsme tedy již na rozumné hranici využití. V zadání projektu bylo stanoveno optimální využití kolem 80%.

Stroje pracují téměř na 100%.

Model – současný stav, obsluha jedním operátorem

Pokud zvolíme obsluhu jedním operátorem, přibude přechod mezi pracovišti, který trvá **5 sekund**. Operátor nepřechází kvůli každému kusu, ale řídí se obsazeností dopravníku a pracuje dávkově.



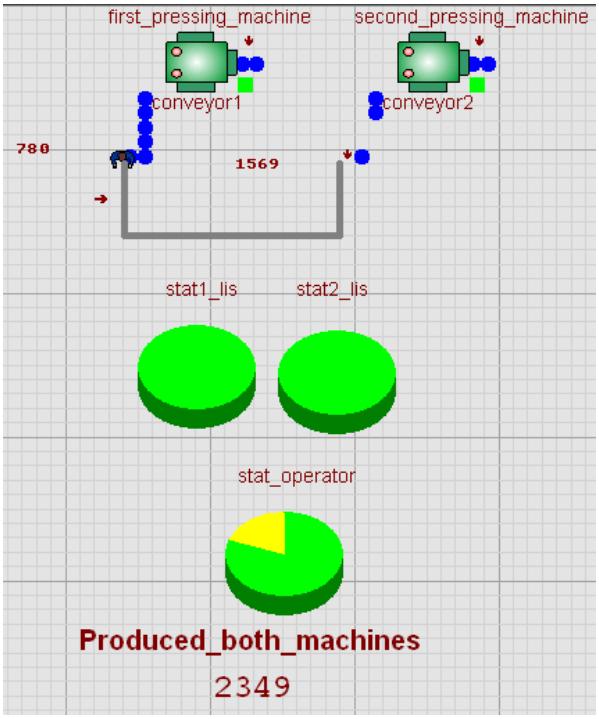
Obrázek č. 4.42: Výsledky simulace Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

Z výsledků simulace je patrný značný pokles výroby o téměř 1400 ks za směnu. Navíc je zde využití operátora kolem 99%, což je nereálné. U statistik strojů se navíc objevila fialová barva, v modelu to znamená, že stroje byly díky nedostatečné rychlosti operátora blokovány, v realitě, jelikož lisy není možné zastavit, to znamená, že výrobky padají do odpadu. Abychom dosáhli zhruba **80% vytížení operátora**, produkce by poklesla na cca **2000 ks**, tedy o dalších cca 400 ks méně.

Model – optimalizace pracoviště

Zde už budou představeny pouze varianty s vytížením operátora kolem 80%.

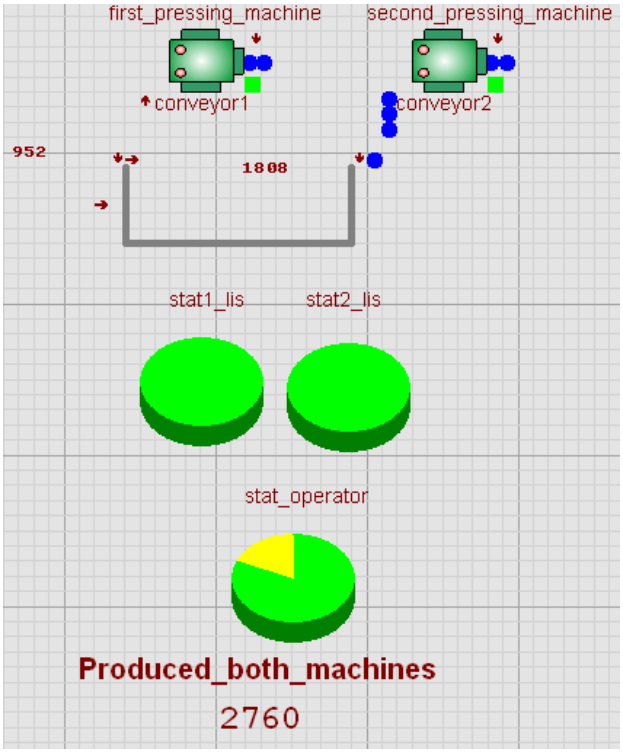
První variantou optimalizace je otočení dopravníků k zajištění nulového času přechodu mezi stroji. Výsledek simulace je na obrázku níže.



Obrázek č. 4.43: Výsledky simulace pro dopravníky otočené k sobě Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

Vyrobíme tedy 2349 ks, což je nárůst výroby o 350 ks oproti dopravníkům vzdáleným od sebe 5 sekund. Na obrázku je sice stále cesta mezi stroji, ta však v modelu byla nastavena pouze na 0,5 sekundy.

Výsledek je však stále nedostačující. Poměrně dlouho trvá operátorovi příprava nové krabice pro výrobky a také odnesení hotových výrobků. To jsou činnosti, které mohou vykonávat manipulanti. Pouze zabalení krabice by mělo zůstat na samotném operátorovi z důvodu složitosti organizace takovéhoto úkonu manipulantem. Jaké jsou tedy výsledky simulace po této optimalizaci?

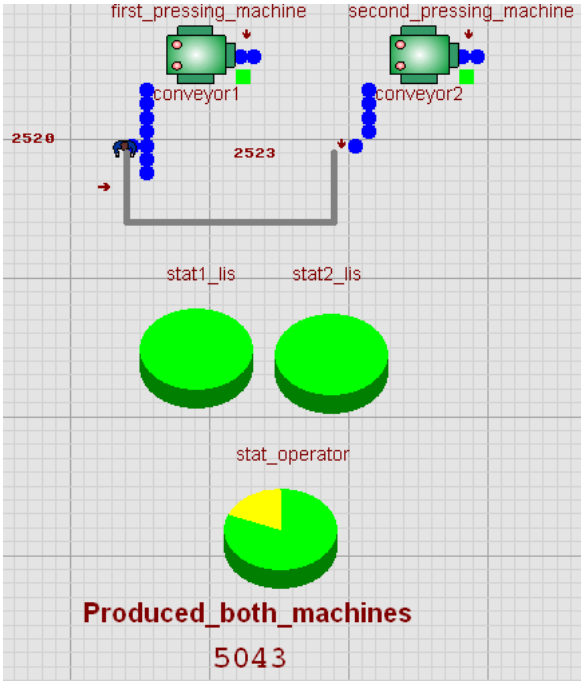


Obrázek č. 4.44: Výsledky simulace pro dopravníky otočené k sobě a optimalizované manipulační práce operátorů Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

Dokázali jsme zvýšitt produkci o dalších cca 400 ks, jsme však stále o více jak 1000 ks pozadu v případě využití dvou operátorů.

Co by bylo nutné provést pro zajištění stejné produkce, jako v případě využití dvou operátorů? Momentálně nejvíce času zabírá operátorovi kontrola (6,5 s). Pokud bychom zlepšili kvalitu procesu, aby operátor musel věnovat méně času kontrole, mohli bychom dosáhnout vyšší produkce. Konkrétně pro dosažení produkce cca 3800 ks za směnu (současný stav se 2 operátory) by musel poklesnout čas vyjmutí ze zásobníku, kontroly a vložení do krabice na **4,3 sekundy.**

Model – velikost výrobní dávky 4 ks u obou strojů



Obrázek č. 4.45: Výsledky simulace pro zkrácení času kontroly Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

Pokud chceme udržet plynulý proces v případě výrobní dávky zvednuté na 4 ks i u prvního stroje a zachovat dvoustrojovou obsluhu, čas kontroly a manipulace musí poklesnout dokonce na 2,8 sekundy.

Závěr

V případové studii jsem představil pracoviště firmy, jeho layout, materiálový tok a cyklové časy. Byl specifikován úkol pro navržení opatření, aby bylo možné vykonávat činnost pouze s jedním operátorem. Dle výsledků simulace bude velmi obtížné nastavit proces tak, aby při zachování kapacity linky mohl práci vykonávat pouze jeden operátor. A to zejména při přechodu na dávkovou výrobu 4 ks u obou strojů. Zpracování samotného modelu zabralo cca 3 hodiny a zde se ukázala skutečná síla simulací, kdy v kombinaci s Excelem bylo možné bleskově v rámci sekund dostávat výsledky o pravděpodobném průběhu výroby při různých modifikacích výroby. Na základě několika scénářů se poté firma může rozhodovat. V případě vysoké objednávky zákazníka budou nasazeni dva operátoři a pojede se na maximální kapacitu linky, která je omezena technologickým časem lisování plastu. Ve chvíli, kdy nebude objednávka dostatečně vysoká, přizpůsobí se cyklový čas stroje (zpomalí se) a linku může obsluhovat pouze jeden pracovník. Byly představeny různé optimalizace pracoviště, díky nimž lze dosáhnout různých úrovní kapacity výroby.

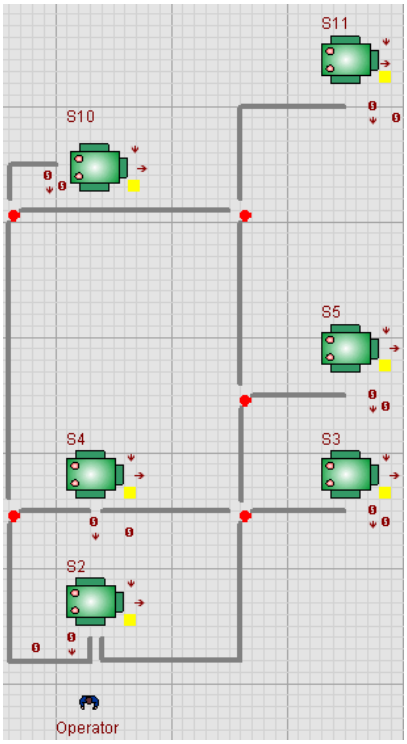
4.3.3 Případová studie č. 3 – Lisovna plastů XZ, s.r.o.

Úvod

Případová studie je zaměřena na optimalizaci pracoviště a využití pracovní síly při obsluze lisovacích strojů. Je představeno pracoviště, současný stav a pomocí simulace navrženy varianty optimalizace.

Představení pracoviště

Firma XZ je společností se zahraničními vlastníky zabývající se výrobou plastových výlisků. Pro účely této studie bylo vybráno pracoviště šesti strojové obsluhy. Lisy jsou rozmístěny v dílně a jejich obsluhu zajišťuje jeden operátor. Layout ilustruje obrázek níže. Stroje nejsou rozmístěny přímo u sebe, jelikož mezi nimi jsou jiné stroje – tyto však obsluhuje jiný operátor. Jejich názvy jsou interní označení firmy.



Obrázek č. 4.46: Layout pracoviště Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

Cyklové časy strojů ukazuje následující tabulka. V prvním sloupci je cyklový čas stroje a ve sloupci druhém je čas, který potřebuje operátor pro obsluhu stroje. Stroje fungují automaticky včetně dopravy materiálu a výrobky jsou automaticky odkládány do zásobníku. Činností operátora tedy je vyjmutí výrobků ze zásobníku, jejich kontrola a odložení do hlavní skladovací krabice. Jedná se o malé plastové výlisky, kapacity zásobníků jsou tedy veliké. Některé výrobky je třeba kontrolovat každý zvlášť, případně provádět ještě drobné

úpravy, jako odstranění přetoků, u některých výrobků se provádí kontrola pouze namátkou a jsou přesypávány hromadně. Tyto odlišnosti nastavení modelu reflektuje.

Tabulka č. 4.15: Cyklové časy v sekundách

Stroj číslo	**Cyklový čas stroje v sekundách**	**Cyklový čas operátora v sekundách**
2	37 s – dávka 6 ks	30 s – celý zásobník
3	49 s – dávka 2 ks	5 s – dávka 6 ks
4	30 s – dávka 1 ks	10 s – celý zásobník
5	33 s – dávka 2 ks	5,5 s – dávka 3 ks
10	31 s – dávka 1 ks	6 s – dávka 6 ks
11	32,5 s – dávka 1 ks	30 s – dávka 16 ks

Zdroj: [vlastní]

Zadání úkolu

Úkolem je zjistit využití operátora v současné situaci a navrhnout optimalizace pro snížení využití operátora a jeho případné uvolnění na další činnosti.

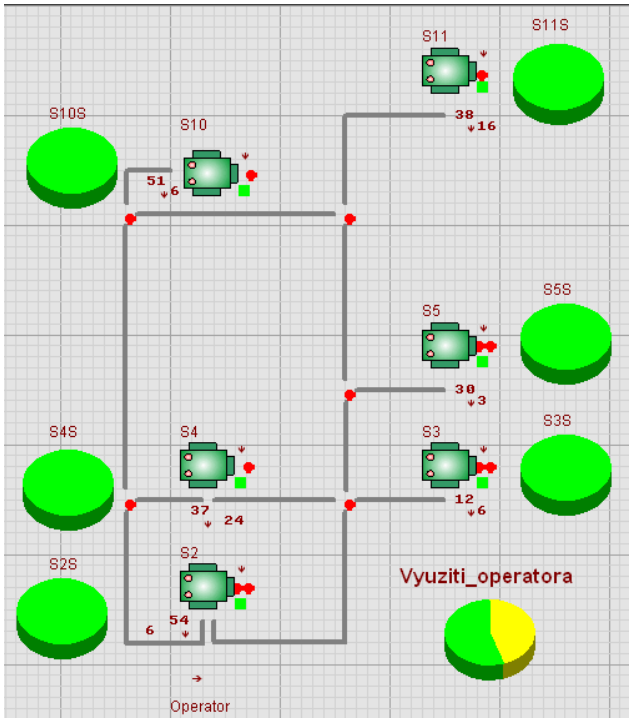
Současný stav

Nyní se operátor pravidelně pohybuje mezi stroji a výrobky, které jsou zrovna vyrobené, zkontroluje a zabalí je. Znamená to tedy, že operátor je téměř neustále v pohybu, což není třeba. Přesun mezi stroji zabírá dost času a není potřebné, aby operátor chodil ke každým několika hotovým výrobkům, zvláště u strojů, které se obsluhují v dávce celého obsahu zásobníku naráz. Nyní je tedy využití operátora na 100%, odhlédneme-li od přestávek na WC, atp.

Model – andon

Základní optimalizací pro zabránění zbytečného pohybu operátora je tedy instalace světel (andon), které signalizují obsazenost zásobníků. Jelikož tyto jsou dostatečně velké, v řádu stovek ks, stačí zásobníky vyprazdňovat až po určitém čase.

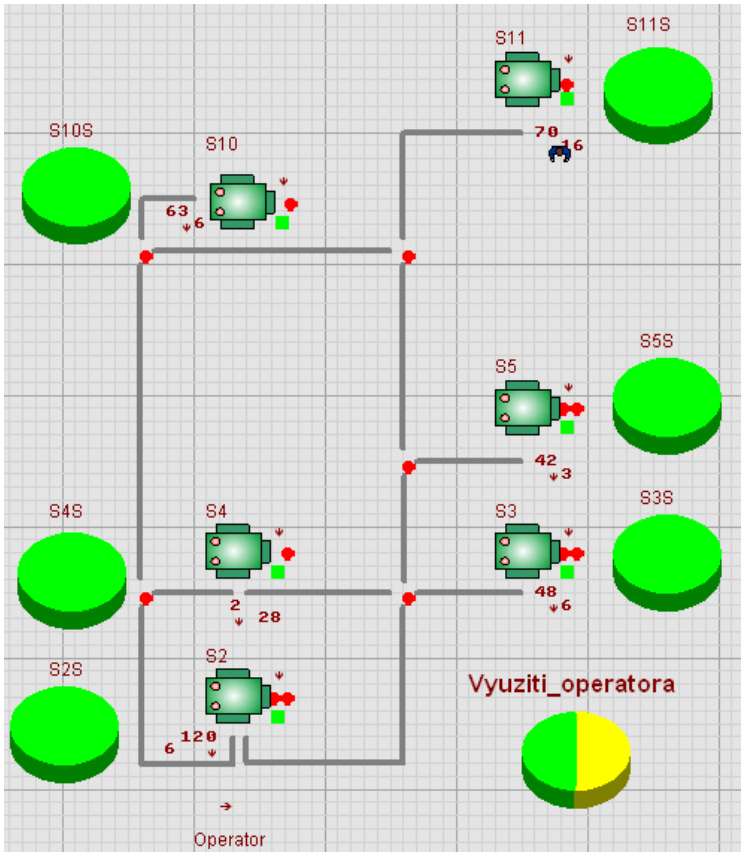
Velikost dávky, kdy je dána najevo signalizace zásobníku přichystaného k vyprázdnění, byla nastavena na 100 ks. V tomto případě je v modelu využití operátora na úrovni zhruba 55%. Stačilo změnit signalizaci pro přivolání operátora na úroveň 50 ks a jeho vytížení stouplo k 70%. Je tedy patrné, že pouhá instalace signalizačního zařízení skýtá potenciál velké úspory práce operátora.



Obrázek č. 4.47: Výsledky simulace pro signalizační úroveň 100 ks
Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

Model – optimalizace práce operátora

Během analýzy pracoviště bylo zjištěno mnoho dalších potencionálních zlepšení. Například operátoři prováděli zbytečné činnosti navíc, které bylo možné odstranit, bylo možné mírně upravit rozložení pracoviště, odstranit duplikovaný transport, atp. Všechny tyto činnosti byly odstraněny a namodelován průběh práce bez tohoto plýtvání. Výsledkem je při využití signalizačního zařízení na úrovni 100 ks další pokles vytížení operátora na 50%.



Obrázek č. 4.48: Výsledky simulace po další optimalizaci
Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci WITNESS]

Závěr

V případové studii jsem představil pracoviště firmy, jeho layout a cyklové časy. Byl specifikován úkol zjistit vytížení operátora a provést opatření k snížení jeho vytížení.

Klíčovým opatřením se ukázala instalace signalizačního zařízení pro uvědomění operátora, že je třeba jít obsluhovat daný stroj. Toto zařízení zajistí, že operátor nemusí neustále chodit mezi stroji, kontrolovat zásobníky a vybírat hotové výrobky. Nyní jeho přítomnost je vyžadována až ve chvíli, kdy je to skutečně třeba. Velikost signalizační zásoby si firma nastaví pro každý stroj zvláště pro co největší přínosy. Toto řešení přináší úspory v řádech desítek procent. Při nastavené hodnotě 100 ks kleslo vytížení téměř na polovinu a přitom stále tempo obsluhy dostačovalo k tomu, aby se zásobníky nepřeplňovaly.

Další dílčí optimalizace jednotlivých pracovišť přinesly úspory v řádu jednotek procent.

4.3.4 Případová studie č. 4 – Lisovna plastů XZ, s.r.o.

Úvod

Případová studie je zaměřena na praktickou aplikaci výzkumu v rámci projektu GAČR 402/08H051 s názvem *Optimalizace multidisciplinárního navrhování a modelování výrobního systému virtuálních firem*.

Jsou představena pracoviště na sebe navzájem navazující výroby a realizována výměna dat pomocí simulací. Použitý software je Plant Simulation.

Představení pracoviště

Firma XZ je společností se zahraničními vlastníky zabývající se výrobou plastových výlisků. Pro účely této studie bylo vybráno více pracovišť. Tyto jsou rozmístěny v různých místnostech, avšak v jedné budově, výměna materiálu tedy probíhá bez problémů. Konečným výrobkem je pouzdro na papírové ručníky.

Na pracovišti, kde probíhá finální montáž výrobku, je většina komponent skladem, tyto díly jsou nakupovány od externích dodavatelů.

Několik polotovarů si však firma lisuje sama a právě jejich výroba a řízení požadavků bude předmětem této případové studie. V duchu výzkumu v rámci GAČR budou použita interní řešení pro výměnu dat a budou přidány některé specifické prvky pro tuto konkrétní situaci.

Obrázek č. 4.49: Layout výroby Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Cyklové časy strojů ukazuje následující tabulka. Stroje K1 a K2 fungují automaticky včetně dopravy materiálu do stroje, je však třeba operátora pro vyjmutí výrobku a umístění do krabice. Finální montáž je manuální a úkolem operátora je nejen přinést si ze zásobníků se vstupním materiálem komponenty K1 a K2, ale také prefinální výrobek, do kterého jsou komponenty zasazeny. Dále je jeho úkolem samotná montáž a také odnesení hotového výrobku do krabice. Doprava Komponent K1 a K2 probíhá pomocí manipulačních vozíků mezi pracovišti.

Tabulka č. 4.16: Cyklové časy v sekundách

Stroj	**Cyklový čas stroje v sekundách**
K1	10 s
K2	20 s
Final assembly	120 s

Zdroj: [vlastní]

Zadání úkolu

Úkolem je namodelovat výrobní systémy a namodelovat adekvátní výměnu dat mezi jednotlivými pracovišti. Dalším úkolem je naznačit v simulacích možné optimalizace a jejich dopady na výrobu. Požadavkem také je, aby byly přehledně definované časové náročnosti jednotlivých výrob tak, aby bylo možné včas zadávat objednávky na komponenty a bylo jasné, jak dlouho potrvá kompletní výroba. Tyto časy musí být pružné a reflektovat aktuální nastavení modelu tak, aby mohly být v realitě nasazovány scénáře s různým počtem operátorů nebo optimalizací pracoviště a byl ihned jasný dopad těchto změn na časovou náročnost výroby.

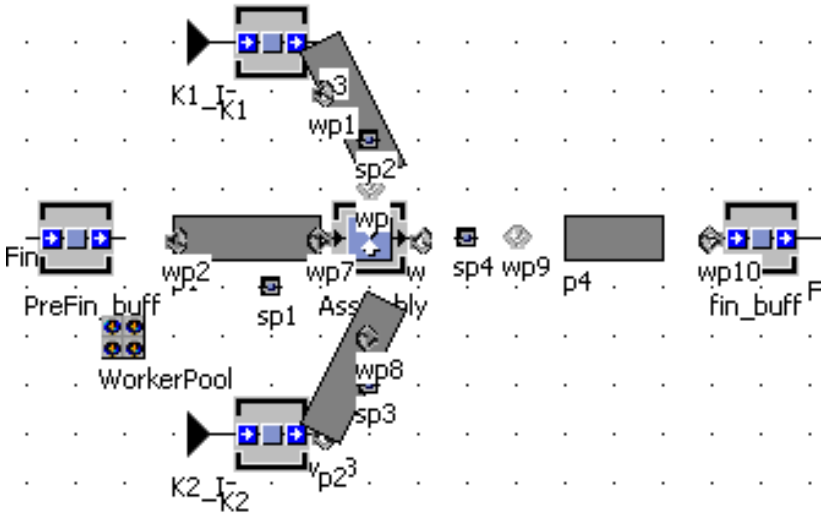
Současný stav – pracoviště pro výrobu komponent

Nyní se operátor pravidelně pohybuje mezi stroji a výrobky, které jsou zrovna vyrobené a odnáší je do krabic. Jedná se o dvoustrojovou obsluhu. Layout ukazuje následující obrázek.

Obrázek č. 4.50: Layout výroby komponent Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Vzdálenost mezi pracovišti je 19,5 metru, což není úplně optimální, vzdálenost od stroje k zásobníku je 1,5 metru.

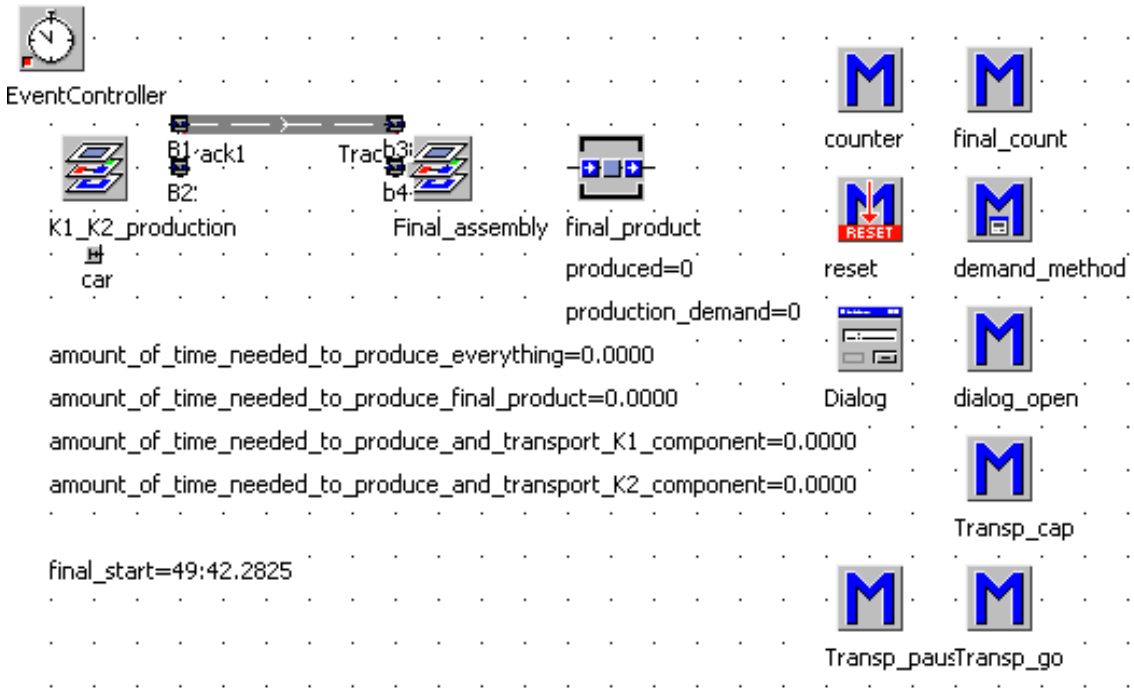
Současný stav – pracoviště finální montáže



Obrázek č. 4.51: Layout finální montáže Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Vzdálenosti od vstupních zásobníků ke stroji jsou vždy 3 metry, hotový výrobek poté operátor musí nosit 4 metry do zásobníku.

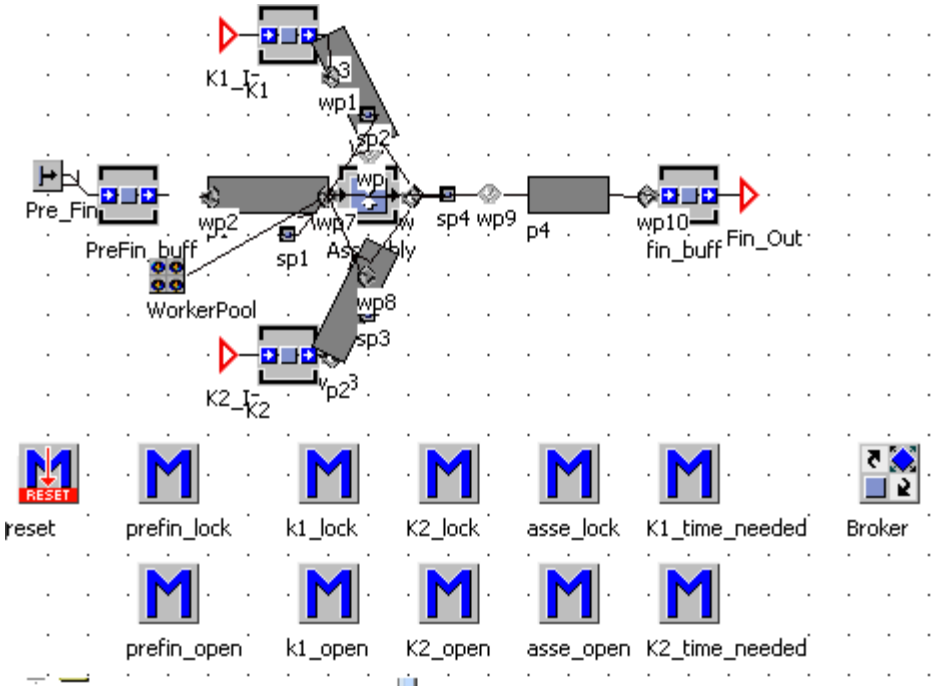
Základní model



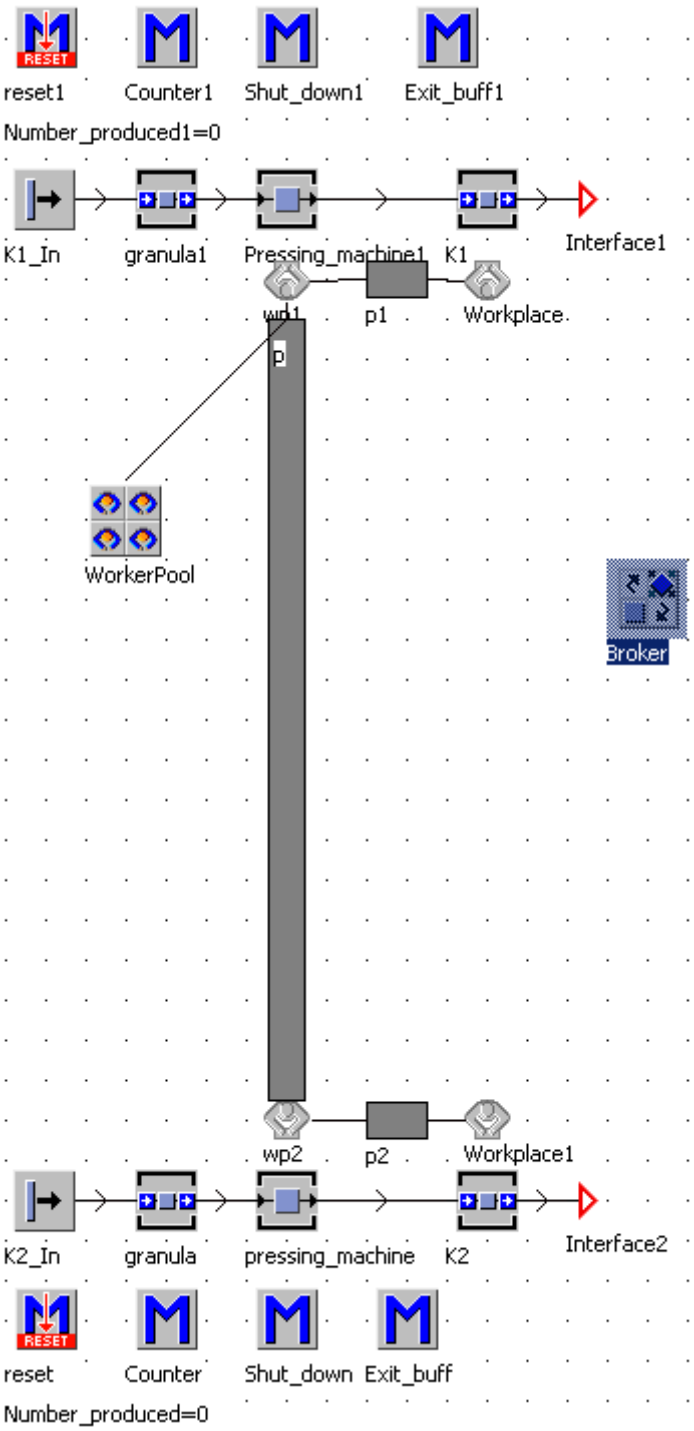
Obrázek č. 4.52: Layout systému Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

V návaznosti na výzkum realizovaný v projektu GAČR byla pro řízení tohoto systému zvolena metodika pomocí hierarchizace frame. Znamená to tedy, že model pro výrobu komponent a model pro finální montáž byl vložen do nadřazeného frame, který představuje kompletní systém. Na obrázku 4.53 jsou již i vidět potřebné metody pro chod modelu a klíčové jsou položky zobrazující množství času potřebné pro jednotlivé fáze výroby. Vzdálenost pracovišť pro výrobu komponent od finální montáže je 35m (na obrázku z důvodu přehlednosti zmenšena).

Subframe pro výrobu komponent a finální montáže včetně metod ilustrují následující obrázky.



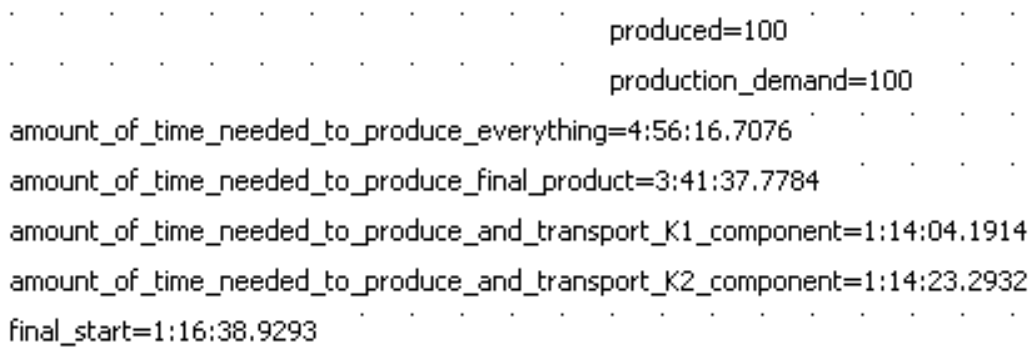
Obrázek č. 4.53: Kompletní subframe finální montáže Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]



Obrázek č. 4.54: Kompletní subframe komponent Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Běh základního modelu současného stavu

Nyní otestujeme výsledky, které model dává při základním nastavení. Jako požadavek zákazníka zvolíme 100 ks finálních výrobků. Po proběhnutí simulace dostaneme výsledky, které ilustruje následující obrázek.



Obrázek č. 4.55: Výsledky základního modelu Zdroj: [Vlastní zpracování v aplikaci Plant Simulation]

Trvá téměř 5 hodin, než se nám podaří vyrobit 100 ks výrobků. Je také patrné, že musíme zadat požadavek na výrobu komponent tak, aby jejich výroba započala nejpozději 1 hodinu a 14 minut před samotnou finální montáží, aby vše proběhlo v rámci 5 hodin.

Běh optimalizovaného modelu

Nyní přikročíme k optimalizacím modelu. Strojní časy jdou přesně dány a není možné je snižovat. Největší potenciál ukrývá úprava layoutu pracovišť, kdy je možné snížit vzdálenosti, které musí operátor překonávat. Podařilo se mírně snížit všechny vzdálenosti. Největší úspora byla dosažena při přechodu mezi pracovišti K1 a K2, kdy došlo ke zkrácení vzdálenosti na 10 m. Nebylo možné měnit dopravní vzdálenost 35 m, jelikož se jedná o dvě různé místnosti.

Jsou také ukázány varianty pro obsluhu pracovišť jedním operátorem a dvěma operátory. Doposud byla výrobní dávka celá zavážena naráz, ale ukážeme také variantu dvou a čtyř závozů.

Následující tabulka ilustruje přehledně dosažené výsledky.

Tabulka č. 4.17: Cyklové časy v sekundách

Varianta	**Dosažený čas pro výrobu 100 ks výrobků v hodinách**
Bez úprav layoutu s využitím dvou operátorů na obou pracovištích	4:21 h
Úprava layoutu zmenšením vzdáleností operátorovi nutné chůze	4:34 h
Využití dvou operátorů na finální montáži (layout upravený)	4:23 h
Využití dvou operátorů na lisovně komponent (layout upravený)	4:29 h
Využití dvou operátorů na obou pracovištích (layout upravený)	4:18 h
Zvýšení počtu závozů mezi pracovišti na 2 (každých 50 ks, layout upravený)	4:01 h
Zvýšení počtu závozů mezi pracovišti na 4 (každých 25 ks, layout upravený)	3:52 h
Zvýšení počtu závozů mezi pracovišti na 4 (každých 25 ks) s využitím pouze 1 operátora na každém pracovišti (layout upravený)	**3:59 h**
Původní čas nutný k výrobě bez optimalizací	**4:56 h**

Zdroj: [vlastní]

Z výsledků je patrné, že dochází k časové úspoře při využití více operátorů. Tato výhoda je znatelná především při neupraveném layoutu, protože při dlouhých vzdálenostech se lépe uplatní více pracovníků. Největší potenciál v úspoře na celkovém čase však tkví ve změně zásobovací politiky. Pracoviště finální montáže doposud muselo dlouho čekat na komponenty dovezené naráz po ukončení jejich výroby. Při častějším závozu se významně krátí celý čas výroby. Pouhých 7 minut rozdílu mezi optimalizovanou výrobou s využitím jednoho operátora anebo dvou na pracovištích vede spíše k volbě menšího nasazení pracovníků. Finální časová úspora je tedy 57 minut, což je téměř 20% času.

Závěr

Přínosem této případové studie je představení možností simulačních programů pro optimalizace výroby. Podařilo se dosáhnout časové úspory přes 20%. Hlavním benefitem je však aplikace výzkumu v rámci projektu GAČR. Podařilo se namodelovat výměnu dat mezi modely výrobních systémů v rámci jedné firmy. Přínosem v tomto případě je přehled o době trvání jednotlivých výrob. Víme, jak dlouho potrvá výroba komponent, nebo finální montáž a dle toho zadáváme objednávky do výroby. Přínosem tohoto řešení je jeho snadná replikovatelnost. Metody použité pro tvorbu modelu jsou univerzálně platné a mohou být rozšířeny pro libovolně velkou výrobu mnoha komponent. Nezanedbatelným přínosem je zde také přímá interakce mezi systémy. Pokud v jednom systému dojde k nějaké chybě, výroba se zastaví, zpomalí v důsledku nečekané události nebo úprav pracovních postupů, ihned je vidět vliv na celý systém, nikoliv pouze na omezenou část. Je tedy možné hledat globální optimum celého systému, nikoliv realizovat pouze lokální optimalizace, jak je časté, přičemž tyto lokální optimalizace mohou vést naopak globálně ke zhoršení stavu.

Obecně je tedy přínosem simulace nejen nalezení globálního optima, ale také možnost rychle zkoušet různé scénáře nastavení výrobního systému a predikce průběhu výroby.

Podrobné nastavení tohoto modelu je možné nalézt v příloze A - DVD nosič v závěrečné zprávě posledního roku řešení projektu GAČR.

4.3.5 Dílčí závěr kapitoly případových studií

Cílem kapitoly případových studií bylo zejména poukázat na možnosti simulačních programů v reálných firmách. Naznačit možnosti, jakým způsobem mohou firmy využít simulací pro optimalizace svých systémů. Zejména v návaznosti na výsledky dotazníkového šetření je toto vhodné. Některé případové studie byly publikovány také v rámci konferencí, aby se dostaly k co nejvíce uživatelům. Jedna z případových studií se také zabývá aplikací výzkumu provedeného v rámci projektu GAČR (kapitola 4.1) do praxe.

V první případové studii bylo představeno pracoviště, kde docházelo ke změně výrobního postupu v důsledku technologické inovace. Firma chtěla zjistit využití operátorů při novém pracovním postupu a také zjistit, zda je možné pracovat v buňce pouze se dvěma operátory a za jakých podmínek. Výsledkem simulačního projektu byl výstup v podobě vytížení tří operátorů a následně byly představeny podmínky, kdy mohou činnost vykonávat dva operátoři a také byla navržena sekvence jejich práce, aby si v buňce nepřekáželi, měli jasně rozdělené role a zhruba stejné vytížení.

V rámci druhé případové studie se jednalo o pracoviště dvou lisů, kde zatím každý obsluhuje jeden operátor. Z měření bylo zřejmé, že v případě využití dvou operátorů se jejich pracovní vytížení poměrně malé, avšak ve stávajícím systému nezvládne jeden obsluhovat oba stroje. Cílem tedy bylo zjistit podmínky, za kterých může práci vykonávat jeden operátor. Zde se ukázala skutečná síla simulace, kdy se přímo v dílně nemusely dít žádné změny a pouze pomocí experimentů s modelem (pro snazší obsluhu propojeným i s Excelem) byly navrženy nutné opatření pro to, aby mohl oba stroje obsluhovat pouze jeden pracovník.

Třetí případová studie byla zaměřena na obsluhu šesti strojů jedním operátorem. Byly specifikovány dva cíle. Jednak zjistit vytížení operátora při současném stavu a také navrhnout opatření ke snížení vytížení operátora tak, aby mohl vykonávat i jinou práci. Cíl byl splněn, v systému, jak byl ve firmě nastaven, byl operátor využit na 100%, pomocí několika málo optimalizací se podařilo vytížení dostat k 50%.

Čtvrtá případová studie byla zaměřena zejména na aplikaci výzkumu projektu GAČR do praxe. Byla tedy namodelována výměna dat mezi dvěma pracovišti. Jedná se o interní zákazníky procesů, tedy jednu firmu, avšak pracoviště jsou od sebe vzdálena a transport výrobků probíhá pomocí manipulátora. Pomocí simulace byly nastaveny ideální frekvence závozů, což byl hlavní cíl pro snížení celkového času výroby a provedeny dílčí optimalizace. Výsledkem byla úspora času zhruba 20% od začátku výroby prvních komponent po vyprodukovaný hotový výrobek v požadovaném počtu kusů.

V rámci případových studií se jasně ukázala síla počítačových programů. Místo experimentů v reálné výrobě stačilo vytvořit počítačový model a v něm sledovat důsledky rozhodnutí na reálnou výrobu. Především v druhé případové studii se síla simulace ukázala naplno. Místo změny layoutu strojů ve výrobě a následného očekávání, jaký efekt bude změna mít a co dalšího bude třeba provést, byly změny jasné bez jakéhokoliv zastavení linky a tím pádem beze ztrát. Přitom samotná tvorba modelu zabrala cca 4-5 hodin práce autora disertace bez jakéhokoliv ovlivnění chodu linky a poté, díky nastavení usnadňující obsluhu modelu, byly během cca půl hodiny s vedením firmy vyzkoušeny varianty výroby. Výsledky případových studií byly vyhodnoceny kladně, ať už v podobě realizace daných opatření nebo také zjištění prozatímní nemožnosti realizace navrhovaných změn.

5 VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ DISERTAČNÍ PRÁCE

5.1 Splnění cílů práce

Cíl č. 1: Prvním cílem je charakteristika zásad nasazení simulací pro optimalizaci jednotlivých částí produkčního řetězce.

Tento cíl byl úspěšně splněn především pomocí dotazníkového šetření a spoluprací s firmami Humusoft (zastoupení v ČR pro WITNESS) a Siemens Industry Software (zastoupení v ČR pro Plant Simulation). Výsledky jsou v kapitole 4.2.2

Cíl č. 2: Zjistit důvody nízké rozšířenosti simulací ve výrobní sféře pomocí dotazníkového šetření. Formulovat nedostatky simulačních software, a analyzovat možné překážky, pro jejich zavedení do výroby.

Tento cíl byl splněn pomocí dotazníkového šetření. V kvantitativní části šetření byly předpokládány především záporná stanoviska ohledně využití simulací (což se potvrdilo), proto byly zároveň kladeny kvalitativní otázky ohledně důvodů této volby. Výsledky jsou uvedeny opět v kapitole 4.2.2

Cíl č. 3: Na základě dotazníkového šetření formulovat důvody využití simulací ve firmách.

Tento cíl byl splněn pomocí kvalitativní části dotazníkového šetření. Dosažené výsledky popisuje kapitola 4.2.2

Cíl č. 4: Zjistit rozšíření simulací dle velikosti podniků.

Splnění tohoto cíle zajistila kvantitativní část dotazníkového šetření. Jeho výsledky popisuje kapitola 4.2.1

Cíl č. 5: Analýza a návrh možných způsobů vzájemné výměny dat mezi jednotlivými modely výrobních systémů nebo částí výrobního systému. Problematika přitom bude řešena jak z pohledu externích, tak interních zákazníků jednotlivých procesů.

Tento cíl byl splněn v rámci výzkumu projektu 402/08H051 s názvem *Optimalizace multidisciplinárního navrhování a modelování výrobního systému virtuálních firem.* Výsledky popisuje kapitola 4.1.

Cíl č. 6: Na vhodných případových studiích demonstrovat přínosy nasazení simulačních programů.

Byly provedeny čtyři případové studie, které vedly ke splnění cíle. Výsledky popisuje kapitola 4.3

5.2 Verifikace hypotéz

- **Hypotéza č. 1** – Nasazení počítačových simulací pro modelování výrobních procesů přináší optimalizace těchto systémů. K potvrzení či vyvrácení vedlo splnění cílů č. 3 a 6.

Hypotéza se potvrdila. V kvalitativním dotazníkovém šetření (kapitola 4.2.2) všichni uživatelé vyjadřují přínosy simulačních programů. Zároveň provedené případové studie (kapitola 4.3) taktéž poukazují na mnoho možností využití simulačních software pro optimalizace výrobních systémů.

- **Hypotéza č. 2** – Propojení modelů jednotlivých procesů pomocí externích či interních řešení zrychluje výsledky simulace řady těchto procesů a zpružňuje záměnu modelů jednotlivých procesů v jejich řetězci (v případě výměny dodavatele). K potvrzení či vyvrácení vedlo splnění cíle č. 5

Tato hypotéza se potvrdila. Pomocí metodik navržených v rámci kapitoly 4.1 bylo dosaženo časových úspor při zpracování simulačních modelů, které se blížily až k 99%.

- **Hypotéza č. 3** – Simulace a následné optimalizace výrobních procesů jsou využívány pouze u omezeného počtu (do 10%) podniků z kategorie velkých. K potvrzení či vyvrácení vedlo splnění cíle č. 4

Hypotéza č. 3 se potvrdila pomocí kvantitativní části dotazníkového průzkumu (kapitola 4.2). Dle výsledků využívá simulace zhruba 5% velkých firem.

6 PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE

Přínosy disertační práce jsou rozděleny na část pro teorii a pro praxi.

6.1 Přínosy pro teorii

Přínosy pro teorii jsou v podobě zobecnění zkušeností z výzkumu. Jak dotazníkový výzkum tak především projekt GAČR ukazuje možnosti, kudy se dále výzkum simulací může ubírat.

V případě dotazníkového šetření formuluji závěry v podobě potřeby zjednodušení simulačních programů a jejich obsluhy, na což je možné navázat dalším výzkumem se zaměřením na uživatelské prostředí simulačních programů.

V rámci projektu GAČR předkládám metodiky pro výměnu dat, je možné na ně dále navazovat výzkumy, které zdokonalí tuto metodiku, případně navrhnou i jiné metody, zejména pomocí specializovaných programů.

Přínosy pro pedagogický proces spatřuji např. v kvalitnější výuce studentů v oblasti simulací nejen na Fakultě managementu a ekonomiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Jednak samotnou výukou na seminářích, či tvorbou úloh vhodných pro zpracování ve výuce. Poznatky z projektu GAČR nebo případových studií již byly do výuky zapojeny.

6.2 Přínosy pro praxi

Přínosy práce spatřuji zejména v oblasti praxe.

Jedná se o provedený dotazníkový výzkum, který především výrobním, avšak i poradenským firmám ukazuje, k čemu používají simulace ostatní, ale také ukazuje výrobcům programů, co je možné udělat, aby se simulační metoda stala více rozšířenou. Důležitým přínosem, který vznikl pomocí dotazníku, shledávám také zpracovanou charakteristiku zásad nasazení simulací pro optimalizaci jednotlivých částí produkčního řetězce (kapitola 4.2.2).

Pro praxi jsou také přínosem případové studie, které zcela konkrétně ukazují možnosti nasazení simulací a přínosy tohoto řešení. Přitom nejde jen o samotné nasazení simulačních programů a jejich zpracování experty, ukazuji také v praxi techniky, které usnadňují a zrychlují obsluhu simulačních programů širšímu okruhu osob.

I výzkum řešený v rámci projektu GAČR má praktický přínos. Firmám dává návody na řízení na sebe navazujících procesů, ať externích či interních. Životaschopnost tohoto řešení byla také prokázána v jedné případové studii.

Výstupy práce by zejména měly ukázat, co firmy vede k využívání anebo naopak nevyužívání simulací a zda mohou být simulace prospěšné.

ZÁVĚR

V době, kdy se požadavky zákazníků mění velmi často a rychle, je počítačová simulace rychlým zdrojem informace o pravděpodobném průběhu výroby a možnosti uspokojení zákazníka. V samotné simulaci můžeme poměrně snadno měnit vstupní prvky, přidávat obsluhu, atp., což nám umožňuje pružnou reakci na požadavky zákazníka např. v případě aktuálně nedostatečné kapacity a velmi rychle vidíme důsledky svých rozhodnutí.

Předkládaná disertační práce se zabývá tématikou počítačových simulací. Hlavní výsledky disertační práce stojí na třech pilířích. Jedná se o dotazníkové šetření na téma využití simulací v českých výrobních podnicích, výzkum realizovaný v projektu GAČR402/08H051 s názvem *Optimalizace multidisciplinárního navrhování a modelování výrobního systému virtuálních firem* a případové studie provedené v reálných podmínkách českých firem.

Počítačové simulace nejsou novou metodou v řízení a optimalizacích výrob a to ani v České republice. Přesto během mnoha rozhovorů s lidmi z podniků jsem zjistil, že není příliš využívaná. Cílem této disertační práce bylo zjistit rozšíření simulačních programů, analyzovat jejich výhody a nevýhody a poskytnout firmám užitečnou pomůcku pro snazší orientaci v odvětví simulací. Zda jsou pro ně simulace výhodné, co jim mohou poskytnout anebo naopak jejich nedostatky a podmínky nutné k jejich nasazení.

Jedním ze tří pilířů disertace je dotazníkový průzkum. Ve své kvantitativní části umožnil získat přehled o využití simulací v podnicích, kdy bylo zjištěno využití simulací u 4% podniků. Toto číslo ukazuje na užitečnost předkládané práce, kdy rozšíření simulací není veliké a také, jak ukázal průzkum kvalitativní, informovanost firem o možnostech simulací není dostatečná.

Důležitou částí tedy je především kvalitativní část výzkumu, která jednak analyzovala u podniků simulace nevyužívajících jejich důvody k tomuto rozhodnutí vedoucí, tak také u firem simulace používajících naopak důvody, které je vedou k využití simulací. Pro firmy bez simulací se v mnou provedeném šetření jako zásadní ukázala především cena licencí zmiňovaná téměř všemi respondenty (při přibližných cenách cca 0,7 mil Kč za WITNESS a 1,1 mil Kč za Plant Simulation toto nepovažuji za překvapivé). Avšak také nedostatek kvalifikovaných pracovníků pro jejich obsluhu. Přitom u odpovědí na otázku nedostatků programů je nejčastější odpovědí nevědomost (očekávatelné, jelikož firmy často programy podrobně neznají) a přílišná náročnost na zpracování modelů.

V další části průzkumu jsem se naopak obrátil na firmy, které simulace využívají. Zde jako klíčové zjištění považuji, že všichni oslovení se vyjádřili

shodně - simulace jsou pro jejich společnost přínosem. Někteří dokonce uvádějí simulace jako již nezbytný předpoklad úspěšného fungování jejich výrobního systému. Přes tyto kladné stránky však ve shodě s firmami simulace nepoužívajícími uvádějí jako negativa cenu licence a složitost obsluhy. Toto považuji za důležité zjištění, jelikož se jedná o firmy, které již znají možnosti programů, protože s nimi pracují.

Pro detailnější možnosti demonstrace simulačních programů jsem provedl několik případových studií v českých podnicích. Do počítačového programu jsem převedl výrobní systémy reálných firem a bylo s nimi experimentováno vždy v souladu se zadáním projektu. Zejména v některých studiích se ukázaly kvalitní přínosy optimalizace pomocí simulací, kdy se v poměrně krátkém čase a bez jakéhokoliv omezení výroby daly vyhodnocovat dopady změn, které bychom v těchto systémech provedli. Jedna ze studií také ukazuje v praxi využitý výzkum GAČR.

Právě tento výzkum (GAČR) je v době outsourcingu mnoha služeb a zeštíhlování firem důležitou součástí disertační práce. V rámci výzkumu navrhuji řešení, které významným způsobem zrychlují výměnu dat mezi modely (dosaženy úspory kolem 99% času simulace) a případnou flexibilní záměnu dodavatele tak, aby výsledky byly k dispozici v co nejkratším čase a mohlo být zvoleno optimální řešení uspokojení objednávky zákazníka. Výzkum jsem zaměřil primárně na externí zákazníky procesů, avšak byla představena řešení vhodná i pro interní zákazníky procesů. Důležitou částí je také navržená (do značné míry univerzální) metodika pro výměnu dat mezi různými programy, jelikož ne každý využívá stejný simulační software.

Ačkoliv by se mohlo zdát, že simulace je zde již dlouho, stále stojí spíše na začátku. Při mnoha rozhovorech ve firmách jsem zjistil, že nejsou simulace příliš rozšířeny a také jsem slýchal stále stejné důvody, proč je nepoužívají. Tyto následně potvrdilo i dotazníkové šetření. Jedná se o příliš vysokou cenu licencí a nedostatek kvalifikované obsluhy spojený s velkou složitostí programů. Zároveň však vyplynuly jasně pozitivní zkušenosti těch, co již simulace využívají.

Co tedy udělat pro zvýšení popularity simulací? A je vůbec vhodné popularitu zvyšovat?

Pro výrobce je patrné, že cena je pro mnoho uživatelů příliš vysoká a proto snížení ceny licencí by mělo pozitivní efekt na odbyt. Zároveň je třeba dbát na uživatelsky přívětivou obsluhu, tak aby programy mohli obsluhovat i jiní, než IT specialisté. Zejména průmysloví inženýři a další optimalizátoři výrob - ti totiž umí získat v realitě potřebná data.

Z pohledu uživatelů je zřejmé, že by jim pomohlo více kvalitních odborníků na zpracování modelů a především více informací o možnostech těchto programů, mohou například zvolit pilotní projekty ve spolupráci s konzultačními společnostmi, kde se přesvědčí o užitečnosti simulací pro jejich podnik.

A je tedy simulace vůbec dobrou metodou? Je vhodné zvyšovat jejich popularitu? Když je její rozšíření poměrně malé a ceny vysoké? Odpovědí na tento dotaz jsou jasně pozitivní zkušenosti těch, co simulace již využívají. Ano, tyto programy své uplatnění najdou. Nikoliv jako nástroj pro všechno, který za nás rozhodne a přinese nám zaručený úspěch, ale jako podpora kreativního lidského myšlení pomocí brutální výpočetní síly počítače. Nástroj, který v případě adekvátního použití poskytne kvalitní základy potřebné pro prosperitu firmy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] NOVÁK, I. Modelování vícestrojové obsluhy SVOČ 2009. In *Sborník příspěvků SVOČ 2009.* Zlín*:* UTB. ISBN 978-80-7318-842-9

[2] Abdullah, F.*Lean Manufacturing*, [online]. 2003, [cit. 2011-05-10].

Dostupné na www: < http://etd.library.pitt.edu/ETD/available/etd-05282003-114851/unrestricted/Abdullah.pdf >

[3] BOBÁK, R, ŽŮREK, R. *Prezentační materiály předmětu PIN*, [online]. 2008 [cit. 2009–01–18] Dostupný z WWW: <http://pin.upi.utb.cz/>

[4] BROŽOVÁ, O. *Co je výzkum trhu.* [online]. 2007 [cit. 2010-12-25]. Dostupné z WWW <http://3pol.cz/514-co-je-vyzkum-trhu>

[5] Český statistický úřad. *Produktivita*. [online]. 2011 [cit. 2011-05-03] Dostupný z WWW: <http://apl.czso.cz/ode/tab/tsieb040.htm/>

[6] DANĚK, J.: *Využití simulace jako inženýrského nástroje během životního cyklu výrobků a procesů*. [online]. 2002 [cit.2009-05-09]. Dostupné z WWW: <http://www2.humusoft.cz/www/pub/witness/ppt/inovacia2002/sld004.htm>

[7] DANĚK, J.: *Využití simulace procesů v automobilovém průmyslu.* [online]. [cit.2010-12-05]. Dostupné z WWW: <http://www.humusoft.cz/old/pub/witness/trna0510/trna0510.pdf>

[8] DEBNÁR, P. *Základní stavební kameny a principy štíhlého podniku* [online]. 2009 [cit. 2011-05-02]. 2009, Dostupné na www: <http://www.businessinfo.cz/cz/clanek/management-msp/stavebnikameny-principy-stihly-podnik/1001663/52880/>.

[9] DLOUHÝ, M, FÁBRY, J, KUNCOVÁ, M, HLADÍK, T. *Simulace podnikových procesů*. Brno: Computer Press, 2007. 202 s. ISBN 978-80-251-1649-4

[10] FISHER, R. A, *On the Interpretation of χ^2 from Contingency Tables, and the Calculation of P.* [online]. [cit. 2011-12-3]. Dostupné z WWW< http://www.jstor.org/stable/2340521>

[11] GILL, J., JOHNSON, P. *Research Metods for Managers*. London: Paul Chapman Publishing, 1991. ISBN 1-85396-119-1

[12] HABR, J. *Systémová analýza a syntéza: zdokonalování a projektování systémů.* 2. přepracované vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1996. 316 s. ISBN 80-7214-274-8

[13] HENYCH, M. *Analýza, syntéza a management*. [online]. 2007 [cit. 2010-12-25]. Dostupné z WWW <http://www.tcbs.cz/weblog/analyza-synteza-a-management>

[14] KILPATRICK, J. *Lean Principles*. Utah: Manufacturing Extension Partnership, 2003.

[15] KOŠTURIAK, J., GREGOR, M., HALUŠKOVÁ, M. *Systémové inžinierstvo a projektovanie výrobných systémov*. Blaha, Žilina, 1997. ISBN 80-966996-8-7

[16] KOŠTURIAK, J. *Projektování flexibilních výrobních systémů.* [online] 2008 [cit. 2011-05-02]. Dostupné z WWW <http://img.ihned.cz/attachment.php/810/14498810/U7m1swIh9bMJG5z4l3VrApTySR0noLKt/Lo14a.jpg>

[17] KOŠTURIAK, J., FROLÍK, Z. A kol. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, s.r.o, 2006. 237 s. ISBN 80-86851-38-9.

[18] KOŠTURIAK, J., GREGOR, M. *Podnik v roce 2001 – revoluce v podnikové kultuře.* Praha: Grada, 1993. ISBN 80-7169-803-1.

[19] KOŠTURIAK, J. Quo Vadis Lean? *Moderní řízení.* 2005, roč. XL, č.9, Praha: Economia, s. 34-38. ISSN 0026-8720.

[20] KOŠTURIAK, J. *Prínosy štíhleho podniku* [online]. [cit. 2011-05-03]. Dostupné na www: <http://www.ipaslovakia.sk/Default.aspx?id=16&sub_id=333&pos=1>.

[21] KOŠTURIAK, J. *Čo je štíhly podnik?* [online]. [cit. 2011-05-05. Dostupné na www: <http://www.ipaslovakia.sk/Default.aspx?id=16&sub_id=0&pos=1>

[22] KOŠTURIAK, J. A KOL. *Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie.* TU Žilina, 2000. ISBN 8071005533, 9788071005537

[23] KŘIVÝ, I, KINDLER, E. *Simulace a modelování*. [online] 2001 [cit. 2010-12-02] Dostupný z WWW <http://prf.osu.cz/kip/dokumenty/Msm.pdf>

[24] *Kvalitativní výzkum*. [online]. [cit. 2010-12-25]. Dostupné z WWW <http://www.gfk.cz/marketing_solutions/qualitative_research/index.cz.html>

[25] KUMAR, S, NOTTESTAD, D, MACKLIN, J. A PROFIT AND LOSS ANALYSIS FOR MAKE-TO-ORDER VERSUS MAKE-TO-STOCK POLICY—A SUPPLY CHAIN CASE STUDY. *Engineering Economist*. 2007, vol. 52, no. 2 s. 141-156. ISSN0013-791X

[26] KYSEĽ, M.; DEBNÁR, P.: Ako efektívne mapovať hodnotový tok v podniku. In: *Medzinárodná študentská konferencia "Inovácie a produktivita" 2004*, Horný Smokovec, október 2004, s. 143-155, ISSN - 1335 – 1745

[27] KYSEĽ, M., VIŠŇANSKÝ, M. Štíhlá výroba – Štíhle dielenské riadenie – finálny krok štíhlej výroby. *Úspěch: produktivita a inovace v souvislostech.* 2007, roč. 1, č. 1, Slaný: API – Akademie produktivity a inovací s.r.o., s. 7-12

[28] KYSEĽ, M. Štíhlá výroba – štíhle fielenské riadenie – finálný krok štíhlej výroby. *Úspěch, produktivita a inovace v souvislostech.* 2007. 1. ročník, č. 1. s. 6-12.

[29] KYSEĽ, M. *Čo je štíhla výroba?*. [online]. [cit. 2011-05-05]. Dostupné na www: <http://www.ipaslovakia.sk/Default.aspx?id=26&sub_id=0&pos=1>

[30]LASSALLE, S; WANG, Q; OWEN, GW; MILEHAM, AR. A Study of In-process Waiting Time on a Linear Walking Worker Assembly Line. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-journal of Engineering Manufacture*. 2007, vol. 221, no. 12 s. 1763-1770. ISSN: 0954-4054.

[31] Leeder, E., Ulrych, Z., Bureš, M., Černý, Z., Roubal, J.: *Digitální fabrika – softwarové produkty pro oblast digitální fabriky*. Sborník konference PI 2006, Plzeň 2006

[32] MANLIG, F. *Počítačová simulace diskrétních událostí* [online]. 1999 [cit. 2010- 11-14]. Dostupný z WWW: <http://www.humusoft.cz/old/pub/witness/9910/manlig.htm>

[33] MEŠKO, D, KATUŠČÁK, D, FINDRA, J, a kol. *Akademická příručka.* České. vyd. Osveta – Banská Bystrica, 2006. 481 s. ISBN 80-8063-219-7

[34] MAŠÍN, I., STANĚK, M., VYTLAČIL, M. *Podnik světové třídy (Geneze produktivity a kvality)*. 1.vyd. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 1997. 276 s. ISBN 80-902235-1-6.

[35] MAŠÍN, I. VYTLAČIL. M. *Nové cesty k vyšší produktivitě*. 1. vyd. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2000. 311 s. ISBN 80-902235-6-7

[36] MAŠÍN, I. *Výkladový slovník průmyslového inženýrství a štíhlé výroby*. 1. vyd. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2005. 99 s. ISBN 80-903533-1-2

[37] *Mezinárodní konference WITNESS 2009 a 2010*. [online].[cit. 2011-05-05] Dostupný z WWW: <http://www.humusoft.cz/archiv/konference/witness/>

[38] NOSEK, V, a kol. *Malá encyklopedie vědecké řízení II. díl*. 1. vyd. Praha – Naše vojsko, 1976. 300 s. 28-108-76.02/96

[39] NOSEK, V, a kol. *Malá encyklopedie vědecké řízení I. díl*. 1. vyd. Praha – Naše vojsko, 1976. 366 s. 28-107-76.02/96

[40] OHNO, T. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production.* 1. ed. Portland: Productivity Press, 1988. 152 p. ISBN 0-915299-14-3.

[41] Ostroj. *CNC Stroj*. [online]. [cit. 2011-05-04] Dostupný z WWW: < http://www.ostroj.cz/cs/f/ostroj_cs/o/CNC_freza.jpg>

[42] PIXA, V. Co je štíhlý podnik? *Úspěch: produktivita a inovace v souvislostech.* 2007, roč. 1, č. 3, Slaný: API – Akademie produktivity a inovací s.r.o., s. 30

[43] Plant Simulation [online]. [cit. 2010-12-05]. Dostupné z WWW: <http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/tecnomatix/plant_design/plant_simulation.shtml>

[44] POPOVOVA, L. *Mikroekonomie – strana nabídky*. [online]. 2004 [cit.2010-12-02]. Dostupné z WWW: <http://lwella.sweb.cz/mikro2.doc>

[45]PRZYBYLSKI, L. *Industrial simulators – instrument for decision support (modeling in Witness software)*. [online]. 2008 [cit. 2011-03-13]. WWW: http://is.muni.cz/th/100100/esf_m/Diplomova_prace.pdf

[46]SILHANEK, J. *SIMULACNI METODY JAKO NASTROJ ROZHODOVANI MODELOVANI POMOCI PROGRAMU WITNESS.* [online]. 2007 [cit. 2011-03-13]. WWW: http://is.muni.cz/th/137556/esf_m/DP_-_Silhanek_Jiri.pdf

[47] STENCZEL, J. *Vědecké metody řešení problémů*. [online]. [cit. 2010-12-25]. Dostupné z WWW <http://www.quido.cz/vedec.htm>

[48] STRAUSS, A., CORBINOVÁ, J. *Základy kvantitativního výzkumu*. Boskovice: Nakladatelství Albert, 1999. 196 s. ISBN 80-85834-60-X

[49] TUČEK, D., BOBÁK, R. *Výrobní systémy*. 2. vyd., upr. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. 298 s. ISBN 80-7318-381-1.

[50] PSTRUŽINA, K. *Analýza a syntéza.* [online]. [cit. 2010-12-25]. Dostupné z WWW <http://nb.vse.cz/kfil/win/atlas1/analyza.htm>

[51] PSTRUŽINA, K. *Indukce a dedukce.* [online]. [cit. 2010-12-25]. Dostupné z WWW <http://nb.vse.cz/kfil/win/atlas1/indukce.htm>

[52] VYTLAČIL, M., MAŠÍN, I. *Dynamické zlepšování procesů - Programy a metody pro eliminaci plýtvání*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství Liberec, 1999, 247 s. ISBN 80-902235-3-2.

[53] VYTLAČIL, M., MAŠÍN, I. *Cesty k vyšší produktivitě. Strategie založená na průmyslovém inženýrství.* 1. vyd. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 1996. 247 s. ISBN 80-902235-0-8

[54] WIKIPEDIA. *Analýza*. [online]. [cit. 2010-12-25]. Dostupné z WWW <http://cs.wikipedia.org/wiki/Anal%C3%BDza>

[55] WOMACK, J. P., JONES, D. T. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation.* London: Simon Schuster UK Ltd., 2003. 352 s. ISBN 0684819767.

SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

[1] NOVÁK, I. Analýza a návrh zlepšení dostupnosti informací o studiu pro studenty Fakulty managementu a ekonomiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. *In: Sborník abstraktů SVOČ 2008*. ISBN 978-80-7318-709-5

[2] NOVÁK, I. Modelování vícestrojové obsluhy. *In: Sborník abstraktů SVOČ 2009.* ISBN 978-80-7318-842-9

[3] NOVÁK, I. Analýza a návrh zlepšení dostupnosti informací o studiu pro studenty Fakulty managementu a ekonomiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. *In: Sborník abstraktů Setkání kateder průmyslového inženýrství 08*. ISBN 978-80-7318-769-9

[4] NOVÁK, I. Využití simulačních modelů k řízení výroby. *In: Sborník abstraktů Ekonomické znalosti pro tržní praxi*. ISBN 978-80-87273-02-9

[5] NOVÁK, I. Využití distribucí v simulačních modelech. *In: Sborník abstraktů Modelování a optimalizace podnikových procesů 2009*. ISBN je 978-80-7043-844-2

[6] NOVÁK, I. PAVELKA, M. Využití simulace v hodnocení výrobních procesů. *In: Časopis Úspěch*. Želevčice, Slaný. 2009. ISSN 1803-5183.

[7] NOVÁK, I. Modelování, simulace, optimalizace využitím software WITNESS. *In: Sborník příspěvků*. Ostrava VŠB-TUO. 2010. ISBN 978-80-248-2194-8.

[8] NOVÁK, I. Čerstvý vítr ve vedení lidí. In*: Sborník příspěvků Mezinárodní Baťova konference.* Zlín. 2010. ISBN 978-80-7318-922-8.

[9] FERENČÍKOVÁ, D, NOVÁK, I. Position of computer modeling and simulation in supply chain management. *In: Sborník příspěvků Invent 2010*. Žilina. 2010. ISBN 978-80-89401-12-3.

[10] NOVÁK, I. Computer Simulations in Lean World. *In: Sborník příspěvků 14th IBIMA.* Istanbul, Turkey. 2010. ISBN 978-0-9821489-3-8.

[11] NOVÁK, I. Production Process Optimization Using Computer Simulations. *In: Sborník příspěvků 15th IBIMA*. Kahira, Egypt. 2010. ISBN 978-0-9821489-4-5.

[12] NOVÁK, I. TVORBA KURZU POČÍTAČOVÝCH SIMULACÍ NA UNIVERZITĚ TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ. In: *Sborník příspěvků Modelování, simulace a optimalizace podnikových procesů v praxi*. Zlín, 2011, ISBN 978-80-260-0023-5

[13] NOVÁK, I. Možností výměny dat mezi modely v simulačním nástroji Plant Simulation. In: *Sborník příspěvků MOPP 2011*. Plzeň, 2011, ISBN 978-80-261-0060-7.

[14] NOVÁK, I. Efficient communication between simulation models of manufacturing systems. In: *Sborník příspěvků 16th IBIMA*. Kuala Lumpur, Malaysia, 2011, ISBN 978-0-9821489-5-2.

[15] NOVÁK, I. Effective interconnection of production system models. In: *Sborník příspěvků 16th IBIMA*. Kuala Lumpur, Malaysia, 2011, ISBN 978-0-9821489-5-2.

[16] NOVÁK, I. Possibilities of data exchange between models of production systems. In: Sborník *příspěvků The 22nd DAAAM International World Symposium. Vienna,* Austria, 2011, ISBN 978-3-901509-83-4.

[17] NOVÁK, I. Witness – an efficient tool for increasing productivity and flexibility. In: *Sborník příspěvků 17th IBIMA*. Milan, Italy, 2011, ISBN 978-0-9821489-6-9.

CURICULLUM VITAE

Osobní údaje

Jméno / Příjmení	Ivo Novák
Adresa	Tyršova 24, Vyškov
Email	INovak@fame.utb.cz
Státní příslušnost	Česká Republika
Datum narození	1. 12. 1982

Vzdělání

Období	1998 - 2002
Dosažená kvalifikace	maturita
Obor	obecné vzdělání
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání	Gymnázium Vyškov

Období	2003 - 2007
Dosažená kvalifikace	Bc.
Obor	Ekonomika a management
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Období	2007 - 2009
Dosažená kvalifikace	Ing.
Obor	Průmyslové inženýrství
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Období	2009 - dosud
Dosažená kvalifikace	doktorský studijní program
Obor	Management a ekonomika
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Další kvalifikace

07/2008	Třítýdenní stáž v Akademie Produktivity a inovací, s.r.o. – Akademie talentů
11/2008 a 02/2009	Třítýdenní stáž v Kovolis Hedvikov, a.s.
12/2009	Cambridgeský certifikát FCE z anglického jazyka
05/2011 - 9/2011	Pětiměsíční stáž v Rompa CZ, s.r.o.

Pracovní zkušenosti

2009 – 2011 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, spoluřešitel projektu GAČR 402/08H051

Práce na projektech

2009 - 2011 GAČR 402/08H051 Optimalizace multidisciplinárního navrhování a modelování výrobního systému virtuálních firem

2010 – dosud Projekt „Consulting point pro rozvoj spolupráce v oblasti řízení inovací a transferu technologií“ OP VK CZ.1.07/2.4.00/12.0094

Jazykové znalosti

Anglický jazyk	pokročilý
Německý jazyk	začátečník

Pedagogická činnost

- Vedení a oponentura diplomových prací.
- Vedení práce SVOČ.
- Komplexní zajištění přednášek a cvičení předmětu Úvod do počítačových simulací
- Komplexní zajištění cvičení předmětu Průmyslové inženýrství – nástroj managementu
- Participace na přednáškách a cvičení předmětu Základy podnikové informatiky – výuka počítačových simulací
- Participace na cvičení předmětu Management kvality – výuka v software pro řízení kvality
- Participace na cvičení předmětu Výrobní systémy

PŘÍLOHY

Příloha A: DVD s výtahy závěrečných zpráv projektu GAČR 402/08H051 Optimalizace multidisciplinárního navrhování a modelování výrobního systému virtuálních firem.

Příloha B: DVD se vzorem dotazníků.