

# **Návrh zefektivnění procesu výroby průmyslových podlah na základě simulační studie**

Draft Design for Improving the Industrial Flooring Production  
Process – Based on a Simulation Study

Bc. Miroslava Říhová

---

Diplomová práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslava ŘÍHOVÁ**  
Osobní číslo: **A09517**  
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Návrh zefektivnění procesu výroby průmyslových podlah na základě simulační studie.**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Seznamte se s principem a popište technologii (pracovní postup) procesu výroby průmyslových podlah. Z reálného příkladu (zakázky) sesbírejte, popřípadě experimentálně získejte data pro sestavení modelu tohoto procesu.
3. Na základě získaných dat sestavte model stávajícího výrobního procesu a proveďte jeho simulaci. Porovnejte výsledky simulace s reálnými daty. Pro modelování a následnou simulaci použijte programového prostředí Witness.
4. S pracovníky firmy konzultujte stanovení vhodných cílových funkcí (parametry rozhodující pro sledování a vyhodnocení celého simulačního experimentu) a naplánujte simulační experimenty. Tyto experimenty pak realizujte na navrženém modelu. Popište jednotlivé simulační experimenty a proveďte analýzu a vyhodnocení výsledků těchto experimentů.
5. Na základě výsledků doporučte firmě úpravy na zvýšení efektivity výrobního procesu.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. HUŠEK, Roman a Josef LAUBER. Simulační modely. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987, 349 s.
2. VAŠEK, Lubomír. Simulace systémů. 1. vyd. Brno: VUT, 1991, 136 s.
3. ŠŤASTNÝ, Jiří. Počítačová simulace a informační systémy. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 151 s. ISBN 80-214-0460-4.
4. KINDLER, Evžen. Simulační programovací jazyky. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 277 s.
5. DLOUHÝ, Martin. Simulace podnikových procesů. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2007, 201 s. ISBN 978-802-5116-494.
6. GROUP, Lanner. WITNESS simulation and optimization software and consulting. ComputerWeekly.com [online]. 2009 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: <http://www.computerweekly.com/Home/tags/witness-simulation.html>.
7. Firemní dokumentace

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Bronislav Chramcov, Ph.D.

Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání diplomové práce:

24. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

21. května 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
děkan



doc. Mgr. Roman Jašek, Ph.D.  
ředitel ústavu

## **ABSTRAKT**

Práce pojednává o simulaci výrobního procesu průmyslových podlah ve firmě RIVAL FLOOR s.r.o.. Cílem práce je zefektivnění výroby tak, aby byl současný systém výroby podlah co nejefektivnější.

Simulace a modelování výroby průmyslových podlah jsou uskutečněny v simulačním programu Witness.

Teoretická část práce obsahuje literární rešerši dané tematiky s popise simulace, modelování a nejčastěji používaných programů pro simulaci systémů.

Praktická část práce obsahuje postup výroby průmyslových podlah a použité technologie.

Je zde zobrazen model současné výroby průmyslových podlah. S tímto modelem se dále pracuje, aby bylo docíleno co nejefektivnější výroby. Pro každé řešení je zobrazen model výroby a výsledky simulací.

Klíčová slova: Witness, simulace

## **ABSTRACT**

The diploma thesis deals with a floor production process simulation in RIVAL FLOOR s.r.o. company. The aim of this work is increasing the efficiency of recent floor production system.

The simulation and modeling of industrial floor production are made via Witness simulation programme.

Theoretical part contains a literature research of given theme with simulation and modeling description of the most often used programmes for system simulation.

Practical part consists of industrial floor production procedure and procedure of used technology.

The model of recent industrial floor production is described in this work. This model is applied for achievement of efficient production. There are production models and simulation results displayed for each solution.

Keywords: Witness, simulations

Děkuji panu Ing. Bronislavu Chramcovovi za odborné vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Vlastislavu Korálovi za poskytnutí podkladů pro vytvoření diplomové práce.

**Prohlašuji, že**

- 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;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že 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;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona 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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve

.....

Zlíně

podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>12</b>
<b>1 LITERÁRNÍ REŠERŠE.....</b>	<b>13</b>
1.1 PRÁCE ZABÝVAJÍCÍ SE POČÍTAČOVÝMI MODELÝ .....	13
1.1.1 Simulace výrobního procesu hlavního oddělení společnosti Česká Zbojovka a.s. ....	13
1.1.1.1 Simulace výroby krátkých hlavních .....	14
1.1.1.2 Simulace výroby dlouhých hlavních.....	14
1.1.1.3 Celkové zhodnocení.....	14
<b>2 SIMULACE.....</b>	<b>16</b>
2.1 DEFINICE SIMULACE .....	16
<b>3 MODELÝ A MODELOVÁNÍ .....</b>	<b>17</b>
3.1 DEFINICE MODELU .....	17
3.2 TYPY SIMULAČNÍCH MODELŮ .....	17
3.3 STRUKTURA SIMULAČNÍCH MODELŮ .....	18
<b>4 SIMULAČNÍ SOFTWARE .....</b>	<b>20</b>
4.1 SIMUL8.....	20
4.2 SIMULA 67 .....	20
4.3 PROMODEL.....	20
4.4 SIMPROCESS .....	20
4.5 WITNESS .....	21
4.5.1 Co je to WITNESS? .....	21
4.5.2 Práce s modelem.....	22
4.5.3 Vývojové prostředí Witness .....	23
4.5.3.1 Základní elementy programu Witness použité v této práci .....	23
4.5.3.2 Vstupní a výstupní pravidla použité v této práci .....	28
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>29</b>
<b>5 PROFIL FIRMY VYRÁBĚJÍCÍ PRŮMYSLOVÉ PODLAHY.....</b>	<b>30</b>
<b>6 POPIS VÝROBY PRŮMYSLOVÝCH PODLAH.....</b>	<b>31</b>
6.1 POPIS VÝROBY PRŮMYSLOVÉ PODLAHY PRVNÍ FÁZE .....	33
6.2 POPIS VÝROBY PRŮMYSLOVÉ PODLAHY DRUHÉ FÁZE.....	34
6.3 POPIS VÝROBY PRŮMYSLOVÉ PODLAHY TŘETÍ FÁZE.....	35
6.4 SMĚNA.....	36
<b>7 SESTAVENÍ STÁVAJÍCÍHO MODELU VÝROBY V PROGRAMU WITNESS .....</b>	<b>37</b>



7.1	POPIS STÁVAJÍCÍHO ŘEŠENÍ.....	37
7.2	ÚPRAVA POVRCHU PRVNÍ FÁZE.....	38
7.2.1	Vstup.....	38
7.2.2	Broušení .....	38
7.2.3	Vysávání.....	39
7.2.4	Tmelení.....	39
7.2.5	Penetrace, míchání, zásyp.....	39
7.3	ÚPRAVA POVRCHU DRUHÁ FÁZE .....	41
7.3.1	Broušení .....	41
7.3.2	Vysávání.....	41
7.3.3	Tmelení.....	41
7.3.4	Nosná stěrka, míchání, zásyp.....	42
7.4	ÚPRAVA POVRCHU VÝROBY TŘETÍ FÁZE.....	43
7.4.1	Broušení .....	43
7.4.2	Vysávání.....	43
7.4.3	Tmelení.....	43
7.4.4	Finální probarvená vrstva, míchání, scelování .....	44
<b>8</b>	<b>EXPERIMENTY S MODELEM .....</b>	<b>45</b>
8.1	VÝSLEDKY SIMULACE STÁVAJÍCÍHO MODELU .....	45
8.1.1	Vyhodnocení výsledků stávající výroby .....	46
8.2	EXPERIMENT 1 .....	47
8.2.1	Výsledky simulace experimentu 1 .....	48
8.2.2	Vyhodnocení výsledků experimentu 1 .....	48
8.3	EXPERIMENT 2 .....	49
8.3.1	Výsledky simulace experimentu 2.....	51
8.3.2	Vyhodnocení simulace experimentu 2.....	52
8.4	EXPERIMENT 3 .....	53
8.4.1	Výsledky simulace experimentu 3.....	54
8.5	EXPERIMENT 3_2 .....	55
8.5.1	Výsledky simulace experimentu 3_2.....	56
8.5.2	Vyhodnocení simulace experimentu 3 a 3_2 .....	57
8.6	EXPERIMENT 4 .....	58
8.6.1	Výsledky simulace experimentu 4.....	60
8.6.2	Vyhodnocení simulace experimentu 4.....	60
8.7	ZHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ.....	61
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>64</b>
	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>69</b>

SEZNAM GRAFŮ.....	70
SEZNAM PŘÍLOH .....	71

## ÚVOD

Simulace výrobních procesů je v dnešní době moderní a rozvíjející se metodou zjišťování informací o stávajících výrobních procesech, které mohou vést ke zvýšení efektivity výroby.

Velmi efektivní je i využití simulací při zavádění nových výrobních úseků, kdy díky simulacím modelů navržených nových výrobních úseků, mohou být odhaleny chyby v plánované výrobě, ještě před zavedením výrobního úseku do praxe. Odstraněním chyb mohou výrobní podniky ušetřit finanční prostředky, které poté mohou vložit do jiných investic. V některých případech může dojít ke zrušení plánů na novou výrobu z důvodu neefektivnosti navrhovaného řešení.

Hlavním úkolem této práce byla práce na již stávajícím modelu výroby průmyslových podlah. Kdy po konzultaci s odpovědnou osobou ve firmě zabývající se touto výrobou, byl sestaven model stávající výroby, na kterém byly vyzkoušeny návrhy, které mohou vést k zefektivnění výroby. Jednotlivé experimenty s modely jsou popsány v praktické části této práce, kde jsou i vyhodnoceny přínosy jednotlivých variant.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 LITERÁRNÍ REŠERŠE

V dnešní době existuje celá řada odborných prací zabývajících se problematikou simulace, modelování a optimalizace systémů.

Tyto odborné práce jsou vytvářeny za použití celé řady simulačních programů. Použití jednotlivých simulačních programů závisí na volbě modelu a dostupnosti programu.

### 1.1 Práce zabývající se počítačovými modely

#### 1.1.1 Simulace výrobního procesu hlavního oddělení společnosti Česká Zbrojovka a.s.

Práce Simulace výrobního procesu hlavního oddělení společnosti Česká Zbrojovka a.s., pomocí programu Witness od autora pana Bc. Ladislava Daníčka se zabývá simulací výrobního procesu hlavního oddělení.

Hlavním cílem práce je nalezení rezerv v tomto systému a následně navrnutí řešení nastavení výroby, tak aby bylo dosaženo vyšší průchodnosti a zároveň výkonnosti tohoto výrobního systému. Výrobní systém se týká výroby krátkých a dlouhých hlavních.

K řešení této problematiky byl použit simulační program Witness.

Autor práce při tvorbě simulačních modelů použil tyto elementy:

- Machine (stroj) – soustruh, bruska, vrtačka, balicí stroj, kování, ruční úprava, leštění, frézování, honování, zarovnávání, protlačování. Některé tyto elementy jsou použity v modelu častěji, do některých elementů vstupují součásti opakovaně.
- Part (součást) – součásti jsou jednotlivé díly, které jsou stroji upraveny na konečný výrobek. Součásti vstupují do strojů a opracované jsou poté přesouvány do zásobníků, nebo ke zpracování dalším stroji.
- Buffer (zásobník) – slouží k uskladnění součástí.
- Track (dráha) – reprezentuje trasu, po které se přesouvají vozíky se součástkami.
- Vehicle (vozik) – slouží pro přepravu materiálu v modelu. Přesun materiálu je aktivován vždy, když dojde k poklesu množství prvků v zásobnících, na hodnotu 3 nebo menší.

- Shifts (směna) – jedná se o výrobu, která pracuje ve třech směnách. Jednotlivé stroje mají nastavenu prioritu, tak aby v případě polední přestávky stroje nepracovali.

Do systému autor vložil dále systém poruch na jednotlivých stojích, který je realizován elementem machine. Při vstupu prvku do tohoto elementu je vyvolána porucha, která je po nastaveném čase ukončena.

#### ***1.1.1.1 Simulace výroby krátkých hlavní***

Simulací stávajícího modelu u výroby krátkých hlavní bylo zjištěno, že stávající model odpovídá reálné výrobě. Byly zjištěny nedostatky ve vytížení některých strojů.

Z toho důvodu byly provedeny změny v odebrání strojů z pracovišť: ruční práce, soustruh libuty, broušení. Celkový úbytek strojů byl 10. Dále byly změněny směny na pracovištích: kovacky, dvou soustruhů, zahloubení, vrtačky, ruční\_úprava.

Výsledkem této simulace byla úspora deseti strojů, několika pracovních směn a dále byla zvýšena produktivita celého systému a to přibližně o 300 kusů za jeden den provozu systému.

#### ***1.1.1.2 Simulace výroby dlouhých hlavní***

Stávající model výroby je podobný výrobě krátkých hlavní, s rozdílem v použitých strojích.

Simulací stávajícího modelu výroby dlouhých hlavní, bylo opět zjištěno, že stávající model odpovídá reálné výrobě. Jako v předešlém případě byly nalezeny nedostatky, v podobě nízkého vytížení některých strojů.

Změna v modelu se týkala odebrání 7 strojů z výroby: soustruhy, struzeni\_komor, ruční\_úprava, leštění. Dále došlo ke změně směn na pracovištích: honování, kavacky.

Výsledkem této simulace byla úspora sedmi strojů, některých pracovních směn. Oproti výrobě krátkých hlavní nedošlo k zvýšení produktivity systému.

#### ***1.1.1.3 Celkové zhodnocení***

Po celkovém zhodnocení obou modelů je zřejmé, že vlivem odstranění některých strojů

a upravením směn, došlo k velké úspoře finančních prostředků, Dále byla zvýšena vytíženost strojů.

Použití simulačního programu Witness se prokázalo jako efektivní řešení.

Z tohoto důvodu jsem se rozhodla použít tento program pro vytvoření simulačních modelů této práce. Tento simulační program je popsán v kapitole 4, kde jsou zmíněny i další simulační programy.

Pro porozumění danému tématu obsahuje práce kapitolu 2 věnovanou teorii simulace. Modelům a modelování se dále věnuje kapitola 3.

## 2 SIMULACE

### 2.1 Definice simulace

Simulace je metoda využívána v různých odvětvích, což má za následek různé definice a pojetí.

Definice, nejvíce vystihující problematiku této práce:

Definice vycházející z formulace Shannona [1] - simulace je proces tvorby modelu reálného systému a provádění experimentů s tímto modelem za účelem dosažení lepšího pochopení chování studovaného systému či za účelem posouzení různých variant činnosti systému.

Tuto definici formuloval O. – J. Dahl v roce 1966 [3] – simulace je výzkumná metoda, jejíž podstata spočívá v tom, že zkoumaný dynamický systém nahradíme jeho simulátorem a s ním provádíme pokusy s cílem získat informaci o původním zkoumaném systému.



### 3 MODELÝ A MODELOVÁNÍ

Modely je vhodné použít v případě zkoumání vlastností daného systému, neboť při použití modelu mohou být vlastnosti zkoumaného systému měněny, aniž by došlo k omezení nebo narušení zkoumaného systému.

#### 3.1 Definice modelu

[2] Model je jakousi analogií: k jednomu systému musí existovat jiný systém, jehož prvky se chovají z jistého abstraktního hlediska podobně; musí tedy existovat nějaké zobrazení, které převádí prvky původního – modelovaného systému, na prvky systému druhého – modelujícího.

#### 3.2 Typy simulačních modelů

Chceme-li správně určit, který programovací jazyk je vhodný pro řešení dané simulace, musíme nejprve zjistit, o jaký simulační model se jedná.

Simulační modely jsou děleny dle různých hledisek např. z hlediska časového, z hlediska charakteru množiny hodnot stavových veličin. Méně důležité hledisko u simulačních modelů je hledisko zahrnutí náhodných veličin v modelu. Toto hledisko je důležité pro posuzování výsledků.

Přehled dělení simulačních modelů dle jednotlivých hledisek:

- Dle způsobu zachycení časového faktoru v modelu:
  - **Modely se spojitým časem** – časová proměnná může nabývat všech veličin v daném intervalu.
  - **Modely s diskrétním časem** – časová proměnná může nabývat pouze předem určených hodnot např. předem vymezené množiny.
- Dle charakteru množiny hodnot stavových veličin:
  - **Modely se spojitými změnami stavu** – jelikož jsou analyticky neřešitelné, k jejich řešení se používají diferenciální rovnice.

- **Modely s diskrétními změnami stavu** – k jejich řešení se používají diferenční rovnice.

Množina hodnot stavů	Čas spojitý	Čas diskrétní
<b>Spojité</b>	diferenciální rovnice	diferenční rovnice
<b>Diskrétní</b>	simulace diskrétních událostí	Markovovy řetězce

Tabulka 1 - Tabulka zobrazující typy modelů dle charakteru množiny hodnot stavových veličin

- Dle zahrnutí náhodných veličin v modelu:
  - **Deterministické** – prvky a vztahy mezi nimi jsou pevně dány. Výsledkem je přesné řešení.
  - **Stochastické** – prvky nebo vztahy mezi nimi mají charakter náhodných jevů nebo náhodných veličin. Výsledkem je statistický odhad skutečných hodnot výstupních ukazatelů.

### 3.3 Struktura simulačních modelů

V simulačních modelech se používají následující základní prvky:

**Komponenty** – představují modelové zobrazení jednotlivých částí modelovaného systému. Jednotlivé části systému a jejich vazby dohromady vytváří zkoumaný systém.

**Proměnné** – jsou používány, neboť zprostředkovávají vazby mezi komponentami navzájem a vazby komponent s relevantním okolím.

**Parametry** – jsou takzvané proměnné modelu, které mají své hodnoty přesně zadány. V případě provádění změn proměnných dochází k experimentování. Cílem experimentování je například nalezení optimálních hodnot parametrů systému.

**Funkční vztahy** – určují, jakým způsobem se vzájemně ovlivňují proměnné. Jejich pomocí lze například zaznamenat pravidla vývoje modelu v čase.

## 4 SIMULAČNÍ SOFTWARE

Simulační software se dělí dle jeho využití na univerzální jazyky a jazyky specializující se na simulace určitého typu simulace.

### 4.1 SIMUL8

Simulační jazyk byl vytvořen firmou SIMUL8 Corporation. Je používán pro modelování podnikových procesů. Umožňuje vytvoření vizuálního modelu zkoumaného systému a nabízí animaci běhu modelu, díky které může uživatel kontrolovat správnost modelu. Animaci lze použít pro prezentaci analýzy systému.

Základní informace o této firmě a simulačním jazyku lze získat na webové stránce <http://www.simul8.com> a nebo na českých stránkách <http://www.simul8.cz>. [6]

### 4.2 Simula 67

Simulační jazyk vytvořeny firmou Norwegian Computing Center. Tento jazyk je odvozen z Angolu. Byl navržen pro simulování systémů hromadné obsluhy. Obsahuje funkce jako je například kvaziparalelní výpočet, kalendář událostí. [6]

### 4.3 PROMODEL

Simulační jazyk vytvořen firmou PROMODEL Corporation. Tento programovací jazyk je používán pro diskrétní simulaci. Umožňuje vytvářet a provádět změny například u modelů výrobních linek, skladů. Tyto modely lze poté testovat a zkoumat vztahy, které jsou mezi kapacitou náklady. [6]

### 4.4 SIMPROCESS

Simulační jazyk vytvořen firmou CACI Products Company. Jedná se o hierarchický modelovací nástroj. Je používán pro budování modelů podnikových procesů. Hlavním cílem je snížení rizika spojeného s realizací procesu dramatické změny. [6]

**Funkce:**

- Hierarchická mapování procesů
- Objektově orientované modelování
- Activity-Based Costing
- Proces animace
- MS-Access založené na výstupní sestavy a grafy

**4.5 WITNESS**

Tento simulační jazyk byl vybrán pro řešení problematiky této práce, neboť obsahuje prvky, které jsou vhodné pro řešení daného problému.

**4.5.1 Co je to WITNESS?**

Witness je simulační jazyk vytvořen britskou firmou Lanner Group. Je používán převážně pro simulaci a optimalizaci výrobních, obslužných a logistických systémů.

Simulační modely se vytvářejí interaktivně pomocí definice prvků, které reprezentují reálné části systému (stroje, pracovní síly, tanky, dopravníky atd.). Uživatel má k dispozici animované grafické reprezentace modelů a řadu dalších prostředků používaných k zobrazení výsledků simulace například grafy.

Další výhodou je simulační čas, který může být nastaven tak, aby běžel rychleji než reálný čas. Čímž lze rychle vyhodnotit různé varianty navrhovaných řešení problémů.

Princip simulace je využíván pro odhad chování daného systému přímo v provozních podmínkách. Namísto sledování dynamického chování daného procesu a jeho reakcí na provedené organizační a technologické změny, sledujeme chování jeho modelu. Modelovaným objektem může být například výrobní linka, sklad velkoobchodu, systém obsluhy v pobočce banky.

**Výhody simulace:**

- možnost vytvářet modely ještě neexistujících systémů. Tímto způsobem může být navržen systém, který svým chováním odpovídá zadaným představám.
- Flexibilita v rozsahu i zaměření simulačních projektů. Mohou je používat odborníci odpovědní za výkonnost své organizace, kteří nemusí být zkušení uživatelé počítačů.

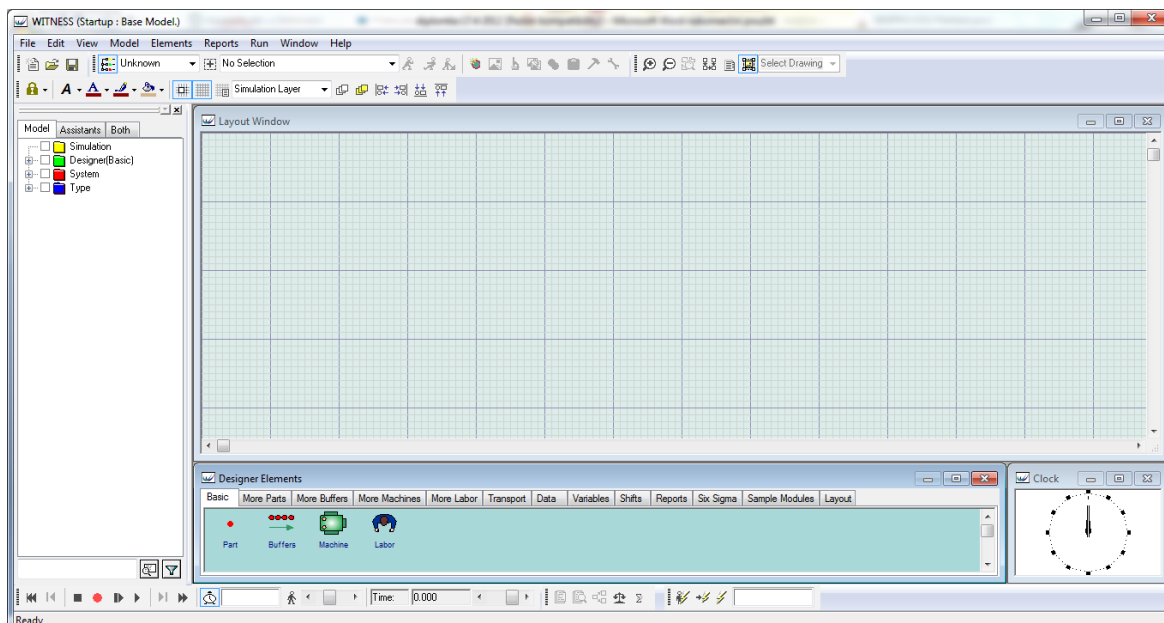
**Operativní využití [5] simulace:**

- Plánování a rozvrhování výroby
- Podpora rozhodování operátorů
- Včasná identifikace úzkých míst a omezení ve výrobě
- Predikce důsledků a správná reakce na poruchy v procesu
- Predikce vyřízení konkrétních zakázek<sup>1</sup>

**4.5.2 Práce s modelem**

Modely dynamicky zobrazují pohyb materiálu, stavy jednotlivých prvků, prováděné operace, aktuální využití zdrojů. Všechny události, které v systému nastaly, jsou zaznamenány. Uživatel může sledovat vývoj procesu a dle zvolených kritérií má k dispozici údaje potřebné k vyhodnocení výkonnosti daného systému.

### 4.5.3 Vývojové prostředí Witness



Obrázek 1- Vývojové prostředí Witness

#### 4.5.3.1 Základní elementy programu Witness použité v této práci

##### Fyzické elementy

**Part (součást)** - Part je základním prvkem modelu. Patří do skupiny fyzických prvků. Je to prvek, který reprezentuje součásti vstupující do modelu a pohybující se mezi jednotlivými elementy, jako je například materiál, zákazníci.

Součásti dělíme na aktivní a pasivní.

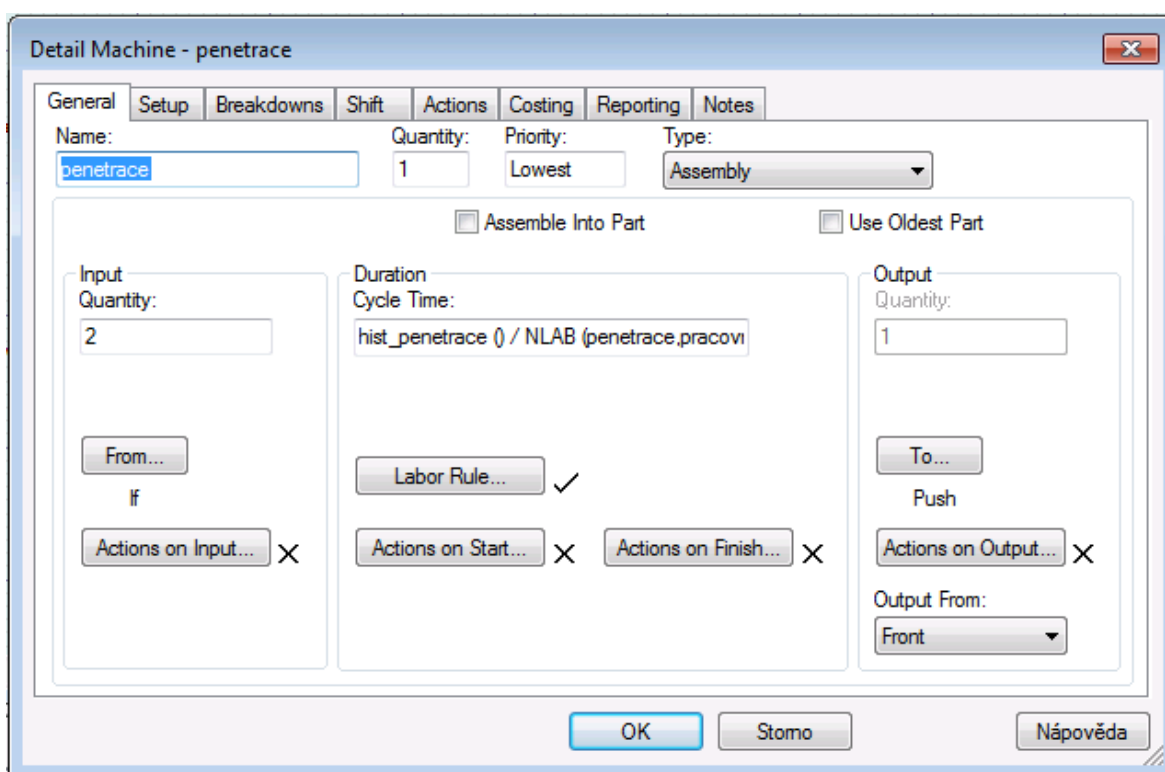
**Buffer (zásobník)** - Je element, v němž dochází ke shromažďování součástí. Jedná se o pasivní element, neboť součásti jsou do něj vkládány a odebírány na základě nastavených vstupních a výstupních pravidel aktivních elementů.

**Machine (stroj)** - Je označován jako aktivní element, prostřednictvím něhož jsou vykonávány jednotlivé činnosti. Stroj postupně zpracovává jednotlivé součásti, které do něj vstupují. Po dokončení zpracování součásti stroj opouští. Vstupy a výstupy součástí ze stroje jsou nastaveny ve vstupních a výstupních pravidlech.

Stroje můžeme rozdělit podle typu na:

- Single – jedna součást do stroje vstoupí, jedna součást ze stroje vystoupí.

- Assembly – funguje na principu montážního stroje. Do stroje vstupuje současně nastavený počet součástí, který je zpracován na jednu součást, která vystupuje ze stroje (Obrázek 3)
- Batch – dávkový vstup součástí do stroje, dávkový výstup součástí ze stroje (Obrázek 4)
- Production – do stroje vstupuje jedna součást, která je zpracováním rozdělena na požadovaný počet součástí



Obrázek 2 - Nastavení typu Assembly u elementu Machine



Detail Machine - vytvrzeni

General Setup Breakdowns Fluid Rules Shift Actions Costing Reporting Notes

Name:  Quantity:  Priority:  Type:

Input

Batch Min:

Batch Max:

From... If Actions on Input... X

Duration

Cycle Time:

Labor Rule... X Actions on Start... X Actions on Finish... X

Output

Quantity:

To... Push Actions on Output... X

Output From:

OK Storno Nápověda

Obrázek 3 - Nastavení typu Batch u elementu Machine

**Labor (pracovník)** - Jedná se o element, který je obvykle v modelu používán pro obsluhu strojů. Jeden pracovník může obsluhovat i více strojů. Tento element můžeme ovlivnit nastavením pracovní směny.

Detail Labor - pracovníci

General Actions Costing Reporting Notes

Name:  Total Quantity:

Shift	Quantity	Allowance
smena 1	4	0.0

Shift:  Quantity:  Allowance:

Add/Remove...

OK Storno Nápověda

Obrázek 4 - Nastavení směny v elementu Labor

**Patch (cesta)** - Cesty slouží pro přesun pracovníků mezi jednotlivými pracovišti po předem definované trase s časem potřebným k přesunu pracovníka.

### Logické elementy

**Variable (proměnná)** - Tato proměnná slouží pro zaznamenávání například počtu součástí v modelu vystupujících z jednotlivých aktivních elementů.

Musí mít nastaven datový typ: integer, real atd.

**Shift (směna)** - Pomocí směn můžeme nastavit jednotlivým elementům (machine, labor) časy, kdy mají vykonávat svou práci.

Směna je rozdělena na části:

- Working time - čas, kdy je vykonávána práce
- Rest time – čas odpočinku

Detail Shift - smena1

General Actions Reporting Notes

Name:  ☐ Sub Shift

Initial Offset

Working Time:  Rest Time:

	Period Type	Working Time	Rest Time	Overtime	Sub Shift Name
1	Period	10800.0	1800.0	0.0	
2	Period	16200.0	57600.0	0.0	
Total		27000	59400	0	

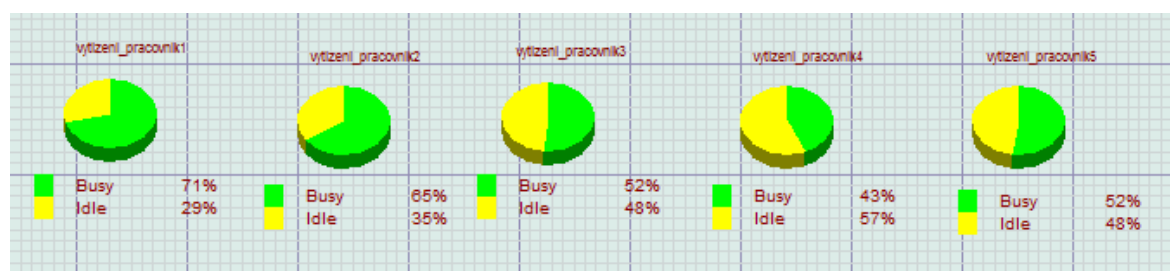
Actions

OK Stomo Nápověda

Obrázek 5 – Ukázka nastavení elementu směna

### Grafické elementy

**Pie (koláčový graf)** - Je používán pro zobrazení procentuálního rozdělení. Můžeme například sledovat vytíženost pracovníků, strojů.



Obrázek 6 – Ukázka zobrazení koláčových grafů.

#### 4.5.3.2 Vstupní a výstupní pravidla použité v této práci

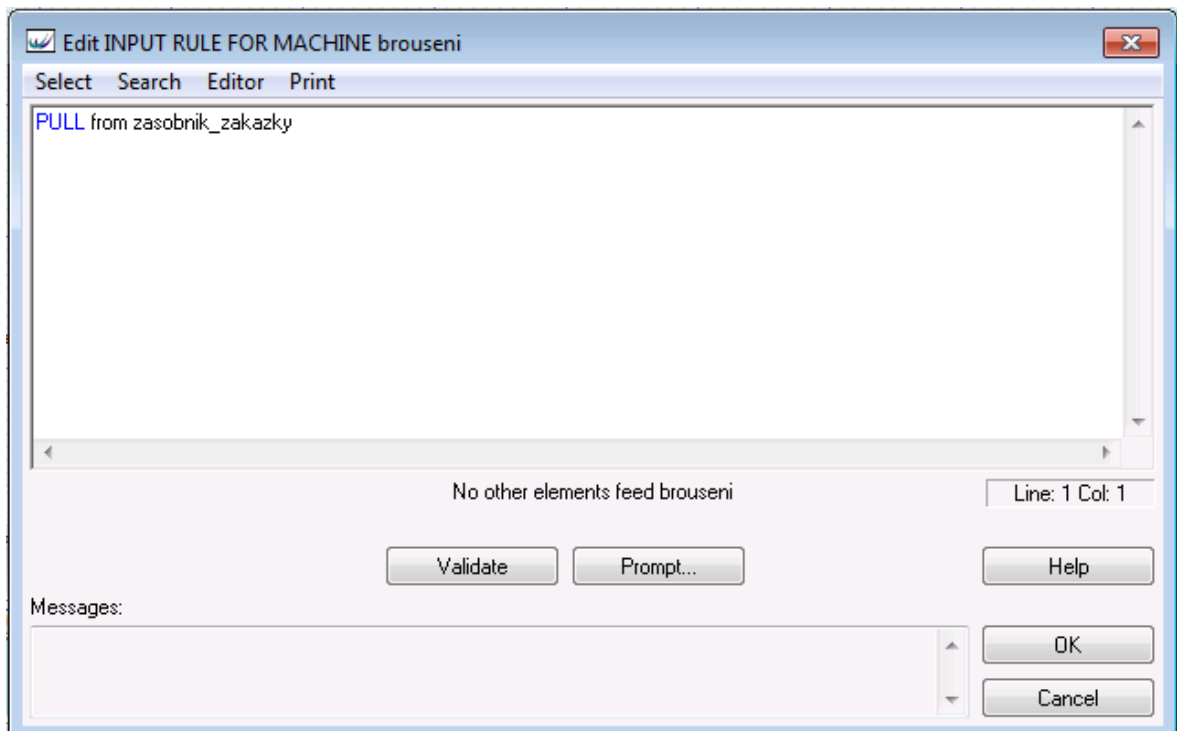
Vstupní a výstupní pravidla se používají pro nastavení chování elementů v modelu, které se nastavují, na kartě detail.

**Wait (čekat)** – pravidlo nastavující čekání na přijetí a nebo odeslání součásti

**Push (tlačit)** – výstupní pravidlo sloužící k odeslání součásti na následující element

**Pull (táhnout)** – vstupní pravidlo sloužící k odebrání součásti z předchozího elementu

**Sequence (pořadí)** – slouží k cyklickému zpracování součástí přijatých z více elementů.



Obrázek 7 – Ukázka výstupního pravidla

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 PROFIL FIRMY VYRÁBĚJÍCÍ PRŮMYSLOVÉ PODLAHY

RIVAL FLOOR s.r.o. je firmou vyrábějící od roku 1995 průmyslové podlahy.

Hlavní zaměření firmy:

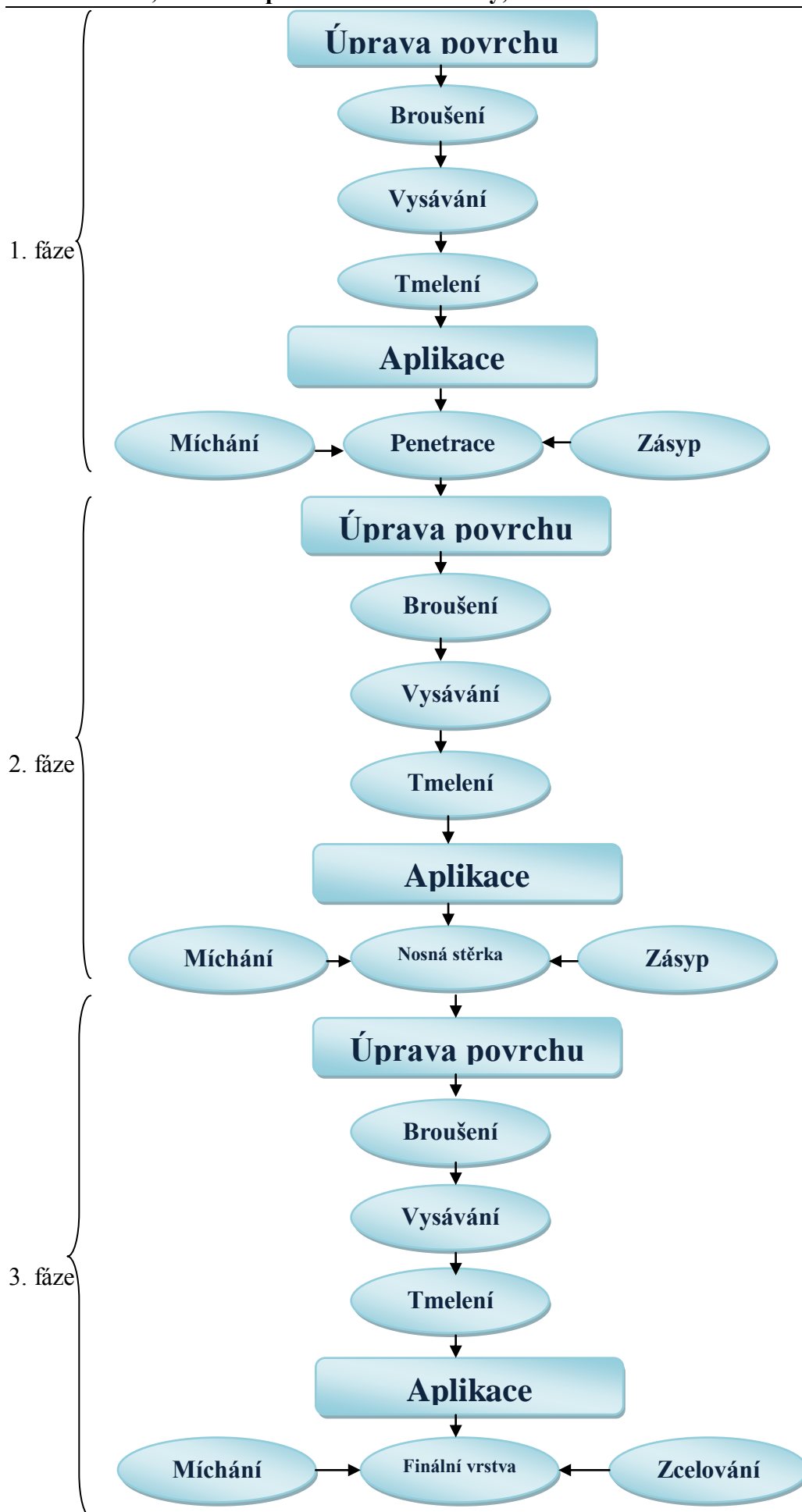
- Průmyslové podlahy
- Lité podlahy
- Epoxidové polyuretanové podlahy
- Samonivelační potěry
- Betonové, antistatické a lité potěry
- Hydroizolace XYPEX
- Nátěry a penetrace povrchů
- Rekonstrukce a sanace starých podlah

## 6 POPIS VÝROBY PRŮMYSLOVÝCH PODLAH

Pro diplomovou práci jsem zvolila výrobu třívrstvé průmyslové podlahy, neboť tato podlaha je nejčastěji vyráběnou podlahou této společnosti. Dále jsem zvolila výrobu jedné podlahy. V případě, že firma má více zakázek současně mohou jednotliví pracovníci přecházet mezi jednotlivými zakázkami podle potřeby. Tato situace není v této práci řešena, ale může být zpracována v budoucnu v jiné práci.

Celý proces výroby je rozdělen do tří fází. Každá fáze je prováděna v jednom pracovním dnu, z důvodu nutnosti vytvrzení jednotlivých vrstev použitého materiálu. Jednotlivé fáze výroby jsou zobrazeny na obrázku č. 2.

Výrobu podlahy o rozloze 300 m<sup>2</sup> provádí pracovní četa čítající 5 pracovníků. S přihlédnutím na tento počet pracovníků je popsán popis výroby průmyslové podlahy.





Obrázek 8 – Schéma výroby podlahy

## 6.1 Popis výroby průmyslové podlahy první fáze

1. **Broušení** - stávající povrch podlahy je brusným strojem za obsluhy pracovníka zbaven nerovností, v případě chemických skvrn, jsou tyto skvrny broušením odstraněny.

2. **Vysávání** - vybroušený povrch je průmyslovým vysavačem za obsluhy pracovníka zbaven nečistot. Vysávání se provádí po zbroušení 100 m<sup>2</sup> zakázky.

3. **Tmelení** - nerovnosti v podobě rýh, dírek a vybroušených skvrn jsou tmeleny. Pro tmelení je používána stěrka, kterou se zapraví tmelící materiál do nerovností. Proces tmelení je zahájen po vysání 100 m<sup>2</sup> zakázky.

4. **Penetrace** - jakmile dojde k zatmelení nerovností u celé zakázky, je spuštěn proces penetrace, který se skládá z míchání materiálu, aplikace penetrační stěrky a zásypu křemičitým pískem. Nejprve je spuštěn proces míchání materiálu. Míchání materiálu je spojeno s přípravou materiálu. Materiál je míchán postupně ve více dávkách. Jedna dávka obsahuje namíchaný materiál na 75 m<sup>2</sup>, doba míchání a přípravy materiálu na tuto dávku je 780 s. Po namíchání první části materiálu je materiál nanášen pomocí aplikační stěrky na povrch podlahy. Jakmile dojde ke snížení namíchaného materiálu na méně než 30 m<sup>2</sup> je míchána další dávka materiálu. Ihned po aplikaci penetrační stěrky se provádí její zásyp křemičitým pískem. Písek musí být aplikován do čerstvě naneseného materiálu, tak aby došlo ke klesnutí písku do stěrky.

Zásypem materiálu končí 1. fáze výroby průmyslové podlahy. Po dokončení zásypu u všech metrů čtverečních zakázky je zahájeno tvrzení zakázky. Doba vytvrzení u penetrační stěrky je stanovena na 12 hodin což odpovídá 43 200 s. Po dokončení vytvrzení je tato vrstva připravena k dalšímu opracovávání. Další fáze výroby je zahájena směnou pracovníků.

Části výroby [1 m <sup>2</sup> / 1 pracovník]	Čas [s]
Broušení	99,69 – 100,42
Vysávání	49,52 – 50,45
Tmelení	29,51 – 30,51

Aplikace penetrační stěrky	41,72 – 42,57
zásyp	19,57 – 20,52

Tabulka 2 – Doba výroby jednotlivých částí první fáze

## 6.2 Popis výroby průmyslové podlahy druhé fáze

1. **Broušení** - penetrovaný povrch podlahy je brusným strojem za obsluhy pracovníka zbaven nerovností, neboť po aplikaci penetrační stěrky a provedení zásypu této stěrky křemičitým pískem dochází k procesu vztlínání, který způsobuje nerovnosti na povrchu.

2. **Vysávání** - vybroušený povrch je průmyslovým vysavačem za obsluhy pracovníka zbaven nečistot, které vznikly broušením povrchu. Vysávání se provádí po zbroušení 100 m<sup>2</sup> zakázky.

3. **Tmelení** - v této části výroby dochází k tmelení nerovností v podobě rýh a propadů materiálu, které vznikly při broušení penetrační stěrky. Pro tmelení je používána stěrka, kterou se zapraví tmelící materiál do nerovností. Proces tmelení je opět zahájen po vysání 100 m<sup>2</sup> zakázky.

4. **Nosná stěrka** - jakmile dojde k zatmelení nerovností u celé zakázky, je zahájen proces aplikace nosné stěrky, který se skládá z míchání materiálu, aplikace nosné stěrky a zásypu křemičitým pískem. Nejprve je spuštěn proces míchání materiálu, který je spojen s přípravou materiálu. Materiál je míchán postupně ve více dávkách. Jedna dávka obsahuje namíchaný materiál na 75 m<sup>2</sup>, doba míchání a přípravy materiálu na tuto dávku je 780 s. Po namíchání první části materiálu je materiál nanášen pomocí aplikační stěrky na povrch podlahy. Jakmile dojde ke snížení namíchaného materiálu na méně než 30 m<sup>2</sup>, je zahájeno míchání další dávky materiálu. Ihned po aplikaci nosné stěrky se provádí její zásyp křemičitým pískem. Písek musí být aplikován do čerstvě naneseného materiálu, tak aby došlo ke klesnutí písku do stěrky, tak jakou u aplikace penetrační stěrky.

Zásypem materiálu končí 2. fáze výroby průmyslové podlahy. Po dokončení zásypu u všech metrů čtverečních zakázky je zahájeno tvrzení celé zakázky. Doba vytvrzení nosné stěrky je stanovena na 12 hodin což odpovídá 43 200 s. Po dokončení vytvrzení je tato vrstva dále připravena k dalšímu opracování, které se provádí ve třetí fázi výroby. Další fáze je opět zahájena směnou pracovníků.

Části výroby [1 m <sup>2</sup> / 1 pracovník]	Čas [s]
Broušení	79,68 – 80,39
Vysávání	39,63 – 40,43
Tmelení	29,67 – 30,37
Aplikace nosné stěrky	41,69 – 42,99
Zásyp	19,72 – 20,40

Tabulka 3 – Doba výroby jednotlivých částí druhá fáze

### 6.3 Popis výroby průmyslové podlahy třetí fáze

1. **Broušení** - nerovnosti vzniklé při vytvrzení nosné stěrky jsou zbroušeny za použití brusného stroje obsluhovaného pracovníkem, neboť po aplikaci nosné stěrky došlo opět ke vzlínání materiálu, což způsobilo nerovnosti povrchu.

2. **Vysávání** - vybroušený povrch je průmyslovým vysavačem za obsluhy pracovníka zbaven nečistot, které vnikly broušením povrchu nosné stěrky. Na povrchu nesmí zůstat žádné nečistoty, aby nedocházelo k špatné přilnavosti finální stěrky. Proces vysávání je zahájen ihned po zbroušení 100 m<sup>2</sup> zakázky.

3. **Tmelení** - v této části opět dochází k tmelení posledních nedostatků plochy, které vznikly při přebroušení nosné stěrky. Pro tmelení je opět použita stěrka, kterou se zapraví tmelící materiál do nerovností. Proces tmelení je zahájen ihned po vysátí 100 m<sup>2</sup> zakázky.

4. **Finální probarvená vrstva** - jedná se o aplikaci konečné probarvené vrstvy materiálu. Aplikace této vrstvy je zahájena ihned po zatmelení nerovností u celé zakázky. Tento proces se skládá z míchání a přípravy materiálu, aplikace a scelování povrchu. Nejprve je spuštěn proces míchání a přípravy materiálu. Míchání je prováděno postupně ve více dávkách. Jedna dávka obsahuje namíchaný materiál na 75 m<sup>2</sup>, doba stanovená na míchání a přípravu materiálu je stanovena na 780 s. Po namíchání první části materiálu je materiál nanášen pomocí aplikační stěrky na povrch podlahy. Jakmile dojde ke snížení namíchaného materiálu na méně než 30 m<sup>2</sup> je míchána další dávka materiálu. Ihned po aplikaci penetrační stěrky se provádí její scelování speciální scelovací stěrkou. Scelování povrchu musí být zahájeno ihned po aplikaci finální probarvené vrstvy.

Scelením povrchu končí 3. Fáze výroby průmyslové podlahy. Po dokončení zásypu u všech metrů čtverečních zakázky je zahájeno její tvrzení. Doba vytvrzení u finální probarvené vrstvy je stanovena na 12 hodin což odpovídá 43 200 s. Po dokončení vytvrzení je tato vrstva připravena k používání. Vytvrzením končí výroba průmyslové podlahy.

Části výroby [1 m <sup>2</sup> / 1 pracovník]	Čas [s]
Broušení	79,67 – 80,39
Vysávání	39,71 – 40,41
Tmelení	29,61- 30,41
Aplikace finální probarvené vrstvy	36,64 – 40,34
Scelování	33,62 – 34,52

Tabulka 4 – Doba výroby jednotlivých částí třetí fáze

## 6.4 Směna

Pracovní četa pracuje v jedné osmihodinové směně.

Začátek směny je nastaven na 8:00, konec směny je nastaven na 16:00. V rámci této směny je zahrnuta půl hodinová přestávka na oběd pracovníků.

Nastavení směny je zobrazeno na obrázku (Obrázek 9)

	Period Type	Working Time	Rest Time	Overtime	Sub Shift Name
1	Period	16200.0	2700.0	0.0	
2	Period	13500.0	54000.0	0.0	
Total		29700	56700	0	

Obrázek 9 – Nastavení směny pracovníků

## 7 SESTAVENÍ STÁVAJÍCÍHO MODELU VÝROBY V PROGRAMU WITNESS

Tato část práce se zabývá sestavením modelu stávajícího výrobního procesu průmyslových podlah v programu Witness.

Tento stávající model bude poté dále upravován tak, aby došlo k odhalení nedostatků současné výroby a k navržení vhodnějšího řešení, díky kterému dojde k zefektivnění výroby.

### 7.1 Popis stávajícího řešení

Jelikož firma řeší nejčastěji zakázky o velikosti 300 m<sup>2</sup>, zvolila jsem pro simulaci současného modelu právě tuto velikost zakázky.

Na zakázce této velikosti pracuje četa pracovníků složená z pěti zaměstnanců. Zaměstnanci nemají přesně zadanou specializaci na jednotlivé pozice v četě, proto mohou vykonávat všechny práce.

Pracovní četa má k dispozici následující nářadí:

Pracovní stroj, nářadí	Počet kusů [Ks]
Brusný stroj	2
Průmyslový vysavač	2
Stěrka na tmelení	1
Míchačka materiálu	1
Aplikační stěrka	2
Speciální scelovací stěrka	1

Tabulka 5 – Tabulka nářadí k dispozici pracovní četě.

## 7.2 Úprava povrchu první fáze

### 7.2.1 Vstup

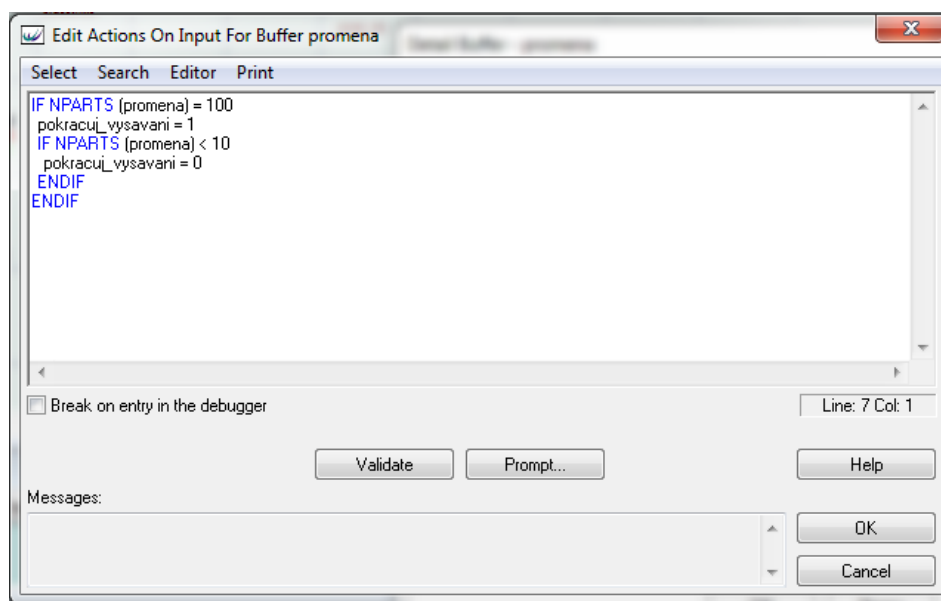
Do modelu vstupuje zakázka o velikosti 300 m<sup>2</sup>, která je reprezentována elementem zakazka (Part). Zakázka je nastavena jako aktivní element s nastavenou velikostí 300. Výstupní pravidlo je nastaveno tak, aby se jednotlivé metry zakázky uložili do elementu zasobnik\_zakazky (Buffer).

### 7.2.2 Broušení

Do modelu jsem umístila element brouseni (Machine) nastavený na typ single, který zobrazuje úsek, na kterém jsou broušením opracovávány jednotlivé metry zakázky. Na tomto úseku pracují dva pracovníci (Labor) obsluhující dva brusné stroje.

Do brouseni vstupují jednotlivé metry zakázky dle nastaveného vstupního pravidla z elementu zasobnik\_zakazky. Výstupní pravidlo je nastaveno tak, aby již zpracované metry zakázky byly přesunuty do elementu promena (Buffer).

Dále byla nastavena vstupní podmínka na elementu promena tak, aby se nastavila hodnota proměnné pokračuj\_vysavani na hodnotu 1 při naplnění zásobníku 100 m<sup>2</sup> a došlo ke spuštění vysávání.



Obrázek 10 – Vstupní podmínka zásobníku promena

### 7.2.3 Vysávání

V části vysávání jsem vložila element vysavani (Machine) nastavený na typ single, který zobrazuje úsek, na kterém se pracuje s průmyslovými vysavači. Na tomto úseku pracují dva pracovníci (Labor) obsluhující dva průmyslové vysavače.

Opět je zde umístěn element promena1 (Buffer), do kterého jsou přemísťovány již zpracované metry zakázky. Při naplnění zásobníku promena1 100 m<sup>2</sup> se nastaví hodnota proměnné pokračuj\_tmeleni na hodnotu 1 a je zahájeno tmelení.

### 7.2.4 Tmelení

V této části byl dále přidán element tmeleni (Machine) nastavený na typ single, který zobrazuje úsek, na kterém dochází k tmelení povrchu. Na tomto úseku pracuje jeden pracovník (Labor), který tmelící stěrkou nanáší tmelící materiál do nerovností vybroušené podlahy.

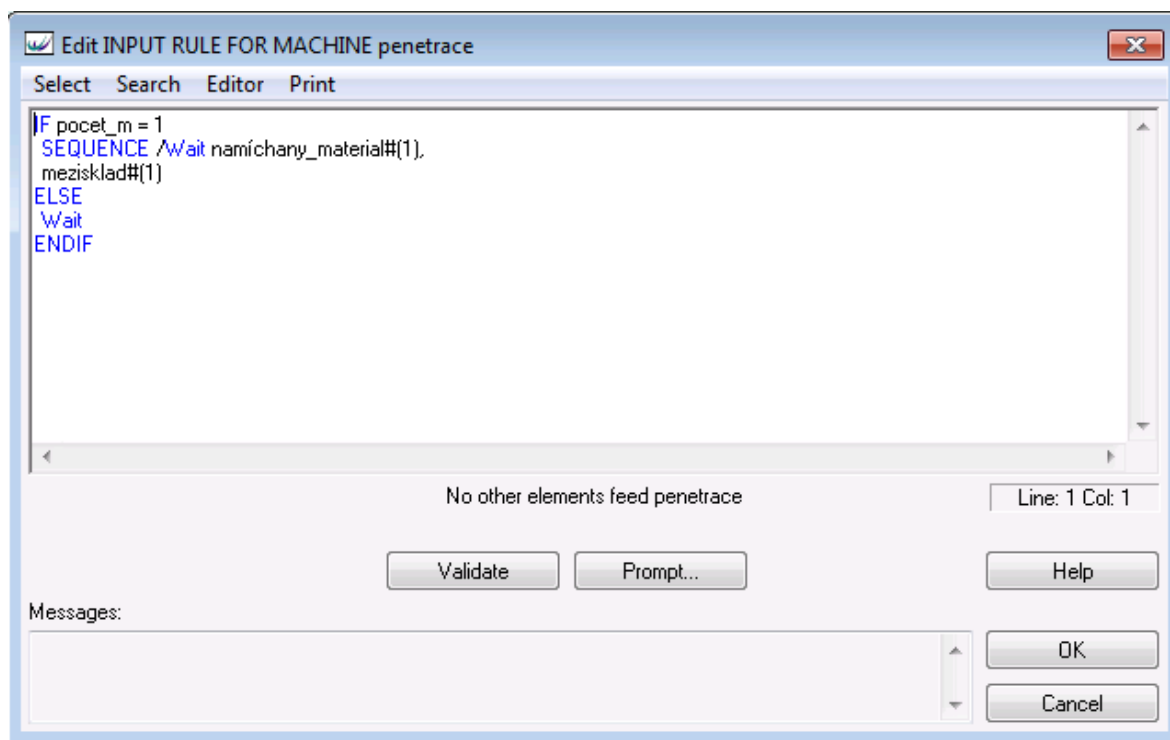
Vstupní pravidlo je nastaveno tak, aby se jednotlivé metry zakázky přesouvali ke zpracování, jakmile proměnná pokračuj\_tmeleni dosáhne hodnoty 1.

Výstupní pravidlo přesouvá prvky do elementu mezisklad (Buffer).

### 7.2.5 Penetrace, míchání, zásyp

Jakmile obsahuje mezisklad 300 m<sup>2</sup> zakázky je proměnná pocet\_m nastavena na hodnotu 1 a je zahájen proces penetrace.

Do modelu je vložen element penetrace (Machine) nastaven na typ Assembly, který má nastavenou vstupní podmínku ověřující hodnotu proměnné pocet\_m. Na úseku penetrace pracují dva pracovníci (Labor), kteří aplikační stěrkou nanášejí namíchaný materiál.



Obrázek 11 – Vstupní podmínka elementu penetrace.

Do modelu je dále vložen element `michani_a_priprava` (Machine) nastaven na typ `single`. A element `rozdeleni` (Machine) nastavený na typ `production`.

Při změně proměnné `pocet_m` na hodnotu 1 je spuštěno míchání materiálu. Tento úsek je prováděn dvěma pracovníky (Labor). Jeden pracovník se věnuje přípravě a míchání materiálu, druhý pracovník nosí namíchaný materiál po předem nadefinované cestě `cesta` (Patch) do elementu `rozdeleni`, kde v čase 0 s dochází k rozpočítání materiálu na jednotlivé metry zakázky. Rozpočítaný materiál je poté přesunut do elementu `namichany_material` (Buffer). Tento materiál je poté použit při nanášení penetrační vrstvy.

Ihned po nanesení penetrační vrstvy na jednotlivé metry zakázky je zapotřebí provést zásyp křemičitým pískem. Tento zásyp je realizován elementem `zasyp` (Machine) nastaven na typ `single`, který obsluhuje jeden pracovník. Zásyp je zapotřebí provést do nezatuhnutého materiálu, aby došlo k procesu zvlínání.

Po dokončení zásypu jsou jednotlivé metry zakázky přesouvány do elementu `mezisklad2` (Buffer). Jakmile element `mezisklad2` obsahuje 300 m<sup>2</sup> je celý jeho obsah přesunut do



elementu vytvrzení (Machine) nastaven na typ Batch, kde dochází k vytvrzení materiálu.

Během této doby nesmí být s jednotlivými metry zakázky manipulováno.

Po dokončení vytvrzení, které trvá 43200 s je přesunuta celá zakázka dávkově do elementu vytvrzeni\_dokonceno (Buffer), kde celá zakázka čeká na začátek směny pracovníků.

## 7.3 Úprava povrchu druhá fáze

### 7.3.1 Broušení

Na začátek této fáze jsem umístila element brouseni2 (Machine) nastaven na typ single, který zobrazuje úsek, na kterém jsou broušením opracovávány jednotlivé metry zakázky. Na tomto úseku pracují dva pracovníci (Labor) obsahující dva brusné stroje.

Do brouseni vstupují jednotlivé metry zakázky dle nastaveného vstupního pravidla z elementu vytvrzeni\_dokonceno (Buffer).

Výstupní pravidlo je nastaveno tak, aby zpracované metry zakázky byly přesunuty do elementu promena2 (Buffer).

Dále byla nastavena vstupní podmínka na elementu promena2 tak, aby se nastavila hodnota proměnné pokračuj\_vysavani2 (Variable) na hodnotu 1 při naplnění zásobníku 100 m<sup>2</sup> a došlo ke spuštění vysávání.

### 7.3.2 Vysávání

V části vysávání byl vložen element vysavani2 (Machine) nastaven na typ, který zobrazuje úsek, na kterém se pracuje s průmyslovými vysavači. Na tomto úseku pracují dva pracovníci (Labor) obsluhující dva průmyslové vysavače.

Opět je zde umístěn element promena3 (Buffer), do kterého jsou přemísťovány již zpracované metry zakázky. Při naplnění zásobníku promena3 100 m<sup>2</sup> se nastaví hodnota proměnné pokračuj\_tmeleni2 (Variable) na hodnotu 1 a je zahájeno tmelení.

### 7.3.3 Tmelení

V této části byl přidán element tmeleni2 (Machine) nastaven na typ single, který zobrazuje úsek, na kterém dochází k tmelení povrchu. Na tomto úseku pracuje jeden pracovník (Labor), který tmelící stěrkou nanáší tmelící materiál do nerovností vybroušené podlahy.

Vstupní pravidlo je nastaveno tak, aby se jednotlivé metry zakázky přesouvali ke zpracování, jakmile proměnná `pokracuj_tmeleni2` (Variable) dosáhne hodnoty 1. Výstupní pravidlo přesouvá prvky do elementu `mezisklad3` (Buffer).

#### 7.3.4 Nosná stěrka, míchání, zásyp

Jakmile obsahuje `mezisklad3` 300 m<sup>2</sup> zakázky je proměnná `pocet_m5` nastavena na hodnotu 1 a je zahájen proces aplikace nosné stěrky.

Do modelu byl vložen element `nosna_sterka` (Machine) nastaven na typ Assembly, který má nastavenou vstupní podmínku ověřující hodnotu proměnné `pocet_m5`. Na tomto úseku pracují dva pracovníci (Labor), kteří aplikační stěrkou nanášejí penetrační stěrku na penetrovaný povrch.

Do modelu je dále vložen element `michani_a_priprava2` (machine) nastavený na typ single. A element `rozdeleni2` (Machine) nastavený na typ production.

Při nastavení proměnné `pocet_m5` na hodnotu 1 je spuštěno míchání materiálu. Tento proces je prováděn dvěma pracovníky (Labor). Jeden pracovník se věnuje přípravě a míchání materiálu. Druhý pracovník nosí namíchaný materiál po předem nadefinované cestě `cesta2` (Patch) do elementu rozdělení, kde v čase 0 s dochází k rozpočítání materiálu na jednotlivé metry podlahy. Rozpočítaný materiál je poté přesunut do elementu `namichany_material2` (Buffer). Tento materiál je poté použit při nanášení nosné stěrky.

Ihned po nanesení nosné stěrky na jednotlivé metry zakázky je zapotřebí provést zásyp křemičitým pískem. Tento zásyp je realizován elementem `zasyp2` (Machine) nastavený na typ single. Zásyp provádí jeden pracovník (Labor), do čerstvě aplikovaného materiálu, aby došlo k procesu zvlínání.

Po dokončení zásypu jsou jednotlivé metry zakázky přesouvány do elementu `mezisklad4` (Buffer). Jakmile element `mezisklad4` obsahuje 300 m<sup>2</sup> je celý jeho obsah přesunut do elementu `vytvrzeni2` (Machine) nastavený na typ batch, kde dochází k vytvrzení materiálu. Během této doby nesmí být s jednotlivými metry zakázky manipulováno.

Po dokončení vytvrzení, které trvá 43200 s je přesunuta celá zakázka dávkově do elementu `vytvrzeni_dokonceno2` (Variable), kde celá zakázka čeká na začátek směny pracovníků.

## 7.4 Úprava povrchu výroby třetí fáze

### 7.4.1 Broušení

Na začátek této fáze jsem umístila element brouseni3 (Machine) nastavený na typ single, který zobrazuje úsek, na kterém jsou broušením opracovávány jednotlivé metry zakázky. Na tomto úseku pracují dva pracovníci (Labor) obsluhující dva brusné stroje.

Do brouseni vstupují jednotlivé metry zakázky dle nastaveného vstupního pravidla z elementu vytvrzeni\_dokonceno2 (Buffer).

Výstupní pravidlo je nastaveno tak, aby zpracované metry zakázky byly přesunuty do elementu promena4 (Buffer).

Dále byla nastavena vstupní podmínka na elementu promena4 tak, aby se nastavila hodnota proměnné pokračuj\_vysavani3 (Variable) na hodnotu 1 při naplnění zásobníku 100 m<sup>2</sup> a došlo ke spuštění vysávání.

### 7.4.2 Vysávání

V části vysávání byl vložen element vysavani3 (Machine) nastavený na typ single, který zobrazuje úsek, na kterém pracují dva pracovníci (Labor) obsluhující dva vysavače.

Opět je zde umístěn element promena5 (Buffer), do kterého jsou přemísťovány již zpracované metry zakázky. Při naplnění zásobníku promena5 100 m<sup>2</sup> se nastaví hodnota proměnné pokračuj\_tmeleni3 (Variable) na hodnotu 1 a je zahájeno tmelení.

### 7.4.3 Tmelení

V této části byl přidán element tmeleni3 (Machine) nastavený na typ single, který zobrazuje úsek, na kterém dochází k tmelení povrchu. Na tomto úseku pracuje jeden pracovník (Labor), který tmelící stěrkou nanáší tmelící materiál do nerovností vybroušené nosné stěrky. Vstupní pravidlo je nastaveno tak, aby se jednotlivé metry zakázky přesouvali ke zpracování, jakmile proměnná pokračuj\_tmeleni3 (Variable) dosáhne hodnoty 1. Výstupní pravidlo přesouvá prvky do elementu mezisklad5 (Buffer).

#### 7.4.4 Finální probarvená vrstva, míchání, scelování

Jakmile obsahuje mezisklad5 300 m<sup>2</sup> zakázky je proměnná pocet\_m6 nastavena na hodnotu 1 a je zahájen proces aplikace finální probarvené vrstvy.

Do modelu je vložen element finalni\_sterka (Machine) nastaven na typ Assembly, který má nastavenu vstupní podmínku ověřující hodnotu proměnné pocet\_m6 (Variable). Na tomto úseku pracují dva pracovníci (Labor), kteří aplikační stěrkou nanášejí finální probarvenou vrstvu.

Do modelu je dále vložen element michani\_a\_priprava3 (Machine) nastavený na typ single. A element rozdeleni3 (Machine) nastavený na typ production.

Při nastavení proměnné pocet\_m6 na hodnotu 1 je spuštěno míchání materiálu. Tento proces je prováděn dvěma pracovníky (Labor). Jeden pracovník se věnuje přípravě a míchání materiálu. Druhý pracovník nosí namíchaný materiál po předem nadefinované cestě cesta3 (Patch) do elementu rozdělení3 (Machine) nastavený na typ production, kde v čase 0 s dochází k rozpočítání materiálu na jednotlivé metry podlahy. Rozpočítaný materiál je poté přesunut do elementu namichany\_material3 (Buffer). Tento materiál je poté použit při nanášení finální stěrky.

Ihned po nanesení finální stěrky na jednotlivé metry zakázky je prováděno scelování povrchu materiálu. Toto scelování je realizováno elementem zceleni (Machine) nastavený na typ single, který obsluhuje jeden pracovník (Labor).

Po dokončení scelení povrchu materiálu jsou jednotlivé metry zakázky přesouvány do elementu mezisklad6 (Buffer). Jakmile element mezisklad6 obsahuje 300 m<sup>2</sup> je celý jeho obsah přesunut dávkově do elementu vytvrzení3 (Machine) nastavený na typ batch, kde dochází k vytvrzení materiálu. Během této doby nesmí být s jednotlivými metry zakázky manipulováno.

Po dokončení vytvrzení, které trvá 43200 s je přesunuta celá zakázka dávkově do elementu metry\_hotovo (Buffer). Tímto krokem dochází k ukončení práce na podlaze.

## 8 EXPERIMENTY S MODELEM

Tato kapitola se zabývá prováděním experimentů s modely, s cílem nalezení nedostatků současné výroby a nalezením jejich řešení.

Grafické znázornění modelu stávající výroby je zobrazeno v příloze (P I).

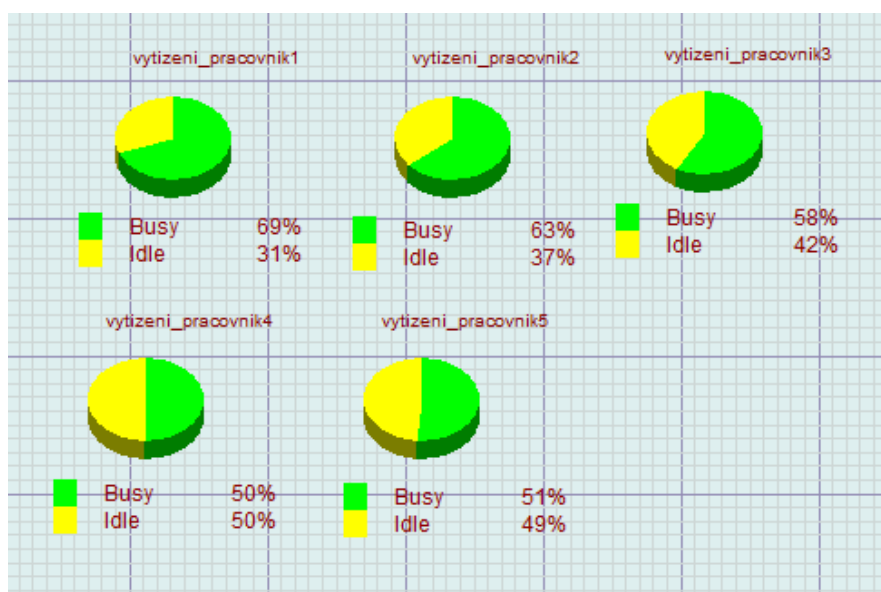
### 8.1 Výsledky simulace stávajícího modelu

Celková doba simulace je 288 000 s.

Sledováním modelu byly zjištěny tyto průměrné časy výroby jednotlivých fází výroby podlah:

1. Fáze obsahující (brousení, vysávání, tmelení, penetrace + michani\_a\_připrava, zasyp) byla vykonána za 25 384 s.
2. Fáze obsahující (brousení2, vysávání2, tmelení2, nosná\_sterka + michani\_a\_připrava, zasyp) byla vykonána za 24 384 s.
3. Fáze obsahující ( brousení3, vysávání3, tmelení3, finální\_sterka + michani\_a\_připrava, zčelení) byla vykonána za 26 947 s.

Vyřízení jednotlivých pracovníků po provedení výroby všech tří fází výroby je uvedeno na grafu (Graf 1).



Graf 1 - Vytížení pracovníků po vykonání všech tří fází výroby stávající řešení

### 8.1.1 Vyhodnocení výsledků stávající výroby

Simulací modelu stávající výroby, bylo zjištěno, že tento model odpovídá reálné výrobě průmyslových podlah. Přehled pracovníků a použitých strojů v modelu stávající výroby je zobrazen v tabulce (Tabulka 6 ).

Pracovní úsek	Počet pracovníků [ks]	Stroje	Max. počet strojů [ks]
Brouseni, brouseni2, brouseni3	2	Brusný stroj	2
Vysavani, vysavani2, vysavani3	2	Průmyslový vysavač	2
Tmeleni, tmeleni2, tmeleni3	1	Tmelicí stěrka	1
Penetrace, nosna_sterka, finalni_sterka	2	Aplikační stěrka	2
Michani_a_priprava + obsluha	2	Míchačka materiálu	1
Zasyp, zasyp2, zasyp3	1	-	0
Zceleni, zceleni2, zceleni3	1	Speciální scelovací stěrka	1

Tabulka 6 – Přehled pracovníků a použitých strojů v modelu stávající výroby

Z výsledků vyplývá, že vytížení pracovníků jen ve dvou případech přesáhlo hodnotu šedesáti procent. Vytíženost zbývajících třech pracovníků je pouze padesát procent, z čehož vyplývá, že je zde možnost pro zefektivnění výroby. Na základě této skutečnosti, jsou prováděny

změny, které mají tento nedostatek odstranit. Dále budu porovnávat průměrné časy jednotlivých fází výroby, abych ověřila, jaký vliv mají změny na dobu výroby.

## 8.2 Experiment 1

V prvním experimentu byly provedeny následující změny na stávajícím modelu výroby:

- Odebrání jednoho pracovníka z pracovní čety, toto odebrání pracovníka ovlivní pracoviště vysávání a míchání materiálu, v tomto modelu zde pracuje pouze jeden pracovník.
- Prodloužení pracovní doby o půl hodiny
- Prodloužení doby míchání a obsluhy v elementu michani\_a\_priprava na 1080 s

Pro přehlednost uvádím počet pracovníků na jednotlivých pracovištích v tabulce (Tabulka 7)

Pracovní úsek	Počet pracovníků [ks]	Stroje	Max. počet strojů [ks]
Brouseni, brouseni2, brouseni3	2	Brusný stroj	2
Vysavani, vysavani2, vysavani3	1	Průmyslový vysavač	1
Tmeleni, tmeleni2, tmeleni3	1	Tmelicí stěrka	1
Penetrace, nosna_sterka, finalni_sterka	2	Aplikační stěrka	2
Michani_a_priprava, obsluha	1	Míchačka materiálu	1
Zasyp, zasyp2, zasyp3	1	-	0

Zceleni, zceleni2, zceleni3	1	Speciální scelovací stěrka	1
--------------------------------	---	-------------------------------	---

Tabulka 7 – Přehled pracovníků a použitých strojů v experimentu 1

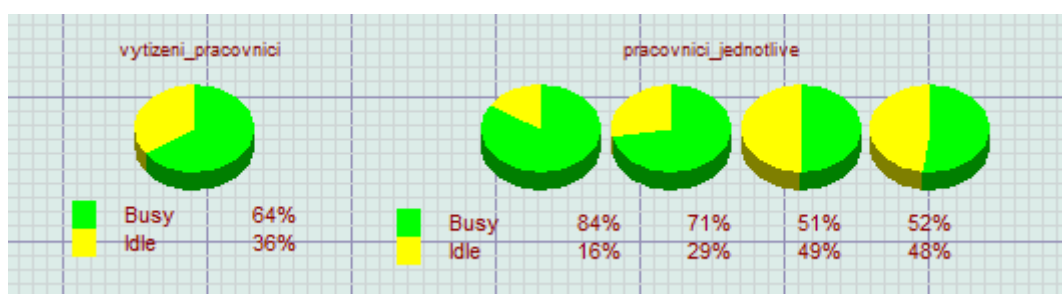
### 8.2.1 Výsledky simulace experimentu 1

Celková doba simulace je 288 000 s.

Sledováním modelu byly zjištěny tyto průměrné časy výroby jednotlivých fází výroby podlah:

1. Fáze obsahující (brousení, vysávání, tmelení, penetrace + michani\_a\_příprava, zasyp) byla vykonána za 29 773 s.
2. Fáze obsahující (brousení2, vysávání2, tmelení2, nosná stěrka + michani\_a\_příprava, zasyp) byla vykonána za 26 767 s.
3. Fáze obsahující ( brousení3, vysávání3, tmelení3, finální stěrka + michani\_a\_příprava, zcelení) byla vykonána za 30 245 s.

Vytížení jednotlivých pracovníků je uvedeno na grafu (Graf 2).



Graf 2 – Vytížení pracovníků po vykonání všech tří fází experimentu 1

### 8.2.2 Vyhodnocení výsledků experimentu 1

Ze získaných výsledků využitelnosti výrobního systému je patrné, že odebráním jednoho pracovníka z pracovní čety bylo docíleno výrazného zvýšení využitelnosti u všech pracovníků.



Na druhou stranu došlo k prodloužení průměrných časů výroby jednotlivých fází. Porovnání průměrných časů získaných simulací modelu experimentu 1 se stávajícím modelem výroby je uveden v tabulce (Tabulka 8)

	<b>Stávající řešení</b>	<b>Experiment 1</b>
1. fáze	25 384 s	29 773 s
2. fáze	24 384 s	26 767 s
3. fáze	26 947 s	30 245 s

Tabulka 8 – Porovnání průměrných časů simulace experiment 1

Výhodu pro majitele firmy přináší toto řešení v úspoře nákladů na jednoho pracovníka.

Další výhodou je, že zůstal zachován počet strojů potřebných pro výrobu, což znamená, že nedochází k navýšení nákladů spojených s pořízením nových strojů.

Nevýhodou tohoto řešení může být prodloužení směny u všech pracovníků o půl hodiny, což znamená zvýšení nákladů na jejich mzdu.

Finanční prostředky získané úsporou za směnu jednoho pracovníka převyšují náklady vynaložené na prodloužení směny pracovníků.

Z celkového hlediska můžeme tuto simulaci označit za efektivní.

### 8.3 Experiment 2

V druhém experimentu byly provedeny následující změny na stávajícím modelu výroby:

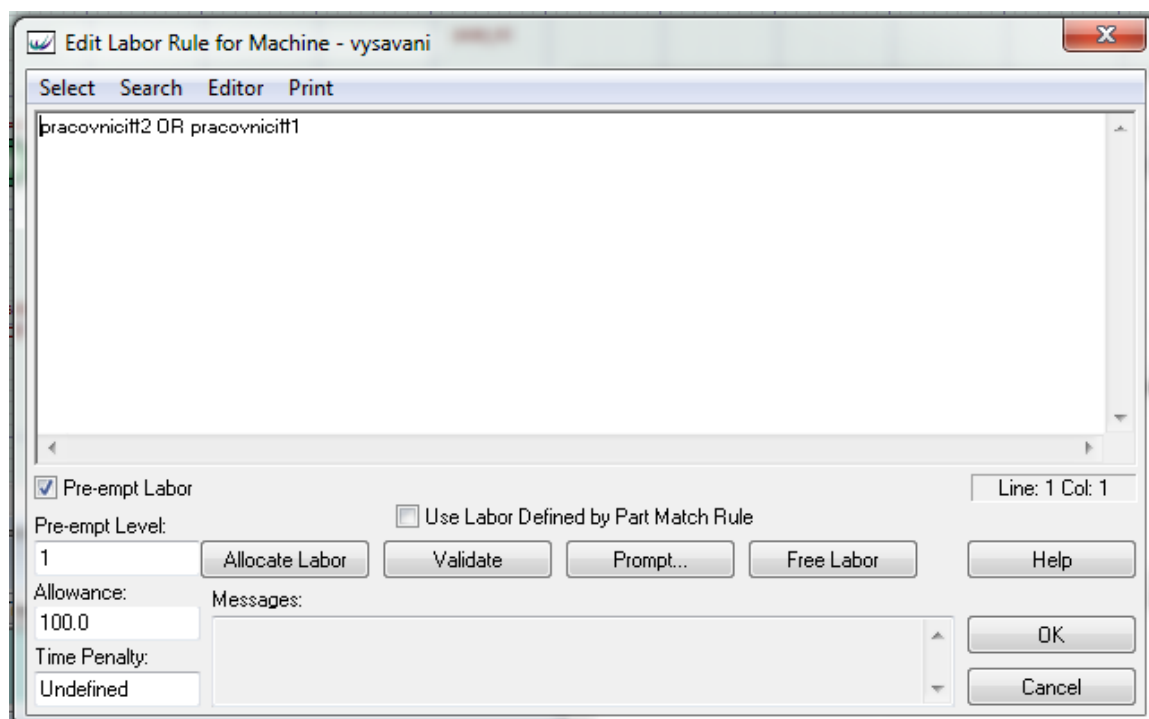
- Přidání jednoho pracovníka do pracovní čety
- Nastavení priorit pro přesouvání pracovníků mezi jednotlivými pracovišti, dle potřeby jednotlivých pracovišť
- Změna pracovní směny z osmihodinové na šest a půl hodiny včetně půl hodinové přestávky
- Přidání strojů:

- 2 brusné stoje
- 1 průmyslový vysavač
- 1 tmelící stěrka
- 2 speciální scelovací stěrky

Pro přehlednost uvádím počet pracovníků a strojů na jednotlivých pracovištích v tabulce (Tabulka 9)

Pracovní úsek	Maximální počet pracovníků [ks]	Stroje	Max. počet strojů [ks]
Brouseni, brouseni2, brouseni3	4	Brusný stroj	4
Vysavani, vysavani2, vysavani3	3	Průmyslový vysavač	3
Tmeleni, tmeleni2, tmeleni3	2	Tmelící stěrka	2
Penetrace, nosna_sterka, finalni_sterka	2	Aplikační stěrka	2
Michani_a_priprava, obsluha	2	Míchačka materiálu	1
Zasyp, zasyp2, zasyp3	2	-	0
Zceleni, zceleni2, zceleni3	2	Speciální scelovací stěrka	2

Tabulka 9 – Přehled pracovníků a použitých strojů v experimentu 2



Obrázek 12 – Nastavení priorit

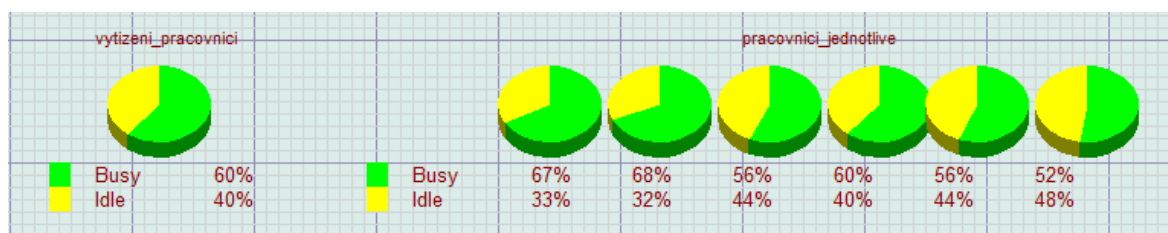
### 8.3.1 Výsledky simulace experimentu 2

Celková doba simulace je 288 000 s.

Sledováním modelu byly zjištěny tyto průměrné časy výroby jednotlivých fází výroby podlah:

1. Fáze obsahující (brouseni, vysavani, tmeleni, penetrace + michani\_a\_priprava, zasyp) byla vykonána za 19 141 s.
2. Fáze obsahující (brouseni2, vysavani2, tmeleni2, nosna\_sterka + michani\_a\_priprava, zasyp) byla vykonána za 17 702 s.
3. Fáze obsahující ( brouseni3, vysavani3, tmeleni3, finalni\_sterka + michani\_a\_priprava, zceleni) byla vykonána za 17 474 s.

Vytížení jednotlivých pracovníků je uvedeno na grafu (Graf 3)



Graf 3 – Vytížení pracovníků po vykonání všech tří fází experiment 2

### 8.3.2 Vyhodnocení simulace experimentu 2

Ze získaných výsledků vytíženosti výrobního systému je patrné, že provedenými změnami jako je přidání pracovníka do pracovní čety, zkrácením směny a přidáním nových strojů bylo docíleno zlepšení vytíženosti u čtyř pracovníků.

Dále došlo ke zrychlení výroby jednotlivých fází podlahy.

V tomto modelu byla z důvodu efektivnosti zkrácena směna na 6,5 hodiny. V případě řešení výroby více průmyslových podlahy současně by mohla zůstat ponechána 8 hodinová směna. Po skončení výroby jedné podlahy by mohli být pracovníci převedeni na jinou práci.

Porovnání průměrných časů získaných simulací modelu experimentu 1 se stávajícím modelem výroby je uveden v tabulce (Tabulka 10)

	Stávající řešení	Experiment 2
1. fáze	25 384 s	19 141 s
2. fáze	24 384 s	17 702 s
3. fáze	26 947 s	17 474 s

Tabulka 10 – Porovnání průměrných časů simulace experiment 2

Z finančního hlediska by tento model vyžadoval finanční náklady v podobě zakoupení nových strojů. V tomto modelu došlo k přidání celkově 5 nových strojů.

Další náklady představuje mzda vyplacená přidanému pracovníku v pracovní četě.

Úspora nákladů je v podobě zkrácené směny pracovníků na 6,5 hodiny namísto 8 hodin.

Záleží na rozhodnutí majitelů firmy, zda by bylo toto řešení zefektivnění výroby přijatelné z finančního hlediska v porovnání s návratností vynaložených financí.

V případě zhodnocení tohoto modelu z hlediska vytíženosti pracovníků a doby výroby jednotlivých fází je tento model zefektivněním současné výroby.

## 8.4 Experiment 3

Ve třetím experimentu byly provedeny následující změny na stávajícím modelu výroby:

- Přidání strojů:
  - 2 brusné stroje
  - 1 průmyslový vysavač
  - 1 tmelící stěrka
  - 1 aplikační stěrka
  - 1 speciální scelovací stěrka
- Nastavení priorit pro přesun pracovníků mezi jednotlivými pracovišti.
- Zkrácení směny pracovníků na 6,5 hodiny včetně půlhodinové přestávky pracovníků

Pro přehlednost uvádím počet pracovníků a strojů na jednotlivých pracovištích v tabulce (Tabulka 11)

Pracovní úsek	Maximální počet pracovníků [ks]	Stroje	Max. počet strojů [ks]
Brousení, brousení2, brousení3	4	Brusný stroj	4
Vysavání, vysavání2, vysavání3	3	Průmyslový vysavač	3

Tmeleni, tmeleni2, tmeleni3	2	Tmelicí stěrka	2
Penetrace, nosna_sterka, finalni_sterka	3	Aplikační stěrka	2
Míchani_a_priprava, obsluha	2	Míchačka materiálu	1
Zasyp, zasyp2, zasyp3	2	-	0
Zceleni, zceleni2, zceleni3	2	Speciální scelovací stěrka	2

Tabulka 11 - Přehled pracovníků a použitých strojů v experimentu 3

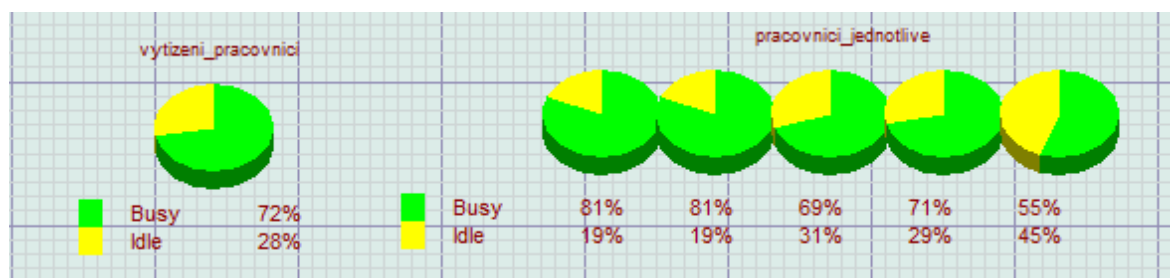
#### 8.4.1 Výsledky simulace experimentu 3

Celková doba simulace je 288 000 s.

Sledováním modelu byly zjištěny tyto průměrné časy výroby jednotlivých fází výroby podlah:

1. Fáze obsahující (brouseni, vysavani, tmeleni, penetrace + michani\_a\_priprava, zasyp) byla vykonána za 19 628 s.
2. Fáze obsahující (brouseni2, vysavani2, tmeleni2, nosna\_sterka + michani\_a\_priprava, zasyp) byla vykonána za 18 637 s.
3. Fáze obsahující ( brouseni3, vysavani3, tmeleni3, finalni\_sterka + michani\_a\_priprava, zceleni) byla vykonána za 19 754 s.

Vytížení jednotlivých pracovníků je uvedeno v grafu (Graf 4)



Graf 4 - Vytížení pracovníků po vykonání všech tří fází experiment 3

## 8.5 Experiment 3\_2

Experiment 3\_2 vznikl na základě dodržení délky směny stávajícího modelu. Základem pro tento model je model z experimentu 3. Na tomto modelu je možné porovnat jaký má vliv délka směny na vytížení jednotlivých pracovníků.

Směna byla nastavena na 8 hodin, včetně půlhodinové přestávky.

Jiná další změna v tomto modelu nebyla provedena.

Pro přehlednost uvádím počet pracovníků a strojů na jednotlivých pracovištích v tabulce (Tabulka 12)

Pracovní úsek	Maximální počet pracovníků [ks]	Stroje	Max. počet strojů [ks]
Brousení, brousení2, brousení3	4	Brusný stroj	4
Vysávání, vysávání2, vysávání3	3	Průmyslový vysavač	3
Tmelení, tmelení2, tmelení3	2	Tmelicí stěrka	2
Penetrace, nosna_sterka,	3	Aplikační stěrka	2

finalni_sterka			
Michani_a_priprava, obsluha	2	Míchačka materiálu	1
Zasyp, zasyp2, zasyp3	2	-	0
Zceleni, zceleni2, zceleni3	2	Speciální scelovací stěrka	2

Tabulka 12 - Přehled pracovníků a použitých strojů v experimentu 3\_2

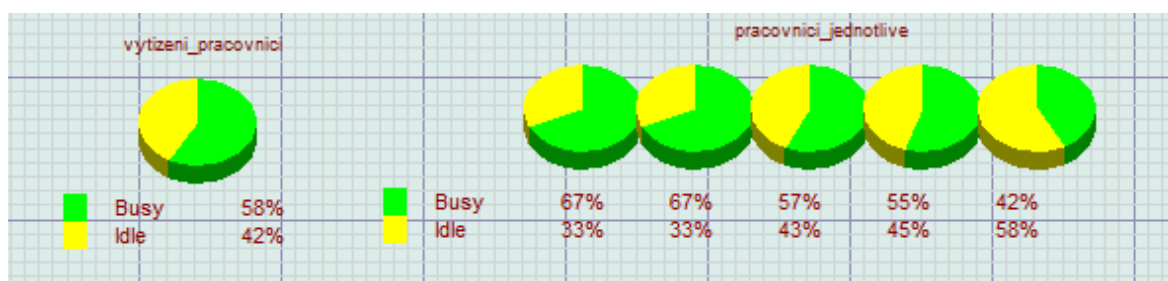
### 8.5.1 Výsledky simulace experimentu 3\_2

Celková doba simulace je 288 000 s.

Sledováním modelu byly zjištěny tyto časy výroby jednotlivých fází výroby podlah:

1. Fáze obsahující (brouseni, vysavani, tmeleni, penetrace + michani\_a\_priprava, zasyp) byla vykonána za 19 637 s.
2. Fáze obsahující (brouseni2, vysavani2, tmeleni2, nosna\_sterka + michani\_a\_priprava, zasyp) byla vykonána za 18 637 s.
3. Fáze obsahující ( brouseni3, vysavani3, tmeleni3, finalni\_sterka + michani\_a\_priprava, zceleni) byla vykonána za 19 754 s.

Vytížení jednotlivých pracovníků je uvedeno v grafu (Graf 5)



Graf 5 - Vytížení pracovníků po vykonání všech tří fází výroby experiment 3\_2



### 8.5.2 Vyhodnocení simulace experimentu 3 a 3\_2

Ze získaných výsledků vytíženosti výrobního systému experimentu 3 je patrné, že změnou stávajícího modelu výroby v nastavení přesouvání metrů zakázky mezi jednotlivými elementy, dle nastavené priority a zkrácením směny na 6,5 hodiny bylo docíleno zlepšení vytíženosti výroby u všech pracovníků. Ke zvýšení vytíženosti pracovníků přispělo i přidání 6 nových strojů do každého z obou modelů.

Opět došlo ke zrychlení průměrné doby výroby jednotlivých fází výroby.

Porovnání průměrných časů získaných simulací modelu experimentu 3 se stávajícím modelem výroby je uveden v tabulce (Tabulka 13), spolu s porovnáním průměrných časů získaných simulací modelu experimentu 3\_2

Ze získaných výsledků vytíženosti výrobního systému experimentu 3\_2, ve kterém došlo k prodloužení směny z 6,5 hodin na 8 hodinovou pracovní směnu v modelu experimentu 3, je patrné, že vytíženost pracovníků oproti experimentu s modelem 3 klesla. V případě porovnání se stávajícím modelem výroby je zvýšená vytíženost pracovníků pouze u tří pracovníků.

Průměrná doba výroby jednotlivých fází je shodná s rychlostí výroby u modelu experimentu 3. Oproti modelu stávající výroby došlo ke zrychlení doby výroby.

	<b>Stávající řešení</b>	<b>Experiment 3</b>	<b>Experiment 3_2</b>
1. fáze	25 384 s	19 628 s	19 637 s
2. fáze	24 384 s	18 637 s	18 637 s
3. fáze	26 947 s	19 754 s	19 754 s

Tabulka 13 – Porovnání průměrných časů simulace experiment 3 a experiment 3\_2

Z finančního hlediska by oba modely vyžadovaly finanční náklady v podobě zakoupení nových strojů. V tomto modelu došlo k přidání celkově 6 nových strojů.

Úspora nákladů v modelu experimentu 3 je v podobě zkrácené směny pracovníků na 6,5 hodiny namísto 8 hodin.

Záleží na rozhodnutí majitelů firmy, zda by bylo jedno z těchto řešení zefektivnění výroby přijatelné z finančního hlediska v porovnání s návratností vynaložených financí.

V případě zhodnocení obou modelů z hlediska vytiženosti pracovníků a doby výroby jednotlivých fází, jsou tyto modely zefektivněním současné výroby. Z pohledu efektivnosti je model experimentu 3 efektivnější, neboť přináší více výhod oproti modelu experimentu 3\_2.

## 8.6 Experiment 4

Ve čtvrtém experimentu byly provedeny tyto změny na modelu experimentu 3\_2:

- Přidání přesčasu 30 minut do směny první den.
- Nastavení obtížností u pracovišť:
  - Brouseni, brouseni2
  - Vysavani
  - Tmeleni, tmeleni2

Nastavení jednotlivých obtížností u uvedených pracovišť je uvedeno v tabulce (Tabulka 14).

Pracoviště	Obtížnost
brouseni	1.8
Vysavani	1.5
Tmeleni	1.6
brouseni2	1.5
tmeleni2	13

Tabulka 14 – Nastavení obtížností u jednotlivých pracovišť

Změna obtížnosti byla změněna z důvodu existence velmi poničených podkladových povrchů. Všechny modely byly vytvářeny pro normální poškození podkladových povrchů.

Normální poškození je označení pro podlahu, kde poškozené části jsou do 30 % velikosti povrchu. Jakmile poškození přesáhne velikost 30 % velikosti povrchu je celý proces vynásoben obtížností, která prodlouží čas výroby jednotlivých metrů zakázky.

Jak vyplívá z tabulky (Tabulka 14) je nejvíce zpomalen proces brousení a tmelení první fáze.

Pro přehlednost uvádím počet pracovníků a strojů na jednotlivých pracovištích v tabulce (Tabulka 15)

Pracovní úsek	Maximální počet pracovníků [ks]	Stroje	Max. počet strojů [ks]
Brousení, brousení2, brousení3	4	Brusný stroj	4
Vysávání, vysávání2, vysávání3	3	Průmyslový vysavač	3
Tmelení, tmelení2, tmelení3	2	Tmelicí stěrka	2
Penetrace, nosná_stěrka, finální_stěrka	3	Aplikační stěrka	2
Michání_a_příprava, obsluha	2	Míchačka materiálu	1
Zasyp, zasyp2, zasyp3	2	-	0
Zcelení, zcelení2, zcelení3	2	Speciální scelovací stěrka	2

Tabulka 15 - Přehled pracovníků a použitých strojů v experimentu 4

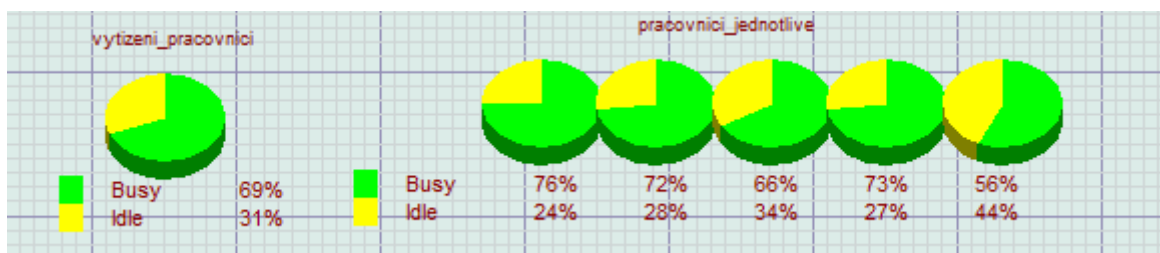
### 8.6.1 Výsledky simulace experimentu 4

Celková doba simulace je 288 000 s.

Sledováním modelu byly zjištěny tyto průměrné časy výroby jednotlivých fází podlahy:

1. Fáze obsahující (brousení, vysávání, tmelení, penetrace + michani\_a\_příprava, zasyp) byla vykonána za 29 457 s.
2. Fáze obsahující (brousení2, vysávání2, tmelení2, nosná\_sterka + michani\_a\_příprava, zasyp) byla vykonána za 21 273s.
3. Fáze obsahující ( brousení3, vysávání3, tmelení3, finální\_sterka + michani\_a\_příprava, zčelení) byla vykonána za 19 072s.

Vytížení jednotlivých pracovníků je zobrazeno v grafu (Graf 6)



Graf 6 - Vytížení pracovníků po vykonání všech tří fází experimentu 4

### 8.6.2 Vyhodnocení simulace experimentu 4

Ze získaných výsledků využitosti výrobního systému je patrné, že nastavením obtížnosti pracovišť a doplnění přesčasu do směny prvního dne, došlo ke zvýšení využitosti oproti původnímu modelu.

Z hlediska času výroby jednotlivých fází došlo k dosti velkému nárůstu těchto časů.

Porovnání průměrných simulačních časů je uvedeno v tabulce (Tabulka 16)

	Experiment 3_2	Experiment 3
1. fáze	19 637 s	29 457 s
2. fáze	18 637 s	21 273 s
3. fáze	19 754s	19 072 s

Tabulka 16 – Porovnání časů simulace experiment 4

Z finančního hlediska model vyžaduje finanční náklady v podobě zakoupení nových strojů.

V tomto modelu došlo k přidání celkově šesti nových strojů.

Záleží na rozhodnutí majitelů firmy, zda by bylo jedno z těchto řešení zefektivnění výroby přijatelné z finančního hlediska v porovnání s návratností vynaložených financí.

Efektivnost modelu spočívá ve zvýšení vytiženosti pracovníků. Doba výroby jednotlivých fází je v případě zhodnocení tohoto modelu zanedbána, neboť nelze ovlivnit porušenost povrchu.

## 8.7 Zhodnocení experimentů

Všechny zpracované experimenty jsou zefektivněním výroby stávajícího modelu výroby.

Z hlediska vytiženosti pracovníků se jeví jako nejvíce efektivní experiment s největším procentuálním nárůstem vytižení pracovníků model experimentu 3, model experimentu 1a model experimentu 4. Přehled vytižení všech pracovníků je zobrazen v tabulce (Tabulka 15).

Vytižení pracovníků	Stávající model	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3	Experiment 3_2	Experiment 4
Pracovník 1	69%	84%	67%	81%	67%	76%
Pracovník	63%	71%	68%	81%	67%	72%

<b>2</b>						
<b>Pracovník 3</b>	58%	51%	56%	69%	57%	66%
<b>Pracovník 4</b>	50%	52%	60%	71%	55%	73%
<b>Pracovník 5</b>	51%	-	56%	55%	42%	56%
<b>Pracovník 6</b>	-	-	52%	-	-	-
<b>Celková vytíženost</b>	-	64%	60%	72%	58%	69%

Tabulka 15 - Přehled vytížení pracovníků

Z hlediska průměrné doby výroby jednotlivých fází výroby se jeví jako nejvíce efektivní model experimentu 2, následně modely experimentu 3 a experimentu 3\_2, které se shodují.

Přehled průměrných časů výroby jednotlivých fází je shrnut v tabulce (Tabulka 16).

	Stávající model [s]	Experiment 1 [s]	Experiment 2 [s]	Experiment 3 [s]	Experiment 3_2 [s]	Experiment 4 [s]
1. fáze	25 384	29 773	19 141	19 628	19 637	29 457
2. fáze	26 767	26 767	17 702	18 637	18 637	21 273
3. fáze	30 245	30 245	17 474	19 754	19 754	19 072

Tabulka 16 - Souhrn průměrů časů výrob jednotlivých fází výroby

Z hlediska finanční úspor je nejefektivnější model experimentu 1. Kde dochází pouze k minimálnímu nárůstu nákladů.

Nejméně efektivní je model experimentu 2, který vyžaduje největší vstupní náklady na pořízení nových strojů. U této varianty stoupají i náklady na vyplacení mzdy šestému pracovníkovi.

## ZÁVĚR

Diplomová práce se skládá ze dvou částí. Teoretická část obsahuje literární rešerši na téma simulace systémů počítačových a matematických modelů, která je doplněna o teorii, týkající se simulace a modelování systémů.

Praktická část obsahuje popis stávajícího modelu a prováděné experimenty. Změny v modelech jsou zaměřeny na změny počtů pracovníků, jejich směn a náročnosti výroby. Hlavním kritériem pro vyhodnocení modelů je vytížení pracovníků. Vytížení jednotlivých pracovníků je vždy uvedeno u daného modelu.

Cílem diplomové práce bylo provést simulaci současného systému výroby průmyslových podlah a modelováním stávajícího modelu nalézt nedostatky současné výroby a navrhnout jejich řešení. Tohoto cílu bylo dosaženo experimentováním s modelem stávajícího výrobního procesu průmyslových podlah při výrobě jedné zakázky.

Vyhodnocením experimentů s modely byly odhaleny výhody a nevýhody jednotlivých řešení. Záleží pouze na firmě, zda si bude přát některý z modelů aplikovat v reálné výrobě.

V praxi je též využíván i postup, kdy se současně pracuje na více zakázkách. Tato problematika může být zpracována v jiné odborné práci v budoucnu.



## CONCLUSION

The diploma thesis consists of two parts. Theoretical part contains a literature research on system simulation of computer and mathematic models and is completed with a theory related to a system simulation and modeling.

A practical part includes a description of an existing model and performed experiments. Model changes are focused on changes of number of workers, their shifts and production difficulty. The main criterion for model evaluation is a worker's workload. A workload of each worker is given at stated model.

The aim of the diploma thesis has been to carry out a simulation of a current industrial floor production system and to find a lack of present production and to suggest its solution. This aim has been achieved by making experiments with model of current industrial floor production process during a production of an order.

Experimenting with the models were identified advantages and disadvantages of each solution. It is up to the Company whether it wishes any of the models applied in the real production.

In practice we can also use a procedure of work on more orders at the same time. This issue can be composed in a different special work in future.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HUŠEK, Roman a Josef LAUBER. Simulační modely. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987, 349 s.
- [2] KINDLER, Evžen. Simulační programovací jazyky. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 277 s.
- [3] VAŠEK, Lubomír. Simulace systémů. 1. vyd. Brno: VUT, 1991, 136 s.
- [4] ŠŤASTNÝ, Jiří. Počítačová simulace a informační systémy. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 151 s. ISBN 80-214-0460-4.
- [5] Humusoft: WITNESS v roce 2000. DANĚK, Jan. *Humusoft* [online]. 2000 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z:  
[http://www.humusoft.cz/archived/pub/witness/wit\\_9/witin2.htm](http://www.humusoft.cz/archived/pub/witness/wit_9/witin2.htm)
- [6] DLOUHÝ, Martin. Simulace podnikových procesů. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2007, 201 s. ISBN 978-802-5116-494.
- [7] GROUP, Lanner. WITNESS simulation and optimization software and consulting. ComputerWeekly.com [online]. 2009 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z:  
<http://www.computerweekly.com/Home/tags/witness-simulation.html>.
- [8] Dynamicfuture. *Dynamicfuture* [online]. 2010 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z:  
<http://www.dynamicfuture.cz/witness/simulace-procesu/>
- [9] Firemní dokumentace

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

m<sup>2</sup>      1 metr čtvereční

s          Sekunda

ks        kus

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 – Vývojové prostředí Witness.....	23
Obrázek 2 – Nastavení typu Assembly v elementu Machine.....	24
Obrázek 3 – Nastavení typu Batch u elementu Machine.....	25
Obrázek 4 – Nastavení směny v elementu Labor.....	25
Obrázek 5 – Ukázka nastavení elementu směna.....	27
Obrázek 6 – Ukázka zobrazení koláčového grafu.....	27
Obrázek 7 – Ukázka výstupního pravidla .....	28
Obrázek 8 – Schéma výroby podlahy.....	32
Obrázek 9 – Nastavení směny pracovníků.....	36
Obrázek 10 – Vstupní podmínka zásobníku promena.....	38
Obrázek 11 – Vstupní podmínka elementu penetrace.....	40
Obrázek 12 - Nastavení priorit.....	51

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 – Tabulka zobrazující typy modelů dle charakteru množiny hodnot stavových veličin.....	18
Tabulka 2 – Doba výroby jednotlivých částí první fáze.....	34
Tabulka 3 – Doba výroby jednotlivých částí druhé fáze.....	35
Tabulka 4 - Doba výroby jednotlivých částí třetí fáze .....,,,.....	36
Tabulka 5 – Nářadí k dispozici pracovní četě.....	37
Tabulka 6 – Přehled pracovníků a použitých strojů v modelu stávající výroby.....	46
Tabulka 7 - Přehled pracovníků a použitých strojů v experimentu 1 .....	47
Tabulka 8 – Porovnání průměrných časů simulace experiment 1.....	49
Tabulka 9 – Přehled pracovníků a použitých strojů v experimentu 2 .....	50
Tabulka 10 - Porovnání průměrných časů simulace experiment 2.....	52
Tabulka 11 - Přehled pracovníků a použitých strojů v experimentu 3.....	54
Tabulka 12 - Přehled pracovníků a použitých strojů v experimentu 3_2.....	55
Tabulka 13 - Porovnání průměrných časů simulace experiment 3 a experiment 3_2.....	57
Tabulka 14 - Nastavení obtížností u jednotlivých pracovišť.....	58
Tabulka 15 - Přehled pracovníků a použitých strojů v experimentu 4.....	59
Tabulka 16 – Porovnání průměrných časů simulace experiment 4.....	61
Tabulka 17 – Přehled vytížení pracovníků.....	62
Tabulka 18 –Souhrn průměrů časů výrob jednotlivých fází výroby.....	62

**SEZNAM GRAFŮ**

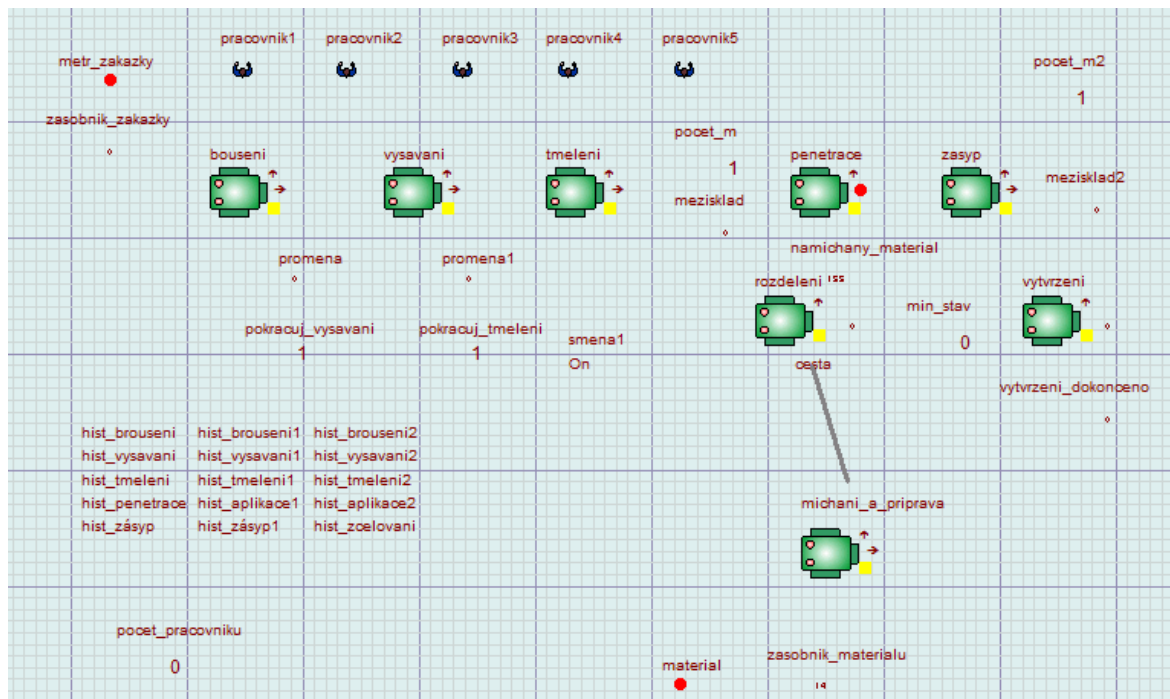
Graf 1 – Vytížení pracovníků po vykonání všech tří fází výroby stávajícího řešení.....	45
Graf 2 – Vytížení pracovníků po vykonání všech tří fází výroby experiment 1 .....	48
Graf 3 - Vytížení pracovníků po vykonání všech tří fází výroby experiment 2.....	52
Graf 4 - Vytížení pracovníků po vykonání všech tří fází výroby experiment 3 .....	55
Graf 5 - Vytížení pracovníků po vykonání všech tří fází výroby experiment 3_2.....	56
Graf 6 – Vytížení pracovníků po vykonání všech tří fází výroby experiment 4.....	59

## **SEZNAM PŘÍLOH**

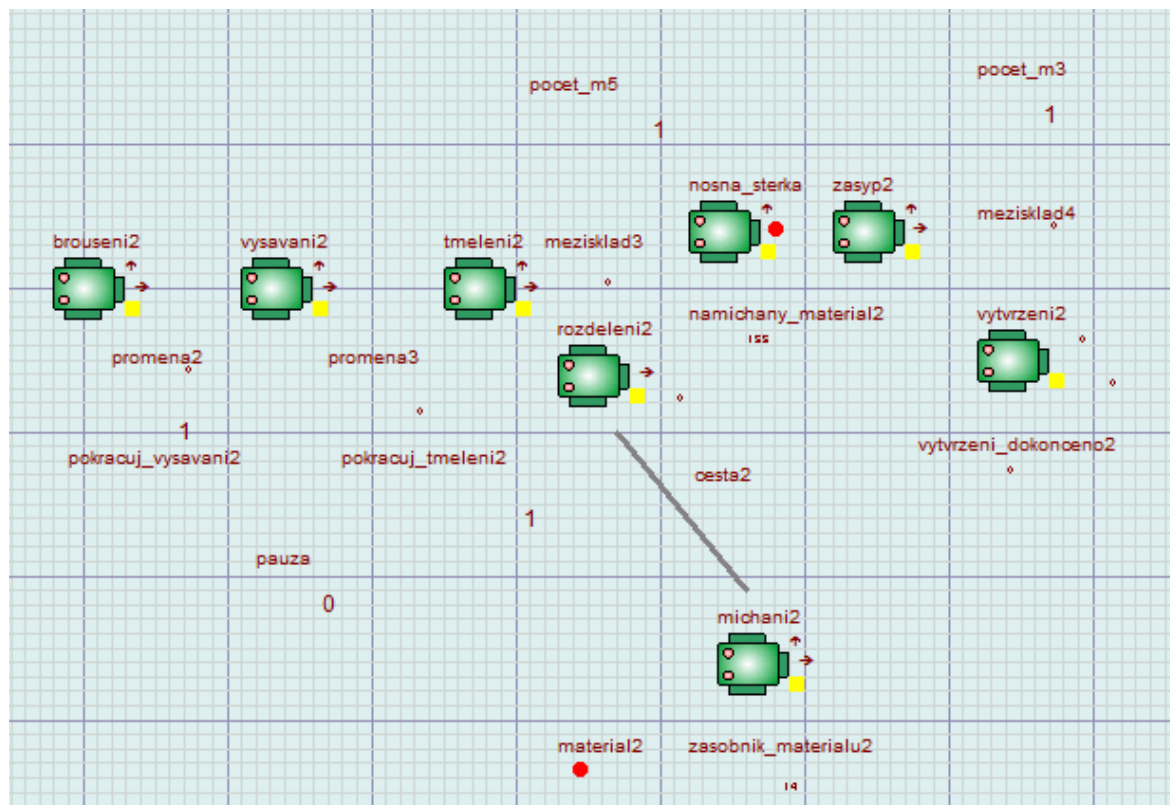
Příloha P I: Model stávající výroby v programu Witness

# PŘÍLOHA P I: MODEL STÁVAJÍCÍ VÝROBY V PROGRAMU WITNESS

První fáze výroby (1. Den)



Druhá fáze výroby (2. Den)





### Třetí fáze výroby (3. Den)

