

# **Projekt implementace dynamického modelování jako nástroj pro rozhodování a optimalizaci procesů sů ve výrobním podniku KOVOS, spol. s r. o.**

Bc. Michal Havelka

---

Diplomová práce  
2010

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta managementu a ekonomiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta managementu a ekonomiky  
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů  
akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal HAVELKA**  
Osobní číslo: **M08529**  
Studijní program: **N 6208 Ekonomika a management**  
Studijní obor: **Průmyslové inženýrství**

Téma práce: **Projekt implementace dynamického modelování jako nástroj pro rozhodování a optimalizaci procesů ve výrobním podniku KOVOS, spol. s r. o.**

Zásady pro vypracování:

Úvod

### I. Teoretická část

- Zpracujte literární rešerši se zaměřením na vybranou oblast problematiky a formulujte teoretická východiska pro zpracování analýzy a návrhu projektu.

### II. Praktická část

- Proveďte analýzu současného stavu výrobních procesů na vybraném pracovišti ve výrobním podniku KOVOS spol. s r. o.
- Proveďte analýzu současného stavu materiálového toku pomocí typového reprezentanta.
- Zhodnoťte výsledky analýzy a navrhněte východiska řešení.
- Aplikujte ideový záměr dynamického modelování u vybraných procesů.
- Propracujte projektové řešení vybraného prvku ideového záměru a vyhodnoťte přínosy daného řešení.

Závěr

Rozsah diplomové práce: cca 70 stran  
Rozsah příloh:  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] ČERNÝ, J. Úvod do studia metod průmyslového inženýrství a systémů služeb. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2004. 80 s. ISBN 80-7318-227-0.  
[2] KOŠTURIÁK, J. GREGOR, M. MIČIETA, B. MATUSZEK, J. Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie. Žilina: EDIS, 2000. ISBN 80-7100-553-3.  
[3] TUČEK, D., BOBÁK, R. Výrobní systémy. 2. upr. vyd. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. 298 s. ISBN 80-7318-381-1.  
[4] VOTAVA, V., et al. Simulation Potential in Processes of Knowledge and Skills Obtaining. ICSEE'02 Proceedings, San Antonio, Texas (USA). ISBN/1-56555-243-1.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaromír Černý, Ph.D.  
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů  
Datum zadání diplomové práce: 29. března 2010  
Termín odevzdání diplomové práce: 3. května 2010

Ve Zlíně dne 29. března 2010

  
doc. Dr. Ing. Drahomíra Pavelková  
děkanka



  
doc. Ing. Roman Bobák, Ph.D.  
ředitel ústavu

# PROHLÁŠENÍ AUTORA

## BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3<sup>2)</sup>;
- podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci - nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům.

Ve Zlíně: .....

.....

1) zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47b Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

2) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

3) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá problematikou modelování, simulování, optimalizování a experimentování výroby gabionových košů. Tyto pokročilé metody jsou aplikovány na skutečných pracovištích a procesech, které na daných pracovištích probíhají, ve výrobním podniku KOVOS, spol. s r. o. za podpory britského softwarového produktu WITNESS.

Klíčová slova: výroba, průmyslové inženýrství, proces, model, systém, layout, simulace, optimalizace, experimentování, WITNESS

## **ABSTRACT**

This work deals with modeling dilemma, simulation, optimization and experimentation of gabion production. These advanced methods are applied to real workplaces and processes which proceed in KOVOS company, Ltd supported by British software product WITNESS.

Keywords: production, industrial engineering, process, model, system, layout, simulation, optimization, experimentation, WITNESS

Chtěl bych tímto poděkovat panu Oldřichu Petrovi a panu Petru Rakovi, jednatelům společnosti, že jsem mohl ve společnosti KOVOS, spol. s r. o. vykonávat svoji diplomovou práci a že mi byla poskytnuta cenná data, jenž mi byla stavebním kamenem pro potřeby této práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jaromíru Černému, Ph.D. za vedení a odborné rady, které mi poskytl při psaní diplomové práce.

Zvláštní poděkování patří Ing. Romanu Žůrkovi za odborné rady z oblasti tvorby a nastavování simulačního modelu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>12</b>
<b>1 PRŮMYSLOVÉ INŽENÝRSTVÍ A PROCESNÍ POJETÍ.....</b>	<b>13</b>
1.1 PROCESNÍ ORIENTACE ORGANIZACÍ.....	13
1.1.1 Důvody zlepšování podnikových procesů .....	14
1.2 VŠEOBECNÝ POSTUP K ÚSPĚCHU ORGANIZACE.....	14
1.3 VYBRANÉ METODY A PŘÍSTUPY PRŮMYSLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ .....	15
1.3.1 Teorie omezení.....	15
1.3.2 Počítačová simulace .....	16
1.3.3 Analýza materiálového toku .....	16
1.4 USPOŘADÁNÍ PRACOVISTĚ VE VÝROBĚ.....	16
1.4.1 Klasické uspořádání pracoviště.....	17
1.4.1.1 Individuální uspořádání .....	17
1.4.1.2 Skupinové uspořádání.....	17
1.4.1.3 Pohyblivé uspořádání.....	17
1.4.2 Modulární uspořádání pracoviště.....	18
<b>2 POČÍTAČOVÁ PODPORA.....</b>	<b>19</b>
2.1 POČÍTAČOVÁ SIMULACE .....	19
2.1.1.1 Používané charakteristiky .....	22
2.1.2 Definice systému .....	22
2.1.3 Definice modelu .....	24
2.1.4 Definice modelování .....	26
2.1.5 Ověření správnosti modelu - validizace .....	28
2.1.6 Ověření platnosti modelu - verifikace.....	28
2.1.7 Experimentování .....	28
2.2 SOFTWAREOVÁ PODPORA.....	29
2.2.1 WITNESS .....	30
2.2.1.1 Pracovní prostředí .....	31
2.2.1.2 Nejčastěji používané elementy .....	32
2.2.1.3 Modul Scenario Manager.....	33
2.2.1.4 Modul Optimizer.....	33
2.2.1.5 Modul WITNESS VR.....	34
2.2.1.6 Mantra 4D .....	34
2.2.2 Google SketchUp .....	35
2.2.3 Microsoft Excel.....	36
2.3 VHODNÉ SOUČASNÉ ŘEŠENÍ.....	37
2.4 NEJLEPŠÍ SOUČASNÉ ŘEŠENÍ.....	37



<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>39</b>
<b>3 O SPOLEČNOSTI .....</b>	<b>40</b>
3.1 VÝROBKOVÉ PORTFOLIO SPOLEČNOSTI .....	40
3.2 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE .....	41
3.3 PRÁVNÍ ÚDAJE .....	41
<b>4 ANALÝZA SOUČASNÉ SITUACE.....</b>	<b>42</b>
4.1 VÝBĚR TYPOVÉHO REPREZENTANTA .....	42
4.2 PŮDORYS SPOLEČNOSTI.....	43
4.3 LAYOUT PRACOVÍŠTĚ TYPOVÉHO REPREZENTANTA.....	44
4.4 VÝROBNÍ POSTUP TYPOVÉHO REPREZENTANTA.....	47
4.5 ANALÝZA PRACOVNÍ DOBY .....	48
4.6 MATERIÁLOVÝ TOK TYPOVÉHO REPREZENTANTA .....	49
<b>PROJEKTOVÁ ČÁST .....</b>	<b>50</b>
<b>5 VYMEZENÍ PROJEKTU .....</b>	<b>51</b>
<b>6 NÁVRH PROJEKTOVÉHO ŘEŠENÍ V PROGRAMU WITNESS.....</b>	<b>52</b>
6.1 VYTVOŘENÍ SOUČASNÉHO LAYOUTU ANALYZOVANÝCH PRACOVÍŠŤ.....	52
6.2 IMPORT LAYOUTU A NASTAVENÍ JEDNOTEK.....	52
6.3 VYNESENÍ POTŘEBNÝCH ELEMENTŮ.....	53
6.4 NASTAVENÍ STROJŮ .....	55
6.5 NASTAVENÍ CEST.....	55
6.6 LOGIKA CELÉHO MODELU.....	56
<b>7 SIMULACE, OPTIMALIZACE A EXPERIMENTOVÁNÍ S MODELEM V PROGRAMU WITNESS.....</b>	<b>58</b>
7.1 SIMULACE AKTUÁLNÍHO MODELU .....	58
7.2 OPTIMALIZACE AKTUÁLNÍHO MODELU .....	66
7.3 EXPERIMENTOVÁNÍ S MODELEM.....	76
7.3.1 Experiment č.1 .....	76
7.3.2 Experiment č. 2 .....	79
7.3.3 Experiment č. 3 .....	80
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>83</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>86</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>89</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>90</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>92</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>94</b>

## ÚVOD

V oboru, jakým je průmyslové inženýrství, došlo díky rozmachu výpočetní techniky k dynamickému rozvoji softwarových produktů, které jsou schopny fungovat jako základna právě pro vybrané metody průmyslového inženýrství a jsou proto velmi cenným pomocníkem při analýze, řízení, projektování nebo samotné výroby aj.

Bez takovéto podpory by bylo velmi složité řídit a organizovat nejenom jednotky systému, ale také procesy či skupiny procesů, které v systému probíhají. Identifikací, klasifikací a hodnocením těchto procesů lze dosáhnout vytvoření základní stavební jednotky pro výchozí situaci. Následnou implementací metod průmyslového inženýrství za podpory výpočetní techniky se můžeme od výchozího stavu odrazit a začít zlepšovat procesy, snižovat náklady, zvyšovat produktivitu apod., což má za následek eliminaci veškerého plýtvání a soubor těchto komplexních činností se projeví v konečném důsledku jako efektivnější fungování celého systému.

Takovéto potřeby jsou v dnešní době nezbytné pro přežití a konkurenceschopnost. Tuto skutečnost si uvědomuje i společnost KOVOS, spol. s r. o., respektive její majitelé a jednatele, kteří se od roku 2009 snaží metody průmyslového inženýrství úspěšně implementovat. Následkem globální finanční krize a čím dál tím více otevřenému trhu, kdy import ze zahraničí začíná zaplavovat tuzemský trh, se stává více obtížnější udržet si tržní postavení ve výrobní oblasti. Jednou ze strategií společnosti je omezení jakéhokoliv plýtvání nejen ve výrobě, ale i na nevýrobních pracovištích, a radikální zlepšování procesů a pak jejich následné kontinuální zlepšování, čehož by mělo být dosaženo právě implementací vybraných metod průmyslového inženýrství.

Společnost KOVOS, spol. s r. o. byla založena v roce 1991 panem Oldřichem Petrem a panem Petrem Rakem a zabývá se výrobou tzv. drátěného programu, kdy předmětem výroby jsou např. transportní palety, ploty a plotové díly, koše a prodejní stojany, zahradní nábytek, nerezové produkty aj. Sídlo společnosti se nachází ve Slavičíně nedaleko okresního města Zlín. Společnost mimo jiné vlastní svoji práškovou lakovnu, která je schopna zabezpečit povrchovou úpravu. Jako samozřejmostí je vlastnictví certifikátu ČSN EN ISO 9001:2009. V současné době pracuje ve společnosti cca 30 zaměstnanců.

Implementace dynamického modelování softwarového produktu WITNESS britské společnosti Lanner Group Ltd je moderním nástrojem pro řízení a optimalizaci procesů v organizaci. Tento produkt je také velmi užitečný při projektování výroby či zavádění změn

v organizaci. Pomocí dalších modulů může dojít k vytvoření scénářů jednotlivých řešení za možnosti sledování vybraných ukazatelů, kterou mohou být klíčové při výběru vhodné varianty.

V této diplomové práci je zaměřen zřetel na výrobní oblast, produkci gabionových košů, kde v projektové části je využito právě produktu WITNESS a jeho modulů, na kterém stojí celá projektová část. Tato část práce navazuje na předešlé analytické poznatky praktické části. Obě tyto části reflektují teoretickou základnu první části celé diplomové práce, kterou je teoretická část.

Diplomová práce bude sloužit managementu společnosti jako podklad pro budoucí rozhodování v rámci nové výrobní strategie. Vzhledem k povaze této práce nebude ekonomické hledisko výsledků vykalkulováno, ale pouze naznačeno.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 PRŮMYSLOVÉ INŽENÝRSTVÍ A PROCESNÍ POJETÍ

Obecně vzato, metod průmyslového inženýrství je poměrně hodně, avšak ne každá metoda je vhodná pro danou problematiku či řešení určité specifické situace. Velmi záleží, jaký typ problému řešíme a hlavně pak na povaze organizace, která je předmětem aplikace. Na určitý problém nemusíme vztahovat vždy jen jednu metodu, naopak je vhodné aplikovat několik metod a dosáhnout tak synergie díky takovému sledu aplikací.

Metody průmyslového inženýrství se začali aplikovat převážně ve výrobních organizacích jako důsledek nízké produktivity, různých forem plýtvání a vysokých nákladů. V dnešní době se tyto metody s úspěchem implementují i do oblasti služeb, zdravotnictví a obchodu.

### 1.1 Procesní orientace organizací

Procesní řízení vzniká jako nová filozofie podnikového managementu a organizace začínají být orientovány na procesy a upadá tak funkční uspořádání. Funkční přístup se zaměřuje na výstupy, což v konečném důsledku znamená orientaci na důsledky, nikoliv však na příčiny. S takovým přístupem pak vzniká problém při hodnocení výsledků, kdy nedochází k odhalení neefektivnosti. [1]

U procesního managementu je přístup opačný, organizace jsou budovány na principu integrace činností do ucelených procesů. Dílčí operace je také nutné sjednotit do ucelených procesů. [1]

Změnu přístupu můžeme vidět hlavně u výrobních organizací. Dříve starý způsob směřoval k výrobě velkého množství produktů, kde rozhodující byl objem a rychlost výroby. Nový způsob by měl preferovat zákazníka, který je klíčový, což vede k pružnosti výroby, jelikož dochází ke stále se měnícím požadavkům z jeho strany. O to se snaží procesní přístup, který se snaží nezaměřovat na výsledky, ale na příčiny. Vychází se z předpokladu, že ke špatným výsledkům vedou špatně probíhající procesy uvnitř organizace. Tyto špatné procesy je nutno přeprojektovat, aby probíhali efektivně a byly odstraněny všechny zbytečné činnosti, které nepřinášejí hodnotu pro zákazníka. Při restrukturalizaci organizace se tedy primárně nezajímáme o snižování nákladů nebo počtu pracovníků, ale o podnikové procesy vedoucí k vytvoření hodnoty pro zákazníka. Tyto přístupy mohou vést buď ke kontinuálnímu zlepšování nebo k radikálnímu zlepšování (reengineering). [1]

### 1.1.1 Důvody zlepšování podnikových procesů

Příčinou nízké produktivity není technologické zaostávání, ale neznalost a nevyužívání moderních metod průmyslového inženýrství. Proto je důležité bojovat hlavně z těchto důvodů:

- snaha udržet se na trhu, proto zlepšujeme vztahy s našimi zákazníky
- zlepšujeme marketingové a obchodní procesy, jejichž výsledkem jsou měnící se požadavky na výrobu
- nové normy, jako je ISO 9000, QS 9000, VDA 6.1 přímo vyžadují znalost metod a aplikaci technik, které vedou ke zlepšení procesů
- konkurence nikdy nespí a zlepšuje své procesy také
- produktivita, náklady, cena, pružnost a čas jsou hlavní konkurenční zbraně [2]

## 1.2 Všeobecný postup k úspěchu organizace

Neexistuje nic jako přesný postup k vytvoření organizace světové třídy, ale existuje několik obecných kroků, které vedou k prosperitě, jak ukazuje následující tabulka.

*Tabulka 1 Všeobecný postup vedoucí k vyšší prosperitě organizace [2]*

Pořadí	Krok
1	Analýza výrobního programu a podnikových procesů a příprava strategie přeměny podniku ve vrcholovém vedení
2	Zjednodušení podnikových procesů, odstranění zbytečných věcí a činností z organizace, zavedení pořádku a standardů
3	Vybudování systému kvality
4	Celopodnikový program identifikace a eliminace plýtvání
5	Program redukce časů na přetypování výrobních zařízení, redukce výrobních dávek
6	Podnikový program redukce zásob
7	Program redukce průběžných časů ve výrobě a přípravě výroby
8	Management úzkých míst a kontinuální proces zlepšování, zavedení prvků TPM (totálně produktivní údržba), Kaizen (kontinuální zlepšování), TOC (filozofie hledání a odstraňování úzkých míst v organizaci)
9	Delegování pravomocí na nižší úrovně a rozvoj autonomních týmů

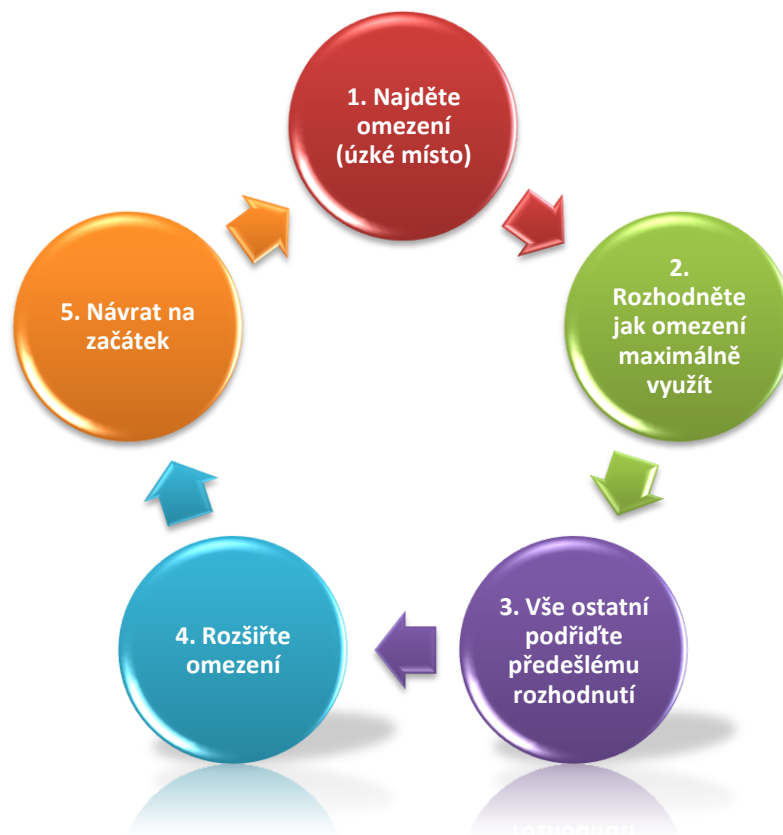
10	Rozvoj tahového systému v podniku i v jeho okolí (vyrábí se to, co zákazník požaduje)
11	Fraktálový podnik založený na autonomních prvcích, které jsou navigované tak, aby optimálně plnily svoje funkce

### 1.3 Vybrané metody a přístupy průmyslového inženýrství

Metod průmyslové inženýrství existuje poměrně hodně, stejně jako přístupů či filozofií k řešení určité problematiky. Zde si uvedeme některé metody a přístupy, které budou navazovat na další částí této práce.

#### 1.3.1 Teorie omezení

Tato filozofie pochází z anglického theory of constraints, odtud zkratka TOC, byla definována v knize the Goal, jejímž autorem je Eliyahu M. Goldratt. Teorie omezení se prvotně zaměřuje na úzká místa ve výrobních systémech, kde se vyskytují nedostatečné kapacity. Tato metoda se snaží o maximalizaci průtoku úzkých místem. Dle Eliyahu M. Goldratta je postup následující:



Obrázek 1 Postup při hledání úzkého místa dle E. Goldratta [4]

Pokud aplikujeme teorii omezení ve výrobní organizaci a to jen ve výrobě, budeme se muset zaměřit na počty, využití a kapacity strojů, zásobníků a operátorů což jsou hlavní faktory, které ovlivňují průtok.

### 1.3.2 Počítačová simulace

Z hlediska metod průmyslového inženýrství se stala počítačová simulace poměrně rozšířenou záležitostí. Tato metoda je velmi vhodná především při výstavbě výrobního systému, jelikož na systém působí velké množství činitelů, které ovlivňují jeho chování a které není možno popsat exaktními matematickými rovnicemi. [2; 17]

Tato metoda se dnes hojně využívá v různých oblastech odvětví, jako může být např. ekonomie, průmysl, zdravotnictví, atd. (*viz kapitola 2.1*). [5; 17]

### 1.3.3 Analýza materiálového toku

Analýza materiálového toku je velmi důležitá při tvorbě layoutu, rozmístování pracovišť či jejich optimalizaci. Slouží k odhalení nákladů, zjišťování přepravních výkonů a pomocí softwarového řešení můžeme dosáhnout optimálního toku materiálu, např. změnou uspořádání pracoviště. Vhodným programem je MatFlow/MatPlan, který spolupracuje s programem AutoCAD od společnosti Autodesk a dále se softwarovým produktem WITNESS.

## 1.4 Uspořádání pracoviště ve výrobě

Jako pracoviště chápeme základní výrobní a organizační jednotku výrobního procesu. Soustavu pracovišť potom nazýváme výrobním úsekem. Zde se vyrábí uzavřený soubor výrobků. Výrobní jednotkou rozumíme spojení více výrobních úseků. Pracoviště můžeme rozdělit na dva typy:

- klasické uspořádání pracoviště
- modulární uspořádání pracoviště [4; 18]



### 1.4.1 Klasické uspořádání pracoviště

Základem z prostorového hlediska ve výrobním procesu je pracoviště, které nám ohraničuje vykonávání určitých pracovních operací. Z tohoto pohledu rozdělujeme uspořádání pracoviště následovně (viz obrázek).



Obrázek 2 Formy klasického uspořádání pracoviště ve výrobě [4; 18]

#### 1.4.1.1 Individuální uspořádání

Ve většině případů se tento typ pracoviště používá u nižších typů výrob, kde se zpravidla neopakují výrobní procesy a celkový počet pracovišť je malý. [4]

#### 1.4.1.2 Skupinové uspořádání

Tento typ pracoviště se využívá již ve složitějších výrobních procesech a při vyšších typech výrob. Pracoviště se dále slučují dle předmětného nebo technologického hlediska nebo kombinací obou typů. [4]

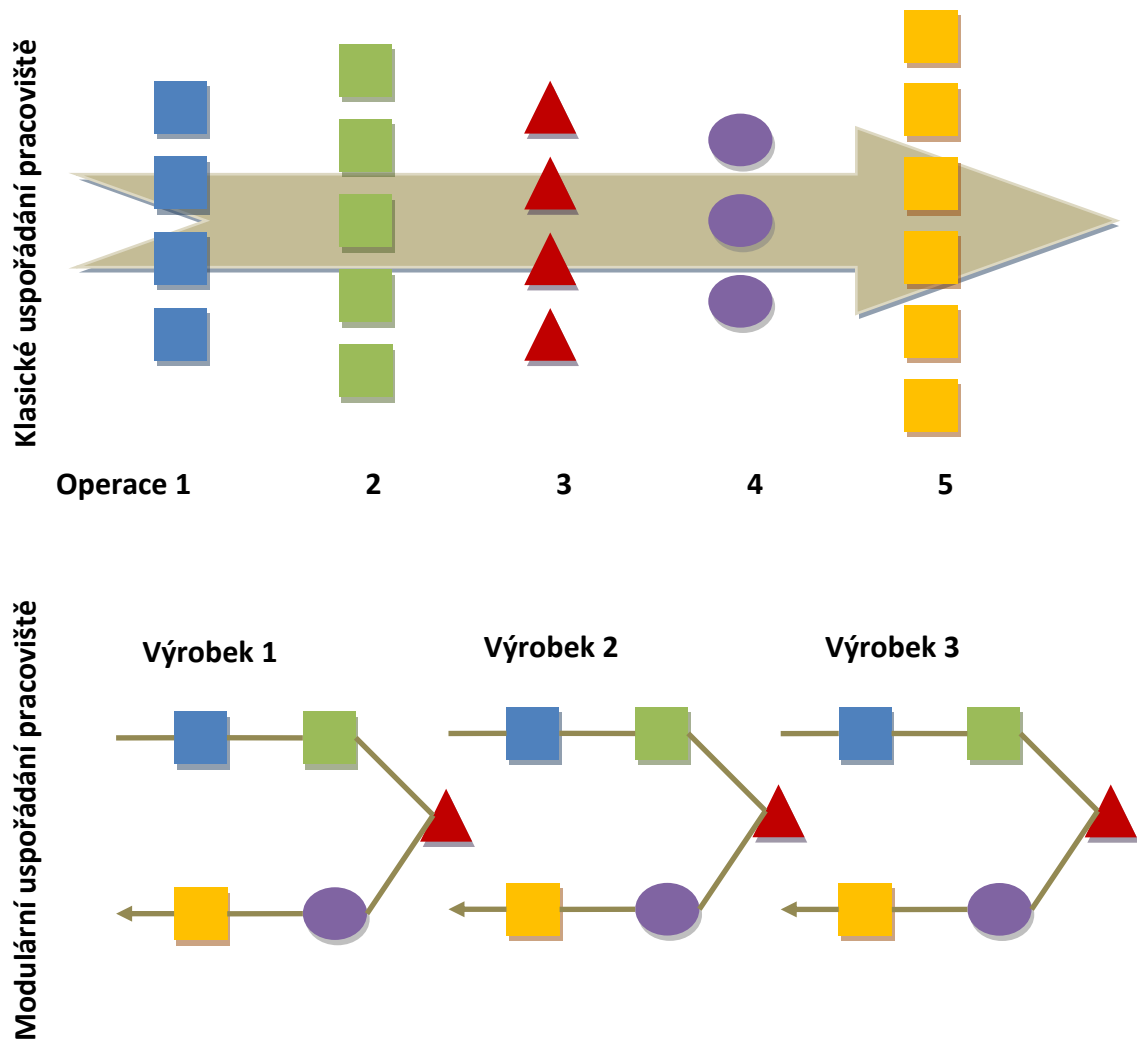
Pokud se jedná o slučování dle technologické příbuznosti výrobních operací nebo shodných technologií, jedná se o technologické uspořádání. Pokud se naopak jedná o uspořádání, kde je seskupení dle charakteru vyráběného předmětu, jedná se o předmětné uspořádání. Toto uspořádání je závislé na technologickém postupu výroby. [4]

#### 1.4.1.3 Pohyblivé uspořádání

Tento typ pracoviště může být taky někdy označován jako pevné uspořádání. Tento typ pracoviště se přizpůsobuje místu vytvoření zakázky. [18]

### 1.4.2 Modulární uspořádání pracoviště

Modulární uspořádání se také nazývá buňkovým uspořádáním. Od klasického uspořádání se liší modulární uspořádání následovně (viz obrázek).



Obrázek 3 Klasické a modulární uspořádání pracovišť [4]

## 2 POČÍTAČOVÁ PODPORA

Informační věk, čili doba, ve které nyní žijeme, přinesl velmi velký rozvoj informačních technologií, díky kterému se stala výpočetní technika široce dostupná a poměrně laciná. To má za následek také rychlý růst softwarové podpory, která se stala v dnešní době nepostradatelnou součástí počítačového vybavení. Tato vlna zasáhla téměř všechny obory a několicí násobně tak zefektivnila původní řešení a usnadnila, zpřehlednila a zrychlila mnohé klíčové procesy.

Z pohledu průmyslového inženýrství to má za následek rozvoj v podobě softwarového řešení v oblastech jako např. dokonalejší mapování procesů, hledání různých alternativ jednotlivých řešení, složité výpočty z oblasti logistiky, simulaci výrobních i nevýrobních procesů, ergonomické řešení až po tzv. digitální továrny.

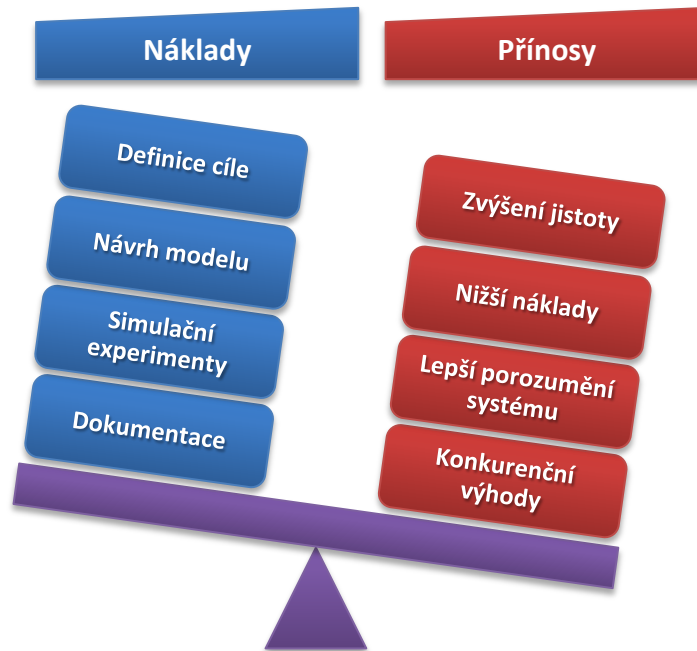
Velkou výhodou softwarového řešení je vysoká míra variability možnosti řešení, kde můžeme vytvořit jednotlivé scénáře řešení, které pak můžeme porovnávat mezi sebou. Další kladným aspektem je velmi rychlé nalezení výsledků při změně ve vstupech nebo výstupech.

### 2.1 Počítačová simulace

Počítačovou simulací rozumíme napodobení či imitování určitých činností systému v průběhu času za využití počítačové techniky. Vývoj chování systému může být zkoumán pomocí simulačního modelu. V oblasti simulací se budeme setkávat s pojmy jako systém, model, modelování, experimentování, optimalizace aj. Simulace odstraňuje nedostatky analytických metod, ale je však mnohem náročnější na čas a je tedy dražší. Touto metodou jsme schopni překonat mnohé okrajové podmínky a omezení analytických modelovacích postupů a její opodstatnění je především v takových případech, kde selhaly ostatní možnosti řešení. [3; 14; 17]

V dnešní době je počítačová simulace v některých odvětvích nepostradatelný nástroj, bez kterého nelze zajistit správnou podporu řízení, a tudíž nedochází ke kvalitním a opodstatněným rozhodnutím, které mají za následek další vývoj společnosti. Počítačová simulace je také nástrojem mnoha poradenských společností. Díky simulaci můžeme patřičný proces vizualizovat, což se stává velmi silným argumentem při volbě či výběru řešení. Simulaci můžeme provádět jak na aktuálním systému, tak i při tvorbě zcela nového systému. Simulace by měla být použita tehdy, pokud přínosy dosažené aplikací simulace jsou nebo budou

větší než náklady potřebné na realizaci simulace a zlepšení systému. Pokud chceme zpracovat projekt, tak simulace by měla být použita již v počátečních fázích projektu. [24]

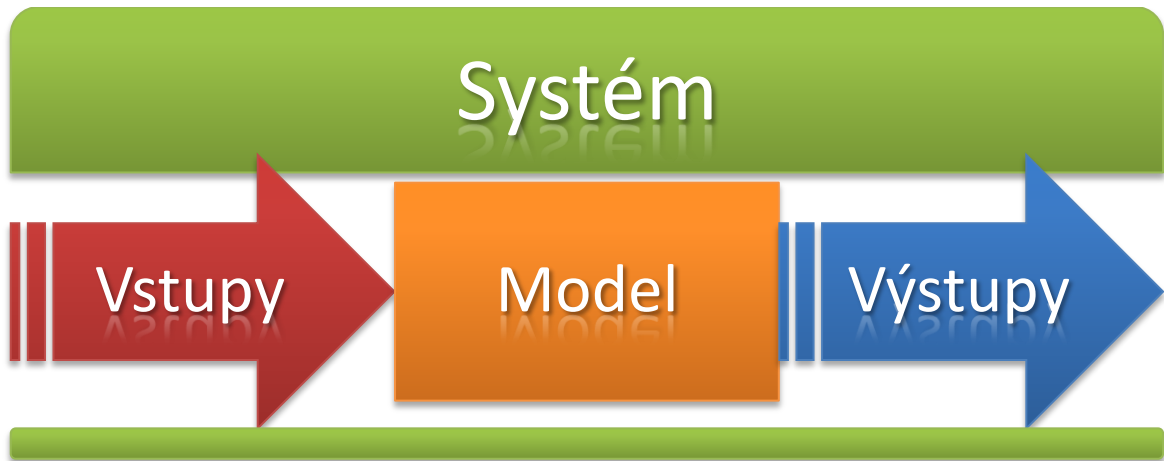


Obrázek 4 Porovnání nákladů a přínosů při rozhodování o aplikaci simulace [24]

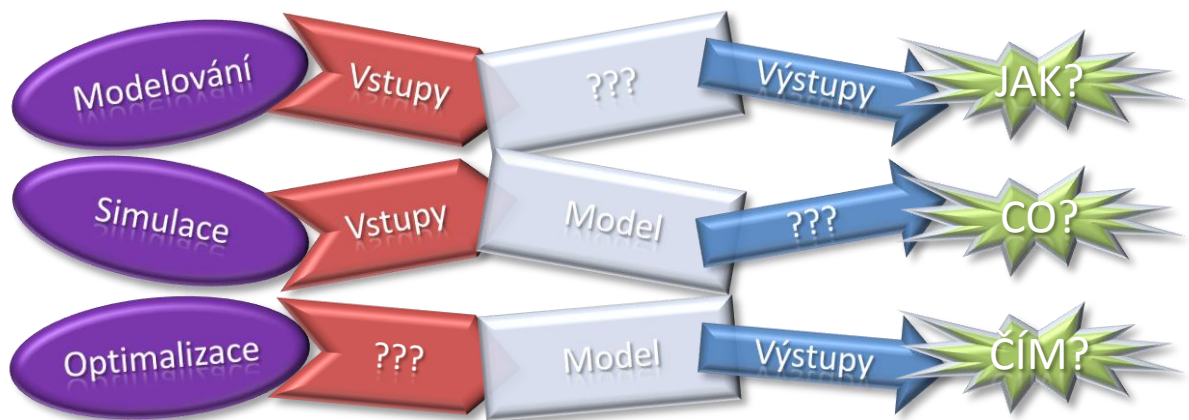
Simulační projekt se skládá ze čtyř po sobě jdoucích fází, které jsou zachyceny na následujícím obrázku:



Obrázek 5 Fáze simulačního projektu [3]



Obrázek 6 Vztah mezi vstupy, modelem a výstupy vůči systému [24]



Obrázek 7 Otázky při hledání částí systému [24]

Počítačová simulace přináší následující výhody a nevýhody:

Tabulka 2 Výhody a nevýhody počítačové simulace [24]

Výhody		Nevýhody
Výběr správného rozhodnutí	Vizualizace plánu	Tvorba modelů vyžaduje specifické školení
Zkracování či prodloužení času	Hledání shody	Výsledky simulace mohou být mylně interpretovány
Porozumění „Proč“	Příprava na změnu	Simulační modelování a analýza mohou být časově náročné a nákladné
Objevování možností	Tvořit moudré rozhodnutí	Simulace může být použita nevhodně

Diagnostika problémů	Trénink týmu	
Identifikace omezení	Specifické požadavky	
Rozvoj porozumění		

### 2.1.1.1 Používané charakteristiky

Jak z hlediska průmyslového inženýrství, tak z hlediska simulací se používají následující charakteristiky výkonu výrobních systémů:

Tabulka 3 Používané charakteristiky výkonu výrobních systémů [24]

Charakteristika	
Výrobní výkon (ks/min)	Čas blokování zařízení
Průběžná doba výrobku	Čas nečinnosti zařízení (čekání na práci)
Čas čekání výrobku před pracovištěm	Čas preventivní údržby zařízení a jeho vliv na bezporuchový provoz
Čas výrobku v dopravě	Počet dílů, které bylo potřebné opravovat
Velikost zásob (rozpracovanost výroby)	Počet neopravitelných zmetků
Velikost zásob (počet čekajících dílů)	Nákladové ukazatele výroby
Využití zdrojů (zařízení, personál)	Návratnost investic
Čas poruchy zařízení, počet poruch v časovém intervalu	

### 2.1.2 Definice systému

Systémem rozumíme objekt se vstupními a výstupními signály svázanými přes svoje vnitřní stavy pomocí obyčejných diferenciálních nebo diferenčních rovnic. Systém můžeme rozdělit na statický a dynamický. [3]

Statický systém je takový, ve kterém se od času abstrahuje, na rozdíl od dynamického systému, kde čas se nezanedbává a je chápán tak, že dvě nebo více událostí mohou nastat současně nebo každá v jiném čase. Simulace, stejně jako většina oborů, se zabývá pouze dynamickým pojetím systému. [3]

System můžeme rozdělit z časového hlediska také na:

- uzavřený systém – trvání simulace je nějakým způsobem ohraničeno
- neuzavřený systém – trvání simulace není omezeno [24]

Přístupy k modelování systému:

- TOP – DOWN – tzv. přístup shora dolů, kdy prvně analyzujeme systém jako celek s využitím hrubého modelu, v druhém kroku pak provedeme detailní analýzu jednotlivých podsystémů
- BOTTOM – UP – tzv. přístup zdola nahoru, kdy je potřeba nejdříve analyzovat kritické subsystémy, a na základě výsledků zkoumání sestavit celkový model systému, využít tvorby maker při sestavování komplexního simulačního modelu [24]

Tabulka 4 Výhody a nevýhody systémových přístupů [24]

Systémový přístup	Výhody	Nevýhody
TOP - DOWN	Jisté rozpoznání problému prostřednictvím celosystémového přístupu. Rychlejší porozumění celkových souvislostí prostřednictvím strukturovaného návrhu modelu.	Vysoké nároky na úroveň abstrakce modelu a trpělivost tvůrce modelu.
	Omezení výdajů ohraničením stupně abstrakce.	Nebezpečí rozptýlení se od vlastního zadání úlohy kvůli mnohostrannosti problému.
		Potenciální nadbytečné výdaje při návrhu modelu příliš široce definovanými systémovými hranicemi.
BOTTOM - UP	Jednoduché porozumění systému nižší úrovní abstrakce na začátku.	Těžší rozpoznání celkových souvislostí.
	Možnost rychlejší detailní analýzy.	Vyšší výdaje při návrhu modelů komplexních originálních systémů.
	Možnost využití předzpracovaných struktur.	Těžké zahrnutí jednotlivých struktur do konkrétního případu.

Celý systém je složen z prvků systému, které nám díky svému chování umožňují lépe pochopit, co se v systému děje. Z hlediska dynamického systému se může počet prvků měnit, jelikož systém může růst nebo se smršťovat. Vlivem technických a ekonomických aspektů dochází k tomu, že prvky mohou do systému vstupovat nebo z něj mohou vystupovat - tzv. opouštět ho. [3]

Prvky, které se nachází po celou dobu v dynamickém systému, se nazývají permanentní prvky nebo aktivity. Všechny prvky pak mají určité vlastnosti - atributy, které prvkům při-

řazují určité hodnoty. Tyto atributy se mohou v čase měnit. Podle formátu atributů rozlišujeme tyto skupiny:

- reálný
- Booleovský
- textový [3]

### 2.1.3 Definice modelu

Model je složitá struktura, která váže dva systémy, jejich prvky a atributy, a v případě simulačních modelů i existence obou systémů. V oblasti simulace používáme pojem simulační model. Podle charakteru procesu můžeme rozdělit modely na:

- deterministické - v modelu nejsou zahrnuty náhodné veličiny
- stochastické - zkoumaný problém nebo metoda řešení mají náhodný charakter

Dle způsobu zachycení časového faktoru v modelu:<sup>1</sup>

- modely se spojitými změnami stavu (spojité modely) – hodnoty jeho atributu se mění v čase
- modely s diskrétními změnami stavu (diskrétní modely) – změny v čase v něm nejsou spojité
- kombinované modely – modely, které kombinují obě předcházející změny stavu [3; 14; 24]

Přínosy počítačových modelů:<sup>2</sup>

- počítačový model je formalizován, čímž je umožněna kontrola
- počítače jsou schopny korektně vypočítat jeho logické následky ve smyslu vztahu struktura – dynamické chování což umožňuje experimentovat ve zhuštěném čase
- jsou srozumitelné, snadno komunikovatelné a mohou brát v úvahu mnoho faktorů najednou

---

<sup>1</sup> KŮS, Zdeněk; GLOMBÍKOVÁ, Viera; HALASOVÁ, Andrea. Simulace výrobních systémů [online]. Liberec : Technická univerzita Liberec, 2002 [cit. 2009-11-04]. Dostupné z WWW: <[http://www.kod.tul.cz/ucebni\\_materialy/PSI/Skripta%20PSI-5.pdf](http://www.kod.tul.cz/ucebni_materialy/PSI/Skripta%20PSI-5.pdf)>. ISBN 80-7083-642-3.

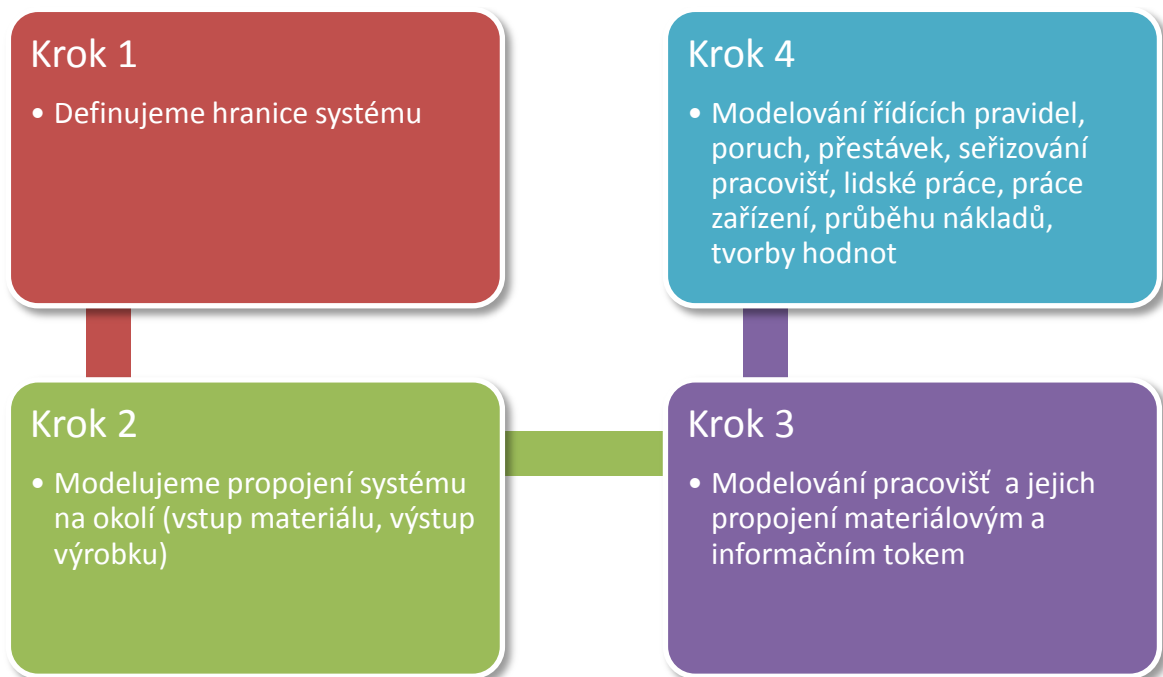
<sup>2</sup> Přednášky ing. Žúrka z předmětu Průmyslové inženýrství - nástroje managementu



Nedostatky počítačových modelů:<sup>3</sup>

- model není cílem sám o sobě – cílem je řešení problému a model je pouze nástrojem
- model není realita – je to pouhé její zobrazení s mnoha limity
- model by měl být co nejjednodušší, ne však na úkor podstatných faktorů – složitý model se stává černou skříňkou
- obecný problém nutné existence kvantifikovaných dat

Abychom mohli vytvořit model výrobního systému, je dobré využít obecný postup při vytváření takového modelu. Postup je následující:



Obrázek 8 Postup při tvorbě modelu výrobního systému [24]

Z pohledu modelů a v simulačních programech se setkáváme se specifickými pojmy jako jsou:<sup>4</sup>

- entity – položky procházející systémem
- aktivity – činnosti v systému vykonávané
- zdroje – prostředky umožňující vykonávání aktivit

<sup>3</sup> Přednášky ing. Žúrka z předmětu Průmyslové inženýrství - nástroje managementu

<sup>4</sup> Přednášky ing. Žúrka z předmětu Průmyslové inženýrství - nástroje managementu

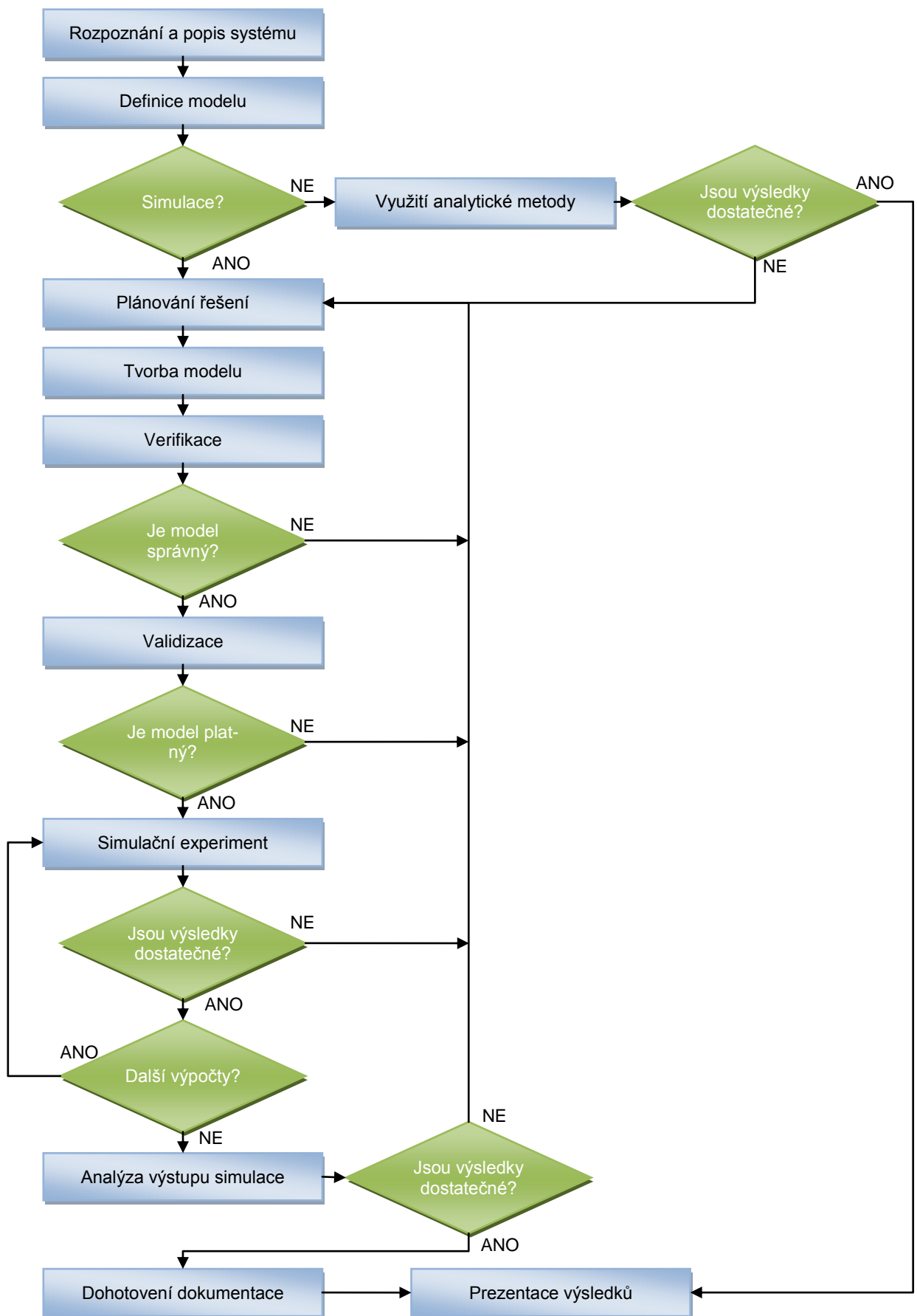
- řízení, pravidla popisující jak, kdy a kde se vykonávají jednotlivé aktivity a za jakých podmínek mohou nastat jednotlivé události v systému

#### 2.1.4 Definice modelování

„Podstatou modelování ve smyslu výzkumné techniky je náhrada zkoumaného systému jeho modelem (přesněji: systémem, který ho modeluje). Cílem je získat pomocí pokusů s modelem informaci o původním zkoumaném systému.“<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> KŮS, Zdeněk; GLOMBÍKOVÁ, Viera; HALASOVÁ, Andrea. Simulace výrobních systémů [online]. Liberec : Technická univerzita Liberec, 2002 [cit. 2009-11-04]. Dostupné z WWW: <[http://www.kod.tul.cz/ucebni\\_materialy/PSI/Skripta%20PSI-5.pdf](http://www.kod.tul.cz/ucebni_materialy/PSI/Skripta%20PSI-5.pdf)>. ISBN 80-7083-642-3.



Obrázek 9 Vývojový diagram simulačního projektu [3]

### 2.1.5 Ověření správnosti modelu - validizace

Velmi důležitým hlediskem ve vztahu systém - model je to, jak věrohodně reprezentuje model reálný systém, čili validitu. Tato validita je posuzována jako míra dosažení shody mezi daty získanými na reálném systému s porovnáním s daty, které generuje model. Model po té může být:<sup>6</sup>

- replikativně validní - reprodukuje data z reálného systému
- prediktivně validní - model poskytuje data předtím, než je poskytuje reálný systém
- strukturně validní - model je schopný nejenom reprodukovat pozorovaná data, ale také věrně odráží způsob činnosti reálného systému

### 2.1.6 Ověření platnosti modelu - verifikace

Ověřením pravdivosti modelu rozumíme verifikaci hypotéz o zkoumaném systému, respektive to, zda vyprojektovaný systém splňuje požadavky a dá se realizovat. Pokud chceme nějaký druh modelu verifikovat nebo prokázat validitu, musíme v první řadě dokázat jeho pravdivost. [3]

### 2.1.7 Experimentování

Po té, co je simulační model verifikovaný a validovaný, může být na model aplikováno řešení studovaného problému, které spočívá v provedení simulačního experimentu a analýze získaných výsledků. Model, který nebyl podroben simulačnímu experimentu a jeho výsledky nebyly detailně popsány, není příliš užitečný. Simulační experiment odhaluje množství charakteristik a informací o chování zkoumaného objektu, které mohou minimalizovat náklady a úsilí při realizaci systému v reálném životě. [3]

---

<sup>6</sup> KÚS, Zdeněk; GLOMBÍKOVÁ, Viera; HALASOVÁ, Andrea. Simulace výrobních systémů [online]. Liberec : Technická univerzita Liberec, 2002 [cit. 2009-11-04]. Dostupné z WWW: <[http://www.kod.tul.cz/ucebni\\_materialy/PSI/Skripta%20PSI-5.pdf](http://www.kod.tul.cz/ucebni_materialy/PSI/Skripta%20PSI-5.pdf)>. ISBN 80-7083-642-3.

V následujícím obrázku je zachyceno uspořádání podsložek fáze experimentování a fáze dokončení projektu:



Obrázek 10 Podsložky experimentování a dokončení projektu [3]

Optimalizací rozumíme nalezení takového řešení, které za daných podmínek splňuje všechny kritéria a vychází jako nejlepší.

Typy optimalizací:<sup>7</sup>

- on-line – optimalizace se uskutečňuje v průběhu jediného simulačního běhu a je založena na heuristickém algoritmu, parametry se mění v průběhu simulačního běhu a optimum je získáno na jeho konci
- off-line – postupná změna hodnot parametrů simulačního modelu a následné uskutečnění simulačních běhů, optimalizace se uskutečňuje na základě mnoha simulačních běhů

## 2.2 Softwarová podpora

Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly, v dnešní době pouze počítač jako prostředek pro realizaci výpočtu nestačí. Pro realizaci určitého řešení je zapotřebí mít nainstalovaný odpovídající software, případně se připojovat přes server, kde program běží a přes tuto cestu

---

<sup>7</sup> Přednášky ing. Žůrka z předmětu Průmyslové inženýrství - nástroje managementu

požadavky realizovat. V rámci tématu byly zvoleny následující programy pro celkové potřeby projektu.

### 2.2.1 WITNESS

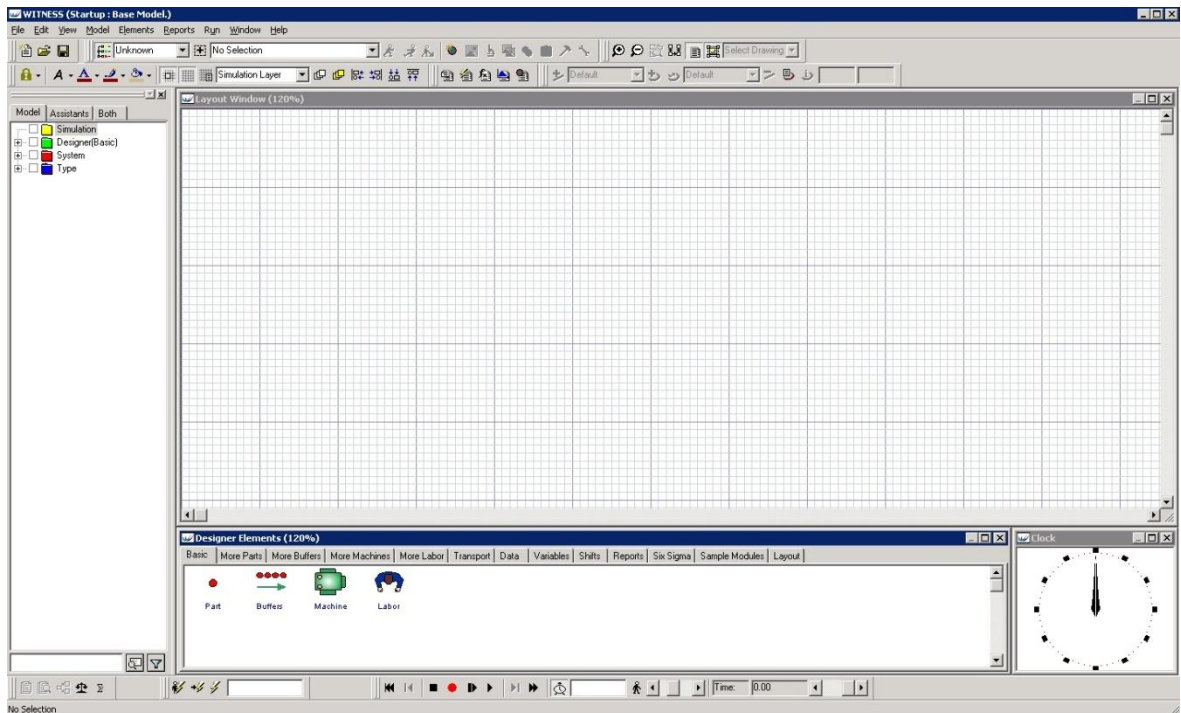
Softwarový produkt WITNESS pochází od britské společnosti Lanner Group Ltd, jenž slouží k simulaci a optimalizaci výrobních, obslužných a logistických systémů. Využívá se v oblasti produktů pro interaktivní simulaci systémů diskrétních událostí. Tento produkt je také schopen po zakoupení patřičné verze simulaci spojitých jevů. Díky takovému nástroji je umožněno provádět změny v aktuálním systému, za předpokladu, že tento systém máme správně nasimulovaný, a pozorovat důsledky rozhodnutí o změně, či tento systém optimalizovat dle patřičné potřeby. Díky takové možnosti odpadá riziko z rozhodování, jelikož důsledky rozhodnutí jsou patrné. Dále tento program můžeme využít pro predikování a jako nástroj řízení. [3; 21]

WITNESS existuje ve dvou oborových verzích. Pro oblast výroby a logistiky je určena verze Manufacturing Performance Edition. Pro oblast služeb je to verze Service and Process Performance Edition. Tento program obsahuje moduly pro další práci s modelem a umí spolupracovat s produkty např. Microsoft Excel a Microsoft Access, Minitab a CAD/CAM systémy. Pro naše účely budeme používat verzi Manufacturing Performance Edition. Vybrané jednotlivé moduly pro další práci jsou popsány v kapitole 2.2.1.3. [21]

Mezi internacionálními společnostmi, které využívají pro své účely britský produkt WITNESS jsou: Air France, Virgin Atlantic, Airbus, Volvo, Motorola, Ford, Michelin, Nissan, Volkswagen. [7]

### 2.2.1.1 Pracovní prostředí

Pracovní prostředí produktu je poměrně atypické a nepřipomíná žádný z klasických prostředí, na které je běžný uživatel zvyklý (viz následující obrázek).



Obrázek 11 Pracovní prostředí programu WITNESS [vlastní zpracování]

Nahoře můžeme vidět klasickou nabídku pro práci se soubory, přes úpravu až po nápovědu. Pod touto nabídkou je uložena lišta s nástroji, která nám umožňuje rychlejší přístup k požadovaným funkcím či úpravám. Ostatně tyto položky jsou klasické jako u většiny programů.

Vlevo se nachází tzv. Element Selector, který v sobě ukrývá 3 karty – Model, Assistants, Both. Tohle je velmi důležitá položka, jelikož pod kartou Model se skrývají např. typy elementů, které mohou být vytvořeny nebo všechny elementy, které obsahuje aktuální, námi vytvořený model. Na kartě Assistants můžeme najít funkce, pravidla, akce, rozdělení a systémové elementy, které nám pomáhají definovat a řídit model a běh simulace. Karta Both kombinuje obě předešlé karty a zobrazuje je v jedné kartě společně. Element Selector můžeme vypnout pomocí nabídky View.

Největší plochu zabírá tzv. pracovní prostředí, kde vynášíme jednotlivé elementy, které se standardně zobrazují ve 2D rozměru. Barvu pozadí nebo mřížku můžeme libovolně nastavit, v případě mřížky ji můžeme přímo vypnout.

Úplně dole se nachází tzv. Designer Elements, který nám usnadňuje a zrychluje práci při vynášení jednotlivých elementů, které jsou pomocí karet rozděleny do patřičných skupin pro lepší orientaci. Designer Elements může být nadefinován podle potřeb uživatele a tudíž se v něm mohou nacházet ty nejpoužívanější elementy, které nám usnadňují vytváření modelu. Designer Elements lze stejně jako Element Selector vypnout, ale již přes nabídku Window.

Dole vpravo se nacházejí analogové hodiny, které zobrazují aktuální čas jako ve skutečnosti. Tyto hodiny má smysl použít, pokud provádíme simulaci v kratší době, během jednoho dne. Pokud provádíme simulaci delšího časového rozsahu, je dobré si přes nabídku Window zobrazit Time, který zobrazuje hodiny v číselné podobě a aktuální datum.

### *2.2.1.2 Nejčastěji používané elementy*

Při tvorbě modelu lze použít mnoho elementů, které nám definují model a pak adekvátně napodobují reálný systém. Mezi nejčastější elementy, které tvoří model patří:

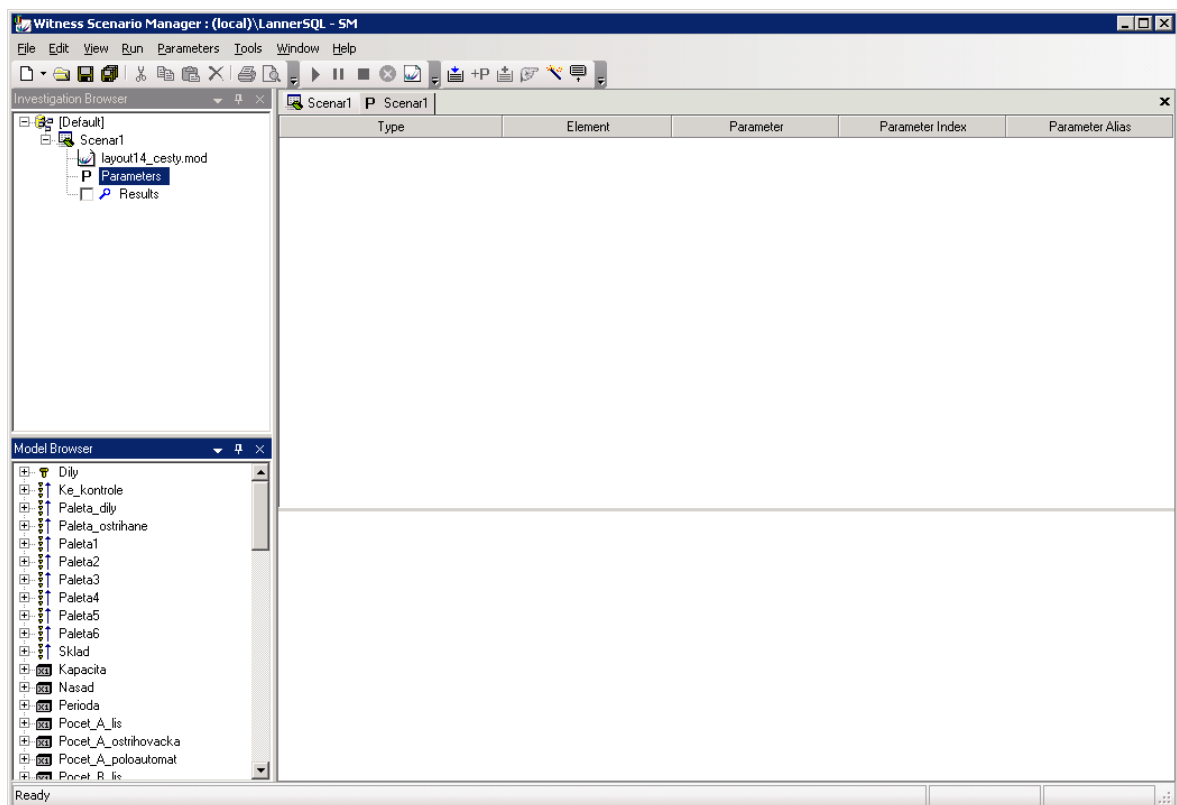
- part – součástka, která může interpretovat výrobní součástku, produkt, ale také člověka stojícího v řadě
- buffer – zásobník, jenž shromažďuje elementy typu part, což si můžeme představit jako klasický zásobník na výrobky, či frontu lidí
- machine – stroj, který v drtivé většině zastupuje právě stroj vykonávající určitou činnost, což může být vrtačka, ohýbačka, ale také stůl
- labor – pracovní síla, která může ovládat stroj, ale také která může nosit elementy typu part z elementu buffer, což je nejčastěji pracovník, ale také se v některých případech může jednat např. o nějaký typ vozíku, kladivo, šroubovák, atd.
- conveyor – dopravník, ať pásový nebo válečkový, který přepravuje elementy typu part z určitého místa určitou rychlostí na další místo
- variable – proměnná, kterou dále vybíráme dle typu potřeby v modelu, může nést hodnotu např. počtu vyrobených výrobků na elementu typu machine nebo zobrazovat aktuální jméno elementu typu part na elementu typu machine či operaci elementu typu machine
- function – funkce, která může vracet hodnotu elementu variable nebo může být přímo definovaná jako nějaký výraz, který nám dále dovoluje používat některé moduly programu WITNESS



- shift – směna určující pracovní dobu během simulačního času a vymezující čas na přestávky, kterou z uvedených mohou akceptovat elementy typu part, buffer, machine, labor a conveyor

### 2.2.1.3 Modul Scenario Manager

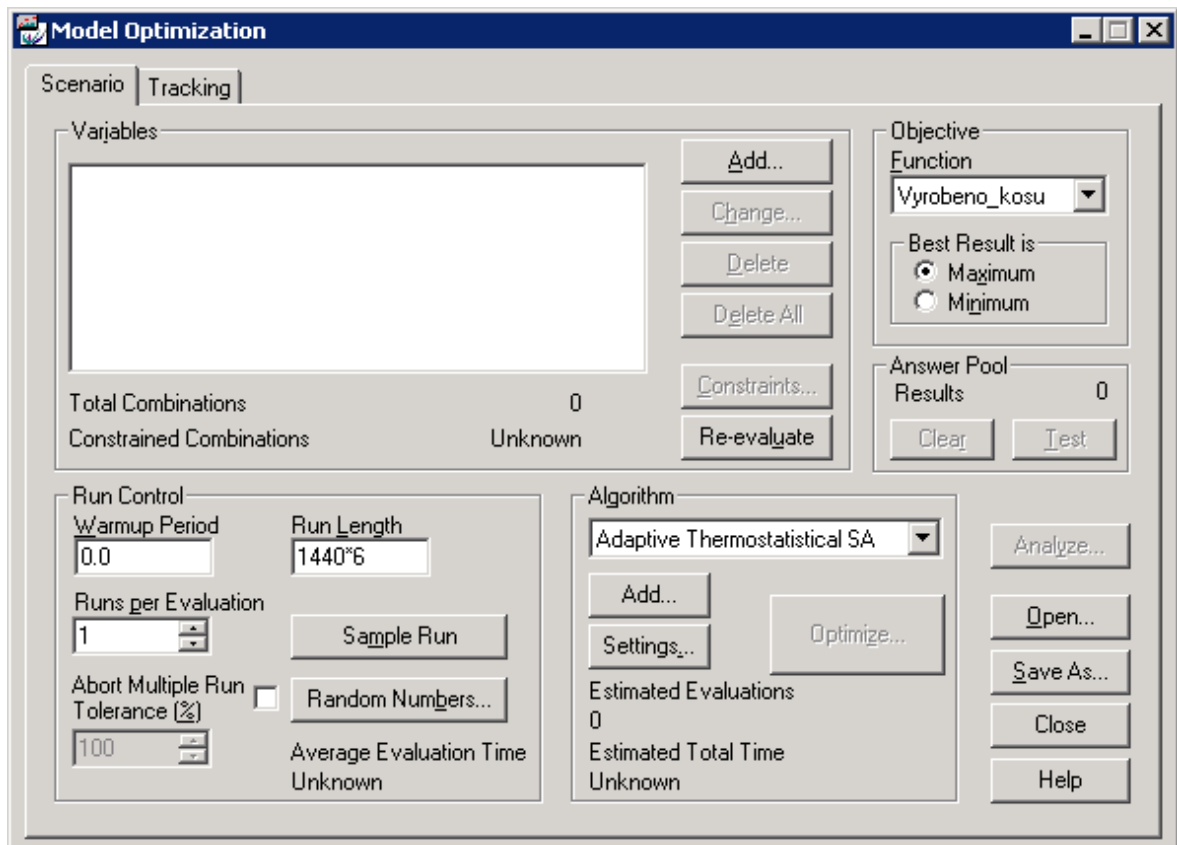
Modul, který umožňuje návrh experimentů, definici různých variant procesu a jejich tabulkové, grafické a statistické vyhodnocení. Pomocí výstupu z tohoto modulu můžeme vidět jednotlivé scénáře daného řešení. [22]



Obrázek 12 Prostředí modulu Scenario Manager [vlastní zpracování]

### 2.2.1.4 Modul Optimizer

Optimalizační modul, jehož cílem je minimalizovat čas a úsilí vynaložené při experimentování s modelem. Optimizer využívá moderních optimalizačních metod, kde je možné v uživatelsky přívětivém prostředí rychle najít optimální parametry sledovaného systému. Abychom dosáhli požadovaných výsledků, musíme do simulačního modelu zavést funkce, dle kterých bude optimalizace probíhat. Pomocí Optimizeru hledáme vždy maximum nebo minimum námi definované funkce. [22]



Obrázek 13 Prostředí modulu Optimizer [vlastní zpracování]

### 2.2.1.5 Modul WITNESS VR

Zkratka VR znamená virtuální realitu. Špičková 3D grafika umožňuje v tomto modulu práci s reálnými rozměry prvků sledovaných systémů. WITNESS VR je důležitý všude tam, kde jde o prostorovou orientaci (např. robotická pracoviště), nebo tam, kde je důležitá subjektivní prostorová představa (návrhy letištních hal, nabídková řízení apod.). Možnost implementace 3D prvků vytvořených v různých CAD a VR aplikacích, mimo jiné i Google SketchUp. [22]

### 2.2.1.6 Mantra 4D

Nejedná se o modul, ale o samostatný program, ke kterému má společnost Lanner Group Ltd zakoupené práva, který slouží k tvorbě a správě 3D tvarů. Výstupem tohoto programu je tzv. realibase, kterou můžeme implementovat do WITNESS VR. Objekty je možné načíst z programu jako je AutoCAD, či Google SketchUp. Objekty je potom jako takové možné animovat a věrně tak napodobit realitu či fungování procesu. [9; 20]

### 2.2.2 Google SketchUp

Google SketchUp je software, který je možno použít pro tvorbu, úpravu a sdílení 3D modelů. Můžeme jej také použít pro tvorbu 2D layoutu, avšak tento program není ekvivalentním produktem k CAD systémům či nástrojům k tvorbě architektských budov. Můžeme jej však použít pro základní načrtávání nebo pak dále propojit s CAD systémy nebo Mantrou 4D díky možnosti exportu do podporovaných formátů. Google SketchUp je zdarma k dispozici pro nekomerční účely, avšak tato verze neposkytuje možnost exportu do kompatibilních formátů vzhledem k ostatním produktům. Tento problém je odstraněn v Google SketchUp Pro. [13]

Softwarový produkt WITNESS dovoluje uživateli importovat 2D formát s příponou dxf (ASCII), tudíž můžeme nakopírovat např. rozmístění pracovišť vytvořené v tomto programu.

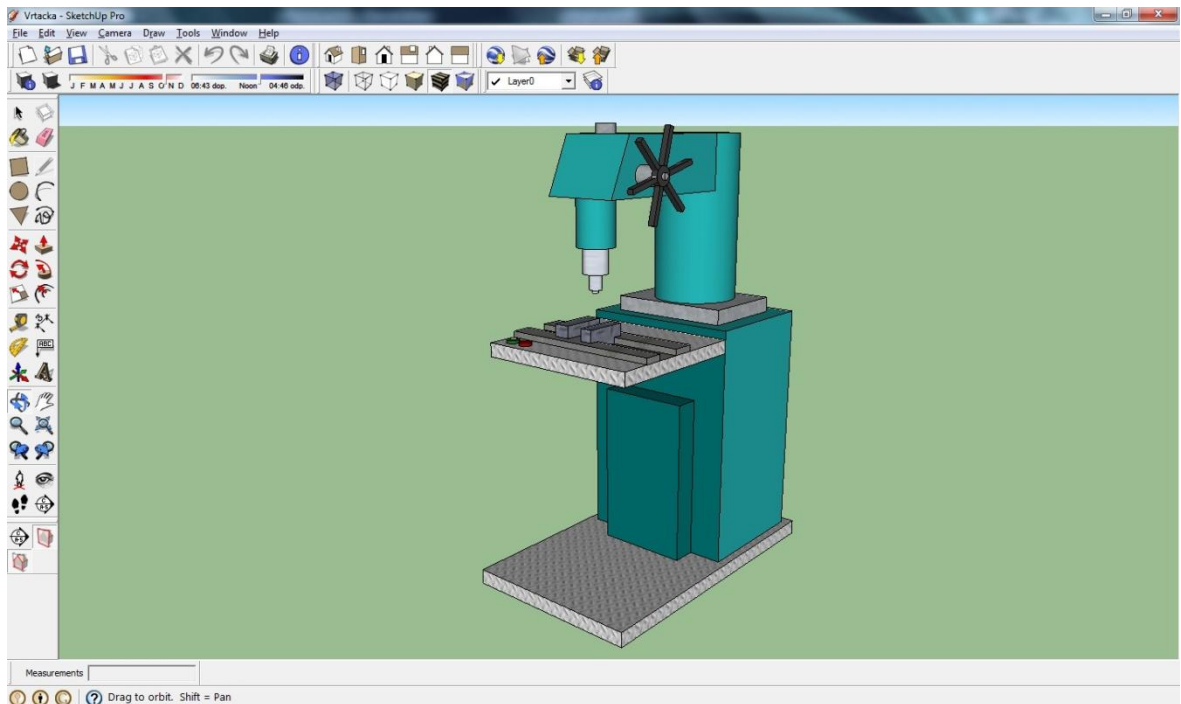
*Tabulka 5 Možnosti exportu programu SketchUp Pro [vlastní zpracování]*

Export v dalších 2D formátech	Export 3D modelů v dalších formátech
Formát PDF (.pdf)	3DS (.3ds)
Formát EPS (.eps)	AutoCAD DWG (.dwg)
Epix (.epx)	AutoCAD DXF (.dxf)
AutoCAD (.dwg, .dxf)	FBX (.fbx)
	OBJ (.obj)
	XSI (.xsi)
	VRML (.vrmf)

Pracovní prostředí Google SketchUp je docela přehledné a vzdáleně tak může připomínat prostředí programů pro tvorbu 2D grafiky avšak se úplně odlišuje od prostředí CAD systémů. Práce v tomto programu je poměrně snadná i pro začátečníky díky webové podpoře video ukázek, které jsou rozděleny do skupin podle úrovně práce a zkušeností s tímto programem.

Z hlediska průmyslového inženýrství lze tento program použít díky své jednoduchosti pro návrh a tvorbu 3D layoutů, strojů, případně součástí jako vizualizační pomůcka, jenž usnadňuje pochopení či představivost.

Výstupem z programu nemusí být pouze statický obraz, ale také animace, např. průchod po nově vytvořené hale.



Obrázek 14 Pracovní prostředí programu Google SketchUp [vlastní zpracování]

### 2.2.3 Microsoft Excel

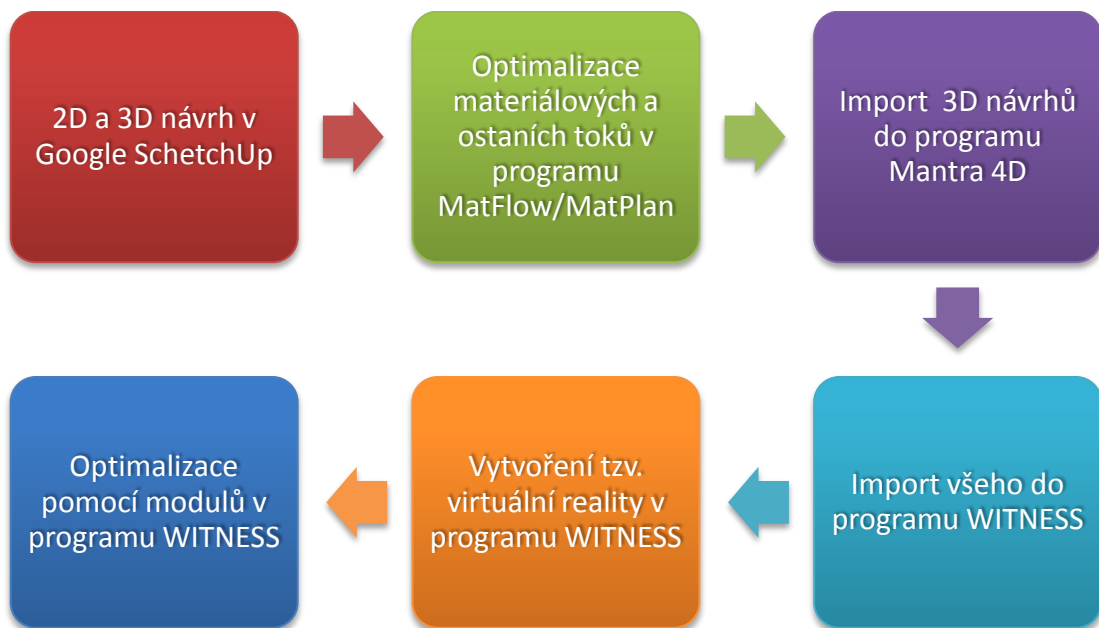
Microsoft Excel standardně patří do velmi úspěšného kancelářského balíku Microsoft Office od stejnojmenné americké společnosti Microsoft. Tento program je tabulkový procesor, který dokáže provádět jednoduché i pokročilé operace s čísly, analýzu dat, vytvářet kontingenční tabulky a umožňuje také tvorbu grafů, které slouží jako vizuální výstup. Program disponuje velkým množstvím funkcí, statistickým vyhodnocováním, možností lineárního programování a od verze Microsoft Excel 2007 i velkou kapacitou počtu řádků na jeden list – přes milion řádků. [6]

Do programu existuje velmi mnoho užitečných doplňků od různých společností, které nám pomáhají např. při statistickém vyhodnocování dat apod. Z hlediska využití propojení s programem WITNESS lze na vstupu požadovaná data filtrovat, třídít a formátovat a dosáhnout tak požadovaných výsledků při např. nastavování poruchovosti či oprav strojů. Dále lze na vstupu z Microsoft Excelu data do WITNESSu načítat a vytvořit tak pro nezkoušené uživatele rozhraní pro zadávání hodnot, které je mnohem snazší a jednodušší. Zpracování můžeme být o to detailnější, pokud se na sešit či list tohoto programu aplikují makra.

Z hlediska výstupu lze tento program použít pro zápis vybraných hodnot či parametrů během simulace. Tyto data mohou být napojeny na grafy, které se stávají během simulace dynamickými a mohou být použity v podobě zpráv o výsledcích simulace – reportů.

### 2.3 Vhodné současné řešení

Vhodným řešením pro náš projekt by bylo použití zmíněných softwarových produktů, které dohromady tvoří komplexní propojení, což je velmi důležité, jelikož je zde zabezpečena kompatibilita. Takové řešení by vypadalo následovně:



Obrázek 15 Proces komplexního řešení pro nové nebo stávající pracoviště a procesy [vlastní zpracování]

V předešlém obrázku je popsán proces, kde pátý bod není nutný, pokud se zaměříme v programu WITNESS jen na 2D výstup. Toto řešení bohužel nemůžeme v této práci uplatnit, jelikož není zabezpečen přístup k programovému vybavení MatFlow/MatPlan.

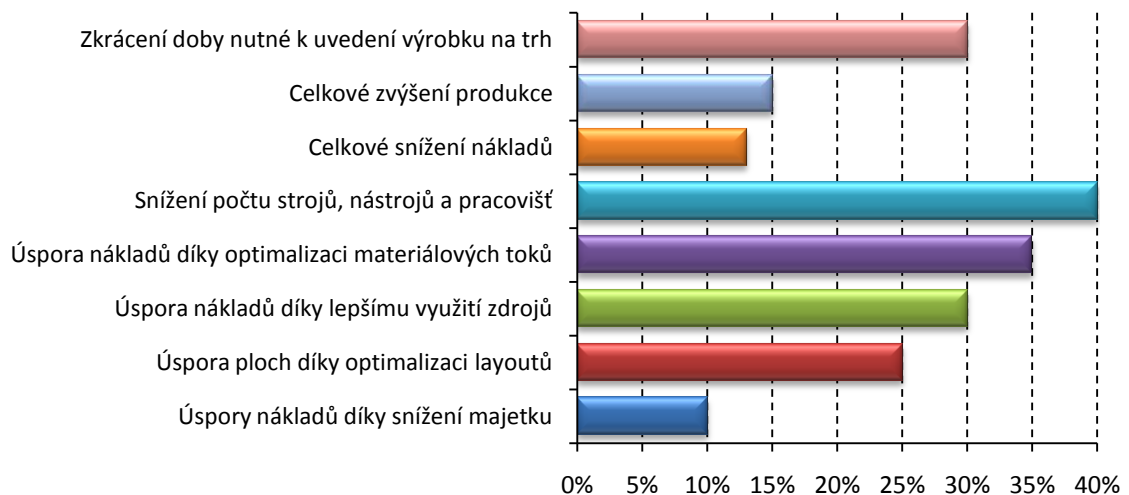
### 2.4 Nejlepší současné řešení

Jako nejlepší současné řešení se jeví použití tzv. digitálních továren, respektive pouze vybraných produktů, které digitální továrna obsahuje, jako je např. PLM Solutions od společnosti Dassault Systèmes či Tecnomatix od společnosti Siemens. [8]

Digitální továrna zobrazuje virtuální realitu v programovém prostředí a slouží především k plánování, simulaci a optimalizaci výroby složitých výrobků v oblastech jako jsou auto-

mobilový, letecký, strojní, lodní průmysl a mnoho dalších. Komplex digitální továrny obsahuje jednotlivé nástroje pro řešení určitého okruhu problematiky. Obrovskou výhodou je komplexnost a kompatibilita jednotlivých produktů v dané továrně mezi sebou. [11]

Výsledky implementace digitální továrny dle zahraniční studie CIMdata report The Benefits of Digital Manufacturing jsou níže znázorněny.



Graf 1 Výsledky zavedení digitálních továren v rámci sledovaného řešení [11]

Pro představu od společnosti Dassault Systèmes se pod PLM Solutions nachází následující produkty:

- CATIA – 3D počítačové konstruování v oblastech CAD/CAM/CAE
- SIMULIA – reálná simulace a virtuální testování
- DELMIA – digitální průmyslová výroba produkce
- ENOVIA - systém pro řízení předvýrobních etap umožňující týmovou správu dokumentů, informací, procesů a know-how [10; 11; 12]

Digitální továrna Tecnomatix od společnosti Siemens obsahuje následující produkty:

- Part Planning & Validation - Plánování a ověřování součástí
- Assembly Planning & Validation - Plánování a ověřování montážních postupů
- Robotics & Automation Planning - Plánování v oblasti robotiky a automatizace
- Plant Design & Optimization - Návrh a optimalizace závodu
- Quality Management - Řízení kvality
- Production Management - Řízení výroby
- Manufacturing Process Management - Řízení procesu výroby [19]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 O SPOLEČNOSTI

Společnost KOVOS je soukromou společností s ručením omezeným, která se nachází v průmyslové zóně města Slavičín nedaleko Zlína. Společnost vznikla v roce 1991 a svojí rozlohou pokrývá 4000 m<sup>2</sup> a v současné době zaměstnává asi 30 zaměstnanců. Samozřejmě je vlastníkem certifikátu ČSN EN ISO 9001:2009. [Kompletní prospekt KOVOS]

Hlavní program spočívá ve výrobě dílů a kompletů z drátu, které se svařují na speciálním technologickém zařízení, které umožňuje zpracovat i velmi náročné zakázky. Výrobním programem se společnost dále zaměřuje na výrobu různých regálů, obchodních stojanů, zařízení z plechů, trubek a dalších materiálů, které dodává především do obchodních domů a hypermarketů, apod. a výrobou nasazovacích rámců na dřevěné palety, kontejnerů a kovových palet. Export tvoří zhruba 85% výrobků. [23]

Společnost vlastní také svoji práškovou lakovnu, která slouží k povrchové úpravě kovových výrobků až do rozměrů 1300x1000x3000 mm za použití práškových vypalovacích barev RAL. [15]

#### 3.1 Výrobní portfolio společnosti

Na následujícím obrázku můžeme vidět výrobní portfolio vybraných výrobků společnosti KOVOS, spol. s r. o.



Obrázek 16 Výrobní portfolio společnosti KOVOS, spol. s r. o. [15]



### 3.2 Identifikační údaje<sup>8</sup>

Obchodní firma:	KOVOS, spol. s r.o.
Datum zápisu:	19. prosince 1991
Sídlo:	Slavičín-Hrádek, Družstevní č. 221, Průmyslová zóna, PSČ 763 21
Identifikační číslo organizace (IČO):	441 25 828

### 3.3 Právní údaje<sup>9</sup>

Právní forma:	společnost s ručením omezeným
Předmět podnikání:	výroba mechanických výrobků koupě zboží za účelem jeho dalšího prodeje a prodej povrchová úprava materiálů práškovým lakováním
Základní kapitál:	125 000 Kč

---

<sup>8</sup><http://www.justice.cz/xqw/xervlet/insl/report?sysinf.vypis.CEK=182266&sysinf.vypis.rozsah=aktualni&sysinf.@typ=transformace&sysinf.@strana=report&sysinf.vypis.typ=XHTML&sysinf.vypis.klic=4756822c764ba8c2c766ff50ffc651fe&sysinf.spis.@oddil=C&sysinf.spis.@vlozka=4088&sysinf.spis.@soud=Krajsek%FDm%20soudem%20v%20Brn%EC&sysinf.platnost=02.03.2010>

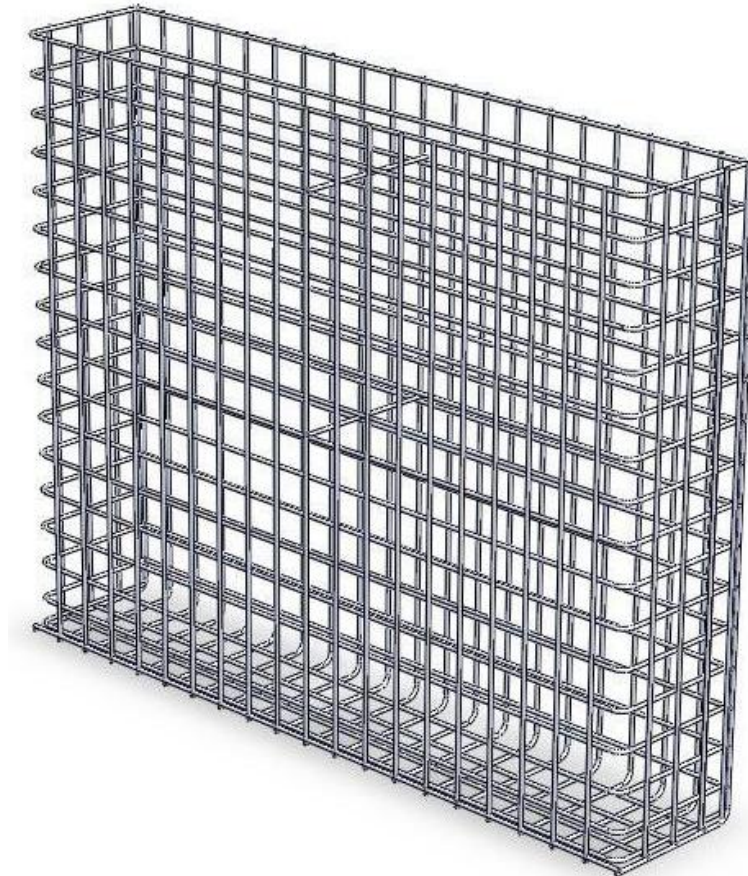
<sup>9</sup><http://www.justice.cz/xqw/xervlet/insl/report?sysinf.vypis.CEK=182266&sysinf.vypis.rozsah=aktualni&sysinf.@typ=transformace&sysinf.@strana=report&sysinf.vypis.typ=XHTML&sysinf.vypis.klic=4756822c764ba8c2c766ff50ffc651fe&sysinf.spis.@oddil=C&sysinf.spis.@vlozka=4088&sysinf.spis.@soud=Krajsek%FDm%20soudem%20v%20Brn%EC&sysinf.platnost=02.03.2010>

## 4 ANALÝZA SOUČASNÉ SITUACE

Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly, společnost vyrábí poměrně široké spektrum výrobků a zároveň vyrábí na zakázku. Z pohledu modelování je proto nutné zvolit tzv. typového reprezentanta, který bude volen na základě vhodného uvážení a bude tak vhodně reprezentovat převážný stav.

### 4.1 Výběr typového reprezentanta

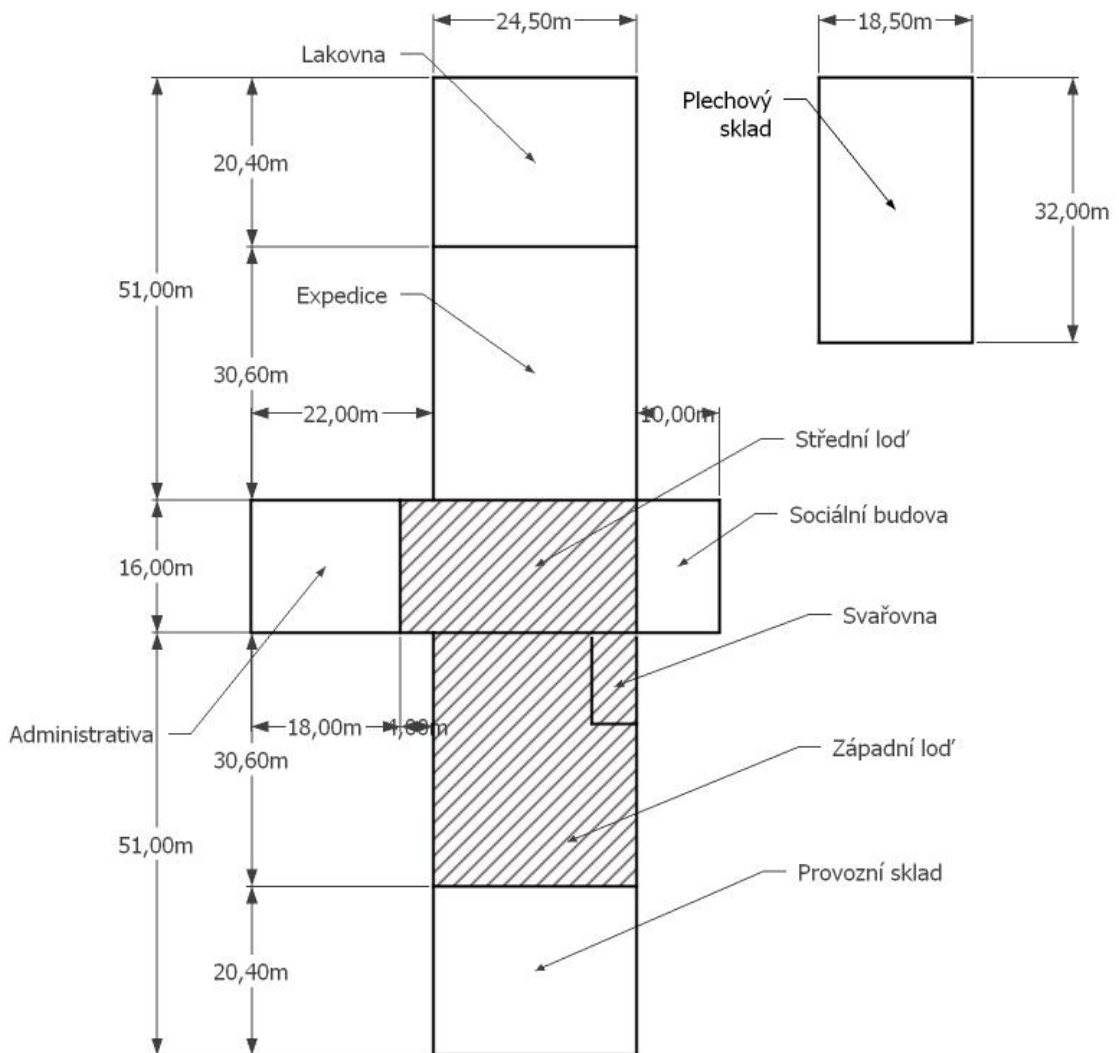
Po dohodě s vedením společnosti byl zvolen jako typový reprezentant ocelový koš na kameny (gabion), který tvoří v současné době asi 60% výroby a hraje tedy velmi významnou roli při tvorbě tržeb společnosti. Tento výrobek se vyrábí ve střední lodi, svařovně a západní lodi.



Obrázek 17 Vybraný typový reprezentant [15]

## 4.2 Půdorys společnosti

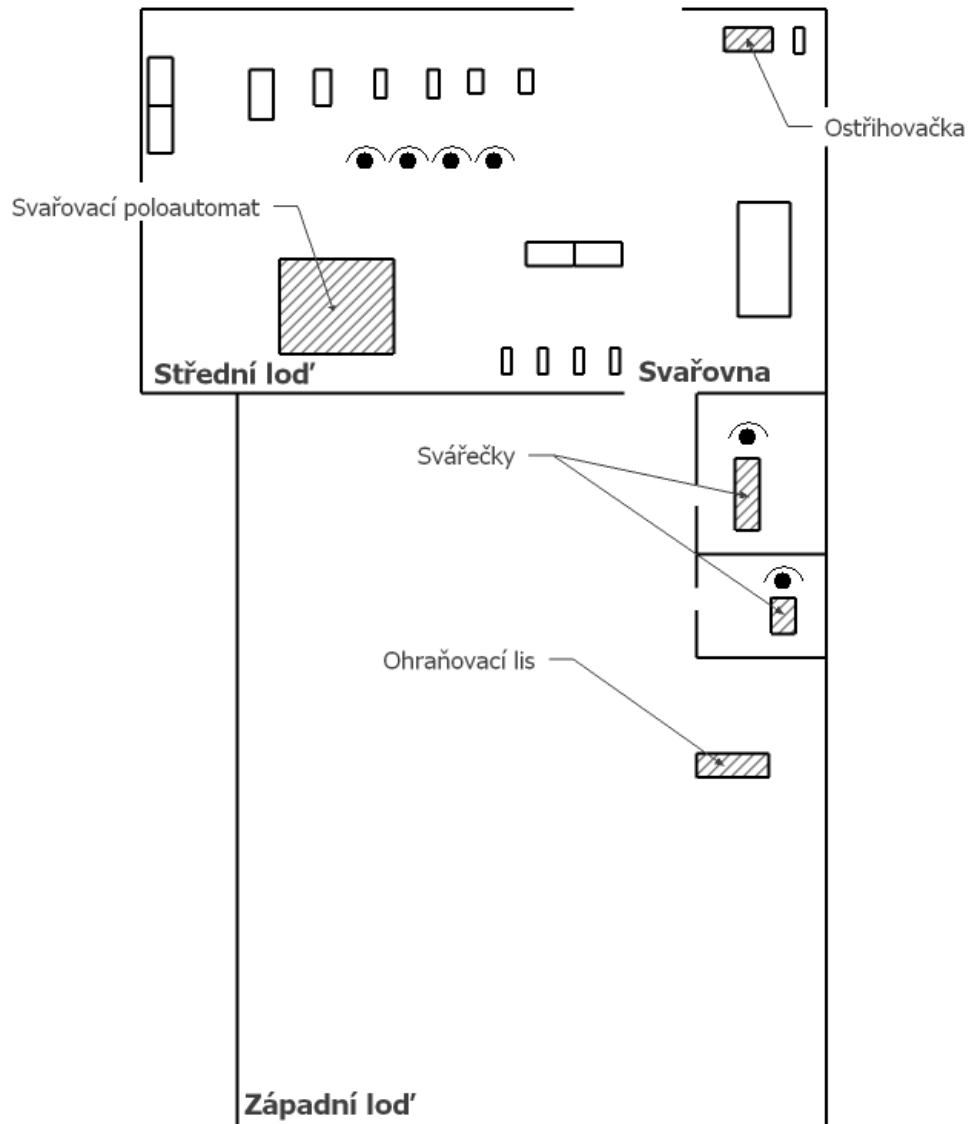
Aby bylo možné identifikovat a analyzovat materiálové toky, je nutné seznámit se s rozmístěním na jednotlivých pracovištích ve společnosti, kde probíhá výroba typového reprezentanta. Dále je velmi důležité mít správně naměřené velikosti a vzdálenosti pro přesnější simulaci. Na následujícím obrázku můžeme vidět půdorys společnosti, šrafované část představují analyzované pracoviště.



Obrázek 18 Půdorys společnosti KOVOS, spol. s r. o. [vlastní zpracování]

### 4.3 Layout pracoviště typového reprezentanta

Tento layout je znázornění šrafované části z předešlého půdorysu (*viz předcházející strana*). Z hlediska vizualizace a simulace je velmi důležité znázornit a správně určit rozměry pracoviště, kde se daný produkt vyrábí.

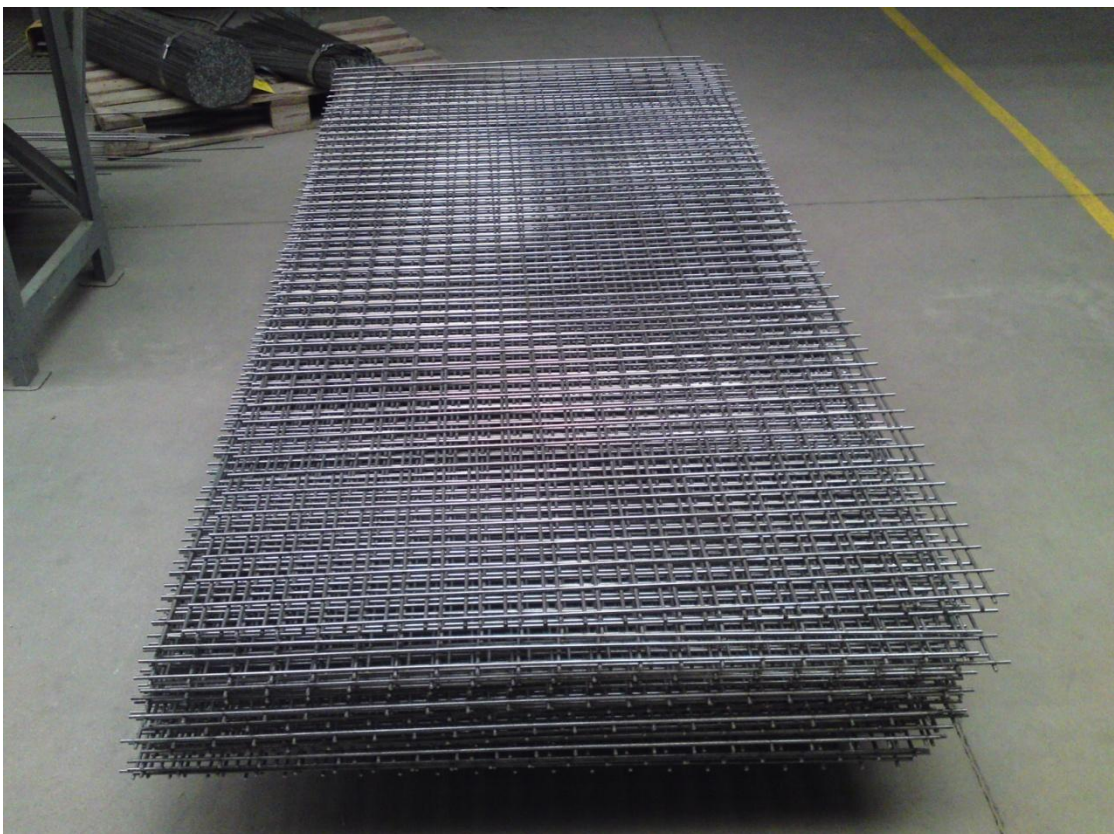


Obrázek 19 Layout pracoviště při výrobě typového reprezentanta [vlastní zpracování]

Na následujících fotografiích (*viz další strana*) můžeme vidět skutečnou podobu strojů a polotovarů z layoutu. Je zde vyfocena také rozpracovaná výroba.



*Obrázek 20 Svářecí poloautomat na bodování sítí [vlastní zpracování]*



*Obrázek 21 Uložené sítě čekající na ostříhání [vlastní zpracování]*



*Obrázek 22 Ostríhané sítě pomocí ostríhovačky [vlastní zpracování]*



*Obrázek 23 Uskladnění polotovarů [vlastní zpracování]*



*Obrázek 24 Ohraňovací lis [vlastní zpracování]*



Obrázek 25 Svařovací přípravek ve svařovně [vlastní zpracování]

#### 4.4 Výrobní postup typového reprezentanta

Tabulka 6 Výrobní postup ocelového koše [vlastní zpracování]

Krok	Postup	
1	Nákup materiálu v technologických délkách a požadované kvalitě	
2	Kontrola materiálu při převzetí	
3	Uložení zkontrolovaného materiálu na paletu (kapacita 5000 ks)	
4	<b>Díl A (Přední část)</b>	<b>Díl B (Zadní část)</b>
5	Dráty – 17 ks, se vyskládají do svařovacího poloautomatu a svaří se z nich sítě (2 operátoři)	Dráty – 20 ks, se vyskládají do svařovacího poloautomatu a svaří se z nich sítě (2 operátoři)
6	Uložení sítí na paletu (2 operátoři, kapacita palety 30 ks)	Uložení sítí na paletu (2 operátoři, kapacita palety 30 ks)
7	Ostříh přesahujících konců drátů na osřihovačce (2 operátoři)	Ostříh přesahujících konců drátů na osřihovačce (2 operátoři)
8	Uložení ostříhaných sítí na paletu (2 operátoři, kapacita palety 30 ks)	Uložení ostříhaných sítí na paletu (2 operátoři, kapacita palety 30 ks)
9	Ohyb na požadovaný tvar realizován pomocí ohraňovacího lisu (2 operátoři)	Ohyb na požadovaný tvar realizován pomocí ohraňovacího lisu (Operátor)

10	Uložení ohnutých sítí na paletu (Operátor, kapacita palety 30 ks)	Uložení ohnutých sítí na paletu (Operátor, kapacita palety 30 ks)
11	Vložení dílu A a B do přípravku a svařování (Svářeč)	
12	Vizuální kontrola a uložení na paletu (2 operátoři)	
13	Expedice (Operátor)	

Z přílohy PII (viz str. 97) vyplývá, že v současné době a při současných podmínkách je možnost vyprodukovat za jednu směnu (viz níže) minimálně 40 ks výběrového reprezentanta na jednoho svářeče. Jelikož na pracovišti pracují dva svářeči, kteří mají stejné zařízení a stejné materiálové toky, dosahují téměř shodných výkonů.

#### 4.5 Analýza pracovní doby

Pracovní doba je od 6:00 do 7:45 hodin, pak následuje 15ti minutová přestávka. Od 8:00 do 11:45 hodin se dále pracuje. Následně je velká 30ti minutová přestávka. Od 12:15 se pracuje do 14:30 hodin, směna končí. Pracuje se pouze v jednosměnném provozu od pondělí do pátku. Pokud je rozpracovaná výroba a nastane přestávka, může operátor práci opustit. Svářeč práci musí vždy dokončit.

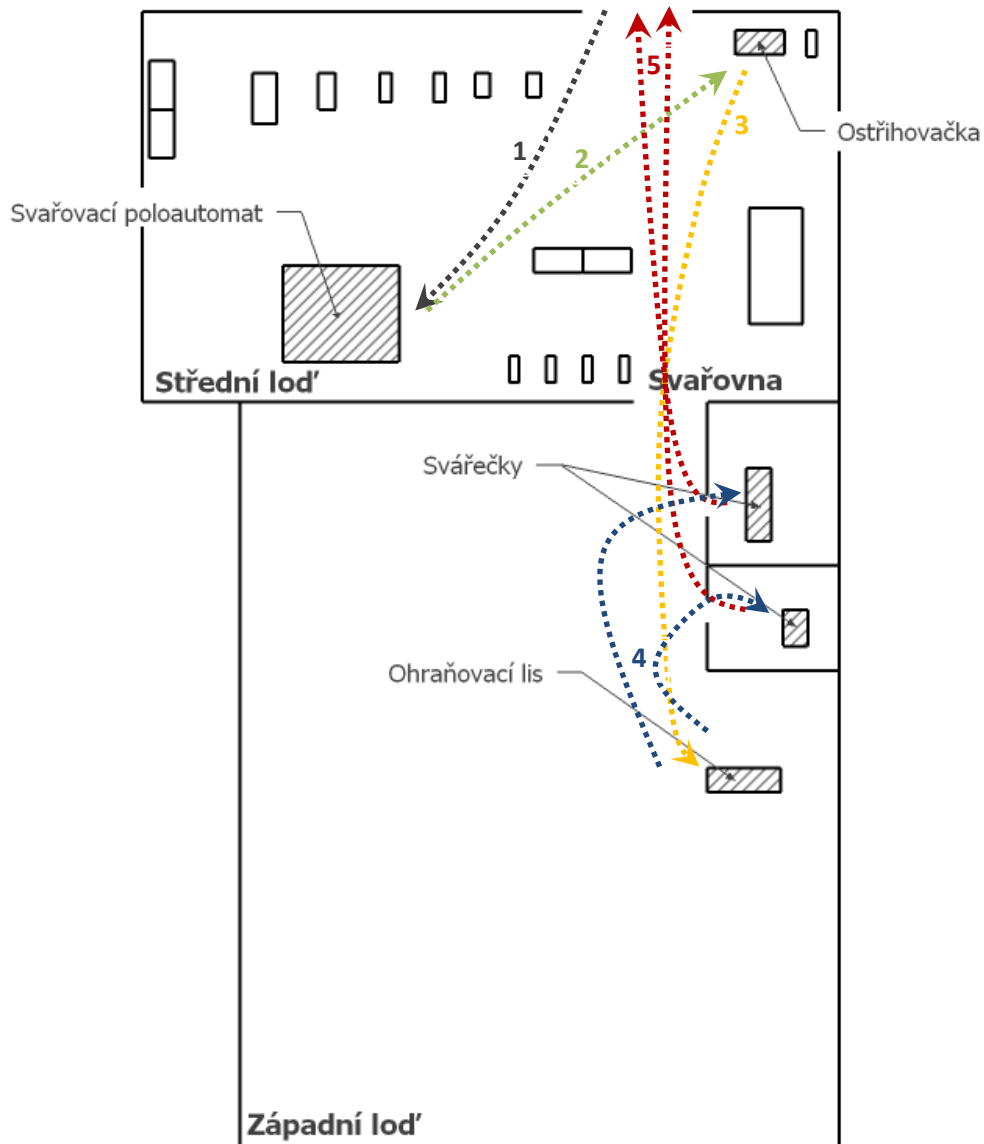
Tabulka 7 Znárodnění směny [vlastní zpracování]

6:00				7:00				8:00				9:00				10:00			
15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60
11:00				12:00				13:00				14:00				15:00			
15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60



#### 4.6 Materiálový tok typového reprezentanta

Na následujícím obrázku je barevně znázorněn materiálový tok vybraného typové reprezentanta – ocelového koše. Čísla 1 – 5 znázorňují postupný tok materiálu skrze různé pracoviště.



Obrázek 26 Flow diagram [vlastní zpracování]

### **III. PROJEKTOVÁ ČÁST**

## 5 VYMEZENÍ PROJEKTU

Název projektu:	Projekt implementace dynamického modelování jako nástroj pro rozhodování a optimalizaci procesů ve výrobním podniku KOVOS, spol. s r. o.
Členové týmu:	Petr Rak – výrobní ředitel Michal Havelka
Cíl projektu:	Cílem projektu je vytvořit simulační model v softwarovém produktu WITNESS, který bude co nejpřesněji odpovídat skutečnosti a tento model následně podrobit optimalizacím a experimentům za pomoci modulů, tak aby bylo dosaženo maximálního počtu vyrobených kusů ve sledovaném období.  Všechny tyto kroky by měly vést k optimalizaci procesů a analyzovaných pracovišť a racionálním výsledkům tak, aby mohli být v případě zájmu úspěšně implementovány do reálného řešení.
Omezení projektu:	Velmi vysoká časová náročnost a špatná dostupnost potřebného softwaru.
Analyzovaná pracoviště:	Střední loď, západní loď a svařovna

## 6 NÁVRH PROJEKTOVÉHO ŘEŠENÍ V PROGRAMU WITNESS

### 6.1 Vytvoření současného layoutu analyzovaných pracovišť

Základní stavební kámen pro současné řešení je naměření a zakreslení rozměrů analyzovaných pracovišť a rozmístění strojů.

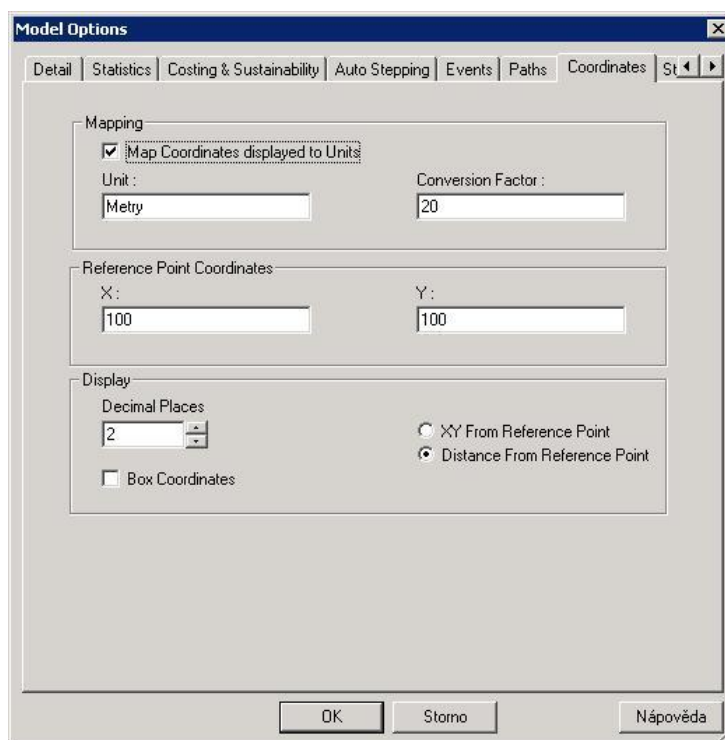
Vycházíme z těchto poznatků:

- Obrázek 18 – vytvořený v programu Google SketchUp
- Obrázek 19 – vytvořený v programu Google SketchUp

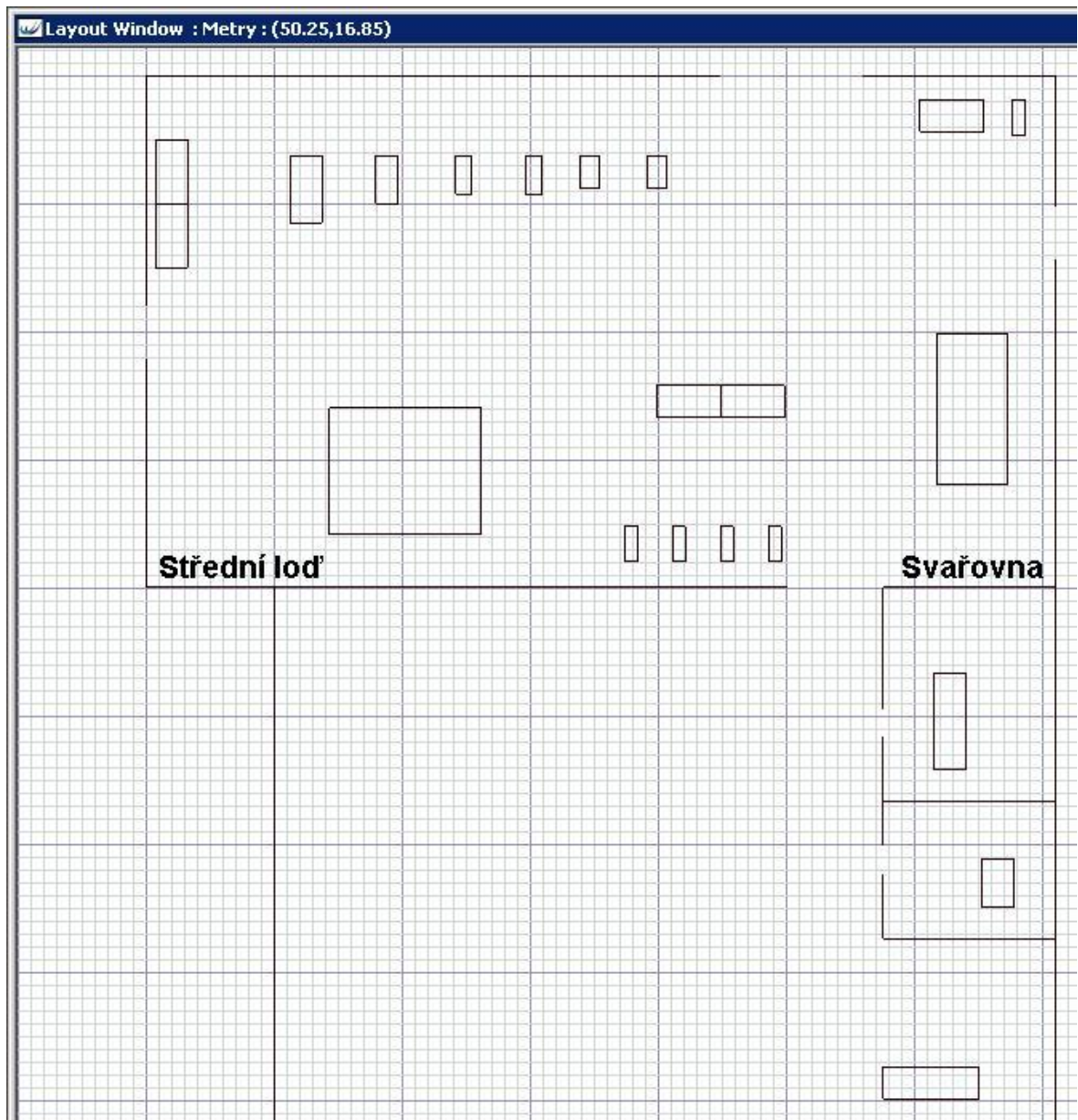
Samozřejmostí je převod do kompatibilního formátu souborů (dxf) pro komunikaci se simulačním produktem WITNESS.

### 6.2 Import layoutu a nastavení jednotek

Před samotným importem je důležité určit, v jakých jednotkách budeme pracovat. Pro tento případ je vhodnou jednotkou délky – metr. Dále je potřeba definovat tzv. konverzační faktor, který nám bude definovat rozměry vzhledem k velikosti okna, respektive k velikosti lupy.



Obrázek 27 Nastavení jednotek a konverzačního faktoru [vlastní zpracování]



Obrázek 28 Načtený skutečný layout [vlastní zpracování]

### 6.3 Vynesení potřebných elementů

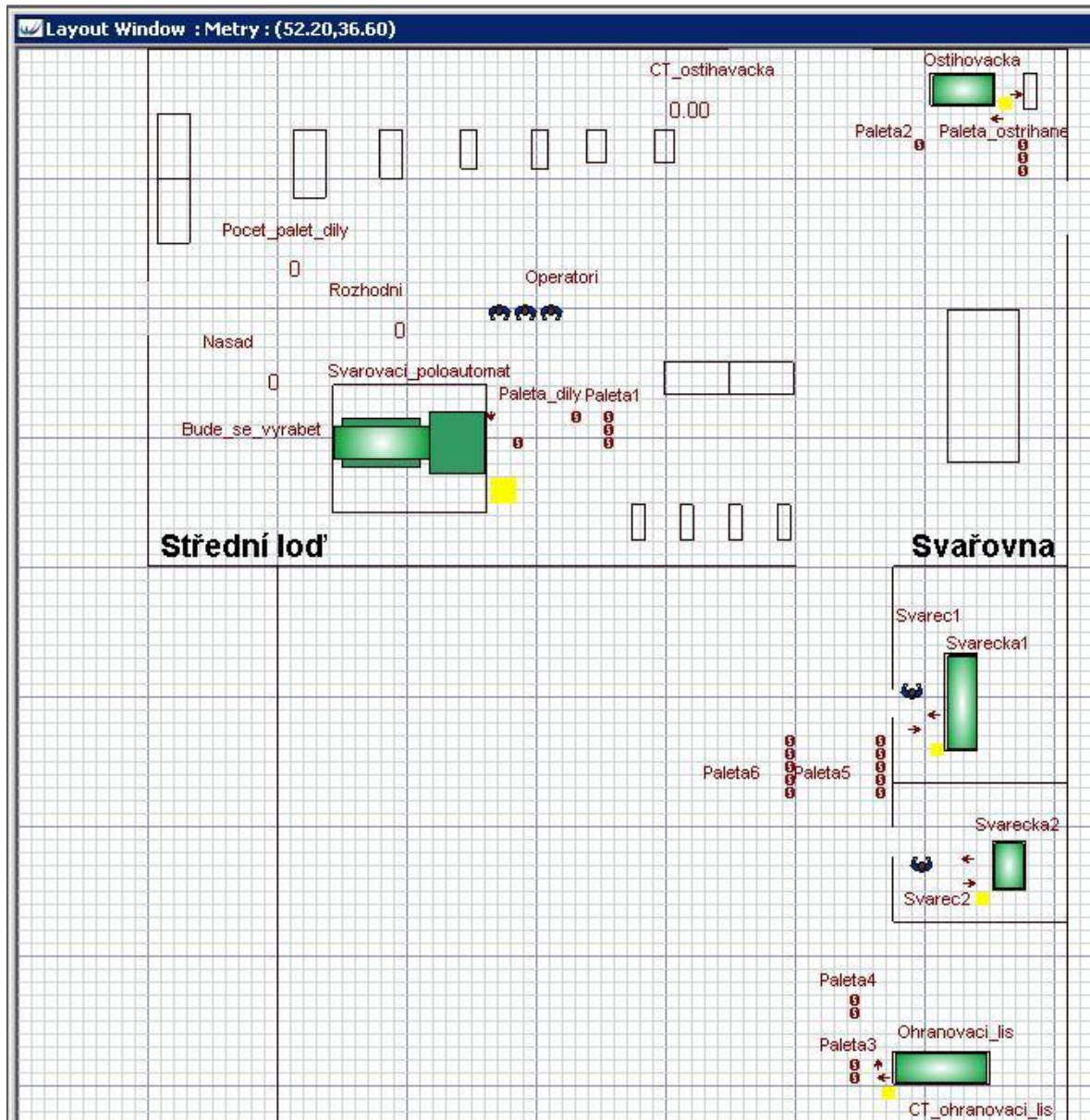
Jako další krok je nutné vynést elementy, které budou reprezentovat stroje, zásobníky (palety) a operátory. Z naměřených hodnot můžeme zjistit údaje pro stroje.

Tabulka 8 Názvy strojů a jejich rozměry [vlastní zpracování]

Název stroje	Délka [m]	Šířka [m]
Svařovací poloautomat	4,75	3,95
Ostřihovačka	2,00	1,00

Svářečka 1	1,00	3,00
Svářečka 2	1,00	1,50
Ohraňovací lis	3,00	1,00

Po získání potřebných rozměrů, můžeme vynést stroje v požadovaných délkách pro reálnější zobrazení.



Obrázek 29 Vynesení strojů dle rozměrů a ostatních elementů do layoutu [vlastní zpracování]

## 6.4 Nastavení strojů

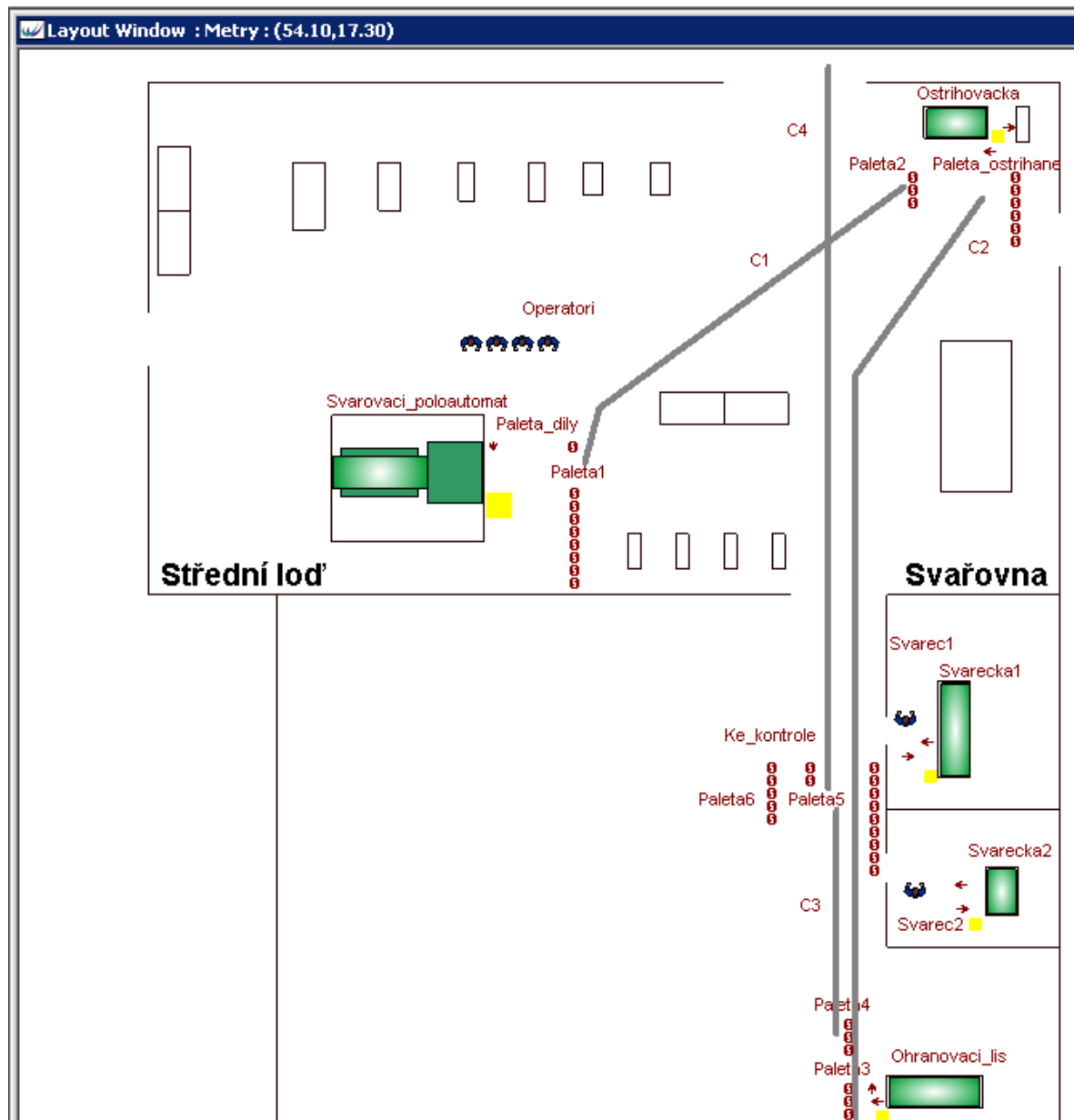
Pro nastavení strojů je zapotřebí znát operační časy jednotlivých operací, které zjistíme z normy (viz str. 96), dále pak velikost vstupů a výstupů, zdali je stroj schopný práce bez pracovníka či nikoliv a logiku celého procesu i jednotlivých výrobních postupů.

Tabulka 9 Potřebné informace k nastavení strojů a ověření modelu [vlastní zpracování]

Operace	Výkon za směnu [ks]	Čas na operaci [min]	Hodinový výkon [ks/hod]	Pracovník	Počet
Bodování přední části	135	1,722	17,4	Operátor	2
Bodování zadní části	135	1,722	17,4	Operátor	2
Lis - přední stěna	350	0,680	45,2	Operátor	2
Lis - zadní stěna	700	0,324	90,3	Operátor	1
Ostřih přední části	205	1,012	26,5	Operátor	2
Ostřih zadní části	229	1,120	29,5	Operátor	2
Svařování 1	40	11,625	5,2	Svářeč 1	1
Svařování 2	40	11,625	5,2	Svářeč 2	1
Vizuální kontrola	140	3,321	18,1	Operátor	2

## 6.5 Nastavení cest

Pro správné chození pracovníků a pro správný materiálový tok je potřeba nastavit tzv. cesty. Díky cestám nedochází k tomu, že pracovníci „neprocházejí“ stěnami a není automaticky vybrána nejkratší cesta, tzv. pseudo cesta. V realitě se běžně vyskytuje, že materiálový tok či cesty pracovníků mají určené trasy. Další výhodou je, že dojde ke zpřesnění modelu, jelikož každá cesta má definovanou délku a čas, za který bude zdolána od počátku až po konec. Avšak volba cest byla zvolena pouze pro základní elementy tvořící základní kámen, aby bylo dosaženo patřičné reálnosti. Pro návrat operátorů jsou ponechány pseudo cesty pro zachování patřičné jednoduchosti modelu. Z tohoto důvodu nemůže být zmapován veškerý pohyb pracovníků, jako je např. přenášení materiálu či cesta k dalšímu stroji, což jsou zbytečné časy, které nepřidávají výrobku žádnou hodnotu a jsou tedy označeny jako plýtvání.



Obrázek 30 Kompletní model respektující reálné rozměry [vlastní zpracování]

## 6.6 Logika celého modelu

Logika celého systému vychází z výrobního postupu výběrového reprezentanta (viz kapitola 4.4) a materiálových toků (viz kapitola 4.6).

Na paletu s díly je vyskládáno 5000 ks dílů, ze kterých se svařuje na svařovacím poloautomatu za přítomnosti dvou operátorů nejprve přední část koše, která se skládá ze 17 ks dílů. Po naplnění palety 1, jejíž kapacita je 30 ks a je k dispozici v množství 8 ks, se začíná vyrábět zadní část, skládající se z 20 ks dílů. Po naplnění palety 1 po 30 ks je opět vyráběna přední část koše.



Pokud poklesne množství na paletě s díly pod 2000 ks, je automaticky doplněno o počet 3000 ks dílů.

Když se paleta 1 naplní 30 ks jakékoliv části, je za pomoci operátora přenesena po cestě C1, která je dlouhá 13,5 m na paletu 2. Ta je k dispozici v množství 3 ks. Zde je polotovár upraven, dochází k ostříhání přebytečných částí z dílů za přítomnosti dvou operátorů. Ostříhané polotovary jsou uloženy na paletu s ostříhanými kusy, která je k dispozici v množství 6 ks.

Pokud je celá várka hotová, je přesunuta za pomoci operátora po cestě C2, která je dlouhá 30 m, na paletu 3, jenž je dostupná v množství 3 ks. Zde je polotovár přichystán k ohnutí hran na ohraňovacím lisu, který je ovládán dvěma operátory, pokud se jedná o přední díl, pouze jedním, zdali se jedná o zadní díl. Ohnuté polotovary jsou ukládány na paletu 4, která je k dispozici ve 3 ks.

Po dokončení operací na ohraňovacím lisu jsou z palety 4 polotovary přesunuty pomocí operátora po cestě C3, která je dlouhá 7 m, na paletu 5, jenž je k dispozici v 9 ks. Odtud si svářeč 1 nebo svářeč 2 berou přední díl, který upínají do přípravku a dále čekají na zadní díl, aby mohli začít se svařováním.

Při příchodu zadního dílu začíná proces svařování. Po dokončení svařování svářeč ukládá výrobky ke kontrole, která je k dispozici v množství 2 ks s kapacitou po 20 ks. Vizualní kontrolu a uložení hotového výrobku na paletu 6, provádí dva operátoři. Tato paleta má kapacitu 20 ks a nachází se v množství 5 ks. Pokud se na paletě 6 nachází 24 a více výrobků, jsou transportovány pomocí operátora po cestě C4 v délce 22,5 m do expedičního skladu v množství po 12 ks.

U strojů nedochází k žádným poruchám během, ani mimo směnu, stejně tak jako k žádnému seřízení.

## 7 SIMULACE, OPTIMALIZACE A EXPERIMENTOVÁNÍ S MODELEM V PROGRAMU WITNESS

Vytvořený model bude podroben simulaci v prostředí WITNESS a výsledky budou následně interpretovány a zobrazeny v tabulkách, jakožto budou i patřičně okomentovány. Při řešení budou použity moduly Optimizer a Scenario Manager.

### 7.1 Simulace aktuálního modelu

Při simulaci bylo zjištěno, že první kus výrobku bude vyroben v čase 814,704 minut a první várka na sklad dorazí v čase 826,359 minut. Kdy celá směna začíná v čase 360 minut a končí v čase 870 minut. Respektive tedy první kus bude od začátku směny vyroben v čase 454,704 minut a první várka bude na skladě v čase 466,359 minut od začátku směny.

Simulace bude probíhat pět pracovních dní. Problém může vzniknout tehdy, pokud chceme uvažovat statistiky o vytížení strojů. Z předešlého odstavce tedy chápeme, že výroba není zaběhlá, stroje tudíž zůstanou nevytížené, což bude mít za následek zkreslení statistik o nevytíženost. V tomto případě existuje tzv. warm up perioda, která nám dovolí počítat statistiky až po určité uplynuté době. Statistiku nám také neovlivní čas, mimo směnu, pokud budeme uvažovat tzv. report by on shift time.

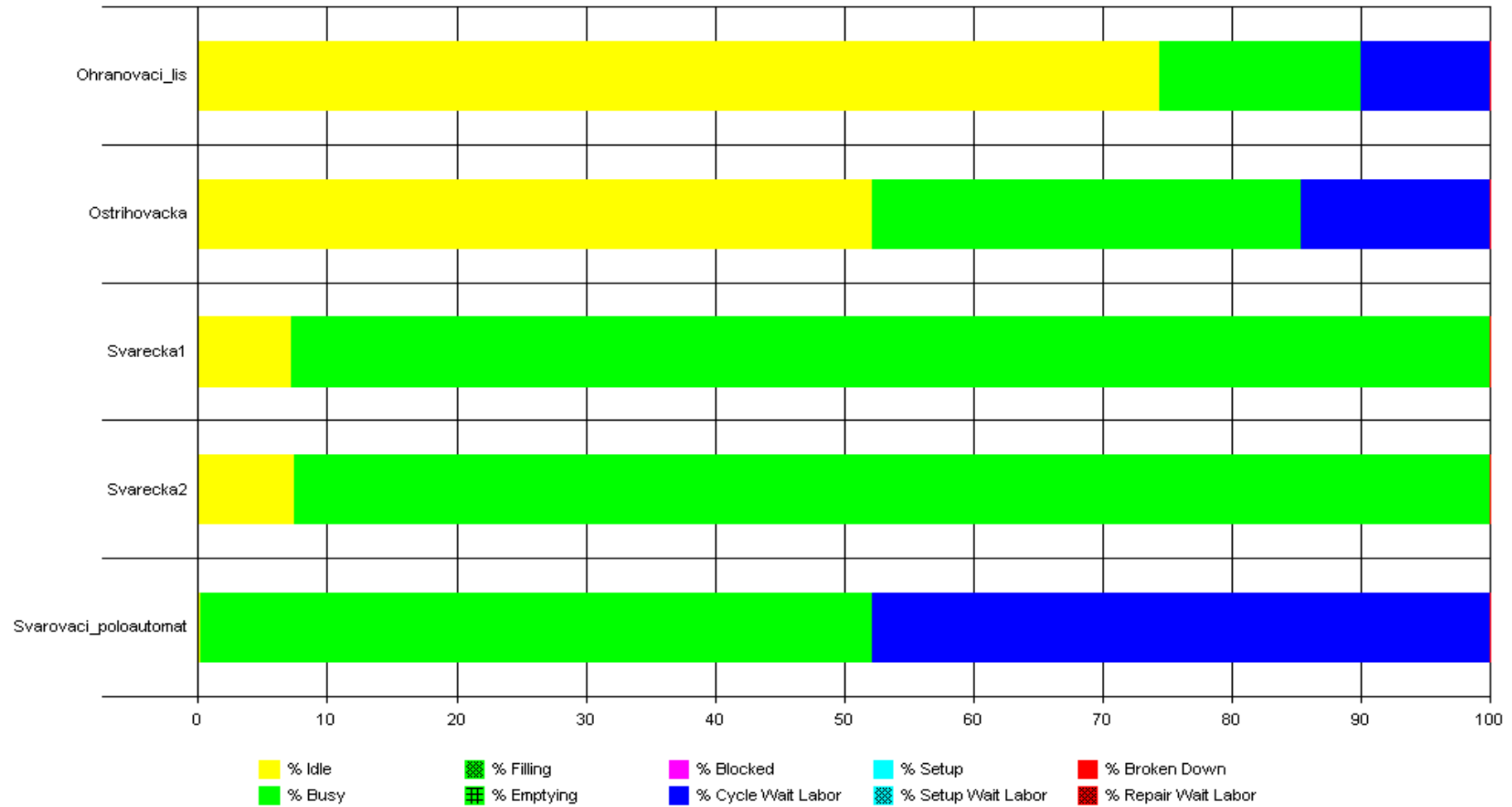
Z předešlého vyplývá tedy, že warm up perioda bude nastavena na hodnotu 870 nebo 1440 minut s použitím právě reportu by on shift time. Simulace poběží na dobu šesti dnů, ale statistika využití strojů bude počítána pouze z pěti pracovních dnů.

*Tabulka 10 Statistika vytížení strojů [vlastní zpracování]*

Name	Ohraňovací lis	Ostříhovačka	Svářečka 1	Svářečka 2	Svařovací poloautomat
% Idle	74,39	52,20	7,22	7,44	0,16
% Busy	15,55	33,19	92,78	92,54	52,05
% Filling	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% Emptying	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% Blocked	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% Cycle Wait Labor	10,70	14,62	0,00	0,00	47,79
% Setup	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% Setup Wait Labor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% Broken Down	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% Repair Wait Labor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
No. Of Operations	720	724	189	189	723

Promítnuto do grafu (viz *další strana*).

Machine Statistics Report by On Shift Time



Obrázek 31 Využití strojů promítnuto v grafu [vlastní zpracování]

Zelená barva v grafu (viz předcházející strana) znamená využití strojů, čili svářečka 1 a svářečka 2 jsou nejvíce vytíženy. Svářečky jsou úzkým místem, to jsme mohli již vydedukovat z nejdelších operačních časů (viz tabulka 9).

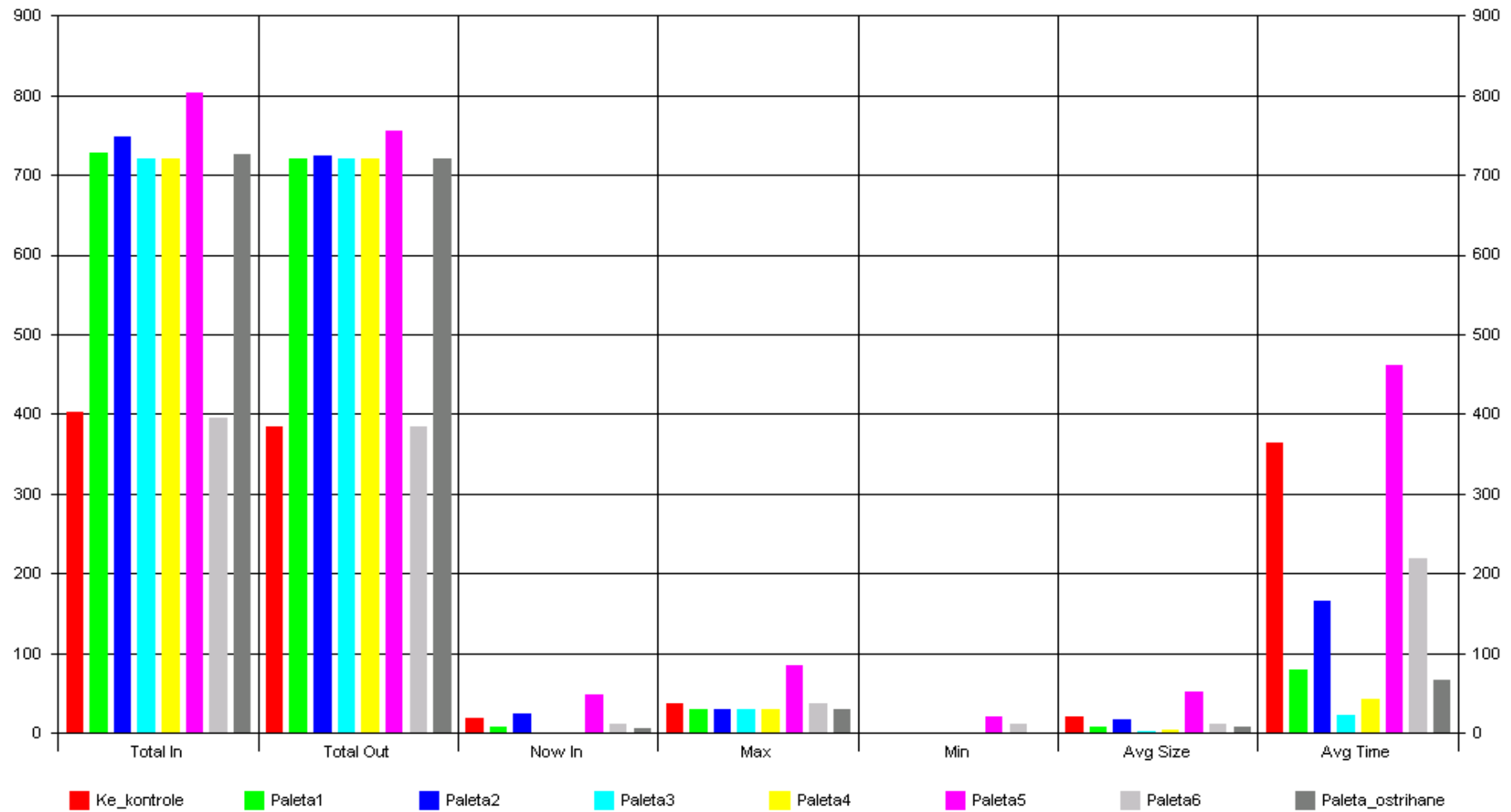
Nyní se musíme zaměřit na analýzu zásobníků, jelikož pokud se zásobník špatně nadimenzuje z pohledu kapacity, dojde k tomu, že je stroj před zásobníkem blokován, protože nemá kam odkládat výrobky či polotovary. Ze statistiky vidíme, že je blokace u všech strojů nulová, což je dobré znamení. I přesto je statistika zásobníků velmi důležitá, protože nám ukazuje využití kapacit a z opačného úhlu pohledu může zase dojít k předimenzování kapacity, což v konečném důsledku znamená zbytečné zabírání prostoru a samozřejmě vznik nákladů na pořízení „zbytečných“ zásobníků.

Tabulka 11 Statistika vytížení palet [vlastní zpracování]

Name	Ke kontrole	Paleta 1	Paleta 2	Paleta 3
Total In	402	728	748	720
Total Out	384	720	724	720
Now In	18	8	24	0
Max	36	30	30	30
Min	0	0	0	0
Avg Size	20,4	7,9	17,2	2,3
Avg Time	364,9	78,2	165,1	23,0
Počet	2	8	3	3
Jednotková kapacita	20	30	30	30
Celková kapacita	40	240	90	90
Kapacitní rezerva	4	210	60	60
Name	Paleta 4	Paleta 5	Paleta 6	Paleta ostříhané
Total In	720	804	396	726
Total Out	720	756	384	720
Now In	0	48	12	6
Max	30	84	36	30
Min	0	20	12	0
Avg Size	4,3	51,5	12,1	6,7
Avg Time	42,7	461,1	218,3	66,9
Počet	3	9	5	6
Jednotková kapacita	30	30	20	30
Celková kapacita	90	270	100	180
Kapacitní rezerva	60	186	64	150

Promítnuto do grafu (viz další strana).

Buffer Statistics Report by On Shift Time



Obrázek 32 Využití kapacit palet [vlastní zpracování]

Z předešlé tabulky vyplývá, že se naše domněnka potvrdila. Pokud se podíváme na kapacitní rezervy, zjistíme, že ani jedna hodnota není záporná. Pokud by byla rovna nule, museli bychom zvětšit kapacitu a přezkoumat vytížení.

Nyní, pokud víme, že mají zásobníky dostatečnou kapacitu, můžeme se orientovat na celkový výkon.

*Tabulka 12 Přehled normovaných a skutečných hodnot při aktuálním stavu [vlastní zpracování]*

Operace	Normovaný výkon za směnu [ks]	Skutečný výkon za směnu [ks]	Normovaný hodinový výkon [ks/hod]	Skutečný hodinový výkon [ks/hod]	Normovaný výkon celkem [ks]	Skutečný výkon celkem [ks]
Bodování přední části	135	72,0	17,4	9,3	675	360
Bodování zadní části	135	72,6	17,4	9,4	675	363
Lis - přední stěna	350	72,0	45,2	9,3	1750	360
Lis - zadní stěna	700	72,0	90,3	9,3	3500	360
Ostříh přední části	205	72,8	26,5	9,4	1025	364
Ostříh zadní části	229	72,0	29,5	9,3	1145	360
Svařování 1	40	37,8	5,2	4,9	200	189
Svařování 2	40	37,8	5,2	4,9	200	189
Vizuální kontrola	140	76,8	18,1	9,9	700	384

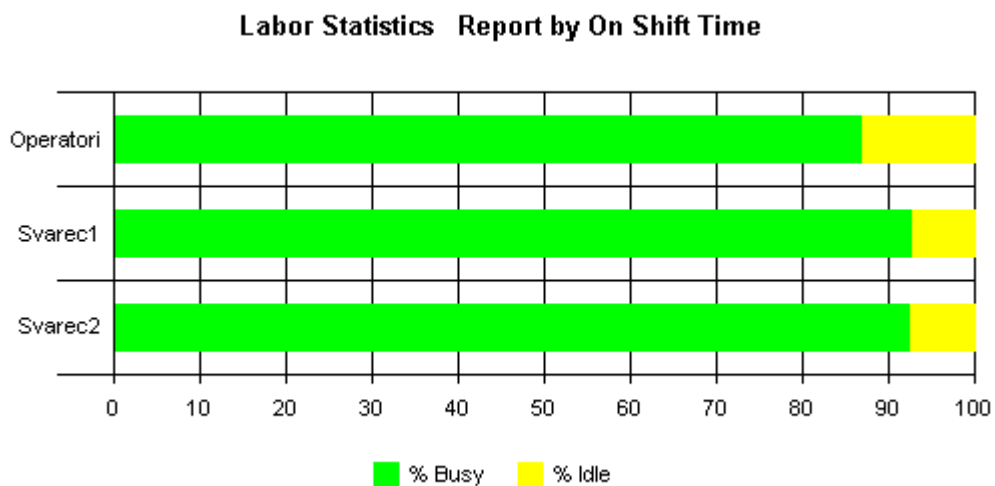
Jak můžeme vidět, skutečný výkon se velmi liší od normovaného výkonu. To je způsobeno aktuální počtem operátorů, kteří nemohou současně dělat na strojích, kvůli nízkému celkovému počtu.

Nyní se zaměříme na statistiku vytíženosti pracovníků. Po uplynutí doby simulace je statistika vytíženosti všech pracovníků při současném stavu na aktuálních pracovištích při pěti pracovních dnech následující (*viz další strana*).

Tabulka 13 Statistika vytížení pracovníků [vlastní zpracování]

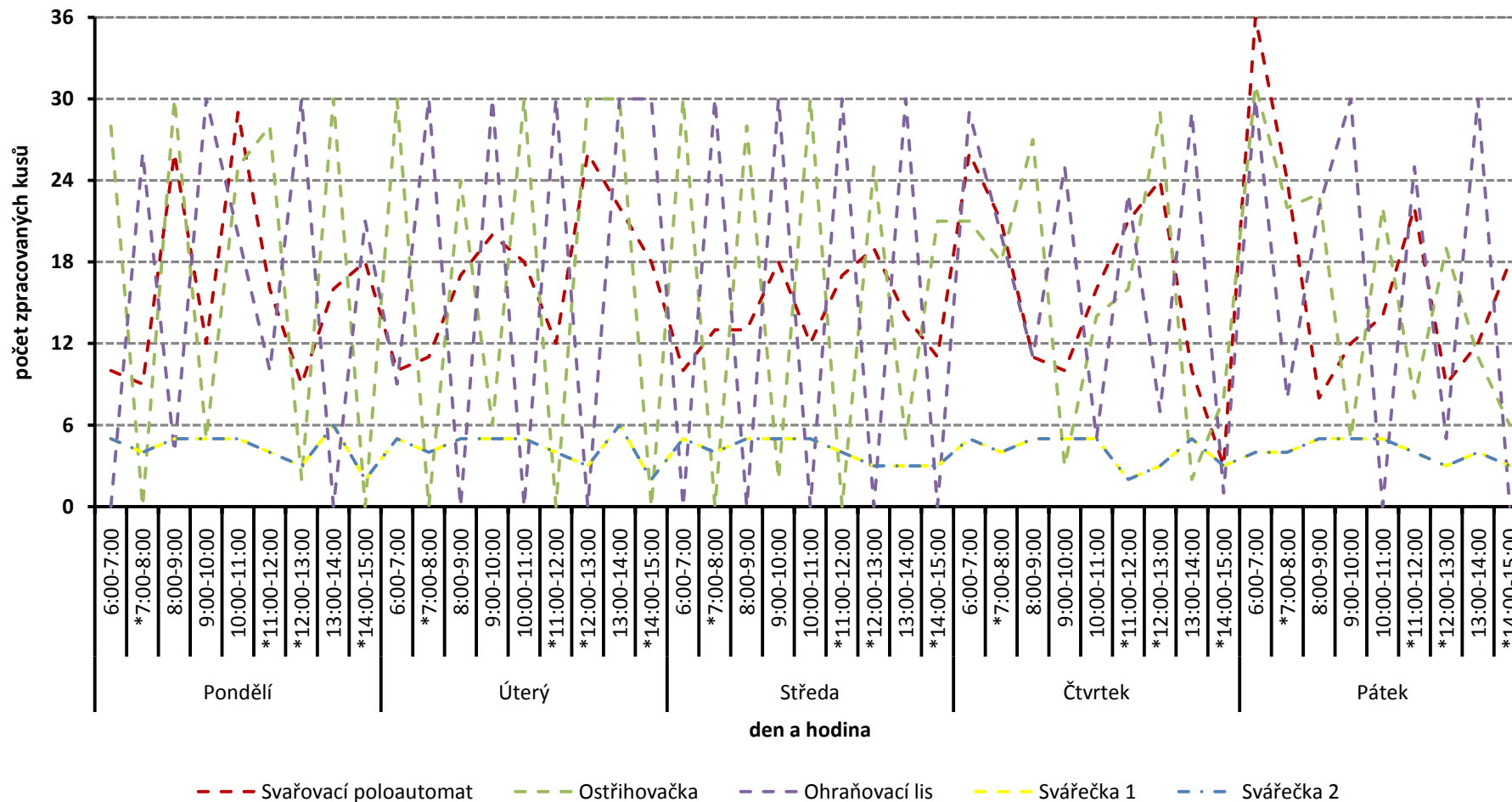
Name	Operatori	Svarec1	Svarec2
% Busy	86,98	92,78	92,54
% Idle	14,25	7,22	7,44
Quantity	4	1	1
No. Of Jobs Started	7020	567	567
No. Of Jobs Ended	7020	567	567
No. Of Jobs Now	0	0	0
No. Of Jobs Pre-empted	0	0	0
Avg Job Time	1,15	3,80	3,79

Grafická podoba vytížení pracovníků (viz graf).



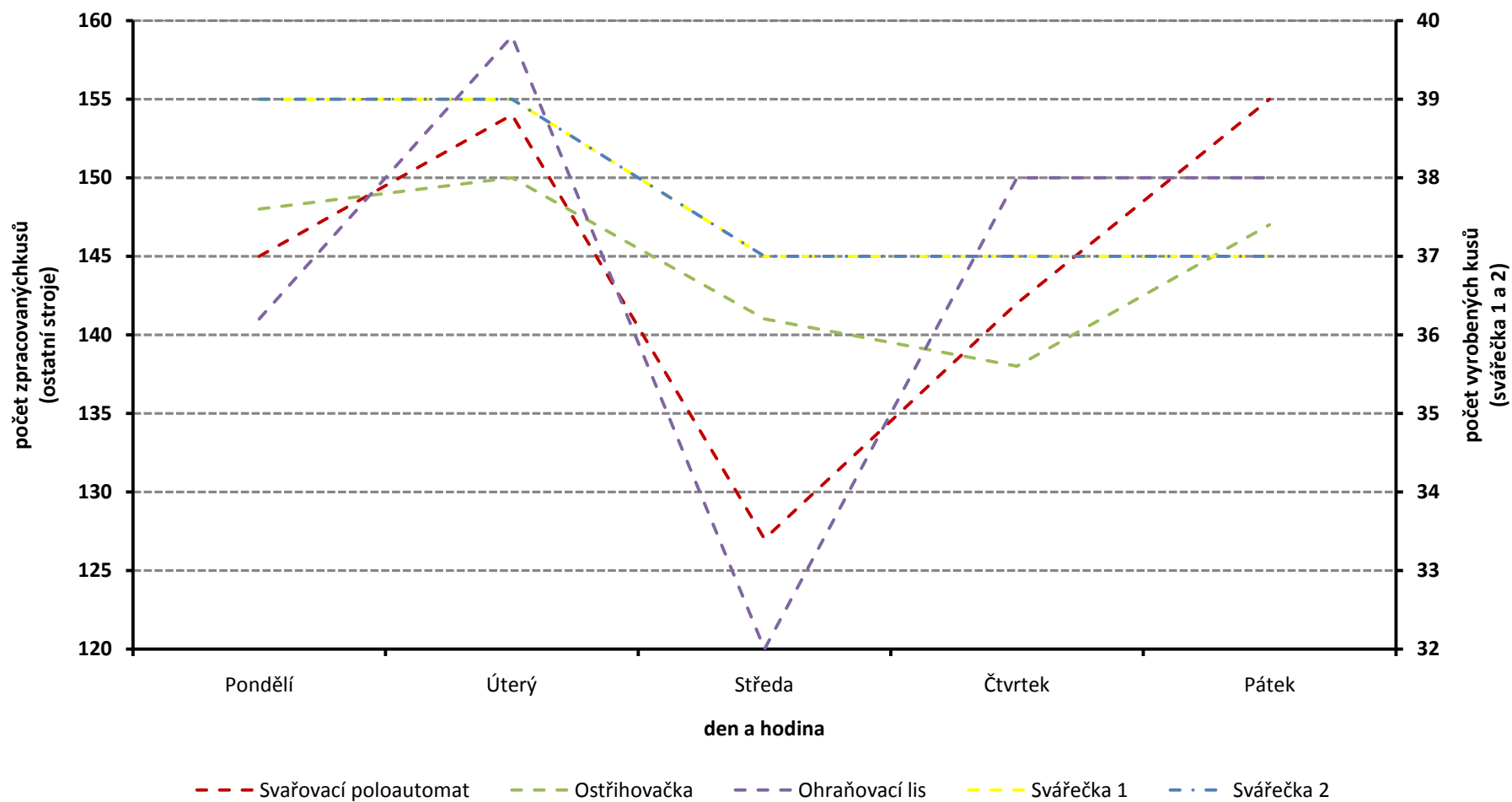
Obrázek 33 Graf vytížení pracovníků [vlastní zpracování]

Z předcházejícího grafu vidíme, že operátoři jsou vytíženi z 87% ve své pracovní době a svářeči přes 92%. Stejně vytížení jako svářeči mají i oba svařovací stroje. Z toho plyne, že úzké místo není ideálně zásobováno, jelikož z teoretické části vyplývá, že úzké místo musí být vždy dokonale předzásobeno a nesmí čekat. 100% se svým způsobem nedá dosáhnout nikdy při současné logice nastavení stroje, kdy pokud je čas do konce směny či přestávky kratší než operační čas svařování, svářeč již dál nepracuje, ale určitá rezerva tu je.



Obrázek 34 Graf zachycující hodinové průtoky na strojích v průběhu pracovního týdne [vlastní zpracování]





Obrázek 35 Graf zachycující celkové denní průtoky v průběhu pracovního týdne [vlastní zpracování]

Z předešlého grafu znázorňujícího hodinové průtoky vycházejícího z přílohy PIII (viz str. 97) vidíme, že hodinové výkony strojů nejsou stabilní a vyrovnané. To je stejně jako v předcházejícím případě způsobeno nedostatečným počtem pracovníků a vlivem přestávek a koncem směny vyplývající z tabulky znázorňující směnu (viz teoretická část), označené symbolem \*. Hodinové výkony svářečky 1 a svářečky 2 jsou totožné.

Ani v grafu, který opět vychází z přílohy PIII (viz str. 97) nemůžeme nalézt až na svářečky, vyrovnané výkony. Svářečky mají opět logicky vyrovnané výkony. Co se týče týdenních výkonů, jsou všechna pracoviště až na svářečky, které jsou úzkým místem, vyrovnaná.

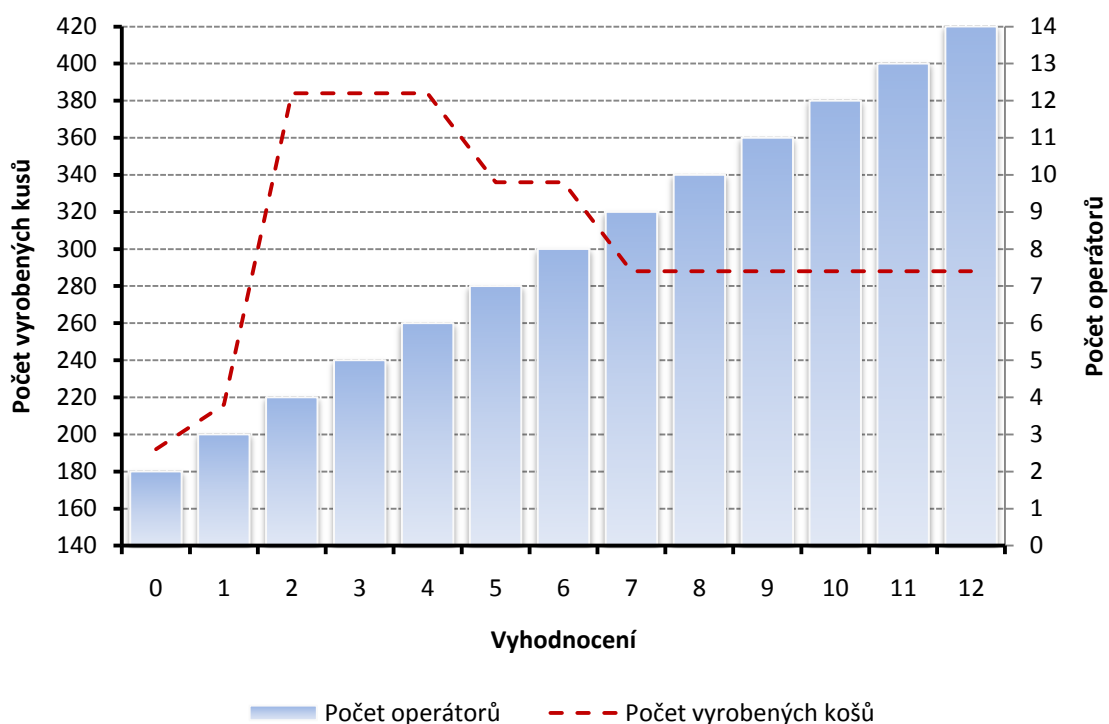
## 7.2 Optimalizace aktuálního modelu

Nyní se zaměříme a optimalizaci stávajícího modelu. Nejprve nás bude zajímat, jak se bude vyvíjet počet výrobků při změně pouze operátorů v rozmezí počtu 2 - 14 na směnu. Budeme sledovat maximální hodnotu výrobků.

*Tabulka 14 Optimalizace počtu výrobků z hledem k počtu pracovníků [vlastní zpracování]*

Evaluation	Vyrobena_kosu	Operatori .Shift:Smena .Quantity
0	192	2
1	216	3
2	384	4
3	384	5
4	384	6
5	336	7
6	336	8
7	288	9
8	288	10
9	288	11
10	288	12
11	288	13
12	288	14

Z tabulky vidíme, že počet výrobků se zvyšuje do počtu operátorů 4-6 a pak náhle klesá, což nedává na první pohled smysl. Z racionálního hlediska by se mělo jednat o přímoúměrné zvyšování vyrobených kusů košů a při určitém počtu operátorů by mělo množství stagnovat a ne dále klesat, jak ukazuje následující graf (viz další strana).



Obrázek 36 Graf vztahu mezi počtem vyrobených košů a počtem operátorů  
[vlastní zpracování]

Vysvětlení této příčiny je docela jednoduché. Jsme omezeni celkovou kapacitou palet, která se skládá z množství jednotlivých palet a kapacity jedné palety. Součinem dostáváme tedy celkovou kapacitu. Jinými slovy kapacita palet je špatně nadimezována, proto musíme zajistit kapacitní rezervu. Vzhledem k povaze modelu budeme měnit pouze množství jednotlivých palet. Dalším problémem je samozřejmě následná blokáce strojů, která vznikla zahlcením, způsobená právě nedostatečnou kapacitní rezervou palet (viz tabulka str. 60). Ale nejdůležitější omezení, které řídí celkový průtok, je úzké místo, čímž je svařování, jak můžeme vidět z tabulky normovaných a skutečných výkonů (viz str. 62). Maximální průtok tímto úzkým místem ve sledovaném období je maximálně 384 kusů košů.

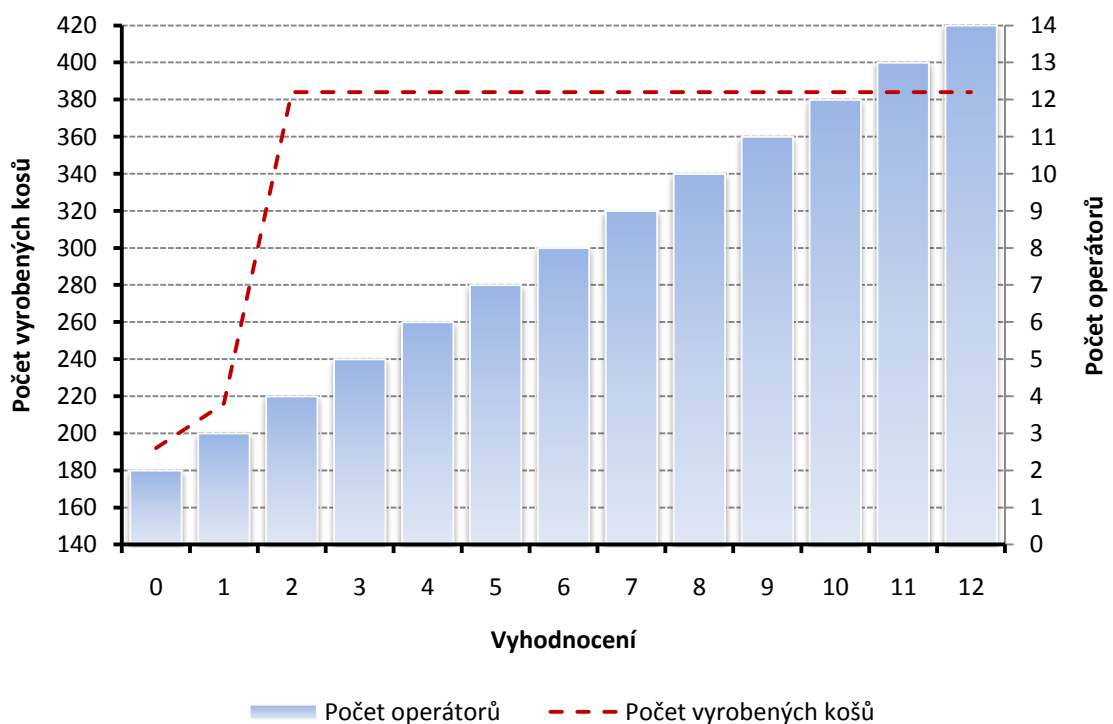
Po odstranění problémů s kapacitou dostáváme následující údaje.

Tabulka 15 Optimalizace po upravení celkové kapacity [vlastní zpracování]

Evaluation	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vyrobena_kosu	192	216	384	384	384	384	384	384	384	384	384	384	384
Operatori .Shift:Smena .Quantity	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Paleta1 .Quantity	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Paleta2 .Quantity	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Paleta3 .Quantity	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Paleta4 .Quantity	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Paleta5 .Quantity	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Paleta6 .Quantity	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Ke_kontrol .Quantity	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Pale- ta_ostrihane .Quantity	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

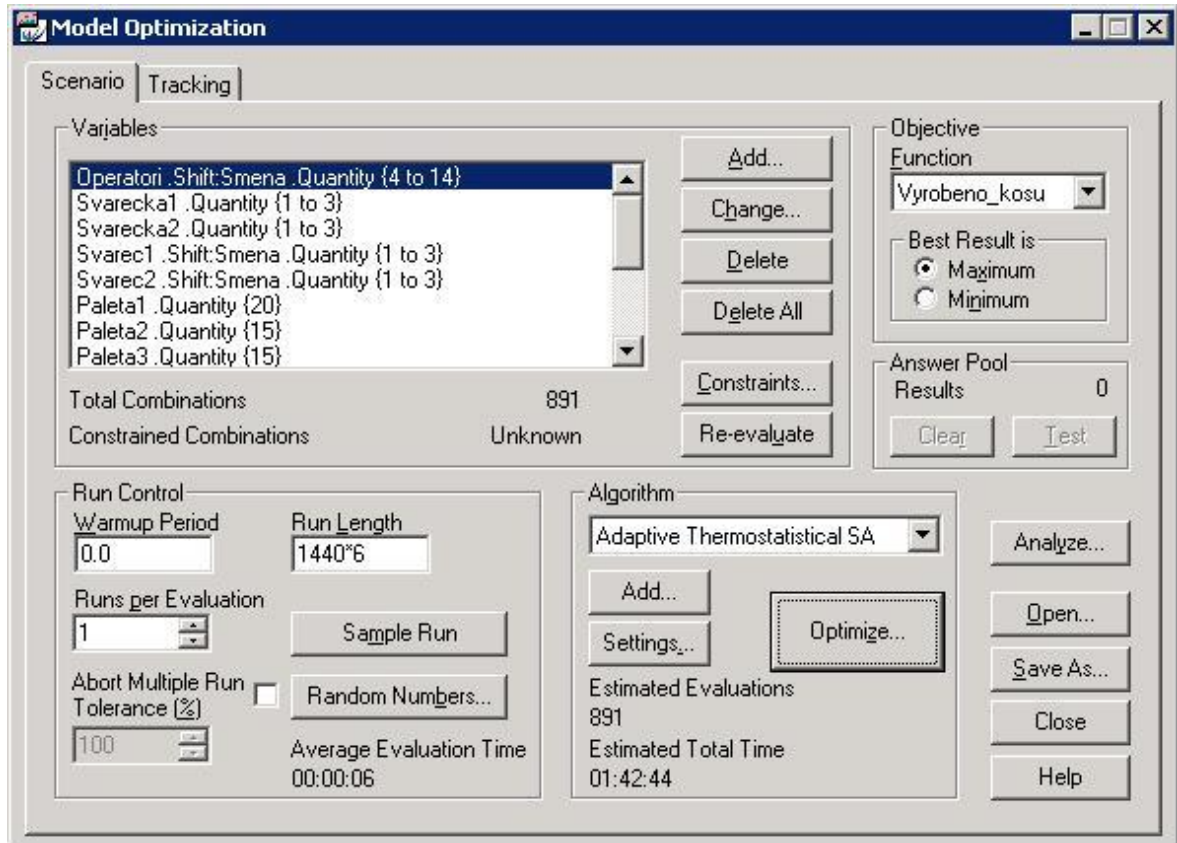
Promítnuto do grafu pro lepší přehlednost.



Obrázek 37 Graf vztahu mezi počtem vyrobených košů a počtem operátorů po nadimenzování celkové kapacity palet [vlastní zpracování]

Graf má již klasický průběh a od čtyř operátorů je vyráběno maximální množství košů. S počtem pracovníků rostou náklady na pracovní sílu, ale také vzniká velké množství rozpracované výroby, limitem je jen tedy úzké místo.

Nyní provedeme optimalizaci se zaměřením na rozšíření úzkého místa. Budeme zkoumat, jaký vliv bude mít, pokud by se rozšířila svářečka 1 a 2 na dvě a tři pracoviště s dostatečným množstvím svářečů, při zachování celkových kapacit palet z předchozí optimalizace.



Obrázek 38 Nastavení modulu Optimizer [vlastní zpracování]

V nastavení modulu Optimizer vidíme, že při řešení tohoto problému vzniká 891 možných kombinací. Takovýto počet možností je v oblasti optimalizací zcela běžný. Kombinace u složitějších modelů mohou jít do sta tisíců, proto je dobré optimalizovat model na výkonném počítači.

Stejně jako v předchozím případě, tak i v tomto případě nastavíme u optimalizace warm up periodu na 0, jelikož máme naši funkci v modelu ošetřenou, aby se nám zobrazovalo množství odpovídající pěti dnům. Délka běhu prováděné simulace bude 1440 minut po dobu šesti dnů, kdy opět první den bude záběh a nebude tedy do celkového počtu vyrobených košů započítán. Počet běhů pro vyhodnocení bude v tomto případě 1, jelikož model není příliš složitý a hlavně se v něm nevyskytují téměř žádné druhy distribucí a ani jiné náhodné vlivy a jsou tedy s tímto počtem dosaženy vyrovnané výsledky hledaných hodnot.

Z logického úsudku budeme předpokládat, že neoptimálnější řešením bude takové, které v sobě zahrnuje tři svářečky 1 a tři svářečky 2 a tři svářeče, kteří pracují na svářečce 1 a tři svářeče pracující na svářečce 2.

Z optimalizace nedostáváme jednoznačné řešení, ale 504 možností, při kterých je dosaženo produkce 480 košů během pěti pracovních dnů. Ukázka posledních 10 výsledků optimalizace je znázorněna v následující tabulce.

*Tabulka 16 Posledních 10 vyhodnocení splňující maximum výroby [vlastní zpracování]*

Evaluation	Vyrobeno_kosu	Operatori .Shift:Smena .Quantity	Svarecka1 .Quantity	Svarecka2 .Quantity	Svarec1 .Shift:Smena .Quantity	Svarec2 .Shift:Smena .Quantity
890	480	14	3	3	3	3
889	480	14	3	3	3	2
888	480	14	3	3	3	1
887	480	14	3	3	2	3
886	480	14	3	3	2	2
885	480	14	3	3	2	1
884	480	14	3	3	1	3
883	480	14	3	3	1	2
881	480	14	3	2	3	3
880	480	14	3	2	3	2

Nyní je zapotřebí nutnosti uplatnění filtrace dat v programu Microsoft Excel, abychom našli nejvýhodnější řešení. Jelikož jsme si nenadefinovali další funkce, jako např. náklady, výnosy a podobně, budeme vycházet z racionálního úsudku o počtu minimalizace elementů, tedy tím i minimalizace nákladů. Nejvýhodnější řešení bude tedy takové, které splňuje kritérium výroby 480 košů za sledované období a zároveň zahrnuje nejmenší počet strojů a operátorů. Nyní po primární filtraci dostáváme následující tabulku o 10ti nejlepších vyhodnoceních.

*Tabulka 17 10 nejlepších výsledků optimalizace splňující požadovaná kritéria po primární filtraci [vlastní zpracování]*

Evaluation	Vyrobeno_kosu	Operatori .Shift:Smena .Quantity	Svarecka1 .Quantity	Svarecka2 .Quantity	Svarec1 .Shift:Smena .Quantity	Svarec2 .Shift:Smena .Quantity	Filtr
192	480	6	2	1	2	1	12

172	480	6	1	2	1	2	12
273	480	7	2	1	2	1	13
253	480	7	1	2	1	2	13
219	480	6	3	1	2	1	13
201	480	6	2	2	2	1	13
199	480	6	2	2	1	2	13
195	480	6	2	1	3	1	13
193	480	6	2	1	2	2	13

Z tabulky jasně vyplývá, že požadované kritéria splňují dvě varianty. První variantou je šest operátorů a dvě svářečky 1 a dva svářeči 1 a jedna svářečka 2 a jeden svářeč 2 a druhou opět šest operátorů a dvě svářečky 2 a dva svářeči 2 a jedna svářečka 1 a jeden svářeč 1. Nalezení dvou možností je způsobeno identickými výkony obou svářeček a svářečů. Z řešení tedy vyplývá, že jsme se v našem úsudku mylili.

Avšak vzhledem k povaze a nastavení modelu víme, že výrobky musí projít kontrolou a proto je nutné do optimalizace přidat možnost o rozšíření kontroly. Nyní pro novou optimalizaci dostáváme 2673 možností.

*Tabulka 18 Posledních 10 vyhodnocení splňující požadovaná kritéria při rozšíření kontroly po primární filtraci [vlastní zpracování]*

Evaluation	Vyrob- no_kosu	Operatori .Shift:Sm ena .Quantity	Svarec- ka1 .Quantity	Svarec- ka2 .Quantity	Svarec1 .Shift:Sm ena .Quantity	Svarec2 .Shift:Sm ena .Quantity	Kontrola .Quantity
2672	696	14	3	3	3	3	3
2671	696	14	3	3	3	3	2
2669	696	14	3	3	3	2	3
2668	696	14	3	3	3	2	2
2666	696	14	3	3	3	1	3
2665	696	14	3	3	3	1	2
2663	696	14	3	3	2	3	3
2662	696	14	3	3	2	3	2
2660	696	14	3	3	2	2	3
2659	696	14	3	3	2	2	2

Z tabulky je opět patrné, že naše data musíme podrobit stejné filtraci, jako jsme to udělali v předchozím případě.

Tabulka 19 10 nejlepších výsledků optimalizace splňující požadovaná kritéria při rozšíření kontroly po primární filtraci [vlastní zpracování]

Eva- luation	Vyrobe- no_kosu	Opera- tori .Shift:S mena .Quantit y	Svarec- ka1 .Quantit y	Svarec- ka2 .Quantit y	Svarec1 .Shift:S mena .Quantit y	Svarec2 .Shift:S mena .Quantit y	Kontrola .Quantit y	Filtr
1639	696	10	3	1	3	1	2	20
1579	696	10	2	2	2	2	2	20
1519	696	10	1	3	1	3	2	20
1882	696	11	3	1	3	1	2	21
1822	696	11	2	2	2	2	2	21
1762	696	11	1	3	1	3	2	21
1666	696	10	3	2	3	1	2	21
1660	696	10	3	2	2	2	2	21
1642	696	10	3	1	3	2	2	21
1640	696	10	3	1	3	1	3	21

Z povahy a logiky fungování modelu a smysluplné implementace do reálného systému musíme předešlé data podrobit sekundární filtraci, abychom dosáhli jen takových hodnot, při kterých může úzké místo smysluplně pracovat. Tudíž rozšíření musí vždy odpovídat stejnému počtu pracovní síly, v tomto případě svářečů.

Tabulka 20 10 nejlepších výsledků optimalizace splňující požadovaná kritéria při rozšíření kontroly po sekundární filtraci [vlastní zpracování]

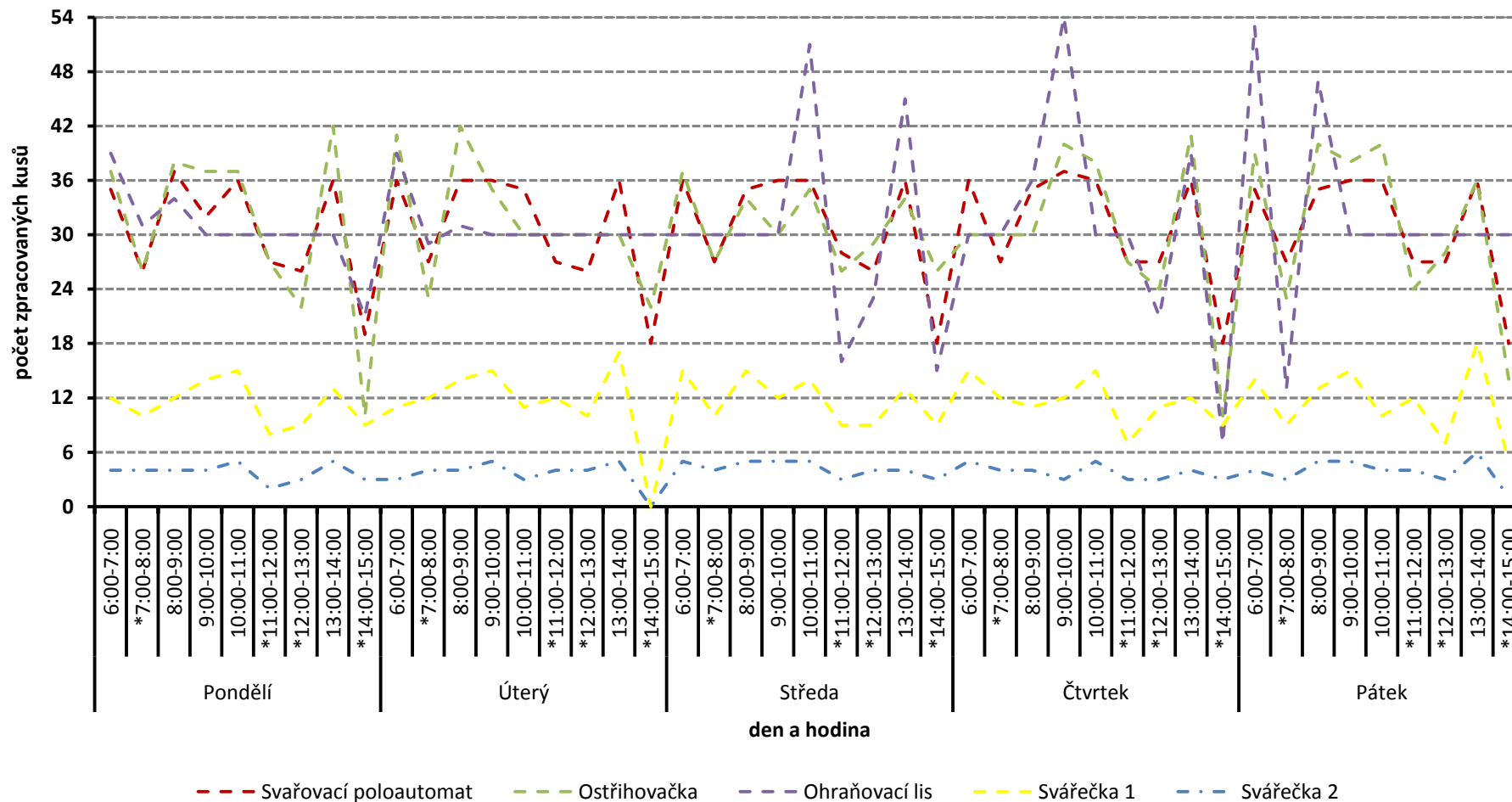
Eva- luation	Vyrobe- no_kosu	Operatori .Shift:Sme na .Quantity	Svarec- ka1 .Quantit y	Svarec- ka2 .Quantit y	Svarec1 .Shift:Sme na .Quantity	Svarec2 .Shift:Sme na .Quantity	Kontro- la .Quanti ty
1639	696	10	3	1	3	1	2
1579	696	10	2	2	2	2	2
1519	696	10	1	3	1	3	2
1882	696	11	3	1	3	1	2
1822	696	11	2	2	2	2	2
1762	696	11	1	3	1	3	2
1640	696	10	3	1	3	1	3
1580	696	10	2	2	2	2	3
1520	696	10	1	3	1	3	3
2125	696	12	3	1	3	1	2



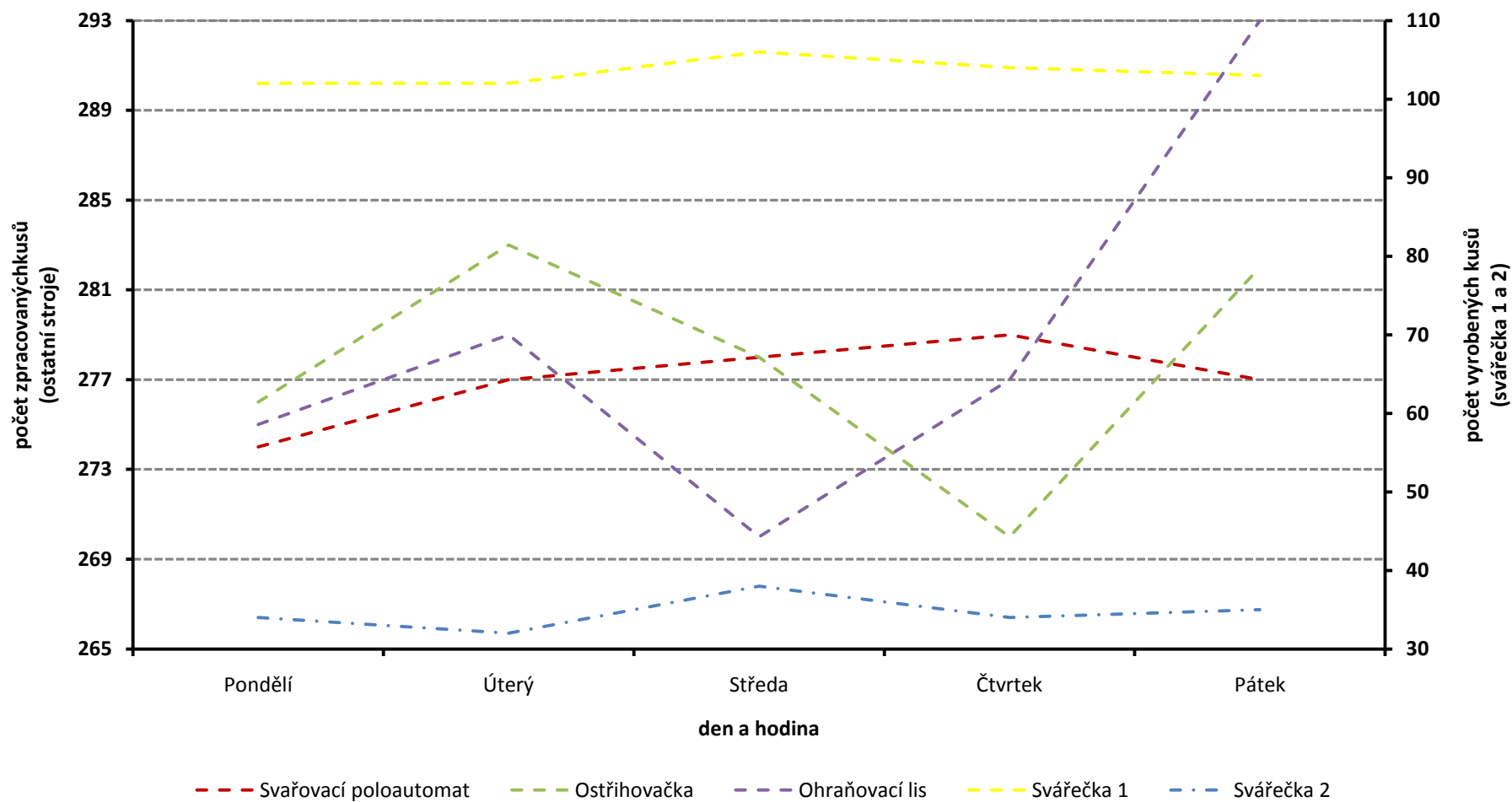
Po filtraci dat dostáváme novou tabulku (*viz předcházející strana*), kde můžeme vidět, že požadované kritéria splňují tři varianty. První variantou je deset operátorů, tři svářečky 1 a tři svářeči 1, jedna svářečka 2 a jeden svářeč 2 a dvě kontroly. Další variantou jsou dvě svářečky 1, dva svářeči 1, dvě svářečky 2, dva svářeči 2, dvě kontroly a deset operátorů. Poslední variantou je deset operátorů, tři svářečky 2 a tři svářeči 2, jedna svářečka 1 a jeden svářeč 1 a opět dvě kontroly. Při tomto řešení bude ve sledovaném období dosaženo produkce 696 kusů, což je nárůst oproti současnosti o 81,25%.

Z celkového ekonomického hlediska došlo k vzniku nových nákladů na pořízení pracovní síly v podobě operátorů a nárůstu investičních nákladů v důsledku pořízení stroje a vázaností dalších nákladů na pracovní sílu v podobě svářečů.

Pro zachycení nových průtoků si zvolíme první variantu řešení. Po následné optimalizaci dostáváme nové hodnoty průtoků vycházející z přílohy PIV (*viz str. 99*), které zachycují grafy (*viz další strany*).



Obrázek 39 Graf zachycující hodinové průtoky na strojích po optimalizaci v průběhu pracovního týdne [vlastní zpracování]



Obrázek 40 Graf zachycující celkové denní průtoky po optimalizaci v průběhu pracovního týdne [vlastní zpracování]

Jak můžeme vidět, hodnoty značně vrostly, jak ukazuje následující tabulka vycházející z příloh PIII a PIV (viz str. 97 a 99). S růstem operátorů bylo dosaženo na všech strojích mimo svářečky 1 a 2 nárůstu průtoku o více jak 90% U svářečky 1, kterou jsme rozšířili na tři kusy a dodali ji stejný počet svářečů 1, je zaznamenáno zvýšení průtoku o cca 173,5%. U svářečky 2, která zůstala nezměněná, klesl průtok v důsledku optimalizace o cca 8,5%.

Tabulka 21 Porovnání původních průtoků a průtoků po optimalizaci [vlastní zpracování]

Den	Průtok/Název stroje	Svařovací poloautomat	Ostřihovačka	Ohrňovací lis	Svářečka 1	Svářečka 2
Pondělí	Původní průtok [ks]	145	148	141	39	39
	Průtok po optimalizaci [ks]	274	276	275	102	34
Úterý	Původní průtok [ks]	154	150	159	39	39
	Průtok po optimalizaci [ks]	277	283	279	102	32
Středa	Původní průtok [ks]	127	141	120	37	37
	Průtok po optimalizaci [ks]	278	278	270	106	38
Čtvrtek	Původní průtok [ks]	142	138	150	37	37
	Průtok po optimalizaci [ks]	279	270	277	104	34
Pátek	Původní průtok [ks]	155	147	150	37	37
	Průtok po optimalizaci [ks]	277	282	293	103	35
	Celkový původní průtok [ks]	723	724	720	189	189
	Celkový průtok po optimalizaci [ks]	1385	1389	1394	517	173
	Procentuální nárůst/pokles	91,56%	91,85%	93,61%	173,54%	-8,47%

## 7.3 Experimentování s modelem

### 7.3.1 Experiment č.1

Tento experiment se bude zabývat změnou výrobního postupu (viz str. 47), kdy nejprve začneme vyrábět zadní díl, díl B a poté navážeme výrobou předního dílu, dílu A a to vše za současných podmínek. Experimentem pak budeme zkoumat, zda se změní ve sledovaném období vyráběné množství kusů či využití strojů. Výsledky experimentu zachycuje následující tabulka (viz další strana).

Tabulka 22 Porovnání statusů po experimentu s původními hodnotami [vlastní zpracování]

Name	Ohraňovací lis			Ostřihovačka			Svářečka 1			Svářečka 2			Svařovací poloautomat		
	Po experimentu	Původní stav	Změna	Po experimentu	Původní stav	Změna	Po experimentu	Původní stav	Změna	Po experimentu	Původní stav	Změna	Po experimentu	Původní stav	Změna
% Idle	71,82	74,39	-2,57	49,99	52,20	-2,21	5,74	7,22	-1,48	6,00	7,44	-1,44	0,18	0,16	+0,02
% Busy	15,55	15,55	-	34,46	33,19	+1,27	94,26	92,78	+1,48	94,00	92,54	+1,46	53,31	52,05	+1,26
% Filling	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-
% Emptying	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-
% Blocked	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-
% Cycle Wait Labor	12,63	10,70	+1,93	15,55	14,62	+0,93	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	46,51	47,79	-1,28
% Setup	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-
% Setup Wait Labor	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-
% Broken Down	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-
% Repair Wait Labor	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-

Z předešlé tabulky vyplývá, že ve statistikách vytížení strojů došlo pouze k malým změnám a jsou tedy zanedbatelné. Nyní se zaměříme na počty operací jednotlivých strojů a počtu vyrobených kusů (viz následující tabulka).

*Tabulka 23 Porovnání počtu operací na jednotlivých strojích po experimentu s původními hodnotami [vlastní zpracování]*

Název stroje	Počet operací po experimentu	Počet operací původně	Rozdíl
Ohraňovací lis	720	720	0
Ostřihovačka	750	724	+26
Svářečka 1	192	189	+3
Svářečka 2	192	189	+3
Svařovací poloautomat	740	723	+17
Suma	2594	2545	+49
Počet vyrobených kusů	384	384	0

Z předcházející tabulky můžeme vidět, že počet výrobků za sledované období zůstává neměnný, ale vidíme značný nárůst počtu operací. Z toho můžeme usoudit, že pravděpodobně došlo k vyšší rozpracovanosti výroby, kterou tedy podrobíme analýze (viz následující tabulka).

*Tabulka 24 Analýza rozpracovanosti výroby po experimentu a původní hodnoty [vlastní zpracování]*

Název	Po experimentu	Původní hodnoty	Rozdíl
Ke_kontrolé	20	18	+2
Paleta1	20	8	+12
Paleta2	0	24	-24
Paleta3	30	0	+30
Paleta4	0	0	0
Paleta5	44	48	-4
Paleta6	12	12	0
Paleta_ostrihane	0	6	-6
Suma	126	116	+10

Z předešlé tabulky vycházející ze statistiky vytížení palet (viz str. 60) můžeme vidět, že došlo k nárůstu rozpracovanosti výroby v posledním dnu výroby o 10 ks, což z pohledu výroby znamená, že je výhodnější začít vyrábět zadní díl, tedy díl B.

### 7.3.2 Experiment č. 2

V tomto experimentu se zaměříme na rozšíření úzkého místa, avšak na rozdíl od optimalizačního řešení budeme zkoumat vliv rozšíření při zachování současného počtu operátorů. Čili zkoumat budeme jen vliv počtu svářečů a svářeček. Z předešlých optimalizací můžeme vyvodit, že budeme zkoumat maximální počet jednotlivých svářečů či svářeček o hodnotě tři kusy. V důsledku očekávání nárůstu průtoku, zvýšíme pouze celkovou kapacitu palety, na kterou vstupují výrobky po operaci svařování. Výsledky experimentu po filtraci znázorňuje následující tabulka.

Tabulka 25 Tabulka vyfiltrovaných výsledků po experimentu [vlastní zpracování]

Evaluation	Vyrobeno_kosu	Svarec1 .Shift:Smena .Quantity	Svarecka1 .Quantity	Svarec2 .Shift:Smena .Quantity	Svarecka2 .Quantity	Rozpracovanost
0	384	1	1	1	1	116
44	384	2	2	3	3	70
4	360	1	1	2	2	117
8	360	1	1	3	3	116
36	360	2	2	1	1	117
40	360	2	2	2	2	109
72	360	3	3	1	1	116
76	360	3	3	2	2	109
80	360	3	3	3	3	107

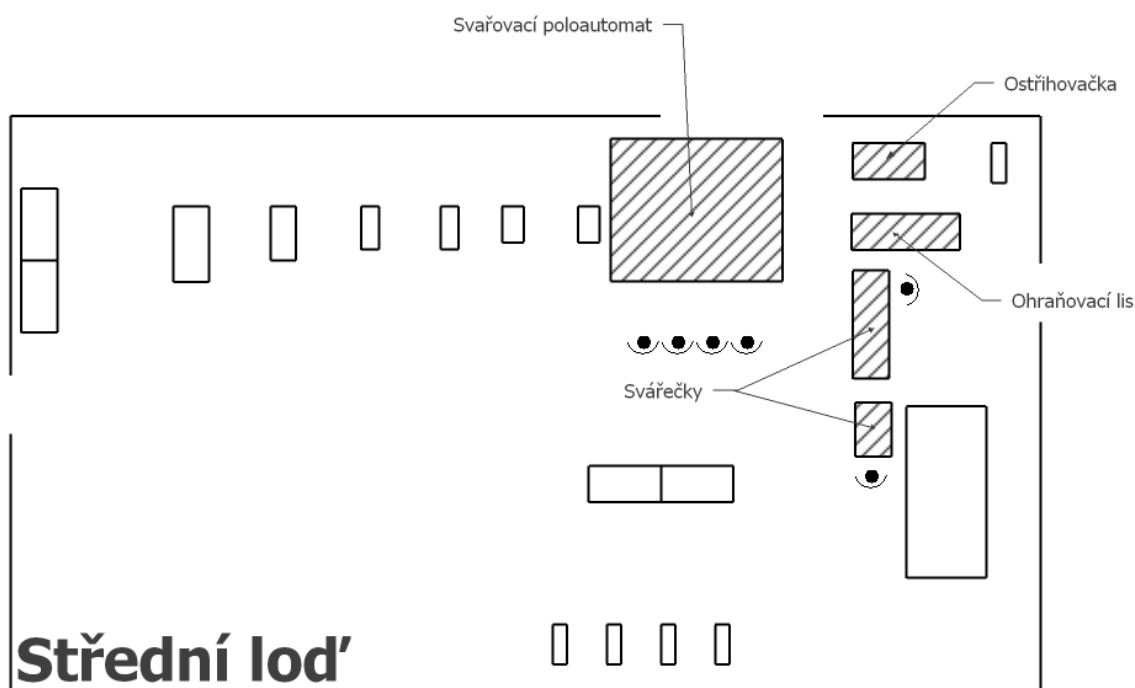
Z předcházející tabulky vidíme výsledky počtu vyrobených košů ve sledovaném období. Pouze u dvou kombinací bylo dosaženo nejvyšších možných hodnot výroby, což je paradox, pokud jsme rozšiřovali úzké místo. Nejvyšší hodnota byla dosažena u současného řešení a při dvou svářečkách 1 a dvou svářečích 1 a třech svářečkách 2 a třech svářečů 2. Z ekonomického hlediska je druhé řešení oproti původnímu řešení zcela nepřijatelné, jelikož by došlo ke vzniku jak investičních nákladů, tak nákladů na novou pracovní sílu při stejném počtu vyrobených kusů. U každého řešení můžeme ještě vidět rozpracovanost v posledním dnu výroby.

Paradox způsobený poklesem vyrobených košů při rozšíření úzkého místa ve sledovaném období je zapříčiněn nárůstem počtu vyrobených košů při záběhu výroby, uspořádáním pracoviště a povahou modelu. Nesmíme zapomínat také na to, že pracujeme s aktuálními podmínkami, čili je k dispozici pouze omezený počet operátorů. Pokud bychom chtěli zvý-

šit průtok úzkým místem a celkový počet vyrobených košů ve sledovaném období, je třeba se zaměřit na optimalizační řešení (viz str. 72).

### 7.3.3 Experiment č. 3

V posledním experimentu budeme zkoumat vliv modulárního uspořádání pracoviště, tím dosáhneme toho, že dojde k rapidnímu zkrácení materiálových toků. K dosažení takového uspořádání musíme upravit námi vytvořený model. Modulárně uspořádané pracoviště bude vypadat následovně (viz obrázek).



Obrázek 41 Modulárně uspořádané pracoviště [vlastní zpracování]

Z obrázku je patrné, že stroje ze svařovny a západní lodi byly přesunuty do střední lodi, kde vytvořily pracovní buňku. Nyní k následujícímu experimentu využijeme modul Scenario Manager, výsledky zobrazuje následující tabulka.

Tabulka 26 Výsledky buňkového uspořádání pracoviště [vlastní zpracování]

Scenario	Sva-rec2.Quantity	Svarec-ka2.Quantity	Sva-rec1.Quantity	Svarec-ka1.Quantity	Rozpracovanost()	Vyrobeno_kosu()
1	1	1	1	1	338	384

Z předchozí tabulky vidíme, že došlo k výrobě stejného počtu košů ve sledovaném období, avšak prudce narostla rozpracovanost výroby – o cca 231%. Nyní musíme posoudit současnou statistiku vytížení palet, kterou zachycuje následující tabulka (viz další strana).



Tabulka 27 Statistika vytižení palet po experimentu č. 3 [vlastní zpracování]

Name	Ke_kontrolle	Paleta1	Paleta2	Paleta3
Total In	418	936	955	930
Total Out	384	930	935	930
Now In	34	6	20	0
Max	36	30	30	30
Min	0	1	1	1
Avg Size	22,92	12,80	11,28	3,29
Avg Time	394,83	92,92	85,06	25,50
Počet	3	8	3	3
Jednotková kapacita	20	30	30	30
Celková kapacita	60	240	90	90
Kapacitní rezerva	24	210	60	60
Name	Paleta4	Paleta5	Paleta6	Paleta_ostrihane
Total In	930	1036	396	940
Total Out	930	780	384	930
Now In	0	256	12	10
Max	30	260	36	30
Min	0	20	1	0
Avg Size	3,32	169,87	12,10	9,84
Avg Time	25,71	1180,56	218,32	75,39
Počet	3	9	5	6
Jednotková kapacita	30	30	20	30
Celková kapacita	90	270	100	180
Kapacitní rezerva	60	10	64	150

Z tabulky (viz předcházející strana) vyčteme, že kapacitní rezerva nebyla v žádném případě překročena. Proto se nyní můžeme přesunout k dalšímu kroku. Stejně jako v experimentu č. 2 i nyní budeme rozšiřovat úzké místo. Výsledky rozšíření úzkého místa po filtraci jsou zachyceny v následující tabulce.

Tabulka 28 10 vyhodnocení variant experimentu č.3 po primární filtraci po rozšíření úzkého místa [vlastní zpracování]

Evaluati-on	Vyrobeno_kosu	Svarec1 .Shift:Smena .Quantity	Svarec-ka1 .Quantity	Svarec2 .Shift:Smena .Quantity	Svarec-ka2 .Quantity	Rozpracovanost
4	432	1	1	2	2	129
36	432	2	2	1	1	135
5	432	1	1	2	3	131
7	432	1	1	3	2	129
13	432	1	2	2	2	131

31	432	2	1	2	2	129
37	432	2	2	1	2	128
39	432	2	2	2	1	135
45	432	2	3	1	1	130
63	432	3	2	1	1	135

Z předešlé tabulky vidíme 10 vyhodnocení splňující maximální počet výrobků a minimalizaci použitých elementů. Z povahy a fungování modelu víme, že každé úzké místo v modelu musí být ovládáno příslušnou pracovní silou. Proto data podrobíme sekundární filtraci, abychom dosáhli reálného výsledku, jak zachycuje následující tabulka.

*Tabulka 29 Celkové vyhodnocení variant po sekundární filtraci [vlastní zpracování]*

Evalua- tion	Vyrobe- no_kosu	Svarec1 .Shift:Sme na .Quantity	Svarec- ka1 .Quantity	Svarec2 .Shift:Sme na .Quantity	Svarec- ka2 .Quantity	Rozpracovanost
4	432	1	1	2	2	129
36	432	2	2	1	1	135
8	432	1	1	3	3	131
40	432	2	2	2	2	133
72	432	3	3	1	1	134
44	432	2	2	3	3	130
76	432	3	3	2	2	132
80	432	3	3	3	3	132

V konečném výsledku je při buňkovém uspořádání pracoviště jako nejvýhodnější zvolit buď variantu s jedním svářečem 1 a jednou svářečkou 1 a dvěma svářečkami 2 a dvěma svářeči 2 při rozpracovanosti v posledním dnu výroby 129 ks nebo variantu se dvěma svářečkami 1 a dvěma svářeči 1 a jednou svářečkou 2 a jedním svářečem 2 při rozpracovanosti 135 ks v posledním dnu výroby. Při obou variantách je produkce 432 kusů výrobků, což je oproti současnému stavu nárůst o 12,5%.

Z ekonomického hlediska bychom museli kalkulovat se vznikem investičních nákladů v podobě pořízení svařovacího stroje a odpovídající pracovní síle, což by zapříčinilo vznik nových nákladů na pracovní sílu. Samozřejmě nesmíme opomenout jednorázové náklady na přestavbu analyzovaného pracoviště.

## ZÁVĚR

Tato diplomová práce pojednávala o projektu implementace simulací, optimalizací a experimentů, což je v současnosti moderní řešení v oblasti průmyslového inženýrství. Tato metoda byla aplikována za pomoci britského simulačního softwarového produktu WITNESS a jeho modulů ve společnosti KOVOS, spol. s r. o. při výrobě gabiónových košů. Toto řešení reflektuje snahu společnosti o úspěšnou implementaci metod průmyslového inženýrství, kterými bude dosaženo optimalizace výrobních i nevýrobních procesů, zvýšení produktivity a úspory nákladů. Těmito opatřeními má být dosaženo větší konkurenceschopnosti a tržního postavení.

Práce je rozdělena do třech částí. První část je část teoretická, která slouží jako výchozí podklad pro zpracování zbylých dvou částí, části praktické a projektové. Praktická část popisuje a rozebírá současný stav analyzovaných pracovišť a procesů, které na těchto pracovištích probíhají. Dále je v této části popsána společnost KOVOS, spol. s r. o. a její výrobní portfolio a postup výroby typového reprezentanta. Praktická část slouží jako základna pro navazující projektovou část. Projektová část je zaměřena na implementaci návrhu projektu do reálného systému a dále se dělí na tři pomyslné části.

V návrhu na implementační řešení je importován layout pracovišť, který zachycuje reálné rozměry. Dále je zde uveden průvodce nastavení jednotek potřebných pro práci a potřebné hodnoty vycházející z praktické části. Na konci této části je uvedena logika fungování celého modelu.

První část projektové části je zaměřena na simulaci aktuálního modelu podle logiky fungování. Aby hodnoty a statistiky elementů nebyly zkresleny, je využito tzv. záběhu výroby, kdy po dobu jednoho dne jsou ignorovány statistiky a počty vyrobených kusů. Dochází k tomu, že všechna pracoviště jsou v dalším běhu předzásobeny a nedojde k podhodnocení statistik či nadhodnocení výroby. Díky takto ošetřenému problému je další zkoumání objektivní a může sloužit jako výchozí údaj pro možnost dalšího zlepšení či pro potřebu dalších úprav a vyhodnocení. Ze statistiky vytížení strojů už můžeme zpozorovat, že v rámci pěti pracovních dnů a jedné směně jsou velmi vytížené svařovací stroje. Pokud se podíváme do časů vyplývajících z norem, zjistíme, že se jedná o úzká místa. Tyto místa jsou proto celou dobu předmětem optimalizace. Dále jsou v této části zkoumány kapacity palet, které by mohly ovlivňovat statistiky strojů, dílčí a celkové průtoky. Tato analýza dopadla kladně a v tomto případě není nutno zvyšovat kapacity. Na základě těchto předpokladů

jsou srovnány současné výkony s normovanými, kde byla prokázána značně nižší produktivita způsobená současným stavem zakázek, které se promítly do snižování nákladů, způsobujících redukci operátorů pracujících na analyzovaných pracovištích. Současné celkové vytížení operátorů je cca 87%, svářečů pak cca 92%. Při současném stavu byly zachyceny ve sledovaném období průtoky na jednotlivých strojích v každou hodinu a následně zprůměrovány na jednotlivé dny. Takovým průtokem bylo dosaženo výroby 384 kusů gabiónových košů v pěti pracovních dnech.

V druhé části jsme se zaměřili na optimalizaci současných pracovišť. Prvním úkolem bylo zjistit optimální počet pracovníků, aby bylo dosaženo maximálního počtu vyrobených kusů za sledované období. Po předimenzování kapacit palet byl zjištěn optimální stav počtu operátorů na čtyři, což je aktuální stav. Následně jsme optimalizovali celý model, abychom dosáhli maximálního průtoku a tudíž počtu vyrobených kusů. Tím bylo zjištěno, že našich podmínek lze dosáhnout třemi variantami. První variantou je deset operátorů, tři svářečky 1 a tři svářeči 1, jedna svářečka 2 a jeden svářeč 2 a dvě kontroly. Další variantou jsou dvě svářečky 1, dva svářeči 1, dvě svářečky 2, dva svářeči 2, dvě kontroly a deset operátorů. Poslední variantou je deset operátorů, tři svářečky 2 a tři svářeči 2, jedna svářečka 1 a jeden svářeč 1 a opět dvě kontroly. Z ekonomického hlediska by došlo ke vzniku investičních nákladů i nákladů na pracovní sílu. Optimalizačním řešením bylo dosaženo ve sledovaném období produkce 696 košů, což je nárůst o cca 81% oproti současnému stavu. Z toho optimalizačního modelu byl vytvořen graf hodinových a denních průtoků na jednotlivých strojích.

V poslední, třetí části projektové části, jsou provedeny tři experimenty se současným modelem. V prvním experimentu se jedná o pořadí dílů při výrobě gabiónového koše, když zkusíme začít výrobu zadního dílu při stávajících podmínkách. Výsledkem je zvýšení rozpracovanosti v posledním dnu výroby o 10 ks. V tomto případě je zvýšení rozpracovanosti chápáno jako pozitivní ukazatel, jelikož v delším časovém horizontu se toto zvýšení projeví jako zvýšení produkce hotových výrobků. Druhý experiment se zabývá rozšířením úzkého místa při současném zachování počtu operátorů a doplněním pouze pracovní síly k úzkému místu. Z experimentu vyplývá, že při současném stavu nebude mít rozšíření úzkého místa žádný přínos. V posledním, třetím experimentu, bylo předmětem zkoumání uspořádat pracoviště do buňky, což má za přímý následek velmi výrazné zkrácení materiálových toků. Po experimentu byl zjištěn při současném stavu nárůst rozpracovanosti výro-

by o 231%. Na základě tohoto údaje byla provedena optimalizace pro rozšíření úzkého místa, kde se jako nejvhodnější jeví dvě varianty. První varianta s jedním svářečem 1 a jednou svářečkou 1 a dvěma svářečkami 2 a dvěma svářeči 2 při rozpracovanosti v posledním dnu výroby 129 ks nebo druhá varianta se dvěma svářečkami 1 a dvěma svářeči 1 a jednou svářečkou 2 a jedním svářečem 2 při rozpracovanosti 135 ks v posledním dnu výroby. Po této optimalizaci by týdenní produkce byla 432 kusů, což je nárůst proti současnému stavu o 12,5%. Ekonomické zohlednění takovéto varianty sebou nese vznik nákladů v podobě investice do pořízení nového svařovacího stroje a odpovídající náklady na pracovní sílu. Při zavedení takovéto varianty by došlo i k vzniku nákladů na přestavbu pracoviště.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### *Tituly monografické a seriálové literatury*

- [1] ČERNÝ, Jaromír. Úvod do studia metod průmyslového inženýrství a systémů služeb. 1. vyd. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2004. 80 s. ISBN 80-7318-227-0.
- [2] KOŠTURIÁK, J.-GREGOR, M.- MIČIETA, B.- MATUSZEK, J. Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie. Žilina: EDIS, 2000. ISBN 80-7100-553-3
- [3] KŮS, Zdeněk; GLOMBÍKOVÁ, Viera; HALASOVÁ, Andrea. Simulace výrobních systémů [online]. Liberec : Technická univerzita Liberec, 2002 [cit. 2009-11-04]. Dostupné z WWW: <[http://www.kod.tul.cz/ucebni\\_materialy/PSI/Skripta%20PSI-5.pdf](http://www.kod.tul.cz/ucebni_materialy/PSI/Skripta%20PSI-5.pdf)>. ISBN 80-7083-642-3.
- [4] TUČEK, David, BOBÁK, Roman. Výrobní systémy. 2. upr. vyd. [s.l.] : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. 298 s. ISBN 80-7318-381-1.
- [5] VOTAVA, V., et al. Simulation Potential in Processes of Knowledge and Skills Obtaining. ICSEE'02 Proceedings, San Antonio, Texas (USA). ISBN/1-56555-243-1.

### *Internetové zdroje*

- [6] Aplikace Microsoft Office Excel 2007 [online]. 2010 [cit. 2009-11-04]. Microsoft.cz. Dostupné z WWW: <<http://www.microsoft.com/cze/office/programs/excel/highlights.msp>>.
- [7] Case Studies [online]. 2008-2010 [cit. 2010-03-03]. Www.lanner.com. Dostupné z WWW: <<http://www.lanner.com/en/case-studies.cfm>>.
- [8] CATIA [online]. 1998-2008 [cit. 2010-03-04]. Http://www.catia.cz. Dostupné z WWW: <<http://www.catia.cz/CATIA.10.0.html>>.
- [9] Česko. WITNESS 2007. In Tisková zpráva. 2007, -, s. 1-2. Dostupný také z WWW: <[http://www.google.cz/url?sa=t&source=web&ct=res&cd=2&ved=0CAsQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.humusoft.cz%2Fold%2Fpub%2Fwitness%2Ftk\\_07%2Fwitness2007.rtf&ei=6aLxSqOHBsLK\\_gbux\\_Qx&usq=AFQjCNGJLhrY8MZUnhHhTj\\_IJlv\\_MIG4yQ&sig2=2DpT8-eTu5hLCVsYETE5ow](http://www.google.cz/url?sa=t&source=web&ct=res&cd=2&ved=0CAsQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.humusoft.cz%2Fold%2Fpub%2Fwitness%2Ftk_07%2Fwitness2007.rtf&ei=6aLxSqOHBsLK_gbux_Qx&usq=AFQjCNGJLhrY8MZUnhHhTj_IJlv_MIG4yQ&sig2=2DpT8-eTu5hLCVsYETE5ow)>.
- [10] DELMIA : Digital Manufacturing & Production [online]. 2009-2010 [cit. 2010-03-04]. Www.3ds.com. Dostupné z WWW: <<http://www.3ds.com/products/delmia/welcome>>.

- [11] DELMIA [online]. 1998-2008 [cit. 2010-02-03]. Www.catia.cz. Dostupné z WWW: <<http://www.catia.cz/DELMIA.8.0.html>>.
- [12] ENOVIA SmarTeam [online]. 2007 [cit. 2010-03-04]. Www.smarteam.cz. Dostupné z WWW: <<http://www.smarteam.cz/produkty/enovia-smarteam/enovia-smarteam.aspx>>.
- [13] Google SketchUp [online]. c2009 [cit. 2009-12-01]. Dostupný z WWW: <<http://sketchup.google.com/product/gsu.html>>.
- [14] Model (abstrakce) In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 8.8.2006, 12.3.2010 [cit. 2010-04-07]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Model\\_\(abstrakce\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Model_(abstrakce))>.
- [15] Moderní prášková lakovna, drátěný program [online]. 2008-2010 [cit. 2010-03-02]. KOVOS spol. s r. o. Dostupné z WWW: <<http://www.kovos-slavicin.cz/>>.
- [16] MSp ČR [online]. 2010 [cit. 2010-03-02]. Detail vybraného subjektu. Dostupné z WWW: <<http://www.justice.cz/xqw/xervlet/insl/report?sysinf.vypis.CEK=182266&sysinf.vypis.rozsah=aktualni&sysinf.@typ=transformace&sysinf.@strana=report&sysinf.vypis.typ=XHTML&sysinf.vypis.klic=80b3a362178bd9eed6c2987c7df38e18&sysinf.spis.@oddil=C&sysinf.spis.@vlozka=4088&sysinf.spis.@soud=Krajsek%FDm%20soudem%20v%20Brn%EC&sysinf.platnost=07.04.2010>>.
- [17] Počítačová simulace In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 6.5.2005, 11.3.2010 [cit. 2010-10-14]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Počítačová\\_simulace](http://cs.wikipedia.org/wiki/Počítačová_simulace)>.
- [18] Rozmístění pracovišť [online]. 2007–2010 [cit. 2009-11-09]. Miroslav Lorenc - Provozní management. Dostupné z WWW: <<http://lorenc.info/3MA112/rozmisteni-pracovist.htm>>.
- [19] Siemens PLM Software [online]. 2010 [cit. 2010-03-04]. Tecnomatix. Dostupné z WWW: <[http://www.plm.automation.siemens.com/cz\\_cz/products/tecnomatix/index.shtml?stc=cziia400039](http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/tecnomatix/index.shtml?stc=cziia400039)>.
- [20] Simulácia [online]. 2009 [cit. 2009-11-04]. IPA Slovakia. Dostupné z WWW: <[http://www.ipaslovakia.sk/slovník\\_view.aspx?id\\_s=71](http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=71)>.

- [21] WITNESS - simulace podnikových procesů [online]. 1991-2010 [cit. 2009-11-04].  
Www.humusoft.cz. Dostupné z WWW:  
<<http://www.humusoft.cz/produkty/witness/>>.
- [22] WITNESS Suite [online]. 1991-2010 [cit. 2009-11-04]. Wwww.humusoft.cz.  
Dostupné z WWW: <<http://www.humusoft.cz/produkty/witness/nastroje/>>.

### ***Ostatní zdroje***

- [23] Interní materiály společnosti
- [24] Přednášky ing. Žúrka z předmětu Průmyslové inženýrství - nástroje managementu



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD Computer-Aided Design (počítačem podporované projektování)

TOC Theory Of Constraints (teorie omezení)

TPM Total Productive Maintenance (totálně produktivní údržba)

VR Virtual Reality (virtuální realita)

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Postup při hledání úzkého místa dle E. Goldratta [4] .....	15
Obrázek 2 Formy klasického uspořádání pracoviště ve výrobě [4; 18] .....	17
Obrázek 3 Klasické a modulární uspořádání pracovišť [4] .....	18
Obrázek 4 Porovnání nákladů a přínosů při rozhodování o aplikaci simulace [24] .....	20
Obrázek 5 Fáze simulačního projektu [3] .....	20
Obrázek 6 Vztah mezi vstupy, modelem a výstupy vůči systému [24] .....	21
Obrázek 7 Otázky při hledání částí systému [24] .....	21
Obrázek 8 Postup při tvorbě modelu výrobního systému [24] .....	25
Obrázek 9 Vývojový diagram simulačního projektu [3] .....	27
Obrázek 10 Podslůžky experimentování a dokončení projektu [3] .....	29
Obrázek 11 Pracovní prostředí programu WITNESS [vlastní zpracování] .....	31
Obrázek 12 Prostředí modulu Scenario Manager [vlastní zpracování] .....	33
Obrázek 13 Prostředí modulu Optimizer [vlastní zpracování] .....	34
Obrázek 14 Pracovní prostředí programu Google SketchUp [vlastní zpracování] .....	36
Obrázek 15 Proces komplexního řešení pro nové nebo stávající pracoviště a procesy [vlastní zpracování] .....	37
Obrázek 16 Výrobní portfolio společnosti KOVOS, spol. s r. o. [15] .....	40
Obrázek 17 Vybraný typový reprezentant [15] .....	42
Obrázek 18 Půdorys společnosti KOVOS, spol. s r. o. [vlastní zpracování] .....	43
Obrázek 19 Layout pracoviště při výrobě typového reprezentanta [vlastní zpracování] .....	44
Obrázek 20 Svářecí poloautomat na bodování sítí [vlastní zpracování] .....	45
Obrázek 21 Uložené sítě čekající na ostříhání [vlastní zpracování] .....	45
Obrázek 22 Ostříhané sítě pomocí ostřihovačky [vlastní zpracování] .....	46
Obrázek 23 Uskladnění polotovarů [vlastní zpracování] .....	46
Obrázek 24 Ohraňovací lis [vlastní zpracování] .....	46
Obrázek 25 Svařovací přípravek ve svařovně [vlastní zpracování] .....	47
Obrázek 26 Flow diagram [vlastní zpracování] .....	49
Obrázek 27 Nastavení jednotek a konverzačního faktoru [vlastní zpracování] .....	52
Obrázek 28 Načtený skutečný layout [vlastní zpracování] .....	53
Obrázek 29 Vynesení strojů dle rozměrů a ostatních elementů do layoutu [vlastní zpracování] .....	54

Obrázek 30 Kompletní model respektující reálné rozměry [vlastní zpracování] .....	56
Obrázek 31 Využití strojů promítnuto v grafu [vlastní zpracování].....	59
Obrázek 32 Využití kapacit palet [vlastní zpracování].....	61
Obrázek 33 Graf vytížení pracovníků [vlastní zpracování].....	63
Obrázek 34 Graf zachycující hodinové průtoky na strojích v průběhu pracovního týdne [vlastní zpracování] .....	64
Obrázek 35 Graf zachycující celkové denní průtoky v průběhu pracovního týdne [vlastní zpracování] .....	65
Obrázek 36 Graf vztahu mezi počtem vyrobených košů a počtem operátorů [vlastní zpracování] .....	67
Obrázek 37 Graf vztahu mezi počtem vyrobených košů a počtem operátorů po nadimenzování celkové kapacity palet [vlastní zpracování] .....	68
Obrázek 38 Nastavení modulu Optimizer [vlastní zpracování].....	69
Obrázek 39 Graf zachycující hodinové průtoky na strojích po optimalizaci v průběhu pracovního týdne [vlastní zpracování] .....	74
Obrázek 40 Graf zachycující celkové denní průtoky po optimalizaci v průběhu pracovního týdne [vlastní zpracování] .....	75
Obrázek 41 Modulárně uspořádané pracoviště [vlastní zpracování].....	80

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Všeobecný postup vedoucí k vyšší prosperitě organizace [2] .....	14
Tabulka 2 Výhody a nevýhody počítačové simulace [24].....	21
Tabulka 3 Používané charakteristiky výkonu výrobních systémů [24] .....	22
Tabulka 4 Výhody a nevýhody systémových přístupů [24] .....	23
Tabulka 5 Možnosti exportu programu SketchUp Pro [vlastní zpracování] .....	35
Tabulka 6 Výrobní postup ocelového koše [vlastní zpracování].....	47
Tabulka 7 Znázornění směny [vlastní zpracování].....	48
Tabulka 8 Názvy strojů a jejich rozměry [vlastní zpracování].....	53
Tabulka 9 Potřebné informace k nastavení strojů a ověření modelu [vlastní zpracování] .....	55
Tabulka 10 Statistika vytížení strojů [vlastní zpracování].....	58
Tabulka 11 Statistika vytížení palet [vlastní zpracování] .....	60
Tabulka 12 Přehled normovaných a skutečných hodnot při aktuálním stavu [vlastní zpracování] .....	62
Tabulka 13 Statistika vytížení pracovníků [vlastní zpracování].....	63
Tabulka 14 Optimalizace počtu výrobků z hlediska počtu pracovníků [vlastní zpracování] .....	66
Tabulka 15 Optimalizace po upravení celkové kapacity [vlastní zpracování] .....	67
Tabulka 16 Posledních 10 vyhodnocení splňující maximum výroby [vlastní zpracování] .....	70
Tabulka 17 10 nejlepších výsledků optimalizace splňující požadovaná kritéria po primární filtraci [vlastní zpracování].....	70
Tabulka 18 Posledních 10 vyhodnocení splňující požadovaná kritéria při rozšíření kontroly po primární filtraci [vlastní zpracování] .....	71
Tabulka 19 10 nejlepších výsledků optimalizace splňující požadovaná kritéria při rozšíření kontroly po primární filtraci [vlastní zpracování] .....	72
Tabulka 20 10 nejlepších výsledků optimalizace splňující požadovaná kritéria při rozšíření kontroly po sekundární filtraci [vlastní zpracování] .....	72
Tabulka 21 Porovnání původních průtoků a průtoků po optimalizaci [vlastní zpracování] .....	76
Tabulka 22 Porovnání statusů po experimentu s původními hodnotami [vlastní zpracování] .....	77

Tabulka 23 Porovnání počtu operací na jednotlivých strojích po experimentu s původními hodnotami [vlastní zpracování] .....	78
Tabulka 24 Analýza rozpracovanosti výroby po experimentu a původní hodnoty [vlastní zpracování] .....	78
Tabulka 25 Tabulka vyfiltrovaných výsledků po experimentu [vlastní zpracování] .....	79
Tabulka 26 Výsledky buňkového uspořádání pracoviště [vlastní zpracování] .....	80
Tabulka 27 Statistika vytížení palet po experimentu č. 3 [vlastní zpracování] .....	81
Tabulka 28 10 vyhodnocení variant experimentu č.3 po primární filtraci po rozšíření úzkého místa [vlastní zpracování] .....	81
Tabulka 29 Celkové vyhodnocení variant po sekundární filtraci [vlastní zpracování] .....	82

**SEZNAM PŘÍLOH**

<b>PŘÍLOHA PI: CERTIFIKÁT ČSN EN ISO 9001:2009 .....</b>	<b>95</b>
<b>PŘÍLOHA PII: ČASOVÉ NORMY .....</b>	<b>96</b>
<b>PŘÍLOHA PIII: JEDNOTLIVÉ HODINOVÉ PRŮTOKY 1 .....</b>	<b>97</b>
<b>PŘÍLOHA PIV: JEDNOTLIVÉ HODINOVÉ PRŮTOKY 2 .....</b>	<b>99</b>



# CERTIFIKÁT

TÜV SÜD Czech

certifikační orgán systémů managementu č. 3053  
akreditovaný ČIA

osvědčuje, že společnost

**KOVOS, spol. s r.o.**

Družstevní 221, Průmyslová zóna  
CZ – 763 21 Slavičín - Hrádek

IČ: 44125828



pro následující obory činností:

**kovovýroba**

**povrchové ochrany**

*vyjma požadavků kap. 7.3 Návrh a vývoj*

zavedla a používá systém managementu jakosti,  
který odpovídá

**ČSN EN ISO 9001:2009**

Číslo auditní zprávy 0440/90/09/QM/AZ/C

Platnost certifikátu 10.09.2012

Číslo certifikátu 00.712.108



V Praze, 10.09.2009














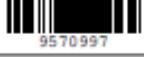





## PŘÍLOHA PII: ČASOVÉ NORMY

DEFINITIVNÍ NORMA č. KV-R-TPN/07/2394 -A00

### Drátěný koš TPS 1000x200 H800

Číslo práce : 2394

Pořad. číslo	Název operace	Počet prac.	Počet ks/prov.	Mzda Kč/100 ks	Minimální výkon	Č.kód
10	Krácení pr.5x*1480 mm "N" - PD ohýbaná příčka	1	17	3,75	12 000	 9570010
20	Krácení pr.5x*850 mm "N" - PD svislá příčka	1	27	10,71	4 200	 9570020
30	Krácení pr.5x*1050 mm "N" - ZD vodorovná příčka	1	20	3,57	12 600	 9570030
40	Krácení pr.5x*1050 mm "N" - ZD svislý drát	1	21	11,07	4 065	 9570040
50	Krácení pr 5x200 mm "N" - výztuha	1	2	2,04	22 105	 9570050
60	Bodování přední stěny PD (17 řad) NŘB	2	1	346,65	135	 9570060
70	Ostříh přední stěny PD (88x)	2	1	219,64	205	 9570070
80	Ohranění sítě přední stěny PD (2x90°)	2	1	128,57	350	 9570080
90	Bodování sítě zadní stěny ZS (20 řad) NŘB	1	1	346,65	135	 9570090
100	Ostříh sítě zadní stěny ZS (82x)	2	1	196,43	229	 9570100
110	Ohranění zadní stěny stěny ZS (1x90°)	1	1	64,29	700	 9570110
120	Kompletace krytu bez nosu CO vč. výztuh	1	1	1 520,00	40	 9570120
130	Vizuální kontrola a zabalení na paletu	2	1	321,43	140	 9570130
996	TPV - oprava starších přípravků na výrobek	1	1	0,00	0	 9570996
997	Výstupní kontrola výrobku	1	1	0,00	0	 9570997
998	TPV-výroba nových přípravků	1	1	0,00	0	 9570998
999	Nepředvídatelná práce na zakázku	1	1	0,00	0	 9570999

Schválil : .....



## PŘÍLOHA PIII: JEDNOTLIVÉ HODINOVÉ PRŮTOKY 1

Den	Hodina	Svařovací poloautomat	Ostřihovačka	Ohraňovací lis	Svářečka 1	Svářečka 2
<b>Pondělí</b>	6:00-7:00	10	28	0	5	5
	7:00-8:00	9	0	26	4	4
	8:00-9:00	26	30	4	5	5
	9:00-10:00	12	5	30	5	5
	10:00-11:00	29	25	20	5	5
	11:00-12:00	16	28	10	4	4
	12:00-13:00	9	2	30	3	3
	13:00-14:00	16	30	0	6	6
	14:00-15:00	18	0	21	2	2
<b>Úterý</b>	6:00-7:00	10	30	9	5	5
	7:00-8:00	11	0	30	4	4
	8:00-9:00	17	24	0	5	5
	9:00-10:00	20	6	30	5	5
	10:00-11:00	18	30	0	5	5
	11:00-12:00	12	0	30	4	4
	12:00-13:00	26	30	0	3	3
	13:00-14:00	22	30	30	6	6
	14:00-15:00	18	0	30	2	2
<b>Středa</b>	6:00-7:00	10	30	0	5	5
	7:00-8:00	13	0	30	4	4
	8:00-9:00	13	28	0	5	5
	9:00-10:00	18	2	30	5	5
	10:00-11:00	12	30	0	5	5
	11:00-12:00	17	0	30	4	4
	12:00-13:00	19	25	0	3	3
	13:00-14:00	14	5	30	3	3
	14:00-15:00	11	21	0	3	3
<b>Čtvrtek</b>	6:00-7:00	26	21	29	5	5
	7:00-8:00	21	18	20	4	4
	8:00-9:00	11	27	11	5	5
	9:00-10:00	10	3	25	5	5
	10:00-11:00	16	14	5	5	5
	11:00-12:00	21	16	23	2	2
	12:00-13:00	24	29	7	3	3
	13:00-14:00	10	2	29	5	5
	14:00-15:00	3	8	1	3	3

<b>Pátek</b>	6:00-7:00	36	31	30	4	4
	7:00-8:00	24	22	8	4	4
	8:00-9:00	8	23	22	5	5
	9:00-10:00	12	5	30	5	5
	10:00-11:00	14	22	0	5	5
	11:00-12:00	22	8	25	4	4
	12:00-13:00	9	19	5	3	3
	13:00-14:00	12	11	30	4	4
	14:00-15:00	18	6	0	3	3
	Průměrný průtok	<b>144,6</b>	<b>144,8</b>	<b>144</b>	<b>37,8</b>	<b>37,8</b>

## PŘÍLOHA PIV: JEDNOTLIVÉ HODINOVÉ PRŮTOKY 2

Den	Hodina	Svařovací poloautomat	Ostřihovačka	Ohraňovací lis	Svářečka 1	Svářečka 2
<b>Pondělí</b>	6:00-7:00	35	37	39	12	4
	7:00-8:00	26	26	31	10	4
	8:00-9:00	37	38	34	12	4
	9:00-10:00	32	37	30	14	4
	10:00-11:00	36	37	30	15	5
	11:00-12:00	27	27	30	8	2
	12:00-13:00	26	22	30	9	3
	13:00-14:00	36	42	30	13	5
	14:00-15:00	19	10	21	9	3
<b>Úterý</b>	6:00-7:00	36	41	39	11	3
	7:00-8:00	27	23	29	12	4
	8:00-9:00	36	42	31	14	4
	9:00-10:00	36	35	30	15	5
	10:00-11:00	35	30	30	11	3
	11:00-12:00	27	30	30	12	4
	12:00-13:00	26	30	30	10	4
	13:00-14:00	36	30	30	17	5
	14:00-15:00	18	22	30	0	0
<b>Středa</b>	6:00-7:00	36	37	30	15	5
	7:00-8:00	27	27	30	10	4
	8:00-9:00	35	34	30	15	5
	9:00-10:00	36	30	30	12	5
	10:00-11:00	36	35	51	14	5
	11:00-12:00	28	26	16	9	3
	12:00-13:00	26	29	23	9	4
	13:00-14:00	36	34	45	13	4
	14:00-15:00	18	26	15	9	3
<b>Čtvrtek</b>	6:00-7:00	36	30	30	15	5
	7:00-8:00	27	30	30	12	4
	8:00-9:00	35	30	36	11	4
	9:00-10:00	37	40	54	12	3
	10:00-11:00	36	38	30	15	5
	11:00-12:00	27	27	30	7	3
	12:00-13:00	27	24	21	11	3
	13:00-14:00	36	41	39	12	4
	14:00-15:00	18	10	7	9	3

<b>Pátek</b>	6:00-7:00	35	39	53	14	4
	7:00-8:00	27	23	13	9	3
	8:00-9:00	35	40	47	13	5
	9:00-10:00	36	38	30	15	5
	10:00-11:00	36	40	30	10	4
	11:00-12:00	27	24	30	12	4
	12:00-13:00	27	28	30	7	3
	13:00-14:00	36	36	30	18	6
	14:00-15:00	18	14	30	5	1
	Průměrný průtok	<b>277</b>	<b>277,8</b>	<b>278,8</b>	<b>103,4</b>	<b>34,6</b>