

# **Simulační studie chodu firmy dodávající výpočetní techniku**

Simulation study of run of company supplying computer  
equipment

Bc. Radek Švehlák



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radek ŠVEHLÁK**

Osobní číslo: **A08475**

Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Simulační studie chodu firmy dodávající výpočetní techniku.**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Seznamte se s chodem firmy dodávající výpočetní techniku. Z reálného provozu sesbírejte, popřípadě experimentálně získejte data pro sestavení modelu tohoto provozu.
3. Na základě získaných dat navrhnete schéma a strukturu modelu stávajícího provozu. Sestavte tento model a provedte jeho simulaci. Pro modelování a simulaci využijte programového prostředí Witness.
4. Na základě konzultace s pracovníky firmy navrhnete vhodné cílové funkce a plán simulačních experimentů. Tyto experimenty pak realizujte na navrženém modelu. Popište jednotlivé simulační experimenty a provedte analýzu a vyhodnocení výsledků těchto experimentů.
5. Na základě výsledků doporučte úpravy na zefektivnění provozu. Upozorněte na rezervy a úzká místa systému.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. KŘIVÝ, Ivan; KINDLER, Evžen. Simulace a modelování. Ostrava : Ostravská univerzita, 2001. 146 s.
2. RÁBOVÁ, Z. a kol. Modelování a simulace, VUT Brno, 1992, ISBN 80-214-0480-9
3. WALLER, A. P. Witness for Six Sigma. Materiál společnosti Lanner Group, 2002.
4. DLOUHÝ, M. et al. Simulace podnikových procesů. 1. vyd. Brno : Computer Press, a. s., 2007. 201 s. ISBN 978-80-251-1649-4.
5. HUŠEK, R., LAUBER, J. Simulační modely. SNTL-Nakladatelství technické literatury, Praha, 1987.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Bronislav Chramcov, Ph.D.**

Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání diplomové práce:

**24. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce:

**18. května 2011**

Ve Zlíně dne 24. února 2011

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSC.  
*děkan*



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

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vytvořením simulační studie firmy, která dodává výpočetní techniku. Simulace byla vytvořena v simulačním prostředí Witness.

Teoretická část popisuje všeobecně diskrétní simulace systémů a také druhy modelů a zabývá se také simulačním prostředím Witness.

V praktické části, která se zabývá samotnou simulací, byl kladen důraz na adekvátnost údajů, odpovídající vstupy a výstupy a přehlednost modelu, který se ukázal být klíčovým. Byl zde zohledněn počet pracovníků, množství zakázek, dodavatelé, přepravní služby a mnoho dalších aspektů, které dohromady vymodelovaly skutečný chod firmy.

Simulační studie popisuje, jak firma funguje v jednotlivých ročních obdobích, kde jsou úzká místa systému, a doporučuje změny v chodu firmy. Ne všechna očekávání byla splněna, ale na druhou stranu byly výstupem výsledky, které možná nikdo nečekal.

Klíčová slova: simulace, systém, model, Witness

## ABSTRACT

This thesis deals with creating a simulation study of the company that supplies computer equipment. The simulation was created in Witness simulation environment.

The theoretical part describes the general discrete simulation models and species, and also addresses the Witness simulation environment.

In the practical part, which is dedicated to the simulation, the emphasis on the adequacy of the data, the corresponding inputs and outputs, and clarity of the model, which proved to be key. There was taken into account the number of employees, number of orders, suppliers, transportation services and many other aspects that make the actual running of the company modeled.

Simulation study describes how the company works in different seasons, where the system bottlenecks, and recommends changes to the running of the company. Not all expectations were met, but on the other hand, the output results, which perhaps no one expected.

Key words: simulation, system, model, Witness

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, Ing. Bc. Bronislavu Chramcovovi Ph.D., za rady, pomoc a kritiku při tvorbě diplomové práce a předání zkušeností se simulačním prostředím Witness.

Mé další díky směřují mým rodičům a přítelkyni Tereze Čapkové za podporu i v těžkých chvílích.

*„Ó, šťastný smrtelník, jemuž nikdy nechyběl humor.“*

Marcus Tullius Cicero

*„Jestliže zůstáváš klidný, zatímco ostatní ztrácejí hlavu, je to neklamná známka toho, že jsi problém nepochopil.“*

Murphy

**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>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 SIMULACE .....</b>	<b>12</b>
1.1 DEFINICE SIMULACE .....	12
1.2 HISTORIE.....	13
1.2.1 40. a 50. léta .....	13
1.2.2 Novodobé simulace (80. léta – současnost) .....	13
1.3 KLASIFIKACE A TERMINOLOGIE.....	14
1.4 POČÍTAČOVÁ SIMULACE .....	15
1.5 INFORMATIKA .....	16
1.6 DISKRÉTNÍ SIMULACE.....	17
1.6.1 Od reality k modelu.....	18
1.6.2 Simulační proces .....	18
1.6.3 Složky diskrétní simulace .....	18
1.7 VYUŽITÍ SIMULACE .....	20
1.7.1 Simulace ve výuce a výcviku .....	20
1.7.2 Zdravotnické simulátory .....	22
1.7.3 Zábavní průmysl.....	23
1.7.3.1 Počítačové hry a videohry.....	23
1.7.3.2 Film .....	24
1.7.3.3 Atrakce zábavních parků .....	25
1.7.4 Simulace připravenosti na katastrofy a simulační výcvik.....	26
1.7.5 Strojírenské, technologické nebo procesní simulace .....	27
1.7.6 Simulátory satelitní navigace .....	28
1.7.7 Simulátory obchodních procesů.....	28
<b>2 MODELOVÁNÍ A MODEL.....</b>	<b>29</b>
2.1 MODELOVÁNÍ.....	29
2.2 MATEMATICKÝ MODEL .....	29
<b>3 SIMULAČNÍ PROSTŘEDÍ WITNESS .....</b>	<b>32</b>
3.1 OBECNÁ STAVBA MODELU V PROGAMU WITNESS .....	33
3.2 ROZDĚLENÍ STAVEBNÍCH PRVKŮ .....	34
3.2.1 Entity .....	35
3.2.2 Queue .....	37
3.2.3 Activity.....	38
3.2.4 Resource .....	40
3.2.5 Conveyor .....	40
3.2.6 Track .....	42
3.2.7 Vehicles.....	43
3.2.8 Attributes .....	44
3.2.9 Variables .....	45
3.2.10 Distributions .....	46
3.2.11 Function.....	47
3.2.12 Shift .....	48
3.2.13 Pie charts .....	50

3.2.14	Timeseries .....	51
3.2.15	Histogram .....	52
3.3	AKCE.....	52
3.4	FUNKCE.....	52
3.5	VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ PRAVIDLA.....	53
<b>4</b>	<b>PŘÍKLADY SIMULAČNÍCH STUDIÍ.....</b>	<b>57</b>
4.1	SIMULACE OBSLUHY ZMRZLINOVÉHO STÁNKU V AQUAPARKU V DEČÍNĚ .....	57
4.2	MODELOVÁNÍ PROVOZU NA SVÁŽNÉM PAHRBKU SEŘAŽOVACÍ STANICE POMOCÍ NESPOLEHLIVÉHO SYSTÉMU HROMADNÉ OBSLUHY .....	57
4.3	ZAVEDENÍ TURNIKETŮ DO PRAŽSKÉHO METRA JAKO SYSTÉM HROMADNÉ OBSLUHY .....	58
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>59</b>
<b>5</b>	<b>ANALÝZA STÁVÁJÍCÍHO CHODU FIRMY, CÍLE SIMULACE.....</b>	<b>60</b>
5.1	CÍLE SIMULACE .....	60
5.2	ANALÝZA STÁVÁJÍCÍHO CHODU.....	61
5.2.1	Zaměstnanci .....	61
5.2.1.1	Asistentka.....	61
5.2.1.2	Obchodník.....	61
5.2.1.3	Technik .....	62
5.2.2	Požadavky .....	62
5.2.2.1	Telefonát .....	62
5.2.2.2	Nákup.....	62
5.2.2.3	Servisní požadavek .....	62
5.2.2.4	Poptávka na obchodníka .....	63
5.2.2.5	Poptávka na technika .....	63
5.2.3	Činnosti a procesy ve firmě.....	63
5.2.3.1	Telefon .....	64
5.2.3.2	Příchod zákazníka s požadavkem na nákup.....	64
5.2.3.3	Příchod zákazníka s požadavkem na servis .....	64
5.2.3.4	Pracoviště obchodníků .....	64
5.2.3.5	Pracoviště techniků .....	65
5.2.3.6	Telefony techniků a obchodníků.....	65
5.2.3.7	Zákazníci obchodníků.....	65
5.2.3.8	Zákazníci techniků.....	66
5.2.3.9	Systém zpracování objednávek.....	66
5.2.3.10	Dodavatelé.....	67
5.2.3.11	Třídírna.....	67
5.2.3.12	Výdej.....	67
<b>6</b>	<b>SIMULACE V PROSTŘEDÍ WITNESS.....</b>	<b>68</b>
6.1	POŽADAVKY (PARTS).....	68
6.2	SMĚNA (SHIFT).....	70
6.2.1	Směna.....	71
6.2.2	Polední pauza .....	72
6.2.3	Odpolední .....	72
6.3	ACTIVITY (ČINNOST, STROJ).....	72
6.3.1	Telefon .....	72

6.3.2	Recepce a Čekárna_servis.....	73
6.3.3	Telefony obchodníků a techniků.....	74
6.3.4	Pracoviště obchodníků a techniků.....	75
6.3.5	Zákazníci obchodníků a techniků.....	76
6.3.6	System zpracování objednávek.....	78
6.3.7	Dodavatelé.....	78
6.3.8	Třídírna.....	78
6.3.9	Výdej.....	79
<b>7</b>	<b>VÝSLEDKY SIMULACE STÁVAJÍCÍ SITUACE, SIMULAČNÍ EXPERIMENTY A JEJICH VÝSLEDKY.....</b>	<b>80</b>
7.1	STÁVAJÍCÍ SITUACE.....	80
7.2	EXPERIMENT 1.....	81
7.3	EXPERIMENT 2.....	83
7.4	EXPERIMENT 3.....	84
7.5	EXPERIMENT 4.....	86
7.6	EXPERIMENT 5.....	87
7.7	EXPERIMENT 6.....	89
7.8	SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ.....	91
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>92</b>
	<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>96</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>99</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>100</b>

## ÚVOD

V dnešní době, která je zahlcena různými krizemi, živelnými katastrofami a nejasnou budoucností, se klade stále více důrazu na finanční úspory. Rodiny, firmy i stát se snaží šetřit. Ne všem se to daří, protože ne všichni se snaží šetřit na správných místech.

Proto se dnes snad ve všech oborech a sférách podnikání objevují a rozvíjí diskrétní simulace systémů.

Simulace je také do jisté míry jak časová, tak finanční úspora. Firmy, které zvažují nástup nových technologií, či plánují svoji reorganizaci, dnes již většinou před těmito stěžejními kroky provádějí simulaci. Simulaci, jak bude jejich firma, jejich provoz a jejich zaměstnanci fungovat po změně, umožňuje mimo jiné vymodelovat a odsimulovat také software Witness od společnosti Lanner Group Ltd.

Provést simulaci pomocí informačních technologií je ekonomicky výhodnější, než provádět simulaci a testy v reálném prostředí.

Vzhledem k tomu, že i já pracuji ve velké české firmě, a vím, že úspory jsou nutné a simulace tamějšího prostředí by mohla být velkým přínosem, tak jsem se rozhodl simulovat jednu z našich poboček. Výsledky této simulace budou jistě velmi zajímavé a v případě, že by měly jakýmkoliv způsobem prospět vývoji firmy, budou předány kompetentním osobám. Tím by simulace splnila svůj cíl.

Simulace stojí hodně sil, hodně člověkohodin, ale finanční náklady nejsou vysoké. Tuto filozofii považuje většina velkých firem za stěžejní. I já věřím, že simulační studie, potažmo společnosti, jejichž produkty jsou simulační studie, mají a budou mít silné postavení na trhu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 SIMULACE

### 1.1 Definice simulace



*Obrázek 1: Dřevěný mechanický simulátor koně  
z období první světové války*

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

Simulace se používá v mnoha souvislostech, zahrnujících modelování přírodních systémů nebo lidských systémů s cílem získat poznatky o jejich fungování. Jiné souvislosti zahrnují technologické simulace pro optimalizaci výkonu, bezpečnostní inženýrství, testování, školení a vzdělávání. Simulace může být použita pro zobrazení případných reálných dopadů alternativních podmínek a způsobů jednání.

Klíčové otázky v simulaci zahrnují např. pořízení platných zdrojů informací o příslušném výběru klíčových charakteristik a chování, využití zjednodušujícího odhadu a předpokladů v rámci simulace a věrnost a platnost výsledků dané simulace. [1]

## 1.2 Historie

### 1.2.1 40. a 50. léta

První simulace byla zřejmě vytvořena již v roce 1947 dvojicí Thomas T. Goldsmith Jr. a Estle Ray Mann, a to sice v podobě hry, která simulovala střelbu na terč. Křivka střely a její rychlost mohly být upravovány pomocí několika knoflíků. V roce 1958 pak vytvořil Willy Higginbotham počítačovou hru nesoucí název „Tennis for Two“, která simulovala zápas populárního sportu (tenis) mezi dvěma hráči, kteří mohli hrát za pomoci ovladačů současně, přičemž se jejich hra zobrazovala na osciloskopu. Byla to jedna z prvních elektronických videoher, která používala grafického displeje.

### 1.2.2 Novodobé simulace (80. léta – současnost)

Pokrok, kterého dosáhly technologie v 80. letech minulého století, učinil počítače dostupnějšími i výkonnějšími, než tomu bylo v předcházejících desetiletích, což usnadnilo rozkvet počítačových her. První herní konzole, objevující se v 70. letech i počátkem 80. let minulého století, se staly v roce 1983 kvůli své nízké kvalitě a zároveň přesycení trhu příčinou bankrotu řady společností. Pak ale přišla v roce 1985 společnost Nintendo s produktem Nintendo Entertainment System (NES), který se stal nejprodávanější konzolí v historii videoher. V 90. letech se pak počítačové hry staly velmi populární záležitostí, a to především díky takovým hrám jako jsou The Sims či Command and Conquer, a samozřejmě také díky stále se zvyšujícímu výkonu stolních počítačů. V současnosti mají hry založené na počítačové simulaci, jako je třeba World of Warcraft, miliony hráčů po celém světě.

Počítačová 3D animace byla používána ve filmu k nasimulování objektů již od roku 1976, nicméně v roce 1982 byla tato animace poprvé využita i na několikaminutové úseky ve filmu Tron od společnosti Disney. Komerční neúspěch filmu však způsobil odklon průmyslu od této technologie. V roce 1993 se pak objevuje první kultovní film, který používá pomoci počítačové grafiky ve velkém, a tím je populární Jurský park. Film suverénně propojuje simulací vytvořené dinosaury s živými akčními scénami. Právě tento počín tak nasměruje filmový průmysl novým směrem. V roce 1995 je vytvořen první film s názvem Příběh hraček (v originále Toy Story), používající plně jen počítačovou grafickou

tvorbu a grafiku počítačů nového tisíciletí, který poskytl významnou šanci na úspěch těmto filmovým speciálním efektům.

Simulátory sloužící zábavním účelům mají své kořeny ve 30. letech minulého století, jsou k vidění od vzniku tzv. „Link Traineru“, leteckého simulátoru od Edwina Alberta Linka, který byl použit k propagačním účelům ve prospěch autorovy firmy. První moderní jízdní simulátor, který byl otevřen v roce 1987 v zábavním parku, je Disneyho „Star Tours“. Brzy po něm, v roce 1990, přišlo studio Universal s „Fantastic World of Hanna-Barbera“, což byl první jízdní simulátor vytvořený výhradně za pomoci počítačové grafiky. [2]

### 1.3 Klasifikace a terminologie

Historicky se simulace používané v různých oblastech rozvíjely do značné míry nezávisle, až do 20. století, kdy studie o systémových teoriích a kybernetice v kombinaci s rozšiřováním použití počítačů ve všech těchto oblastech vedly k určité unifikaci a systematičtějšímu pohledu na koncepci.

**Fyzikální simulace** se týkají simulací, v nichž jsou fyzické objekty nahrazeny skutečnými objekty (některé kruhy užívají termín pro počítačové simulace pro modelování vybraných fyzikálních zákonů, ale v tomto článku se nevyskytují). Tyto fyzické objekty jsou často vybírány, protože jsou menší a levnější, než skutečný objekt nebo systém.

**Interaktivní simulace** jsou speciálním druhem fyzikálních simulací, často označované jako "human in the loop simulace" (člověk ve smyčce), což jsou fyzikální simulace, v níž jsou zahrnuty lidské operace, jako např. v leteckých či automobilových simulátorech. [3]



*Obrázek 2: : Human in the loop  
simulace*

## 1.4 Počítačová simulace

Počítačová simulace je pokusem o vymodelování reálného světa či hypotetické situace za pomoci počítače tak, aby bylo možné studovat tento systém a vysledovat jak funguje. Chování tohoto systému může být pak předpovídáno měněním proměnných.

Počítačové simulace se staly užitečným nástrojem při modelování mnoha přirozených systémů ve fyzice, chemii a biologii, ale také systémů z oblastí jako je ekonomie a společenské vědy (výpočetní sociologie), stejně jako napomohly proniknout do podstaty fungování systémů ve strojírenství. Příkladem prospěšnosti využití počítačů pro simulace je oblast zabývající se simulacemi silničního provozu. V takovýchto simulacích se mění chování modelu v závislosti na nastavení původních parametrů převzatých z reálného prostředí.

Tradičně bylo formální modelování systémů vytvářeno přes matematické modely, které se pokoušely nalézt analytická řešení, což umožňovalo předvídat chování systému dle

souboru parametrů a počátečních podmínek. Počítačová simulace je často používána jako doplněk nebo náhrada modelování takových systémů, pro které není možné použít analytického řešení uzavřenými vzorci. Existuje mnoho různých druhů počítačových simulací, jejichž společnou vlastností je snaha o vytváření příkladů reprezentativních scénářů modelu, u nějž nelze vytvořit kompletní výčet všech možných stavů či tento výčet není dostupný.

Existují rozmanité softwarové balíčky určené pro modelování počítačově založených simulací (např. simulace Monte Carlo, stochastické modelování, multiagentní modelování), které umožňují jeho relativně snadnou realizaci. Moderní užívání pojmu „počítačové simulace“ může zahrnovat v podstatě jakoukoliv reprezentaci založenou na činnosti počítače. [4]

## 1.5 Informatika

V informatice má simulace poněkud zvláštní význam. Alan Turing použil výraz “simulace”, aby popsal, co se stane, když jeho tzv. univerzální stroj spustí přechodovou stavovou tabulku (v moderní terminologii: počítač spustí program), která popisuje stavovou přechodovou rovnici, vstupy a výstupy samostatného stroje. Počítač simuluje tento stroj. Obdobně v informatice je pojem simulace spojován se systémem překladače, který je užitečný pro studii operační sémantiky.

Oprostíme-li se trochu od teorie, zajímavým užitím počítačové simulace je simulování chodu počítačů, používajících jiné počítače. V síťové architektuře, je často užíván druh simulátoru, typicky nazýván emulátor, ke spuštění programu, který musí běžet na nějakém nevhodném počítači (např. nově navržený počítač, který zatím nebyl sestaven nebo starý počítač, který už není dostupný) nebo v nějakém těžce kontrolovaném testovacím prostředí. Simulátory byly např. používány k ladění mikroprogramu nebo někdy komerčních aplikačních programů, než je program stáhnut do cíleného stroje. Jelikož je počítačový proces simulován, veškeré informace o procesech daného počítače jsou přímo dostupné programátorovi a tak rychlost a výkon simulace mohou být měněny podle potřeb.

Simulátory mohou být také používány k interpretaci FTA nebo k testování VLSI logických designů před vlastní výrobou. Symbolická simulace používá proměnné veličiny k nahrazení neznámých.

V oblasti optimalizace jsou simulace fyzických procesů často používány ve spojení s evolučními výpočty pro optimalizaci strategie řízení.

## 1.6 Diskrétní simulace



Obrázek 3: Princip simulace

**Diskrétní simulace** jsou charakteristické tím, že se proměnné v modelu mění skokově (nespojité) pouze nastala-li určitá událost. "Využívají k tomu next-event techniku (model se mění, pouze pokud se provede událost) pro řízení chování modelu.". Model (zjednodušení složité reality) nad kterým simulace probíhá, pak obsahuje chronologicky navazující děje. Díky výsledkům získaným ze simulace můžeme zjišťovat chování složitého dynamického systému, jehož stav se mění v čase, za různých podmínek.

Klasickým příkladem využití diskretní simulace je obsluha zákazníka na pokladnách v nákupním centru. Vedoucí prodejny může pomocí simulace optimalizovat počet pokladních na pokladnách, tak aby nedocházelo k dlouhým frontám, nebo naopak, aby pokladní příliš nezaháleli. [2]

### 1.6.1 Od reality k modelu

Simulace se využívá v případech, kdy přesné matematické vyčíslení reality již není téměř možné, lépe řečeno je velmi obtížné. Nás zpravidla v dané realitě zajímá pouze určitá část – ohraničený systém (například pouze prodejna). Daný systém se snažíme vyjádřit, zjednodušit a vhodně reprezentovat. Takto nám vznikne model, který je abstrakcí systému respektive reality.

Systémy ze kterých dále vytváříme modely, můžeme rozdělit na dynamické a statické, přičemž pro simulace jsou zajímavé dynamické systémy, které můžeme dále dělit a uplatňovat na ně příslušný druh simulace. Dynamické systémy rozdělujeme na :

- Diskrétní systém – viz příklad s obchodním centrem, kdy se počet příchozích zákazníků mění skokově
- Spojitý systém – mísení dvou kapalin
- Kombinovaný systém – přítok a odtok vody v přehradě je spojitý do doby než zvedneme stavidla a skokově vypustíme vodu

### 1.6.2 Simulační proces

Simulační proces můžeme rozdělit na několik kroků. Nejprve musíme identifikovat problém a následně ho definovat (například fronty u pokladen). Dále vytvoříme simulační model, který se skládá ze tří komponent: simulační struktury a dat, procesní logiky, a kontrolních dat.

Data potřebná pro simulaci získáváme statisticky (například průměrný čas odbavení zákazníka na pokladně). Po vytvoření modelu následuje jeho validace a verifikace, kdy ověřujeme, že se model chová správně. Výstup z kontrolní simulace porovnáváme s kontrolními daty. Pokud je model korektní, tak můžeme přistoupit ke studování jeho vlastností.

### 1.6.3 Složky diskrétní simulace

Diskrétní simulace využívá některé složky, které jsou pro ni typické a reprezentují každý diskrétní systém.

- **Čas** – V závislosti na nastavené jednotky (dny, hodiny, atd.) se čas mění skokově, kupříkladu po hodině.
- **Události** – Jsou to změny v daném systému, který simulujeme (příchod zákazníka do obchodu). Můžeme je vyjádřit změnou stavu entity a časem, kdy ke změně dochází. Události jsou zpravidla prováděny postupně, nicméně některé simulační modely umožňují provádět více událostí současně. Vystává ovšem problém synchronizace a zajištění správné následnosti událostí.
- **Generátor náhodných čísel** – Ke generování čísel se využívají pseudonáhodné generátory. Pseudonáhodná čísla se využívají k napodobení reálných podmínek, kdy zákazníci vcházejí do obchodu v různý čas v různém počtu.
- **Statistiky** – Výstupem simulace jsou statistická data získaná při simulaci, která musíme dále zpracovat, abychom získali výsledné informace.
- **Koncové podmínky** – Simulace by mohla pokračovat do nekonečna, a proto je nutné zavést koncové podmínky, kdy simulace skončí (například po 20 iteracích).

[2]

## 1.7 Využití simulace

### 1.7.1 Simulace ve výuce a výcviku

Simulace je často používána při výcviku civilních a vojenských zaměstnanců. K tomu obvykle dochází v případě, že je příliš drahé, nebo příliš nebezpečné, aby cvičenci používali skutečné zařízení v reálném světě. V takovýchto situacích tráví čas učením se cenných zkušeností v "bezpečném" virtuálním prostředí. Výhodou jsou také chyby, které tento systém při tréninku v bezpečnostně-kritických systémech umožňuje. Například v simSchool si učitelé trénují třídní management a metody výuky na simulovaných studentech, čímž se vyvarují učení se za chodu, které může poškodit reálné studenty. Je zde však přece jen rozdíl mezi simulací používanou pro výcvik a instruktážní simulací.

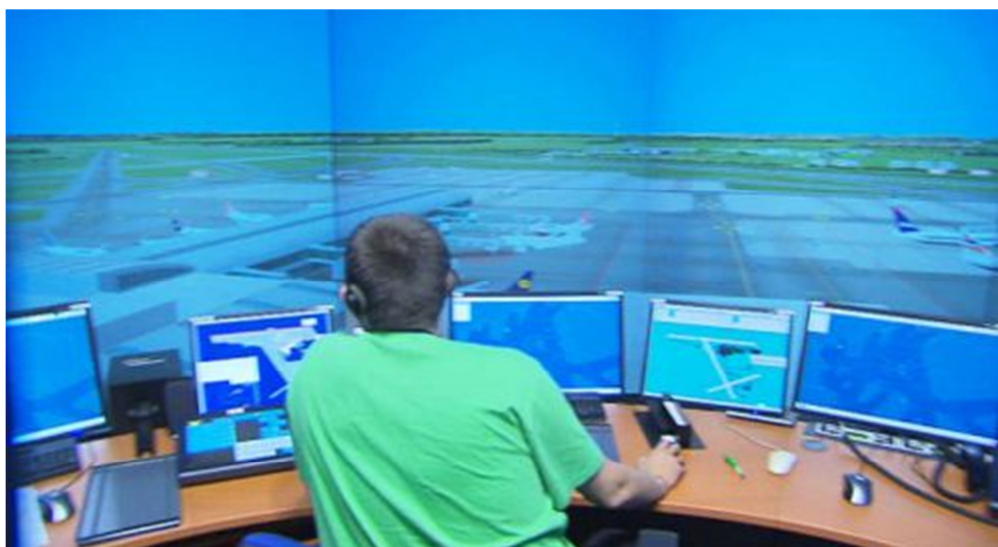
Tréninková simulace obvykle spadá do jedné ze tří kategorií:

- "live" simulace (kde skuteční lidé využívají simulovaného (či "falešného") zařízení v reálném světě);
- "virtuální" simulace (kde skuteční lidé využijí simulovaného vybavení v simulovaném světě, nebo virtuálním prostředí), nebo
- "konstruktivní" simulace (simulace, kde lidé používají simulované vybavení v simulovaném prostředí). Konstruktivní simulace je často označována jako "válečná", protože je podobná strategickým válečným hrám, ve kterých hráči velí armádám vojáků a válečným strojům, kterými můžeme pohybovat po hrací ploše.

Ve standardizovaných testech jsou někdy "live" simulace označovány jako "high-fidelity" (vysoce přesné) produkující vzorky pravděpodobných výkonů, na rozdíl od "low-fidelity", málo přesných. "Pencil-and-paper" simulace produkují jen náznaky možné výkonnosti. Rozdíl mezi vysokou, střední a nízkou přesností zůstává relativní, v závislosti na kontextu konkrétního srovnání.

Simulace v oblasti vzdělávání mají určitou podobnost s výcvikovými simulacemi. Jsou však zaměřeny na konkrétní úkoly. Termín 'mikrosvět' se používá pro označení vzdělávací simulace, která tvoří nějaký abstraktní pojem, spíše než simulaci reálného objektu nebo prostředí. V některých případech tvoří reálné světové prostředí ve zjednodušené podobě, která pomůže studentovi pochopit klíčové pojmy. Normálně může uživatel vytvářet jakési

konstrukce v rámci mikrosvěta, který se bude chovat způsobem, jaký bude v souladu s předvedenou koncepcí. Seymour Papert byl jedním z prvních, kdo prosazoval hodnoty mikrosvěta a programovacího jazyka Logo. Jako další příklad, Global Challenge Award on-line STEM učení webových stránek používá mikrosvětových simulací pro výuku vědeckých pojmů souvisejících s globálním oteplováním a budoucností energetiky. Dalšími projekty v oblasti simulací ve vzdělání jsou Open Source Physics a jeho EJS prostředí.



*Obrázek 4: 3D věžní simulátor letiště*

Managementové hry (nebo obchodní simulace) nachází v posledních letech oblibu v oblasti marketingu. Obchodní simulace, které zahrnují dynamický model a umožňují experimentování s obchodní strategií v bezrizikovém prostředí, poskytují užitečné diskuze o případových studiích.

Sociální simulace mohou být použity ve společensko-vědeckých třídách, aby ilustrovaly společenské a politické procesy v antropologii, ekonomii, historii, politologii, nebo sociologickém rozvoji. Obvykle se s nimi setkáváme na středních školách nebo na univerzitní úrovni. Mohou na sebe brát například podobu simulací v občanské výchově, ve které účastníci přebírají role v simulované společnosti nebo mezinárodních vztazích. Zde účastníci zapojí své jednání, vytváří spojení, společný obchod, diplomacii a používají sílu. Takové simulace mohou být založeny na fiktivních politických systémech nebo na současných a historických událostech. Příkladem z poslední doby by byla "Reacting to the

Past“ (Reakce na minulost) od Barnard College ze série vzdělávacích simulací. "Reacting to the Past" zahrnuje i simulační hry, které se zabývají vědeckým vzděláváním.

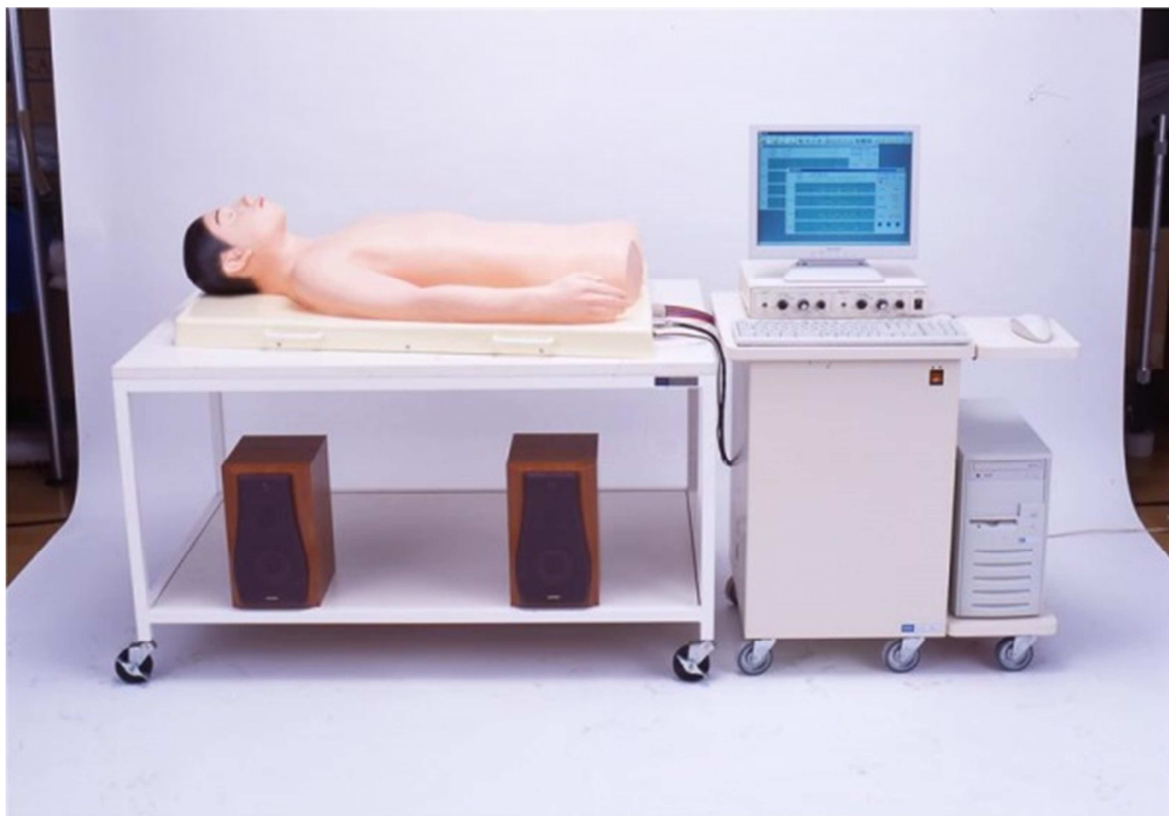
V posledních letech došlo ke zvýšení využití sociálních simulací pro vzdělávání zaměstnanců na pomoc a rozvojové agentury. Například simulace Carana, byla nejprve vyvinuta Rozvojovým programem OSN a nyní se používá ve velmi pozměněné podobě Světovou bankou při školení personálu řešícího konflikty v postižených zemích. [5]

### 1.7.2 Zdravotnické simulátory

Zdravotnické simulátory jsou stále ve větším množství rozvíjeny a rozmisťovány k výuce léčebných a diagnostických procedur stejně jako k výuce lékařských konceptů a rozvoje rozhodování personálu v lékařských profesích. Simulátory byly vyvinuty k výcviku základních zákroků, jako např. odběry krve, přes laparotomii a péči o traumatizované. Jsou také důležité pro prototypování nových zařízení na biomedicínské strojírenské problémy. V současnosti jsou simulátory aplikovány především v oblasti výzkumu a vývoje nástrojů pro nové terapie, léčby a počáteční diagnózu v lékařství.

Mnoho zdravotnických simulátorů zahrnuje počítač připojený k plastové podobě lidského těla. Sofistikované simulátory tohoto typu používají figurínu v životní velikosti, která reaguje na vstříknuté léky a může být naprogramován k simulaci životně nebezpečných situací. V ostatních simulacích jsou vizuální prvky procedur reprodukovány technikami počítačové grafiky, zatímco komponenty citlivé na dotek jsou reprodukovány hmatovými přístroji se zpětnou vazbou v kombinaci s fyzickými simulačními rutinami vypočtenými na základě uživatelského konání. Zdravotnické simulace takového druhu často používají snímky pacientových údajů, buď snímky z tomografu nebo z magnetické rezonance v 3D rozlišení, aby se zvýšila reálnost simulace. Některé zdravotnické simulace jsou vyvinuty k široké distribuci (jako třeba webové simulace, které mohou být sledovány skrze standardní webový prohlížeč) a mohou být propojeny s použitím standardních počítačových rozhraní, jako např. klávesnice nebo myš.

Další důležitá lékařská aplikace simulátoru, i když možná značí trochu jiný význam slova simulátor, je používání placeba, což je preparát simulující aktivní lék v době, kdy se testuje účinnost daného léku. [6]



*Obrázek 5: Simulátor pacienta se srdeční vadou*

### **1.7.3 Zábavní průmysl**

Zábavní průmysl je termín, který zahrnuje řadu rozlehlých a populárních oblastí, jako je film, televize, videohry (zahrnující i tzv. serious games), zábavní parky apod. Přestože myšlenka novodobých simulací má své kořeny spojené s válečným výcvikem, ve dvacátém století začaly simulace vévodit zájmu komerčních firem, které jim přisoudily zábavní funkci. Pokrok na poli technologií v osmdesátých a devadesátých letech minulého století umožnil rozšíření jejich využitelnosti, a tak se simulace začínaly uplatňovat ve filmech jako je Jurský park (1993) či v počítačových hrách typu Battlezone od Atari.

#### **1.7.3.1 Počítačové hry a videohry**

Hry využívající simulace, na rozdíl od jiných druhů videoher a her počítačových, interpretují a napodobují věrně herní prostředí. Mimoto realisticky zobrazují interakci mezi herními postavami a tímto prostředím. Tyto druhy her mají také obvykle velmi komplexní herní systém. Simulační hry se staly nesmírně populárními pro lidi všech věkových

kategorií a toto odvětví se tak ukázalo jako jedno z mála, které je schopné odolávat i recesním tržním podmínkám.

Populární simulační hry

- Rigs of Rods
- The Sims
- Command a Conquer
- SimCity
- Tiger Woods PGA Tour
- Tony Hawk's Pro Skater
- Need For Speed
- Virtonomics



Obrázek 6: Ukázka ze simulační hry Need for speed: Porsche (2000)

### 1.7.3.2 Film

Anglický termín „computer-generated imagery” označuje aplikaci počítačové 3D grafiky zde používanou na speciální efekty. Tato technologie je používána pro vizuální efekty, které jsou vysoce kvalitní a snadno ovladatelné, a umožňuje vytvářet efekty, které nejsou

realizovatelné jinou technologií, jelikož je to buď nákladné, nebezpečné nebo jiné technologie zkrátka nedisponují potřebnými zdroji. S počítačovou grafikou je dnes možné se setkat v mnohých hraných filmech, zejména v rámci akčního žánru. Dále počítačová grafika téměř úplně nahradila „Disneyovský styl“ animace (ručně kreslenou animaci) ve filmech pro děti, které jsou stále více vytvářeny právě za pomoci počítačové animace.

Příklady filmů používajících počítačovou grafiku

- Hledá se Nemo (Finding Nemo)
- Smrtonosná past 4 (Die Hard 4.0)
- 300: Bitva u Thermopyl (300)
- Vzhůru do oblak (Up)
- Iron Man
- VALL-I (Wall-E)

### ***1.7.3.3 Atrakce zábavních parků***

Jízdní simulátory jsou následníky vojenských výcvikových simulátorů a komerčních simulátorů, ale svou podstatou jsou odlišné. Zatímco vojenské výcvikové simulátory reagují realisticky na činnost účastníka výcviku v reálném čase, jízdní simulátory mají jen vyvolat zdání, že se pohybují realisticky, přičemž se pohybují na základě předem naprogramovaného pohybového scénáře. Jedním z prvních takovýchto simulátorů byl již zmiňovaný „Star Tours“, který stál 32 milionů dolarů a používal pohybové hydraulické zařízení, jehož pohyb byl programován joystickem. Jízdní simulátory současnosti obsahují prvky, které mají zvyšovat jezdcův zážitek, jsou jimi např. 3D grafika, fyzické efekty (stříkání vody, pachové efekty) a vzdušný pohyb. [7]

Příklady jízdních simulátorů

- Soranin' over California
- The Amazing Adventures of Spiderman
- Mission Space
- The Simpsons Ride
- Star Tours



*Obrázek 7: Zábavní park Mission Space*

#### **1.7.4 Simulace připravenosti na katastrofy a simulační výcvik**

Simulační výcvik se stal metodou, jak připravit obyvatelstvo na katastrofy. Simulace dokážou napodobit nouzové situace a zjistit, jak na ni účastníci reagují. Simulace připravenosti na katastrofy mohou zahrnovat výcvik, který účastníky naučí, jak se zachovat při teroristických útocích, přírodních katastrofách, pandemiích nebo jiných životu nebezpečných nouzových situacích.

Jedna z organizací, která využila takového simulačního tréninku, je CADE (Center for Advancement of Distance Education (Centrum pro rozvoj dálkového vzdělání)). CADE použila videohru, aby připravila pracovníky na různé druhy útoků. Server News-Medical.Net uvedl: “Videohra je první v řadě simulací, která by se měla zabývat bioterorismem, chřipkovou pandemií, neštovicemi a dalšími katastrofami, na které se musí nouzoví pracovníci připravit.” Tato hra, vyvinutá teamem z University of Illinois at Chicago (UIC), umožní uživatelům procvičit své schopnosti v bezpečném a kontrolovaném prostředí.

Nouzový simulační program (ESP) můžeme sledovat na British Columbia Institute of Technology (Technologický institut Britské Kolumbie neboli BCIT) ve Vancouveru v Kanadě, jež je dalším příkladem organizace, která využívá simulací k nacvičení nouzových situací. ESP je používán k nacvičení následujících situací: boj s lesním ohněm, reakce na únik nafty nebo chemikálií, reakce na zemětřesení, vymáhání zákona, boj s ohněm ve městech, zacházení s nebezpečnými materiály, vojenské cvičení a reakce na teroristický útok. Jeden z prvků simulačního systému je zavedení tzv. Dynamic Run-Time Clock (Hodiny dynamické doby provozu), které umožňují, aby simulace nasimulovala pouze určitý časový úsek, kde je možné zrychlit či zpomalit čas dle potřeby. Dodatečně ještě systém dokáže průběh nahrát, má navigaci skrze obrázkové zobrazení, ukládání dat jednotlivých simulací, multimediální komponenty a spuštění externích aplikací.

Instruktažně jsou výhodné nácviky nouzových situací skrze simulace v tom, že žákův výkon je možné sledovat skrze systém. To umožňuje vývojáři upravit systém dle potřeb nebo upozornit učitele na témata, která potřebují zvýšenou pozornost. Dalšími výhodami je to, že je žáka možné naučit nebo navést jak má reagovat ještě předtím než přijde další část nouzového výcviku. To je něco, co nemusí být v reálném prostředí možné. Některé simulátory nouzových situací dokonce dokážou hned poskytnout zpětnou vazbu, zatímco jiné simulátory jsou schopny poskytnout shrnutí a doporučit uživateli, aby se daného tématu účastnil znovu.

V opravdové nouzové situaci nemají její účastníci času na zmar. Simulační cvičení v takovémto prostředí poskytuje příležitost pochytit co nejvíce informací a procvičit své znalosti v bezpečném prostředí. Mohou se tak dělat chyby bez rizika ohrožení životů a účastníci mohou dostat příležitost, aby své chyby napravili a připravili se tak na skutečnou nouzovou situaci. [8]

### **1.7.5 Strojírenské, technologické nebo procesní simulace**

Simulace jsou důležitou součástí strojírenských systémů nebo jakýchkoliv systémů, které zahrnují více procesů. Například v elektrotechnickém strojírenství mohou systémy simulovat propagační čas a fázovou změnu vyvolanou pásovou výrobou. Podobně může být umělá zátěž použita k simulaci celkového odporu bez simulace propagace, takto je využívána v simulacích, kde je propagace nechtěná. Simulátor je ale schopen simulovat pouze pár operací a funkcí dané jednotky, kterou simuluje.

Většina strojírenských simulací ve výsledku znamená matematické výpočty a počítačový průzkum. Nicméně existuje spousta případů, kdy jsou matematické výpočty nespolehlivé. Simulace problematiky dynamiky tekutin často vyžaduje jak matematické propočty, tak fyzické simulace. V takové situaci je zapotřebí, aby fyzické modely měly jakousi dynamickou podobnost. Fyzikální a chemické simulace mají také často přímé užití, spíše než pouze výzkumný účel. V chemickém inženýrství jsou například procesní simulace využívány k tomu, aby procesu hned poskytly parametry, které jsou ihned použity k provozu chemických závodů jako např. ropných rafinérií. [9]

#### **1.7.6 Simulátory satelitní navigace**

Jediný skutečný způsob jak otestovat GNSS přijímače (v komerčním světě známé jako Sat-Nav's) je prostřednictvím tzv. RF Constellation Simulator (RF konstelační simulátor). Přijímač, který může být použit například na letadle, může být otestován za dynamických podmínek bez potřeby realizace skutečného letu. Testovací podmínky mohou být opakované přesně a je zde úplná kontrola nad testovacími parametry. Toto v reálu při použití skutečných signálů není možné. Pro testování přijímačů, které budou využívat nové satelitní navigace Galileo, není žádná jiná možnost, vzhledem k tomu, že skutečné signály ještě neexistují. [10]

#### **1.7.7 Simulátory obchodních procesů**

Simulace obchodních procesů jsou užitečné pro modelování toku transakcí napříč obchodními procesy, jako např. v oblasti výzkumu obchodních procesů, aby zkoumaly a vylepšovaly tok zákaznických objednávek v různých fázích dokončení (řekněme, od prvotního návrhu na poskytování statků/služeb do příjmu objednávky a zavedení). Takovéto simulace mohou pomoci předpovědět, jak zlepšení jednotlivých metod může ovlivnit variabilitu, náklady, časovou náročnost práce a množství transakcí v určitých fázích tohoto procesu. Plně automatizovaný procesní simulátor, stejně jako jsou toho schopny jednodušší vzdělávací zobrazení pomocí tabulkového procesoru, může zobrazit modely, kdy jsou např. mince přesouvány mezi nádobami podle závinu matice nebo třeba ponořeny do kádě s barevnými korálky pomocí čerpadla. [11]

## 2 MODELOVÁNÍ A MODEL

### 2.1 Modelování

Modelování patří k tradičním postupům v některých technických disciplínách, například v kybernetice nebo v teorii automatického řízení. S rozvojem levných a dostupných počítačů v posledních desetiletích proniklo počítačové modelování do většiny technických věd a stalo se důležitou metodou i v biologii, meteorologii, geologii a dokonce v ekonomii a ve vědách sociálních.

Hlavní praktickou výhodou modelování je možnost pomocí pokusů a omylů vyřešit úlohy, které nemají analytické řešení, nebo ověřit vlastnosti nákladných zařízení před jejich fyzickou realizací (např. složité integrované obvody, letadla nebo atomové bomby). Simulační modely se používají také jako součást trenažérů nebo počítačových her. Biologické modely mohou zabránit některým pokusům na zvířatech.

Pro modelování v různých oborech byla vyvinuta řada specializovaných softwarových balíků, k nejznámějším patří například Matlab Simulink (*en:Simulink*) pro modelování dynamických systémů nebo Spice (*en:SPICE*) pro elektrické obvody. V minulosti se používaly pro modelování analogové počítače (výpočet obyčejných diferenciálních rovnic s počátečními podmínkami) nebo simulační programovací jazyky, jako např. Simula (systémy s diskrétními událostmi, *en:Discrete event simulation*) nebo CSSL (*Continuous System Simulation Language*, spojité systémy).

### 2.2 Matematický model

Slovo „model“ se používalo v běžné řeči nejprve pro předlohu. V odborném jazyku doby před simulací a virtuální realitou zůstal z této praxe termín „funkční model“, a to pro první exemplář navrženého výrobku, který pracuje tak, jak by výrobek pracovat měl, přestože jiné vlastnosti výrobku (např. estetické) tento exemplár ještě nemá. Z této praxe vznikla i interpretace slova model pro něco zvláštního, nezvyklého či nákladného (např. hlavně před druhou světovou válkou používané termíny model klobouku, model automobilu apod.).

V modelování a simulaci je termín model použit pro analogii mezi dvěma systémy. Jednoduché příklady nabízí mapa (model části země na papíře), socha (model osoby, zvířete atd. v neživém materiálu) nebo dětský vláček (model skutečného vlaku ve

zmenšeném měřítku). Vztah obou systému – modelovaného a modelujícího je dán tím, že každému prvku  $P$  modelovaného systému je přiřazen prvek  $Q$  modelujícího systému, každému atributu  $g$  prvku  $P$  je přiřazen atribut  $h$  prvku  $Q$  a pro hodnoty atributu  $g$  a  $h$  je dána nějaká relace. Její charakter není nějak obecně omezen, ale v případě, že  $g$  i  $h$  jsou aritmetické atributy, bývá taková relace úměrnost, tolerance (mapa zobrazuje jen přibližně), kombinace úměrnosti a tolerance (např. rozměry složek a částí dětského vláčku jsou přibližně úměrné odpovídajícím rozměrům skutečného vlaku) apod. Jsou-li modelovaný i modelující systém statické, říkáme, že daný model je statický model. V simulaci se však uplatní jen tzv. simulační modely, to jsou ty modely, které splňují následující podmínky:

- Jejich modelující i modelované systémy jsou dynamické systémy.
- Existuje zobrazení  $\tau$  existence modelovaného systému do existence modelujícího systému; je-li tedy  $t_1$  okamžik, v němž existuje modelovaný systém  $M_1$ , je mu přiřazen okamžik  $\tau(t_1) = t_2$ , v němž existuje modelující systém  $M_2$ , a tak je zobrazením  $\tau$  přiřazen i stavu  $S_1(t_1) = \sigma_1$  systému  $M_1$  stav  $S_2(t_2) = \sigma_2$  systému  $M_2$ .
- Mezi stavy  $\sigma_1$  a  $\sigma_2$  jsou splněny požadavky na vztahy mezi prvky a jejich atributy, jak jsme je výše popsali pro modely obecně; jako kdyby každému stavu  $\tau_1$  modelovaného systému odpovídal stav  $\sigma_2$  modelujícího systému tak, že oba stavy jsou ve vztahu statického modelu.
- Zobrazení  $\tau$  je neklesající; pokud nastane stav  $s$  modelovaného systému před stavem  $s^*$  téhož systému, pak stav, který odpovídá v modelujícím systému stavu  $s$ , nastane před stavem, který odpovídá stavu  $s^*$ , nebo mohou oba stavy nastat v modelujícím systému současně (totiž v případě, že modelující systém není „tak kvalitní“, aby dokázal zobrazit všechny detaily v modelovaném systému), nikdy však nemůže být časové pořadí stavu v modelovaném systému a jím odpovídajících stavu v modelujícím systému přehozeno.

Poslední požadavek umožňuje tomu, kdo konstruuje modelující systém, aby se při tom nechal inspirovat vztahy kausality v modelovaném systému. Jestliže platí, že nějaké vlastnosti modelovaného systému implikují, že později nastane v tomto systému něco, co

ovlivní jeho stav, lze tuto zákonitost napodobit i v modelujícím systému. Příkladem na takový kauzální vliv může být implikace, že když nějaký permanentní prvek je schopen obsloužit jen jednu transakci a žádají ho o obsluhu dvě transakce brzy po sobě, pak druhá z nich musí čekat

ve frontě. Jiným příkladem je to, že když se hodnota nějakého aritmetického atributu mění v čase spojitě a je větší než jisté číslo, pak bude větší než toto číslo i v jistém následujícím časovém intervalu. Model je tedy složitá struktura, která váže dva systémy, jejich prvky a jejich atributy, a v případě simulačních modelu i existence obou systému. V běžné mluvě se však ustálila praxe, že pod slovem model se rozumí modelující systém. Tato praxe není úplně výstižná a přesná, protože nevystihuje, že model není jen systém, nýbrž že je obrazem „něčeho“ a že to „něco“ zobrazuje „nějakým způsobem“. Místo termínu „modelovaný systém“ se používá slova originál. V případě, že jde o simulační model, mluví se raději o systému simulovaném a simulujícím než o modelovaném a modelujícím. Analogicky k právě zmíněné nepřesnosti v praxi terminologie existuje praxe, že se na místě termínu simulující systém používá termín simulační model nebo také simulátor.

Termín simulátor nezavádí nepřesnost, přestože ho někteří američtí autoři používají v poněkud užším smyslu (např. jako trenažér).[5]

### 3 SIMULAČNÍ PROSTŘEDÍ WITNESS

**WITNESS®** - nástroj software pro simulaci a optimalizaci výrobních, obslužných a logistických systémů britské společnosti **Lanner Group Ltd.** Využívá se hlavně v oblasti produktů pro interaktivní simulaci systémů diskrétních událostí, které jsou postaveny na organizaci fyzických a logických elementů, jejich významné konfiguraci na časové ose. Přínos produktu Witness spočívá v:

- možnosti zlepšení organizace týmové práce pomocí simulačního modelu,
- sestavení a testování modelu po malých úsecích, které značně zjednodušují stavbu modelu, poskytujících možnost identifikace logických chyb a vytvoření modelu spolehlivěji popisujícího reální situaci,
- možnosti změny modelu v průběhu simulace.

V současnosti se po celém světě používá systém Witness v společnostech s rozsahem od výrobních podniků až po banky a letiště. Systém zahrnuje:

- hodnocení kapitálových produktů,
- pravidelný běh modelů pro testování výrobních programů,
- hodnocení alternativních návrhů,
- zdokonalení existujících zařízení,
- změnu managementu.

#### Simulace

Princip simulace je jednoduchý – místo toho, abychom sledovali dynamické chování nějakého procesu (**objektu**), který nás zajímá a jeho reakce na provedené organizační a technické změny, sledujeme chování jeho **modelu**.

Takovým modelovaným objektem může být například výrobní linka, systém hromadné obsluhy, sklad velkoobchodu, tok informací v pobočce banky apod. Tento způsob práce přináší mnohé výhody – můžeme např. vytvářet modely ještě neexistujících systémů a navrhnout tak hned napoprvé systém, který svým chováním přesně odpovídá našim představám. Simulační čas může běžet mnohem rychleji než reálný, a tak je možné rychle vyhodnotit různé varianty navrhovaného řešení problému.

## Práce s modelem

Modely v programu WITNESS dynamicky zobrazují pohyb materiálu či zákazníků systémem, stavy jednotlivých prvků, prováděné operace, aktuální využití zdrojů. Zároveň jsou zaznamenávány všechny události, které v systému nastaly. Uživatel tak může sledovat dynamiku procesu a má k dispozici i údaje potřebné k vyhodnocení výkonnosti daného systému podle zvolených kritérií. Model vytvořený ve Witness-u používá kombinaci dílů, lidí, strojů a jiných simulačních elementů za účelem simulace zkoumaných operací.

### 3.1 Obecná stavba modelu v programu Witness

Simulační model je v programu Witness tvořen třemi základními kroky. Po zaznamenání plného jména modulu, jeho zkratky a jména tvůrce, se začíná každý element modelovat v následujících krocích:

Prvek - Define

- Display
- Detail

**DEFINE** – umožňuje nadefinovat jména a množství (je-li známo) elementů, které chceme v modelu použít. Určením typu prvku se přiřazuje jednotlivým reálným prvkům jejich simulační obraz, který v obecné terminologii odpovídá svou formou a dostupnými funkcemi daným prvkům.

Příkladem je pomocný stůl v šicí dílně, na kterém se provádějí pomocné operace skládání a balení výrobků. Tento pasivní prvek, na kterém je práce vykonávána, je nutno ve WITNESSu zobrazit jako stroj, který za pomoci pracovníka podle nadefinovaných údajů (vstupní a výstupní pravidla, typ stroje, atd.) zpracovává díl. Po nadefinování potřebných údajů můžeme začít určovat obrazovou formu a popis elementů.

**DISPLAY** – definovanému prvků nebo jevu přiřadí jeho obrazovou podobu. Na obrazovce je možné zobrazit jméno prvku v požadované barvě a velikosti, ikonu vybranou z knihovny ikon nebo vytvořenou v editoru ikon. Barva ikony může být fixní nebo proměnná, ta pak zobrazuje stav prvku v průběhu simulace. Barvy zobrazující stavy ve

kterých se daný prvek nachází jsou popsány v manuálu, popřípadě mohou být zobrazeny formou klíče přímo na obrazovce.

Práce v tomto módu je modifikována podle typu elementu. Pro každý typ elementu jsou v rozbalovacím menu okna Display nadefinované konkrétní položky (volby), pomocí kterých navolíme optimální obrazovou podobu daného prvku.

**DETAIL** – nejdůležitějším krokem v průběhu definování našeho modelu je detailní popis parametrů elementu a jeho chování v simulaci. U každého fyzického i logického elementu je k dispozici přehledné menu, které formou oken zobrazuje všechny dostupné vlastnosti a funkce prvku. Fyzické elementy dále obsahují ve svých oknech volbu logických elementů, které mají vliv na jejich činnost.

### 3.2 Rozdělení stavebních prvků

- Diskrétní (fyzické)

✓ Díl, součást, osoba	entity – part
✓ Fronta, zásobník	queue – buffer
✓ Činnost, stroj	aktivity – machine
✓ Zdroj obsluhy	resource, labor
✓ Pásový dopravník	conveyor
✓ Dráha	track
✓ Vozík	vehicle

- Logické

✓ Atribut	attribute
✓ Proměnná (uživatelská)	variable
✓ Rozdělení	distribution
✓ Funkce (uživatelská)	function
✓ Směna	shift

- Grafické

✓ Časový graf	timeseries
✓ Koláčový graf	pie chart
✓ Histogram	histogram

### 3.2.1 Entity

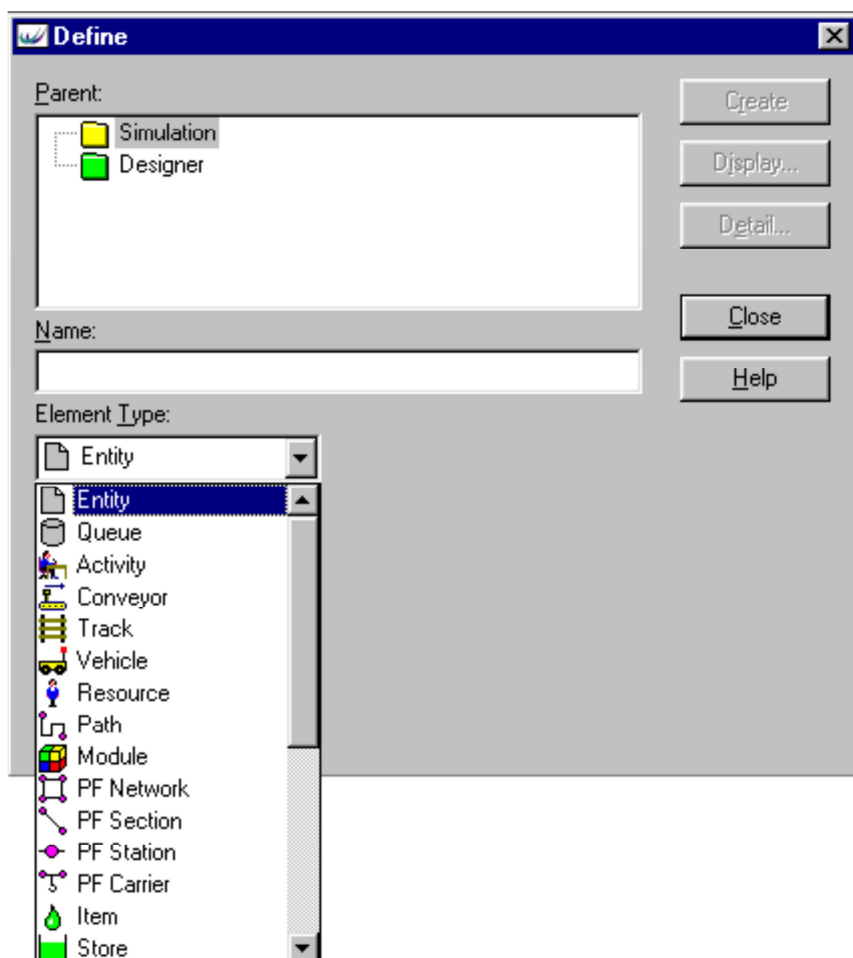
Elementy typu **ENTITY** jsou jedním ze **základních stavebních prvků**, bez kterých se žádný model neobejde. Tyto prvky představují části, díly, jednotky samostatně se pohybující modelem (např. fyzické komponenty a výrobky, dokumenty obíhající ve velké firmě nebo hladové studenty čekající v menze ve frontě na oběd, ...). V konfekčním průmyslu elementy typu **ENTITY** zastupují konkrétní oděvní díly, dílce, součásti nebo drobnou přípravu.

Součásti (**ENTITY**) mohou být zpracovávány po jedné, nebo smontovány dohromady, děleny a měněny jedna v druhou (materiál ve výrobek). Tyto elementy mohou nést číselnou nebo textovou informaci v podobě atributů (jako je např.: váha, délka, barva, ...), přičemž atributy mohou být fixní (stejně pro každou součást daného typu) nebo variabilní (pro jednotlivou součást daného typu).

Součásti (**ENTITY**) dělíme na:

- **aktivní** – do modelu vstupují o své vlastní vůli,
- **aktivní s profilem** – do modelu vstupují podle předem definovaného profilu,
- **pasivní** – do modelu jsou vtahovány z vnějšího světa.

Definujeme pomocí názvu, typu, množství stejných prvků a volbou konkrétního typu elementu.



Obrázek 8: Nadefinování elementu typu entity

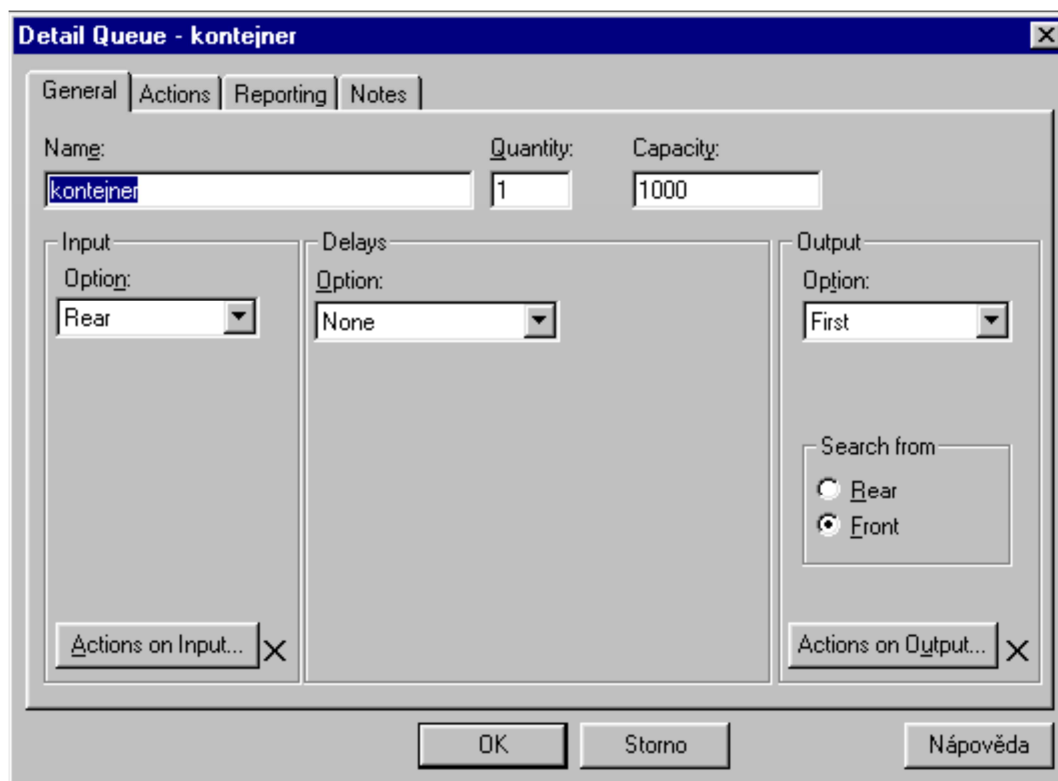
Hlavní parametry jsou název součásti, příchody součásti do systému, vstup do modelu, výstup z modelu.

### 3.2.2 Queue

Zásobníky – fronty (QUEUE) jsou místa, kde lze skladovat součásti. Samy o sobě ani součásti nevybírají, ani nikam neodesílají. Mohou reprezentovat frontu v obchodním domě (i uspořádání fronty), sklad součástek v dílně, prostor s letadlem čekajícím na přistání, kontejner s oděvními dílci čekajícími na montáž, ...

Specifikace pozic dílů v zásobníku může probíhat podle různých řadících metod např.: FIFO (first – in, first – out), LIFO (last – in, first–out), podle priorit, ...

Speciální typy zásobníků (front) se specifikovaným minimálním a/nebo maximálním časem pobytu dílů lze využít pro modelování např. pecí, mrazících boxů nebo fronty netrpělivých zákazníků.



Obrázek 9: Nastavení základních parametrů

Hlavní parametry jsou množství front (zásobníků) stejného typu, kapacita zásobníku, čas, způsob vstupu a umístění do fronty a zdržení v zásobníku.

Dále také způsob výstupu ze systému a definice činnosti při výstupu ze zásobníku.

### 3.2.3 Activity

Prvek **ACTIVITY** (činnost, stroj) – představuje nejkomplexnější element simulačního programu, který je schopen reprezentovat cokoliv, co někde odebírá součástky, zpracovává je a předává je dál. Element typu **ACTIVITY** v simulačním modelu může představovat:

**fyziké zařízení** (vrtačka, šicí stroj, ale také telefonistku nebo celou organizaci vyhodnocující projekt), nebo také  
**činnost** (operaci) – v tomto případě je stroj definován jako obsluha – **RESOURCE**, potřebná pro vykonání dané operace.

Stroje pracují s díly, které zpracovávají podle zadaných pravidel. Modely strojů musí vyhovovat mnoha typům zařízení, vyskytujících se v reálném životě. Dělí se na několik typů. U všech typů strojů může nastat stav poruchy, která může vyžadovat přítomnost pracovní síly na opravu.

**SINGLE** stroj – jeden díl - součást (ENTITY) na vstupu, jeden díl - součást na výstupu.

**BATCH** stroj – zpracovává skupinu dílů na vstupu, skupina ve stejném počtu je i na výstupu. Díly jsou zpracovány najednou.

**ASSEMBLY** stroj – více dílů na vstupu je zpracováno do jednoho dílu.

**PRODUCTION** stroj – jeden díl na vstupu je zpracován do několika dílů na výstupu

**GENERAL** stroj – jeden nebo více dílů na vstupu je zpracováno na jeden nebo více dílů vycházejících ze stroje. Počty dílů na vstupu a výstupu mohou být rozdílné.

**MULTI - STATION** – více strojů pracuje na jednom úkolu společně. Operace musí na sebe navazovat.

**MULTI - CYCLE** – tento typ stroje umožňuje definovat více pracovních cyklů prováděných jedním stojem na daném dílu.

Detail Activity - sici\_stroj

General Setup Stoppages Fill/Empty Shift Actions Reporting Notes

Name: sici\_stroj Quantity: 1 Priority: Lowest Type: Single

Input: Quantity: 1 From... Wait Actions on Input... X

Duration: Duration: Undefined Resource Rule... X Actions on Start... X Actions on Finish... X

Output: Quantity: 1 To... Wait Actions on Output... X Output From: Front

OK Storno Nápověda

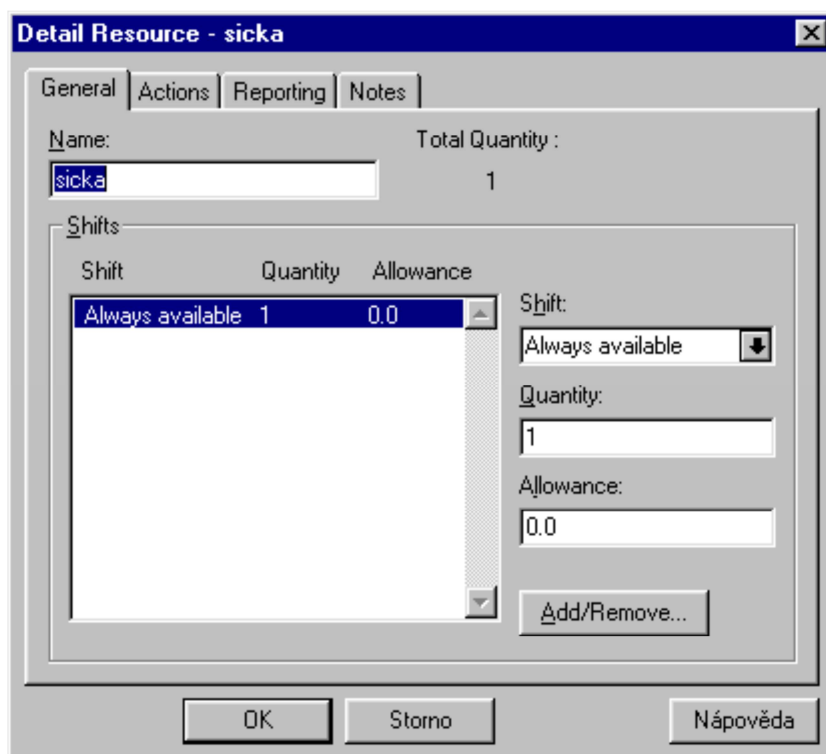
Obrázek 10: Nastavení základních parametrů

Hlavními parametry jsou název stroje a činnosti, množství strojů stejného typu, priorita zpracovávání dílů, pravidla a činnosti při vstupu a výstupu a čas a průběh zpracování.

Dále lze také nastavit četnost a dobu trvání poruch.

### 3.2.4 Resource

**RESOURCE** – pracovní zdroj (nástroj, člověk, zařízení), který může být požadován výrobními elementy (stroj, dráha, dopravníkový pás). Pracovní zdroj může provádět obsluhu, seřízení, opravu nebo čištění výrobního elementu. V případě, že je pracovní zdroj požadován jiným výrobním elementem s vyšší prioritou (důležitostí), může být za jistých okolností z předešlého pracoviště odvolán (Pre-empt Resource).



Obrázek 11: Nastavení parametru elementu typu resource

Hlavní parametry jsou počet pracovníků a perioda pracovní směny.

### 3.2.5 Conveyor

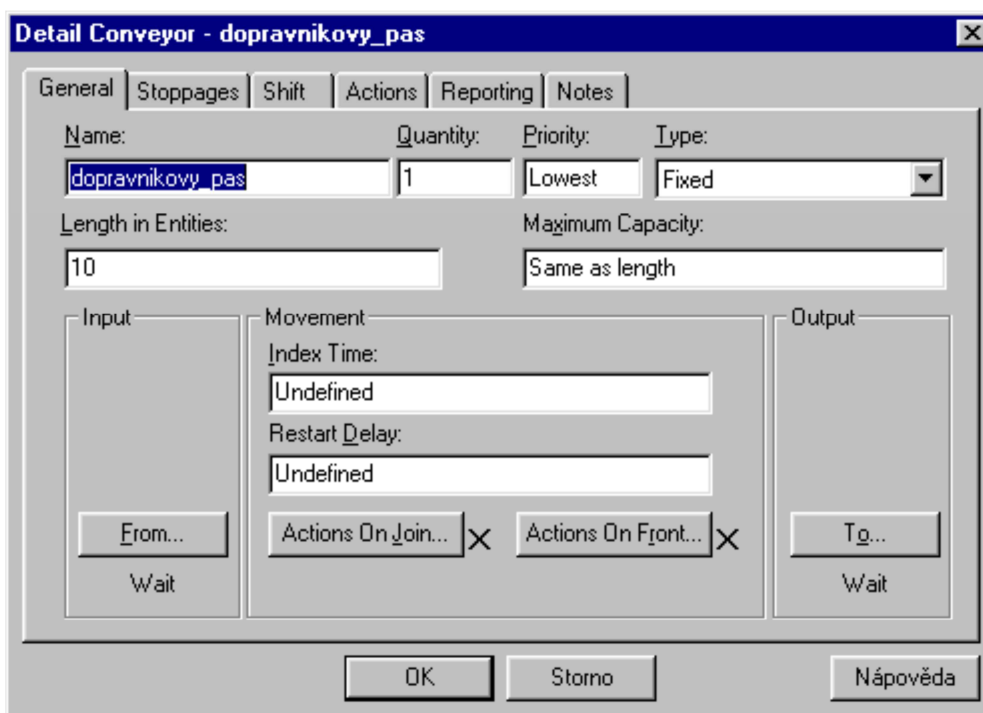
**CONVEYOR** – dopravníkový pás představuje jeden ze způsobů, jak zajistit přepravu materiálu v modelu. Tento způsob dopravy si můžeme představit např. jako pás přepravující zavazadla na letišti, dopravník přepravující karoserie na montážní lince, válečkový dopravník, který přepravuje prázdné krabice k balící lince.

WITNESS definuje dva hlavní typy dopravníkových pásů:

**Fixní** – pás udržuje stanovenou vzdálenost mezi díly při zastavení nebo rozjezdu dopravníku.

**Variabilní** – na pásu může docházet ke kumulaci dílů. Vzdálenost mezi jednotlivými částmi není pevná a tudíž se díly mohou na dopravníkovém pásu hromadit (závisí na množství vstupujících a vystupujících dílů).

Dopravníkové pásy přepravují díly podle jejich vlastností z jednoho pevného místa k dalšímu. Navíc každá jednotlivá poloha (pozice), kterou díl míjí, může být zvolena jako místo nakládání a vykládání. U obou typů dopravníkových pásů může nastat stav poruchy a mohou vyžadovat přítomnost pracovní síly na opravu.



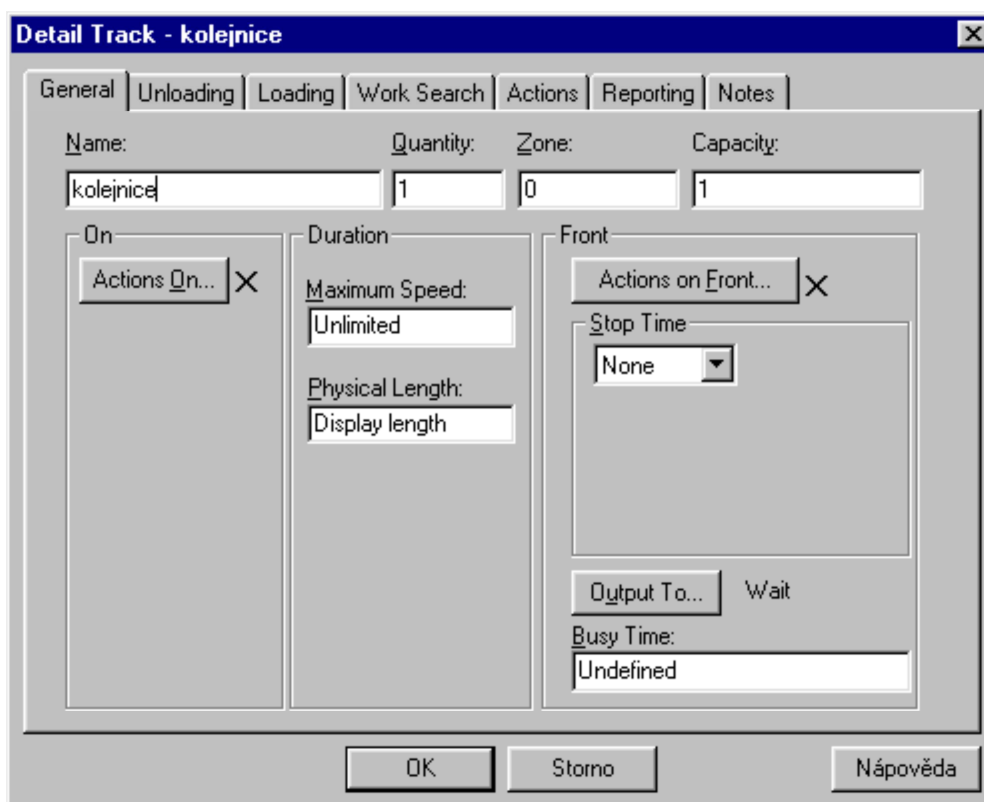
Obrázek 12: Nastavení parametrů entiny typu conveyor

Hlavní parametry jsou název, počet strojů stejného typu, volba typu dopravníku, délka dopravníku, kapacita dopravníku, vstupní a výstupní pravidla a činnosti a čas, který je potřeba k posunutí o jednu pozici.

### 3.2.6 Track

Vozíky se modelem pohybují prostřednictvím jednosměrných drah (**TRACK**). Vozík vstupuje při běhu simulace na pomyslný konec dráhy a automaticky se pohybuje k jejímu začátku. Poté, co dosáhne začátku dráhy, prozkoumá se výstupní pravidlo dráhy, kde je specifikována eventuelně další dráha, po které bude vozík v cestě pokračovat.

Každá dráha má svou skutečnou délku, která upravuje, jak dlouho bude jízda po této dráze při běhu simulace trvat. Dále je možno definovat délku zobrazenou, neboli počet vozíkových pozic, které se zobrazí na obrazovce. Z toho plyne, že i velmi dlouhou dráhu lze takto na obrazovce znázornit. Maximální rychlost umožňuje navolit omezení rychlosti vozíku na dráze, např. pokud se obsluha vyskytuje v blízkosti dráhy.



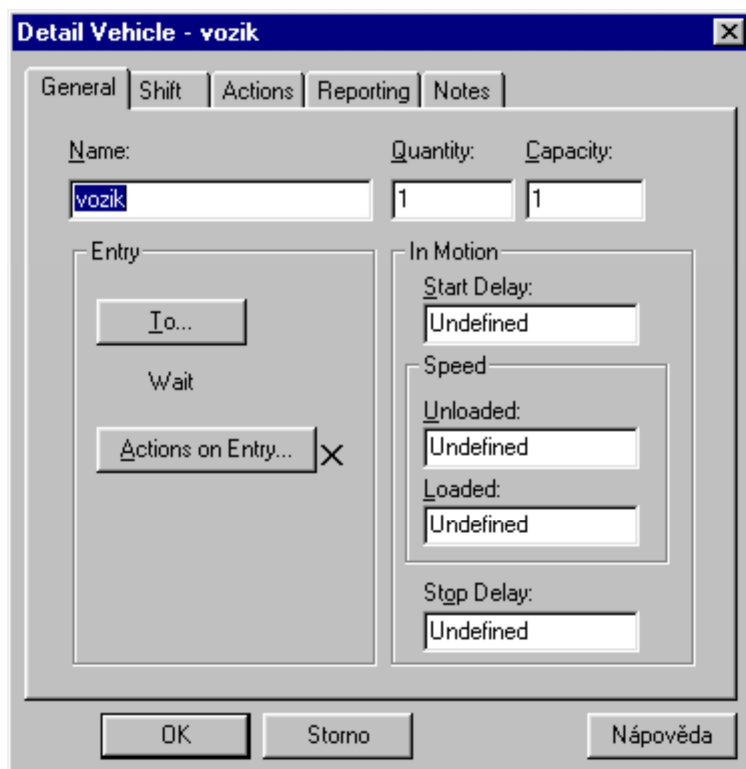
Obrázek 13: Nastavení základních parametrů dráhy

Hlavní parametry jsou název, množství stejných drah, maximální počet vozíku na dráze, délka dráhy, maximální povolená rychlost na dráze, pravidla a činnosti při vstupu a výstupu vozíku z dráhy způsob nakládání a vykládání a počet nakládaných a vykládaných kusů.

### 3.2.7 Vehicles

**VEHICLES** – vozíky v simulačních modelech reprezentují, stejně jako dopravníkové pásy, přepravu dílů. Je možno si je představit například jako zdvihací vozíky, jeřáby, automaticky řízené vozíky, podvěsné dopravníky či další pružné způsoby dopravy. Je možné je také použít při simulaci pracovníků, kteří obstarávají přepravu dílů např. od jednoho stroje k dalšímu.

Vozík je element, jehož úkolem je zajišťovat dopravu jistého množství dílů, ovšem pouze ve spolupráci s dráhou – **TRACK**. Ačkoliv právě vozíky (**VEHICLES**) zabezpečují vlastní přepravu, jsou to vlastně dráhy (**TRACKS**), jenž určují vlastní fyzickou polohu vozíku a obsahují informace, bez nichž by se přeprava nedala realizovat. Každému vozíku je přiřazena kapacita a rychlost.

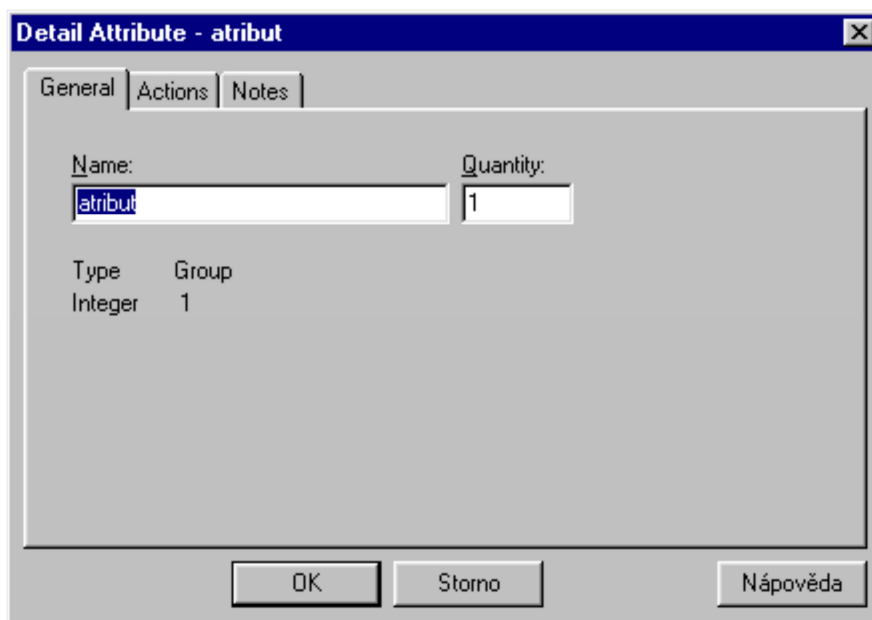


Obrázek 14: Nastavení základních parametrů vozíku

Hlavní parametry jsou název, množství vozíku stejného typu, kapacita vozíku, vstupní a výstupní pravidla, čas náběhu na požadovanou rychlost vozíku, rychlost plného a prázdného vozíku, čas do zastavení vozíku z dané rychlosti.

### 3.2.8 Attributes

**ATRIBUTY** – jsou charakteristiky popisující hodnoty součástí a pracovního zdroje v podobě celých, reálných čísel, názvu či textové informace. Pomocí atributů součástí vstupujících do operace nastavujeme např. různý čas pracovního cyklu stroje.



Detail Attribute - atribut

General | Actions | Notes

Name: atribut Quantity: 1

Type	Group
Integer	1

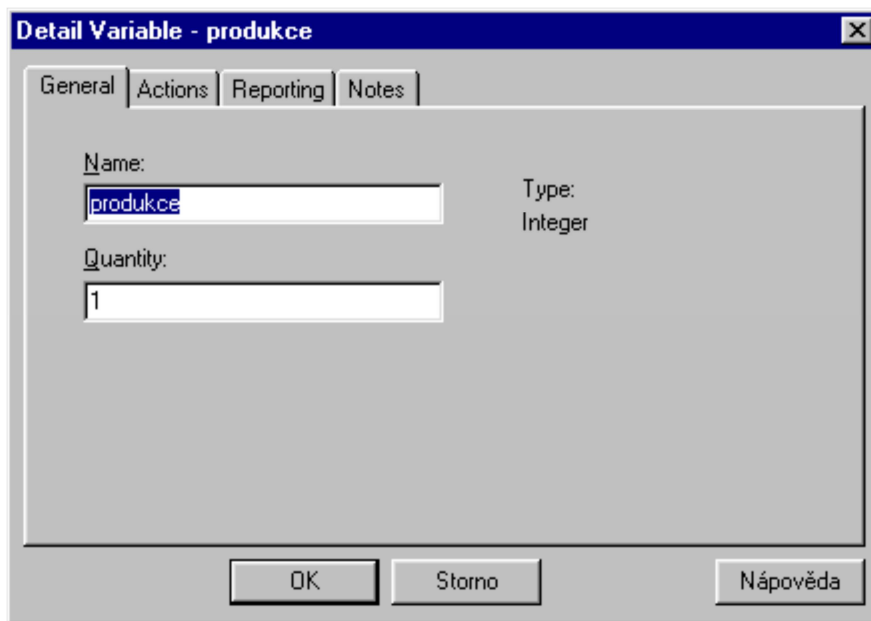
OK Storno Nápověda

*Obrázek 15: Nastavení základních parametrů entity Attribute*

Hlavní parametry jsou název, počet atributů stejného typu a typ atributu.

### 3.2.9 Variables

**VARIABLE**, proměnná – globální logický element použitelný v jakémkoli místě simulace nezávisle na stavu dílu. Zaznamenává kvantitativní údaje o elementech, počtech dílů mezi jednotlivými operacemi nebo času simulace.



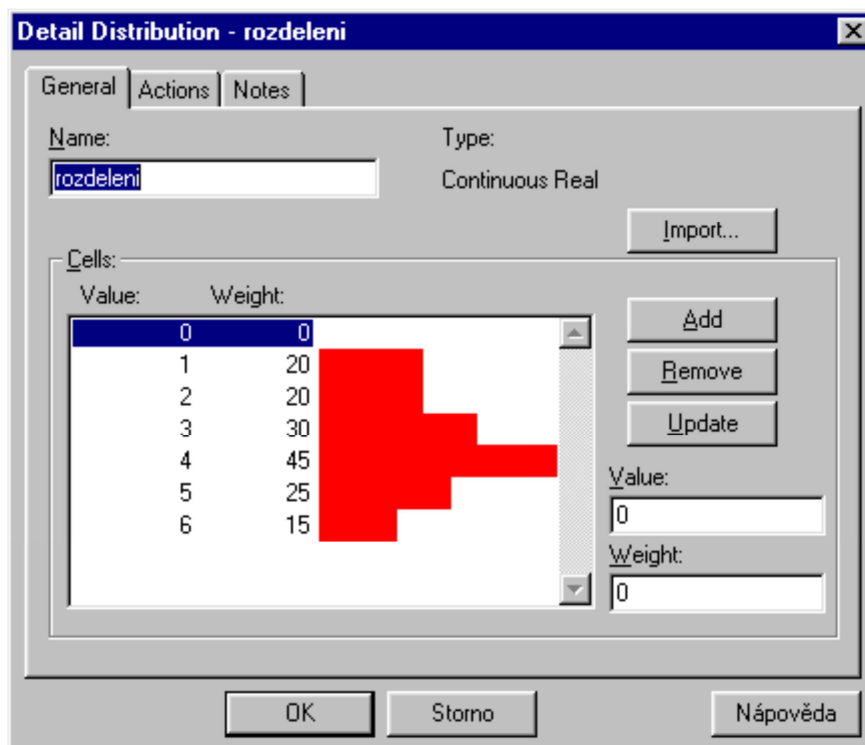
*Obrázek 16: Nastavení základních parametrů entity Variable*

Hlavní parametry jsou název, počet proměnných se stejným názvem, volba typu proměnné (integer, real, name, string)

### 3.2.10 Distributions

**DISTRIBUTION** – náhodná rozdělení, pomůcka pro použití náhodného výběru v simulaci. Pomocí rozdělení definujeme při simulaci např. pravděpodobnost výskytu přerušení práce stroje, náhodný příchod osob do čekárny, ...

Witness nabízí řadu předdefinovaných typů rozdělení (normální, lognormální, gamma, ...). V případě potřeby je možné nadefinovat své vlastní rozdělení.



Obrázek 17: Nastavení základních parametrů entity distribution

Hlavní parametry jsou název, volba typu rozdělení (spojité, diskrétní), typ dat (integer, real, name), definice rozdělení (přidání, odebrání, obnova stavu, definice aktuální hodnoty, definování váhy)

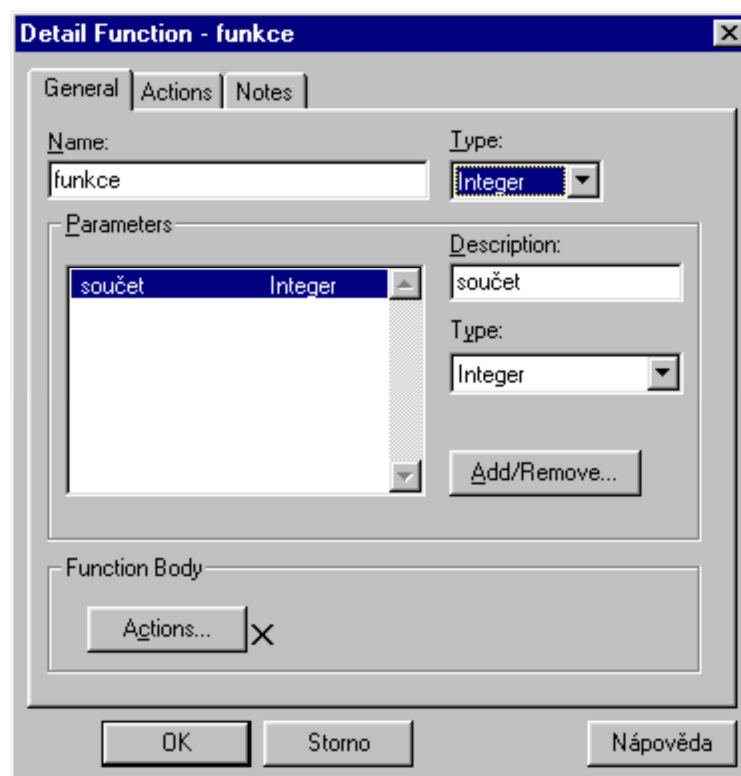
### 3.2.11 Function

Witness poskytuje množství předdefinovaných – **systémových funkcí**, které se používají při stavbě logicky správného modelu (např. určení aktuálního počtu dílů v zásobníku).

Předdefinované funkce zahrnují:

- ✓ **statistické a stavové funkce** (NPARTS, NSHIFT, ...),
- ✓ **aritmetické funkce** (ABS, SIN, ...),
- ✓ **jmenné funkce** (MEMBER),
- ✓ **funkce pro práci s řetězcí** (STR, TOLOWER, ...).

Kromě předdefinovaných funkcí lze ve Witnessu definovat i **funkce vlastní**. Funkce mohou vracet hodnoty typu celé, reálné číslo, jméno nebo řetěz znaků.



Obrázek 18: Nastavení základních parametrů funkce

Hlavní parametry jsou název, nastavení typu dat, parametry funkce a definování akcí, které budou vykonány při volání dané funkce.

### 3.2.12 Shift

**SHIFT** – směna, definuje časové rozložení simulovaného procesu (např.: ranní a odpolední směna, pracovní týden, měsíc, rok). Tyto časové jednotky se dají dále dělit na podjednotky – podsměny (**SUB SHIFT**) s vlastní specifikací.

#### TVORBA SMĚN

Směny je možné nadefinovat dvěma základními způsoby:

##### 1. hlavní směna sestavena z jednotlivých period.

Každá perioda se skládá ze tří částí : Working Time – čas práce,

Rest Time – čas odpočinku,

Overtime – přesčas.

Tvorba směny tímto způsobem je založena na postupném definování jednotlivých period ve stejném časovém sledu, v jakém směna probíhá v reálu. Nevýhoda této metodiky spočívá v definování velkého množství jednotlivých period v případě tvorby směn na delší časové období (měsíc, čtvrtletí, rok) s čímž je spojena špatná editovatelnost period z důvodu nepřehlednosti – orientace v periodách.

##### 2. hlavní směna sestavena z podsměn (SUB SHIFT).

Rozdíl postupu tvorby hlavní směny touto metodikou od předešlého způsobu spočívá v rozdělení simulovaného časového úseku na menší části, ze kterých jsou vytvořeny tzv. podsměny (podjednotky), ze kterých je následně složena hlavní směna.

**Detail Shift - ranni\_smena**

General | Actions | Reporting | Notes

Name:  ☐ Sub Shift

Initial Offset:

Working Time:

Rest Time:

Shift Periods:

1	Sub shift
1	Period
2	Period

Period Type:

☒ Period ☐ Sub Shift

Working Time:

Rest Time:

Overtime:

Sub Shift Name:

Totals:

Working Time: 0.00

Rest Time: 0.00

Overtime: 0.00

Duration: 0.00

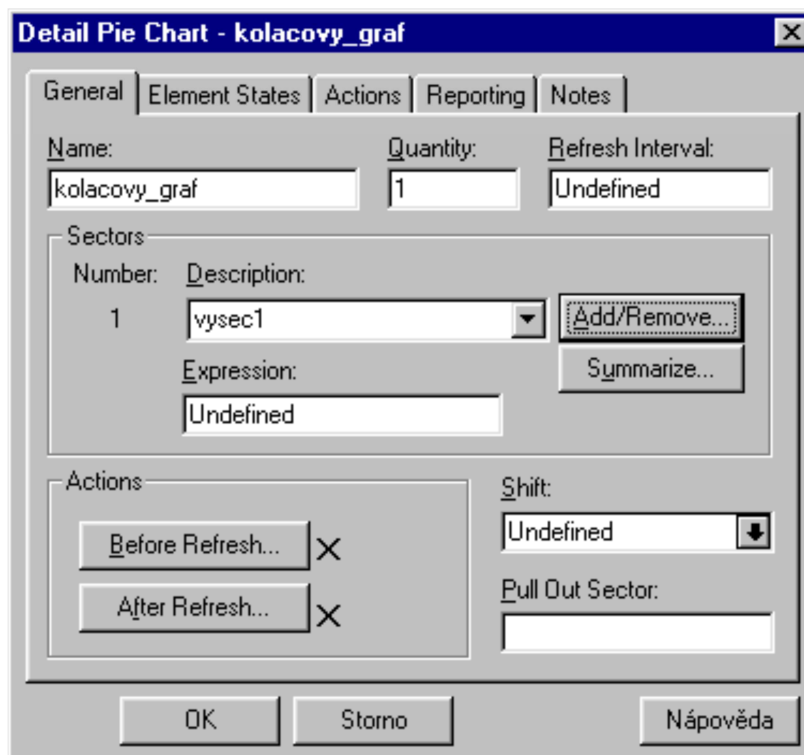
Actions:

Obrázek 19: Nastavení základních parametrů směny

Hlavní parametry jsou název směny, začátek a konec směny, volby podsměny (sub shift), pravidla a akce při začátku a po skončení směny.

### 3.2.13 Pie charts

**PIE CHARTS** – koláčové grafy, prezentují výsledky simulace na obrazovce v podobě standardních koláčových grafů. Kruhový diagram je překreslován v pevných časových intervalech. Tyto grafy jsou vhodné zejména pro vyjádření procentuálního poměru mezi jednotlivými stavy elementu (poměr mezi časy, kdy stroj pracuje a čeká na součásti).

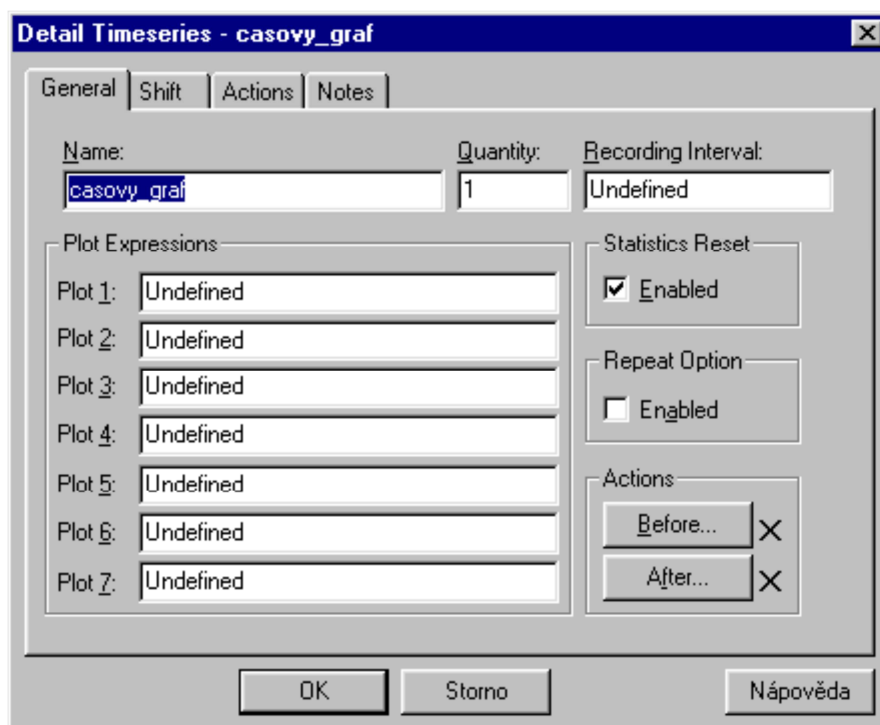


Obrázek 20: Nastavení základních parametrů koláčového grafu

Hlavní parametry jsou název, množství stejných grafů, interval obnovování grafů, definice sektorů, akce vykonané před a po obnovení grafu.

### 3.2.14 Timeseries

**TIME SERIES** – časová posloupnost (graf), zobrazuje vývoj proměnné, matematického výrazu v čase. Data jsou snímána s pevnou periodou a zobrazována v grafu. Jakmile je graf zaplněn, roluje se doleva tak, aby byla zobrazena vždy poslední data. Model může obsahovat libovolný počet grafů – časových posloupností. V jednom grafu je možné sledovat až sedm křivek najednou.

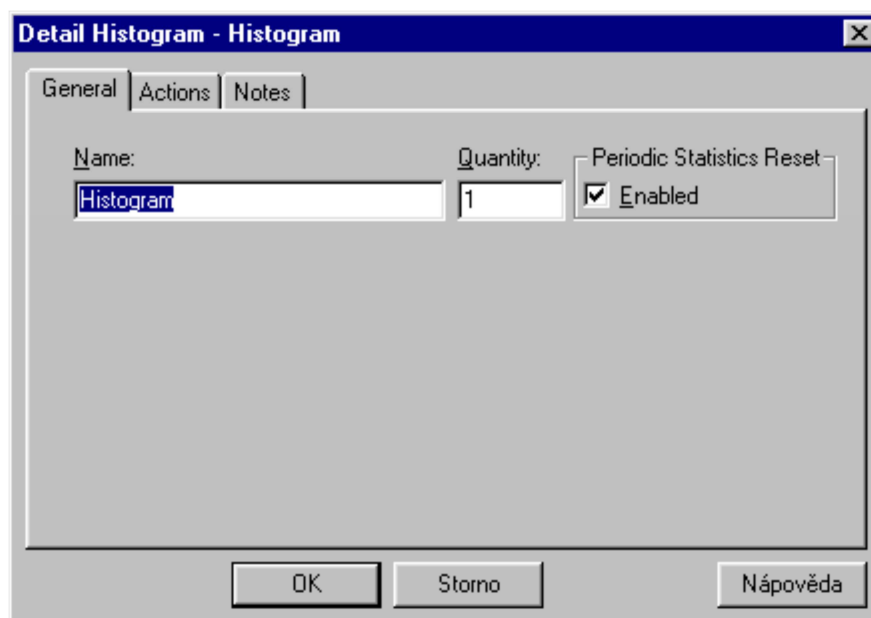


Obrázek 21: Nastavení základních parametrů časového grafu

Hlavní parametry jsou název, množství grafů stejného typu, interval obnovení grafu, akce vykonané před a po obnovením grafu, nastavení os X a Y (maximum, jednotka).

### 3.2.15 Histogram

Histogramy – zobrazují statistické rozložení sledované veličiny. Lze jej využít také jako sloupcový diagram např.: Ganttův diagram.



Obrázek 22: Nastavení základních parametrů histogramu

Hlavní parametry jsou název, množství stejných histogramů vymazání statistických údajů při každém spuštění simulace, nastavení os, zobrazení maximální a minimální hodnoty histogramu.

## 3.3 Akce

- Řídící akce
- Vstup a výstup textu
- Řízení vozidel a drah
- Další příkazy

## 3.4 Funkce

- Funkce pro konverze čísel a řetězců
- Matematické funkce
- Funkce pro práci s prvky typu entity

- Funkce pro práci s prvky typu queue
- Funkce pro práci s prvky typu activity
- Funkce pro práci s prvky typu conveyor
- Funkce pro práci s prvky typu track
- Funkce pro práci s prvky typu vehicle
- Funkce pro práci s prvky typu labor
- Funkce pro práci s proměnnými
- Funkce pro práci s grafy zobrazující časovou závislost
- Funkce pro práci s histogramem
- Funkce pro práci s koláčovým grafem
- Funkce pro práci se soubory
- Funkce pro práci se směnami
- Funkce pro práci s řetězcí

### 3.5 Vstupní a výstupní pravidla

	Vstupní pravidla			Výstupní pravidla				
	Stroj	Dopravník	Dráha	Součást	Stroj	Dopravník	Dráha	Vozidlo
WAIT	•	•	•	•	•	•	•	•
<a href="#">PULL</a>	•	•	•	•	•	•	•	•
<a href="#">LEAST</a>	•	•	•	•	•	•	•	•
<a href="#">MOST</a>	•	•	•	•	•	•	•	•
<a href="#">PERCENT</a>	•	•	•	•	•	•	•	•
<a href="#">SEQUENCE</a>	•	•	•	•	•	•	•	•
<a href="#">SELECT</a>	•	•	•	•	•	•	•	•
<a href="#">BUFFER</a>	•	•	•	×	•	×	×	×
<a href="#">MATCH</a>	•	×	×	×	×	×	×	×
<a href="#">DESTINATION</a>	×	×	×	×	×	×	•	×

Tabulka 1: Vstupní a výstupní pravidla

Legenda : • pravidlo lze použít  
 × pravidlo nelze použít

Legenda : • pravidlo lze použít  
 × pravidlo nelze použít

**WAIT**

**ČEKAT**

Součásti nebo tekutiny budou čekat, dokud nebudou vytaženy z nebo vytlačeny do jiného elementu.

**PUSH****TLAČIT**

Součásti nebo vozidla jsou odeslány do prvního dostupného elementu ze seznamu, který je schopen je přijmout.

**PUSH to m1, m2, m3**

**PUSH a to m1, b to m2**

**PULL****TÁHNOUT**

Součásti jsou odebrány z prvního dostupného elementu ze seznamu, který je schopen je poskytnout.

**PULL from m1, m2, m3**

**PULL a from m1, b from m2**

**LEAST****NEJMÉNĚ**

Součásti jsou odesílány do (přebírány z) elementu s nejnižším počtem součástí nebo volnou kapacitou.

**LEAST PARTS m1, m2**

**LEAST FREE m2 (1), m2 (2), m3(5)**

**MOST****NEJVÍCE**

Součásti jsou odesílány do (přebírány z) elementu s nejvyšším počtem součástí nebo volnou kapacitou.

**MOST FREE m1, m2**

**PERCENT**

Součásti nebo vozidla jsou odesílány do (přebírány) z několika elementů na základě procentuálního rozdělení pravděpodobnosti.

**PERCENT /3 m1 2.5, m2 97.5**

**SEQUENCE****POŘADÍ**

Součásti nebo vozidla jsou odesílány do (přebírány) z několika elementů cyklicky.

**SEQUENCE / WAIT m1 # (3), m2 # (5)** (3 kusy z prvku m1, 5 kusů z prvku m2)

**SEQUENCE / NEXT m2 # (3), m4 # (1)** (3 kusy z prvku m2, 1 kus z prvku m4)

**SELECT****VYBRAT**

Součásti nebo vozidla jsou odesílány do (přebírány) z několika elementů podle hodnoty celočíselné proměnné.

**SELECT on X m1, m2, m3**

Používá se pro vstup součástí patřících nějakým způsobem k sobě. Jako zdrojový element pro toto pravidlo nejde použít WORLD.

**MATCH****SHODA****MATCH/ANY**

Dovoluje vybrat jakoukoli součást.

**MATCH/ATTRIBUTE**

Dovoluje stroji vybrat součásti se stejnou hodnotou určitého atributu.

**MATCH/CONDITION**

Dovoluje stroji vybrat součásti, u nichž je splněna určitá, obvykle na hodnotě atributů založená podmínka.

**MATCH / ANY (a # 1 AND b # 2) OR c # 3 OR (x #2 AND y # 4)**

**MATCH / ATTRIBUTE colour Bodybuff # 1 and Doorbuff # 4**

**MATCH / CONDITION (AT2 = 5 AND AT3 = 1) buf1 # 1 and buf2 # 1 or buf3 #2**

**DESTINATION****MÍSTO URČENÍ**

Součásti jsou odesílány po jejich definované trajektorii.

**BUFFER**

Na vstup nebo výstup stroje přidá buffer o určité kapacitě.

**BUFFER (5)**

## IF

Součásti jsou odesílány do (přebírány z) elementu, pro který byla splněna určitá podmínka.

# JESTLIŽE

**IF NPARTS (m1) > 5**

**PUSH TO m2**

**ELSEIF NPARTS (m1) = 5**

**PUSH TO m3**

**ELSE**

**WAIT**

**ENDIF**

## **4 PŘÍKLADY SIMULAČNÍCH STUDIÍ**

### **4.1 Simulace obsluhy zmrzlinového stánku v Aquaparku v Dečíně**

Tuto práci vytvořila Ingrid Balounová z Českého vysokého učení technického v Praze na Fakultě dopravní. Jedná se o semestrální práci z předmětu Teorie hromadné obsluhy z roku 2009.

Balounová nejdříve rozebírá současnou situaci obsluhy zmrzlinového stánku a simuluje množství zákazníků čekající ve frontě a sleduje průměrnou dobu čekání ve frontě, pravděpodobnost, kdy bude ve frontě 10 a více zákazníků a výsledky budou sloužit k rozhodnutí, zda je obsluha v době špičky dostačující, nebo zda by měla být posílena.

Simulaci prováděla v program Matlab a Microsoft Excel.

Výsledkem je množství zákazníků čekajících ve frontě, kterých je 4,16, průměrná doba čekání ve frontě, která je 4,98 minuty a pravděpodobnost, že je ve frontě 10 a více zákazníků je 32,51%.

Dle jejího závěru doporučuje posílit nedělní směnu a snížit tím dobu čekání ve frontě. [10]

### **4.2 Modelování provozu na svážném pahrbku seřad'ovací stanice pomocí nespolehlivého systému hromadné obsluhy**

Tuto práci vytvořili Michal Dorda a Dušan Teichmann z VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy v roce 2010.

Nejdříve popisují, co jsou seřad'ovací stanice a jak fungují a v reálu vypadají.

Cílem článku je demonstrovat způsob modelování provozu na svážném pahrbku. Použili k tomu 2 způsoby nahlížení. První přístup spočívá v sestavě odpovídajícího matematického modelu a jeho řešení, druhým byla studie simulovaného problému s využitím programu Witness. Výsledky poté porovnali za účelem ověření vhodnosti použití programu Witness k simulaci a modelování řešené problematiky.

Jejich závěrečné stanovisko po provedení simulace a analytického výpočtu zní, že nebyly shledány podstatné rozdíly. Vznikly drobné odchylky, které lze vysvětlit nevýhodami počítačové simulace, jakou jsou např. pseudonáhodná čísla. [11]

### **4.3 Zavedení turniketů do pražského metra jako systém hromadné obsluhy**

Tuto práci vytvořil Lukáš Kulík z VŠE v Praze na fakultě informatiky a statistiky jako svou bakalářskou práci v roce 2010.

Kulík se zabývá analýzou systému hromadné obsluhy ve stanici I.P.Pavlova po zavedení turniketů.

Nejdříve nás zasvěcuje do problematiky systémů hromadné obsluhy a za cíl si dává zjistit, zda zavedení turniketů nezasáhne do plynulosti odbavení cestujících a aby délka front byla realizovatelná v rámci prostor vestibulu.

Simulaci prováděl v prostředí WinQSB, což je alternativa programu Witness. Simuloval provoz, kde je 2-5 turniketů a 1 nebo 2 eskalátory.

Jeho závěrem bylo zjištění, že nejvhodnější řešení je systém hromadné obsluhy sestavený z 2 až 3 turniketů a 2 eskalátorů. Analýza ukázala, že řešení s jedním eskalátorem je mnohem nevýhodnější, než alternativa s dvěma eskalátory. [12]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 ANALÝZA STÁVÁJÍCÍHO CHODU FIRMY, CÍLE SIMULACE

V této části mé práce popíšu detaily pracovních postupů a procesů, tak jak jsem je odsledoval při analyzování chodu firmy. Jsou zde popsány všechny činnosti firmy, které budu uvažovat při stavbě modelu.

Firma, jejíž chod jsem odsledoval, zanalyzoval a poté jsem navrhnul, zhotovil a odsimuloval model a navrhl slabá místa systému, se zabývá dodávkami výpočetní techniky na českém a slovenském trhu už 20 let. Za tu dobu proběhlo několik velkých změn, restrukturalizací a změna vize společnosti.

Její hlavní činností jsou nejen dodávky výpočetní techniky, ale také provádění instalace a servisních prací a budování vztahů se zákazníky. Jejími zákazníky jsou jak malé firmy a soukromé osoby, tak i firmy střední velikosti a korporátní a nadnárodní společnosti, ale také státní správa – úřady, soudy atd. Spektrum nabízených služeb je velmi široké a těžko se „střílí“ do sektorů služeb, které tato firma na trhu výpočetní techniky nenabízí a neposkytuje.

Pro zjednodušení jsem sledoval a analyzoval pouze jednu pobočku z desítek rozsetých po České a Slovenské republicky. Chod všech poboček je obdobný a tato pobočka bude působit jako vzorová pro tuto analýzu a následnou simulaci.

### 5.1 Cíle simulace

Cílem mé simulace je návrh, jak zefektivnit provoz pobočky a tudíž i celé společnosti. Cílem experimentálních pokusů je zjištění úzkých míst systému a možnosti zvýšení efektivnosti.

Nejdůležitější je vytvoření modelu, který co možná nejpřesněji kopíruje stávající chod pobočky. Ten bude obsahovat veškerá pracoviště, všechny pracovníky a procesy, které se ve firmě vyskytují a případy, které zde mohou nastat. Je tedy nutné nalézt způsob chodu, kdy vytížení pracovníků se bude blížit požadované hodnotě (60% u obchodníků a 75% u techniků) a přitom bude zachována pracovní doba (s co nejmenšími přesčasy) a budou probíhat všechny procesy a procedury, které probíhají ve stávajícím stavu. Toto procentuálně vyčíslené vytížení bylo nastaveno proto, že obchodník i technik potřebují režijní čas a musí zastávat funkce a provádět činnosti, které nejsou součástí modelu. Model

by byl poté o mnoho složitější a pro účely, které jsem navrhl, by byl příliš překombinovaný a nesrozumitelný.

Tohoto vytížení a dodržení pracovní doby lze dosáhnout přijmutím nebo propuštěním pracovní síly na pozici obchodníka, technika nebo asistentky, změněním pravomocí jednotlivých zaměstnanců, nebo změněním pracovní doby jednotlivých zaměstnanců, tak aby byla zachována délka pracovní doby a přitom byla pracovní doba přizpůsobena množství zakázek v jednotlivých denních dobách.

## 5.2 Analýza stávajícího chodu

Ve firmě aktuálně pracuje 7 zaměstnanců. 3 obchodníci, 3 technici a asistentka.

Do systému vstupuje 5 požadavků (PART). Jsou to telefonát, nákup, servisní požadavek a poptávka zákazníka přímo na obchodníka nebo technika.

Činnosti, které s firmou souvisí, se dají rozdělit na 4 sektory – činnosti, které probíhají přímo na pobočce, činnosti, které probíhají u zákazníků obchodníků a techniků a činnosti, které probíhají u dodavatelů.

Pracovní doba je nastavena od 8:30 do 17:00, přičemž od 12:00 do 13:00 je přestávka

### 5.2.1 Zaměstnanci

#### 5.2.1.1 Asistentka

Asistentka je „vstupní branou“ ve firmě. Přepojuje telefonáty na obchodníky a techniky, přesměrovává příchozí zákazníky, kteří mají poptávku na nákup výpočetní techniky přímo k obchodníkům, a také zákazníky, kteří mají požadavek na servis přímo k technikům. Dále může přejímat zboží přijaté od dodavatele a jako jediná má pravomoc zboží vydávat.

#### 5.2.1.2 Obchodník

Obchodník přijímá telefony, které na něj přepojí asistentka, zpracovává objednávky, objednává u dodavatele, přijímá poptávky od svých zákazníků, jezdí k zákazníkům na schůzky, od nich si nosí objednávky, které poté na pobočce zpracovává. Může přejímat

zboží a může brát telefony kolegů obchodníků, pokud jsou zaneprázdněni a on ne. Přijímá příchozí zákazníky, jejichž poptávky zpracovává.

### **5.2.1.3 Technik**

Technik má podobné funkce jako obchodník. Přijímá telefonáty přepojené asistentkou, přijímá poptávky od svých zákazníků, jezdí k nim na servisní kontroly a zásahy a přijímá servisní požadavky příchozích zákazníků, které řeší přímo na pobočce. Může přejímat zboží a může brát telefony kolegů techniků, pokud jsou zaneprázdněni a on ne.

## **5.2.2 Požadavky**

### **5.2.2.1 Telefonát**

Telefonát je nejčastější vstupní požadavek. Vstupuje přes ústřednu na telefon, který obsluhuje asistentka a poté přepojuje dál na obchodníky nebo techniky. Telefonát může být čistě informační, ze kterého nevznikne objednávka, ale může vzniknout poptávka, kterou obchodník řeší na pobočce a může z něj být vygenerována objednávka. Obchodník jej řeší na pobočce. Požadavek telefonátu přichází podle profilu vstupních požadavků, který byl po odpozorování a odměření navrhnout a který je uveden v další části této studie. Délka telefonátu je určena rozdělením, který je popsán v další kapitole diplomové práce.

### **5.2.2.2 Nákup**

Nákup je další vstupní požadavek. V praxi to znamená, že zákazník fyzicky přijde na pobočku, kde s obchodníkem řeší doporučení, parametry a cenu poptávaného zboží, které chce zakoupit. Obchodník jej řeší na pobočce. Z poptávky může být vygenerována objednávka. Nákup stejně jako telefonát přichází do systému podle profilu vstupních požadavků a délka zpracování nákupu je také dána speciálním rozdělením.

### **5.2.2.3 Servisní požadavek**

Poslední vstupní požadavek, který jde přes asistentku je servisní požadavek. Asistentka posílá zákazníka se servisním požadavkem technikovi. Jedná se o příchozího zákazníka,

který jde na pobočku s cílem reklamovat zboží, opravit zboží, objednat náhradní díly, nebo jen pro radu. Proto může být vygenerována objednávka, nebo může jít o servis na pobočce.

Délka zpracování servisního požadavku je dána mnou navrženým rozdělením a příchod servisního požadavku je dán profilem vstupních požadavků, který bude dále uveden.

#### **5.2.2.4 Poptávka na obchodníka**

Poptávka na obchodníka je jeden ze dvou vstupních požadavků, které jsou mimo asistentku a přichází buď telefonem, nebo emailem přímo na obchodníka. Obchodník pokaždé při tomto požadavku jede za zákazníkem, kde řeší, co zákazník potřebuje. Pokud obchodník vyhodnotí, že z návštěvy může vzniknout objednávka, bere si požadavek na pobočku, kde jej dál řeší. Tam může usoudit, že objednávka není výhodná, nebo že nedokáže zákazníkovi poskytnout přesné zboží nebo zboží za cenu, kterou vyžaduje zákazník a tím pádem objednávka nevzniká. Jestliže obchodník u zákazníka vyhodnotí, že jde jen o konzultaci, tak objednávka také nevzniká.

Každý obchodník jezdí výhradně ke svým zákazníkům.

#### **5.2.2.5 Poptávka na technika**

Poptávka na technika je požadavek, který vstupuje do systému mimo asistentku. Má podobné pravidla a vlastnosti jako poptávka na obchodníka. Přichází telefonem nebo emailem přímo na technika a technik vyráží za zákazníkem. Zde provede zásah, nebo si vezme vadnou součást a opraví ji na pobočce, popřípadě objedná náhradní díl. V případě objednávky náhradního dílu vzniká objednávka. V případě opravy na pobočce je opravená součást odeslána zpět zákazníkovi.

Každý technik jezdí výhradně ke svým zákazníkům.

### **5.2.3 Činnosti a procesy ve firmě**

Tyto činnosti jsou složitě a důmyslně provázané a pro větší přehled a snadnější pochopení chodu pobočky problematiky řízení těchto procesů, je popisují každý zvlášť

### **5.2.3.1 Telefon**

Tuto činnost zastává asistentka. Při příchozím telefonátu asistentka zvedne telefon a dle procentuálního rozdělení, které jsem ve firmě odsledoval, jej přepojí přímo na daného technika nebo obchodníka. Délka vyřízení přepojení je též dána specifickým rozdělením, které se co nejvěrněji přibližuje reálnému provozu. Telefon obsluhuje pouze asistentka.

### **5.2.3.2 Příchod zákazníka s požadavkem na nákup**

Tento požadavek vyřizuje asistentka. Spočívá v tom, že pokud přijde na pobočku zákazník, který má zájem něco nakoupit, tak asistentka analyzuje požadavek a podle specializace jednotlivých obchodníků přesměruje zákazníka přímo k danému obchodníkovi. Délka této analýzy je dána rozdělením, které kopíruje reálný provoz.

### **5.2.3.3 Příchod zákazníka s požadavkem na servis**

Tento požadavek je téměř totožný jako požadavek na nákup. Také jej vyřizuje asistentka. Jediný rozdíl je v tom, že asistentka zákazníka, který veze nějaký stroj na opravu, přesměruje na pracoviště jednotlivých techniků podle jejich specializace. Délka zjištění požadavků zákazníka je dána rozdělením, které jsem po odsledování navrhl.

### **5.2.3.4 Pracoviště obchodníků**

Obchodníci na svých pracovištích vyřizují emaily, provádí objednávky, vkládají údaje do systému, a plánují svůj harmonogram. Asistentka posílá obchodníkům na jejich pracoviště zákazníky, se kterými obchodníci konzultují podrobnosti nabídky, doporučují nejlepší varianty řešení pro zákazníka a z těchto návštěv může vzniknout objednávka. Vyřizují zde poptávky zákazníků, které přišly telefonicky přes ústřednu. Tyto telefonáty jdou z ústředny přes asistentku přímo na telefon k jednotlivým obchodníkům, kteří z nich poté mohou tvořit objednávky, pokud usoudí, že se o objednávku skutečně jedná a nejde pouze o konzultaci, nebo produktový dotaz.

Délka návštěvy zákazníka i délka vyřízení objednávky z telefonátu podle mé analýzy a bylo pro ně vytvořeno specifické rozdělení, které se přibližuje reálnému chodu těchto procesů a pracovních postupů.

Každý obchodník má své pracoviště a pracuje výhradně na něm.

#### **5.2.3.5 Pracoviště techniků**

Technici na svých pracovištích vyřizují servisní požadavky, což jsou hlavně opravy různých zařízení, které spadají do oblasti výpočetní techniky. Mimo jiné také vzdáleně spravují servery a důležité síťové komponenty svých zákazníků. Toto má velkou výhodu, protože technik přímo na svém pracovišti analyzuje, zda je u zákazníků vše v pořádku. A tím způsobem šetří svůj čas a náklady společnosti. Podobně jako obchodníci přijímají telefonáty, které jsou na ně přepojeny asistentkou, které mohou vést k objednávce, nebo může jít pouze o konzultaci technických problémů. Přijímají servisní požadavky, které k nim, podle jejich specializace, posílá asistentka. Tyto požadavky vyřeší buď na svém pracovišti a poté je posílají přímo na výdej zboží, odkud jsou k zákazníkovi,

Stejně jako u obchodníků jsem pro délku vyřízení servisního zásahu na pobočce a délku vyřízení případné objednávky vzniklé z telefonátu určil rozdělení, které přibližuje simulaci reálným hodnotám.

Každý technik má své pracoviště a pracuje výhradně na něm.

#### **5.2.3.6 Telefony techniků a obchodníků**

Na tyto telefony chodí telefonáty přepojené od asistentky. Technici a obchodníci je přijímají a v případě, že není některý obchodník dostupný, jiný obchodník má právo vyřídit jeho telefonát. Obdobně to funguje i u techniků. Obchodníci a technici si po vyřízení a vyhodnocení telefonátu mohou „přenést“ telefonický požadavek na své pracoviště, kde ho potom dále zpracovávají. Existuje i případ, kdy z čistě telefonického požadavku vzniká poptávka zákazníka a obchodník přímo vytváří objednávku a odesílá do systému zpracování objednávek.

#### **5.2.3.7 Zákazníci obchodníků**

Obchodníci jezdí ke svým zákazníkům na obchodní schůzky. Jakmile má stávající zákazník nějaký požadavek na svého obchodníka, tak pomocí emailu, nebo telefonátu

přímo na obchodníka (tento proces nejde přes ústřednu a asistentku), ho kontaktuje. Obchodník přijede za zákazníkem a řeší spolu to, co zákazníka trápí. Tato návštěva může být čistě konzultační. V případě, že ze schůzky vyplynou nějaké závěry směřující k uzavření obchodu, obchodník si „přenes“ na své pracoviště požadavek, který následně analyzuje a v případě, že v něm vidí potenciál, může vytvořit objednávku.

Délka návštěvy je určena rozdělením, které se blíží reálnému systému.

Každý obchodník jezdí výhradně ke svým zákazníkům.

#### **5.2.3.8 Zákazníci techniků**

Technici mají zpravidla zákazníky stejné jako obchodníci, ale neřeší s nimi obchodní záležitosti, nýbrž technické věci. Zavolání technika probíhá stejně jako u obchodníka, tedy emailem nebo telefonátem přímo na technika, takže se tento proces vyhýbá asistentce. Jakmile technik u zákazníka zjistí, co ho trápí a v čem je problém, může vykonat servisní zásah přímo u zákazníka, nebo si odvézt poškozený komponent na pobočku, kde analyzuje důvod poruchy a buď dojde k okamžité opravě a zaslání opraveného zboží zpět k zákazníkovi, nebo dojde k objednání náhradního dílu. Servisní zásah u zákazníka trvá zpravidla déle, než obchodní schůzka a proto bývají technici více vytížení než obchodníci. Tato délka servisního zásahu je dána rozdělením přímo na míru jednotlivým skupinám zákazníků. Odsledoval jsem, že některý technik řeší složité problémy, jako je třeba instalace a konfigurace síťových prvků, což je časově velmi náročné, a jiný zase jede k zákazníkovi, který není technicky zdatný a potřebuje ke své práci výpočetní techniku a tento zásah bývá rychlý a jednoduchý.

Každý technik jezdí výhradně ke své skupině zákazníků.

#### **5.2.3.9 Systém zpracování objednávek**

Do systému zpracování objednávek vstupují veškeré objednávky od všech obchodníků a techniků. Ve skutečnosti je to vnitřní informačně – účetní systém, do kterého se vkládají veškeré údaje o zákazníkovi, o výstupech ze schůzek, objednávky a je zde přehled o všech činnostech, kampaních a projektech, které se zákazníkem souvisejí. Tyto údaje jsou sdíleny mezi všemi zaměstnanci a tím jsou snadno dostupné. Z tohoto systému lze „vytáhnout“ i

marže obchodníků, které mohou být směrodatné při tvorbě mzdy. Z tohoto systému jsou objednávky přeposílány dodavatelům pod referenčním číslem a díky tomu lze dohledat v systému kdo a pro jakou společnost daný produkt objednal.

#### **5.2.3.10 Dodavatelé**

Firma má 5 hlavních dodavatelů. Ti přijímají objednávky ze systému zpracování objednávek. Dodavatelé mají z velké části požadované zboží na skladě, což následně v simulaci uvažují. Jsou schopni okamžitě objednané zboží zaslat přepravní službou. Všichni dodavatelé používají jednu přepravní službu, která může na pobočku přivést zboží i několikrát denně. Na pobočce se zboží dostane do příjmového prostoru, kde pokračují procedury s přijatým zbožím. Jelikož se tento proces dodavatelství odehrává mimo pobočku, není k němu potřeba žádného pracovníka z firmy, u které provádím simulační studii.

#### **5.2.3.11 Třídírna**

Třídírna je prostor, kam se dostane dodané zboží z příjmového prostoru. V třídírně se zboží rozdělí, zavede do systému, kde se spárují objednávky s dodaným zbožím a to se nachystá na výdej.

Třídírnu může obsluhovat jakýkoliv zaměstnanec, který není momentálně zaneprázdněn.

#### **5.2.3.12 Výdej**

Tuto činnost může zastávat pouze asistentka. Nejedná se o složitou činnost, ale o velkou zodpovědnost. Přijímá se zde zboží z třídírny a také opravené komponenty od servisních techniků. Zboží se v systému označí jako odeslané a poté se odešle zákazníkům.

Tím končí proces pohybu poptávek, objednávek, opraveného zboží, obchodních schůzek a servisních zásahů.

## 6 SIMULACE V PROSTŘEDÍ WITNESS

V této části mé práce je popsáno, jak jsem postupoval při sestavování modelu, jsou zde popsány všechny stěžejní vlastnosti a součásti modelu. Všechny údaje podle mé analýzy a základní model s vysokou přesností kopíruje reálný chod firmy a vystihuje důležité detaily, které jsem odsledoval při důkladné analýze chodu firmy. Pracovníci jsou popsáni v minulé kapitole a jejich simulace je primitivní, tudíž se zde o nich nezmiňuji, jelikož jejich činnosti a práva jsou již známy.

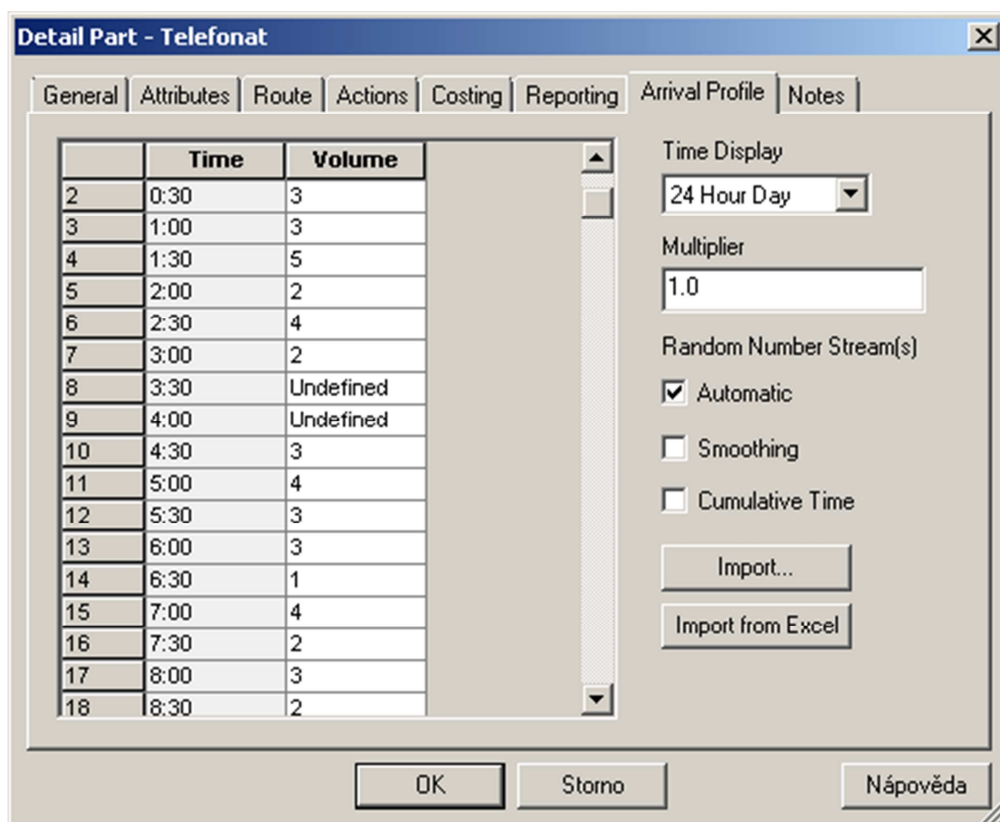
### 6.1 Požadavky (PARTS)

Požadavky (PARTS) jsou součásti, které „putují“ systémem. V mé simulaci se vyskytuje 5 druhů požadavků, které jsou slovně popsány v předchozí části této práce. Jedná se o Telefonát, Nákup, Servisní požadavek, Požadavek na obchodníka a požadavek na technika.

Telefonát, Nákup a Servisní požadavek vstupují do systému podle profilu vstupních požadavků. Zde je přesně dáno, kolik požadavků a kdy do systému vstoupí. Výhodou této metody vstupu je velmi přesné přiblížení reality. Např. v obrázku č.23, který znázorňuje profil vstupních požadavků, lze vysledovat, že od 1:30 do 2:00 vstoupí do systému 5 požadavků.

Profil vstupních požadavků je kalibrován na půlhodiny, což je v mém případě naprosto dostačující. Já, jelikož mám počátek simulace nastavený na 8:30, nechávám vstupovat požadavky do systému již od času 0:00, což v reálu odpovídá 8:30, kdy začíná pracovní doba. V době od 3:30 do 4:30 (12:00-13:00) do systému žádný požadavek nevstupuje, protože touto dobou mají zaměstnanci polední pauzu a na pobočce nikdo není.

Důležité pravidlo je, že pokud se v zásobníku (ústředna) nachází více než 3 požadavky (telefonáty), tak se u 50% nových požadavků rozhoduje, zda „vydrží“ na telefonu, nebo zda zavěsí. 50% nedočkavých zavěsí. Toto je také kritérium při rozhodování, který experiment je nejlepší.



Obrázek 23: Profil vstupních požadavků - Telefonát

Obdobně jsou nastaveny profily vstupních požadavků i u Nákupu a Servisním požadavku, které jsou uvedeny v příloze P I.

Požadavek na technika a požadavek na obchodníka nejsou dány profilem vstupních požadavků, ale jsou dány rozdělením, které připouští určitou míru náhody, která ale existuje i v reálu. Např. poptávka na obchodníka je dána rovnoměrným rozdělením UNIFORM (15, 60, 58), které je zobrazeno na obrázku č. 24. Tzn., že poptávka na obchodníka vstupuje každých 15 až 60 minut. Číslo 58 označuje sadu náhodných čísel, která dodává rozdělení určitou míru náhody.

Můžeme si všimnout, že je zde, oproti Obrázek 23 uvedena i směna. Tou se budu zabývat v další kapitole mé studie.

Požadavky vstupující do systému podléhají určitým pravidlům. Např. požadavek na obchodníka podstupuje pravidlu, že u 100% vstupních požadavků se rozhoduje, kam v systému budou dál směřovat. 45% požadavků tvoří požadavky na obchodníka Jamese

(jména jsou náhodně vybrána, jelikož jsem nedostal souhlas od firmy, abych zveřejnil skutečná jména), 35% jsou požadavky na obchodníka Tonyho a 20% požadavků směřuje na obchodníka Ricka.

Podobně jsou vytvořeny vstupní podmínky i pro požadavek na technika, které jsou uvedeny v příloze P II.

The image shows two overlapping windows from a simulation software. The top window, titled 'Detail Part - Poptavky\_zakazniku', has tabs for General, Attributes, Route, Actions, Costing, Reporting, and Notes. The 'General' tab is active, showing fields for Name (Poptavky\_zakazniku), Arrivals (Type: Active, Maximum Arrivals: Unlimited, First Arrival At: 0.0, Shift: Smena), Input to Model (Inter Arrival Time: UNIFORM (15,60,58), Lot Size: 1), and Exit From Model. The bottom window, titled 'Edit OUTPUT RULE FOR PART Poptavky\_zakazniku', has a menu bar with Select, Search, Editor, and Print. It displays a rule: PERCENT /100 Zasobnik\_zakazek\_James 45.00 Zasobnik\_zakazek\_Tony 35.00 Zasobnik\_zakazek\_Rick 20.00.

Obrázek 24: Detail vstupního požadavku i se vstupním pravidlem – Požadavek na obchodníka

## 6.2 Směna (SHIFT)

Směna určuje délku pracovní doby. Každá entita (požadavek, pracovník, stroj) může pracovat pouze podle jedné směny. Směna je rozdělena na dobu, kdy entita je v provozu, tzn. pracovník pracuje, stroj vyrábí, požadavek vstupuje do systému.

Vytvořil jsem 3 směny:

### 6.2.1 Směna

Tato směna je základní a vyskytuje se ve vstupních požadavcích požadavek na obchodníka a požadavek na technika Tím je zajištěn vstup těchto požadavků do systému. Směna trvá od 8:30 do 17:00 s přestávkou 12:00 – 13:00. Když je směna ve statusu „On“, tak do systému vstupují požadavky, dle rozdělení, které je uvedeno v kapitole 6.1 a příloze P II.

Na Obrázek 25 vidíme, že dle směny se nejprve 210 minut pracuje, poté je 60 minut odpočinek (polední pauza), dalších 240 minut se pracuje a 930 je odpočinek (od 17:00 do 8:30 dalšího dne).

**Detail Shift - Smena**

General | Actions | Reporting | Notes

Name:  ☐ Sub Shift

Initial Offset  
 Working Time:  Rest Time:

	Period Type	Working Time	Rest Time	Overtime	Sub Shift Name	Total
1	Period	210.0	60.0	0.0		270
2	Period	240.0	930.0	0.0		1170
Total		450	990	0		1440

Actions

OK Storno Nápověda

Obrázek 25: Podrobnosti entity SHIFT - Smena

### 6.2.2 Polední pauza

Podle této směny pracují všichni zaměstnanci, jediná výjimka se vyskytuje u experimentu 5 a 6, které jsou popsány níže. Tato směna trvá nepřetržitě 24 hodin, kromě přestávky 12:00 – 13:00. Takto je to navrženo z důvodu, že zaměstnanci neodcházejí z práce dřív, dokud nejsou všechny požadavky vyřízeny. V reálu to ovšem znamená, že směna začíná v 8:30 a končí mezi 17. a 19. hodinou podle množství požadavků. Požadavky totiž přestanou vstupovat do systému úderem 17. hodiny a zpravidla bývají vyřízeny ještě též den.

### 6.2.3 Odpolední

Tato směna se vyskytuje pouze u brigádníků v 5. a 6. experimentu. Tato směna je navrhována podobně jako směna “Polední pauza“, trvá nepřetržitě 24 hodin, kromě přestávky 8:30 – 13:00. V reálu to tedy znamená, že zaměstnanec pracuje od 13:00 do té doby, dokud nejsou všechny požadavky vyřešeny.

## 6.3 ACTIVITY (činnost, stroj)

Činnosti a procesy, které se ve firmě odehrávají, jsem modeloval pomocí strojů. U strojů lze nastavit hodně parametrů a specifických hodnot a vlastností, jak uvádím v teoretické části této práce, v kapitole 3.2.3. Zde, v praktické části, popisují hlavní a stěžejní aktivity a činnosti.

Všechny stroje jsou typu single a nepodléhají žádné směně. To znamená, že pracují, když mají co zpracovávat a to je pouze v pracovní době, případně přesčas. Pouze třídní pracuje v pracovní době směny Směna. To je z toho důvodu, že v třídně se mohou hromadit zakázky, ale jsou roztrženy a poté vydány pouze do 17:00, protože pak je pobočka zavřená a žádný zákazník už nemůže přijít.

### 6.3.1 Telefon

Pomocí telefonu asistentka přepojuje všechny příchozí telefonáty. Je zde nastaveno rozdělení UNIFORM(1, 4, 98), což je rovnoměrné rozdělení, kde doba vyřízení

požadavku Telefonát je 1 až 4 minuty. Hodnota 98 označuje sadu náhodných čísel. Ve výstupních pravidlech je procentuální rozdělení přepojovaných telefonů.

Detail Machine - Telefon

General Setup Breakdowns Fluid Rules Shift Actions Costing Reporting Notes

Name: Telefon Quantity: 1 Priority: Lowest Type: Single

Input  
Quantity: 1  
From...  
Pull  
Actions on Input... X

Duration  
Cycle Time: UNIFORM (1,4.98)  
Labor Rule... ✓  
Actions on Start... X Actions on Finish... X

Output  
Quantity: 1  
To...  
Percent  
Actions on Output... X  
Output From: Front

Edit OUTPUT RULE FOR MACHINE Telefon

Select Search Editor Print

PERCENT /100 Telefon\_James 26.73 ,Telefon\_Tony 26.73 ,Telefon\_Rick 11.79 ,Telefon\_Karl 26.73 ,Telefon\_William 4.01 ,Telefon\_Joey 4.01

Obrázek 26: Detail pravidel stroje Telefon

### 6.3.2 Recepce a Čekárna\_servis

Obdobně jako telefon je modelována recepce a čekárna\_servis. Detail pravidel těchto strojů je zobrazen v příloze P III.

### 6.3.3 Telefony obchodníků a techniků

Tyto stroje mají na vstupu telefonát přepojený asistentkou a na výstupu podle výstupního procentuálního rozdělení je telefonát vyřešen buď tak, že si ho obchodník „přenes“ na své pracoviště, nebo z něj hned vzejde objednávka, která míří do systému zpracování objednávek, nebo šlo jen o konzultační telefonát a požadavek je tímto vyřešen.

	James	Tony	Rick
na pracoviště	40	40	50
objednávka	10	30	5
vyřešeno	50	30	45

Tabulka 2: Výstupní procentuální rozdělení – telefony obchodníků

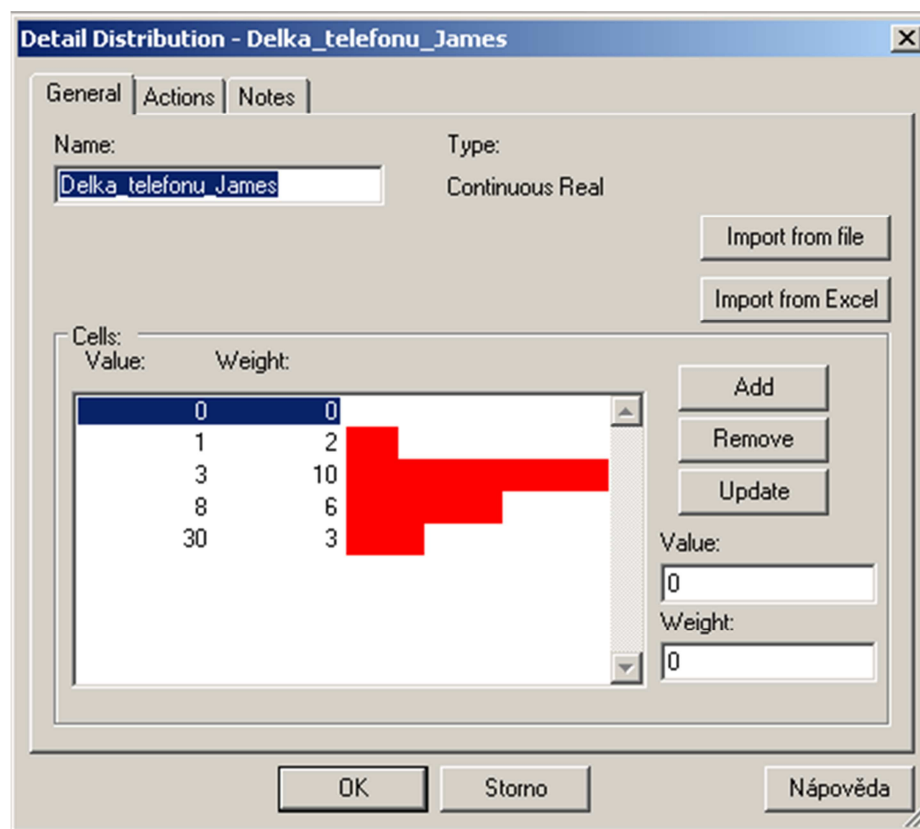
	Karl	William	Joey
na pracoviště	29	25	35
objednávka	7	19	12
vyřešeno	64	56	53

Tabulka 3: Výstupní procentuální rozdělení – telefony techniků

U těchto strojů bylo nejdůležitější vymyslet správné rozdělení, které bude určovat délku vyřízení telefonátu. Toto rozdělení jsem přehledně popsal v Tabulce 4. Jedná se o poměr vah v rámci obchodníka. Všimněme si, že např. obchodník Rick má 4x více desetiminutových telefonátů než třicetiminutových.

James		Tony		Rick		Technici	
délka hovoru v minutách	váha	délka hovoru v minutách	váha	délka hovoru v minutách	váha	délka hovoru v minutách	váha
1	2	-	-	1	10	-	-
3	10	3	5	3	20	5	30
8	6	10	5	10	4	10	10
30	3	30	3	30	1	30	1

Tabulka 4: Rozdělení určující délku telefonátů



Obrázek 27: Tvorba vlastního rozdělení

#### 6.3.4 Pracoviště obchodníků a techniků

Do těchto strojů vstupují „přenesené“ požadavky z telefonu obchodníků nebo techniků. Vstupují také požadavky zákazníků, které si sem ke zpracování poslali obchodníci a technici ze schůzky nebo zásahu. U obchodníků vstupují také požadavky na nákup, které přeposílá asistentka ze stroje Recepce. U techniků vstupují také požadavky na servis.

James		Tony		Rick	
délka procesu v minutách	váha	délka procesu v minutách	váha	délka procesu v minutách	váha
5	7	5	1	5	7
10	9	10	7	10	8
30	6	30	4	30	6
60	2	60	2	60	2

Tabulka 5: Rozdělení určující délku procesu na pracovišti obchodníků

Karl		William		Joey	
délka procesu v minutách	váha	délka procesu v minutách	váha	délka procesu v minutách	váha
15	1	15	8	15	60
30	4	30	6	30	40
60	2	60	4	60	20
120	1	120	1	120	1

*Tabulka 6: Rozdělení určující délku procesu na pracovišti techniků*

Požadavky z tohoto stroje mohou vystupovat do systému zpracování objednávek. U techniků se může jednat o opravený výrobek a jde přímo na výdej a odtud směrem k zákazníkovi.

Procentuální rozdělení těchto případů ukazuje Tabulka 7 a 8.

	James	Tony	Rick
objednávka	60	70	50
vyřešeno	40	30	50

*Tabulka 7: Výstupní procentuální rozdělení –*

*pracoviště obchodníci*

	Karl	William	Joey
na výdej	19	23	56
objednávka	46	36	22
vyřešeno	35	41	26

*Tabulka 8: Výstupní procentuální rozdělení –*

*pracoviště technici*

### 6.3.5 Zákazníci obchodníků a techniků

Do těchto strojů vstupují požadavky na obchodníka a požadavky na technika. Docela důležitý parametr těchto strojů je doba schůzky (u techniků doba zásahu). Tato doba je dána rozdělením v tabulkách 9 a 10.

James		Tony		Rick	
délka schůzky v minutách	váha	délka schůzky v minutách	váha	délka schůzky v minutách	váha
15	3	15	3	15	6
30	4	20	4	30	3
60	1	30	5	60	3
		60	2	120	4

*Tabulka 9: Rozdělení určující délku schůzky u zákazníků obchodníků*

Karl		William		Joey	
délka zásahu v minutách	váha	délka zásahu v minutách	váha	délka zásahu v minutách	váha
15	10	30	3	30	3
30	20	60	6	60	5
60	20	90	3	120	8
90	5	120	1	150	3
150	10			210	1
180	15				
210	3				

*Tabulka 10: Rozdělení určující délku zásahu u zákazníků techniků*

Z těchto strojů vystupují požadavky, které si obchodník nebo technik bere ke zpracování na své pracoviště. Technik může závadu opravit přímo u zákazníka a obchodník může jít jen na konzultaci, takže ne všechny schůzky končí dořešením na pracovišti a následným vytvořením objednávky. Procentuální rozdělení viz Tabulka 10.

	James	Tony	Rick	Karl	William	Joey
k vyřízení na pracovišti	60	30	25	20	25	40
vyřešeno	40	70	75	80	75	60

*Tabulka 11: Výstupní procentuální rozdělení zákazníci obchodníků a techniků*

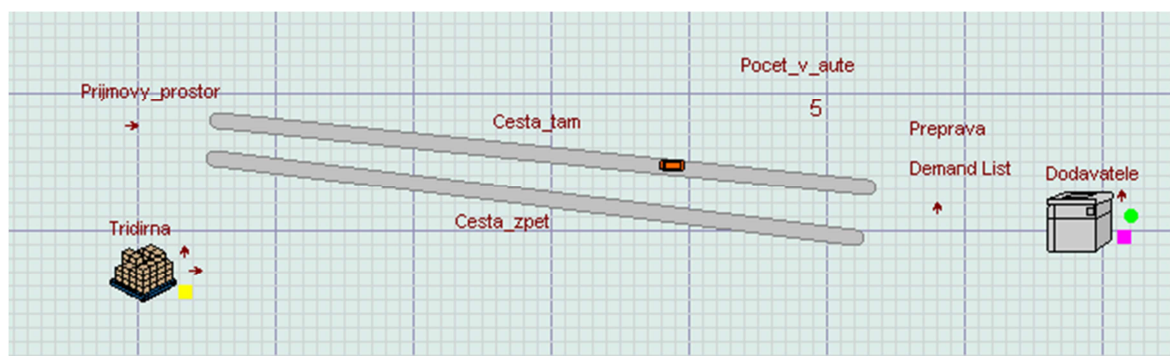
### 6.3.6 Systém zpracování objednávek

Tento stroj pracuje velmi jednoduše. Je pouhou přechodovou branou mezi firmou a dodavateli ve vnějším světě. Vstupují do něj objednávky, které se v něm sčítají a následně vystupují k dodavateli.

### 6.3.7 Dodavatelé

Všichni dodavatelé jsou pro zjednodušení nahrazeni jedním strojem. Pro chod firmy není nutné složitě simulovat chod dodavatelů. Od dodavatelů se zboží vždy po pěti „kusech“ přepravuje pomocí vozíku a trati přes příjmový prostor do třídičky, a to už se nachází opět ve firmě.

Po pěti kusech se posílá proto, že firma má 5 hlavních dodavatelů a od každého dodavatele vždy přijde nějaký balík, může to být i pouhý leták.



Obrázek 28: Schéma přepřavy zboží od dodavatelů

### 6.3.8 Třídírna

Třídírna je opět jednoduchý stroj, kde pouze vchází a vychází dodané zboží, ale je nutné ho uvažovat hlavně z důvodu, že musí být obsloužen zaměstnancem. Délka rozřídění balíků od jednoho dodavatele je dána rozdělením UNIFORM (2,4,67). Jedná se opět o rovnoměrné rozdělení, kde doba rozřídění je mezi 2 a 4 minutami. Tento stroj obsluhuje kterýkoliv zaměstnanec.

### 6.3.9 Výdej

Výdej je poslední stroj, kterým prochází roztríděné zboží. Na vstupu je opravené výrobky od techniků, nebo roztríděné zboží. Tento stroj obsluhuje pouze asistentka. Na výstupu je zboží, které jde k zákazníkům, a tímto je simulace považována za ukončenou.

## 7 VÝSLEDKY SIMULACE STÁVAJÍCÍ SITUACE, SIMULAČNÍ EXPERIMENTY A JEJICH VÝSLEDKY

### 7.1 Stávající situace

Před začátkem simulace si určil cíle, což je konkrétně vytížení obchodníků na 60%, vytížení techniků na 75%, vytížení asistentky 40%, dodržování pracovní doby a nulová ztráta příchodících hovorů.

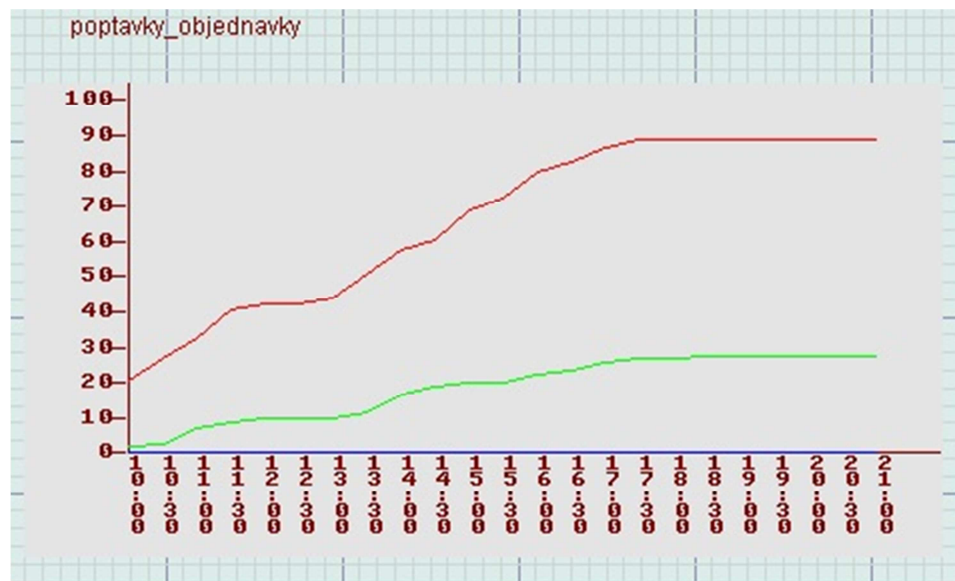
Mnou plánované vytížení se zdá být nízké, ale zaměstnanci provádí v pracovní době ještě mnoho dalších činností, které jsem v modelu nesimuloval, protože by došlo k velkému ztížení pochopení modelu a problematiky, kterou se zabývám a model by se stal velmi nepřehledným. Z požadovaného vytížení lze poznat, že nejvíce jiných činností provádí asistentka (obsluha návštěvy, jednoduchý úklid, koordinace seminářů atd.) Obchodníci velké množství času tráví vnitrofiremní komunikací a komunikací s dodavatelem. Technici tráví hodně času samostudiem a konzultacemi s odborníky na dané téma.



Obrázek 29: Nasimulované stávající vytížení zaměstnanců

Legenda:

šedá – Joey, zelená – James, světle modrá – Rick, fialová – William, žlutá – Karl, modrá – Tony, červená – asistentka



Obrázek 30: Graf poptávek a objednávek stávajícího systému

Legenda:

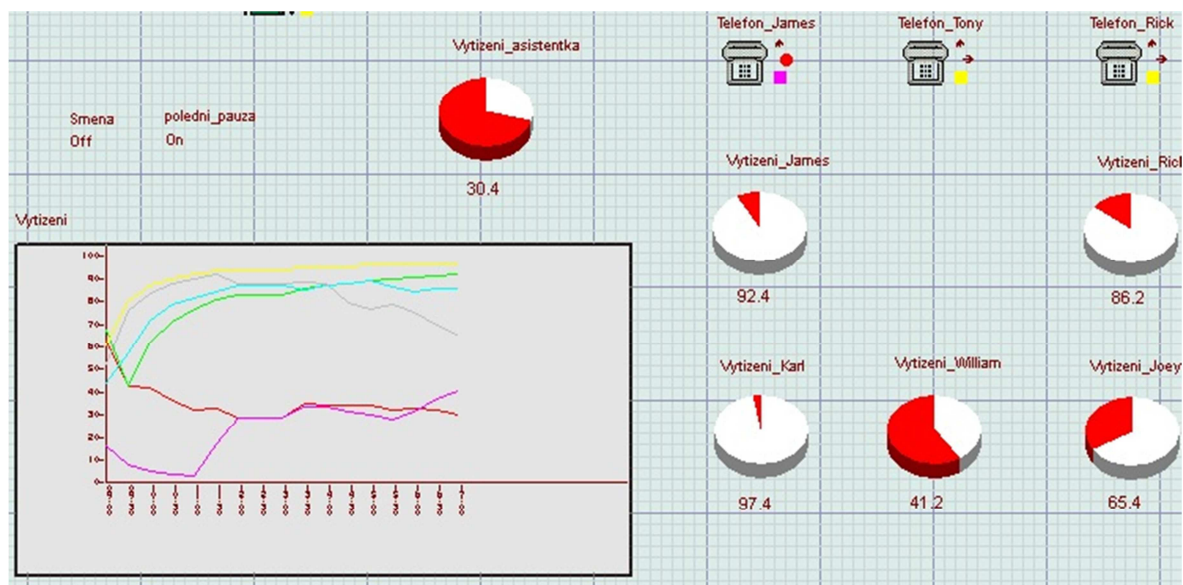
**červená** – poptávky, **zelená** – objednávky, **modrá** – počet ztracených hovorů

Z tohoto grafu můžeme vyčíst, že poslední objednávka byla odeslána v 18:30, tudíž tímto časem končí pracovní doba.

## 7.2 Experiment 1

Předmětem prvního experimentu je odebrání jednoho obchodníka, přičemž jeho zákazníci přebírají jeho kolegové. Vybral jsem náhodně obchodníka Tonyho. Chtěl jsem tím dokázat, že fungování pouze 2 obchodníků bude kontraproduktivní a v dlouhodobém hledisku může dojít ke ztrátě zákazníků.

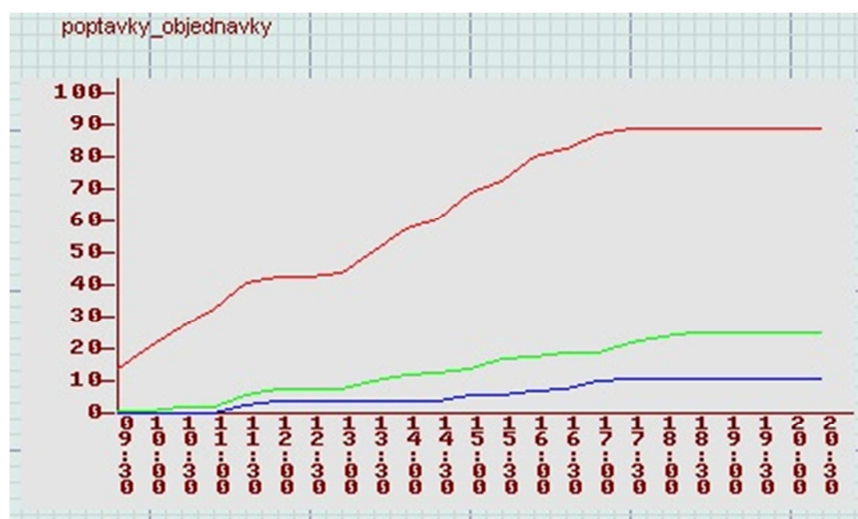
Jak ukazují koláčové grafy, vytížení obchodníků se pohybuje nad 85%, což je nepřijatelné pro vhodný chod pobočky. Navíc bylo ztraceno 10 telefonátů, což je nepřijatelné



Obrázek 31: Nasimulované vytížení zaměstnanců experiment 1

Legenda:

šedá – Joey, zelená – James, světle modrá – Rick, fialová – William, žlutá – Karl, červená – asistentka



Obrázek 32: Graf poptávek a objednávek experiment 1

Legenda:

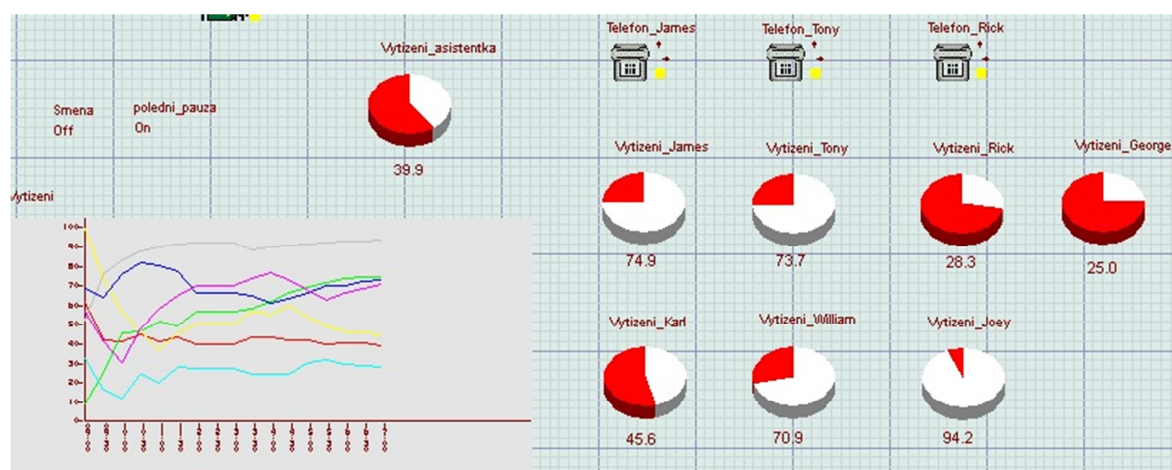
červená – poptávky, zelená – objednávky, modrá – počet ztracených hovorů

### 7.3 Experiment 2

Můj druhý experiment spočíval v přidání jednoho obchodníka (pracovní jméno George) bez vlastních zákazníků. To znamená, že bude sdílet zákazníky a telefonáty svých kolegů obchodníků.

Od tohoto experimentu jsem očekával, že klesne vytížení obchodníků na mnou požadovanou hodnotu, zkrátí se pracovní doba a ubyde ztracených telefonátů.

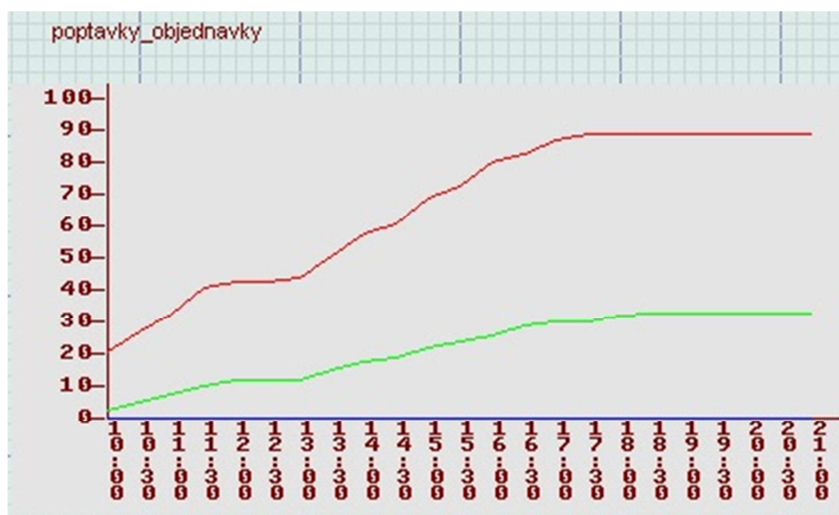
Konec pracovní doby se začal trochu přibližovat ideálnímu stavu, nyní pracovní doba končí kolem 18.hodiny, dokonce nebyl žádný ztracený telefonát, ale 4 obchodníci pracovali velmi neefektivně, připadalo mi, jako by si zavazeli. To lze vidět i z koláčových grafů.



Obrázek 33: Nasimulované vytížení zaměstnanců experiment 2

Legenda:

šedá – Joey, zelená – James, světle modrá – Rick, fialová – William, žlutá – Karl, modrá – Tony, červená – asistentka



Obrázek 34: Graf poptávek a objednávek experiment 2

Legenda:

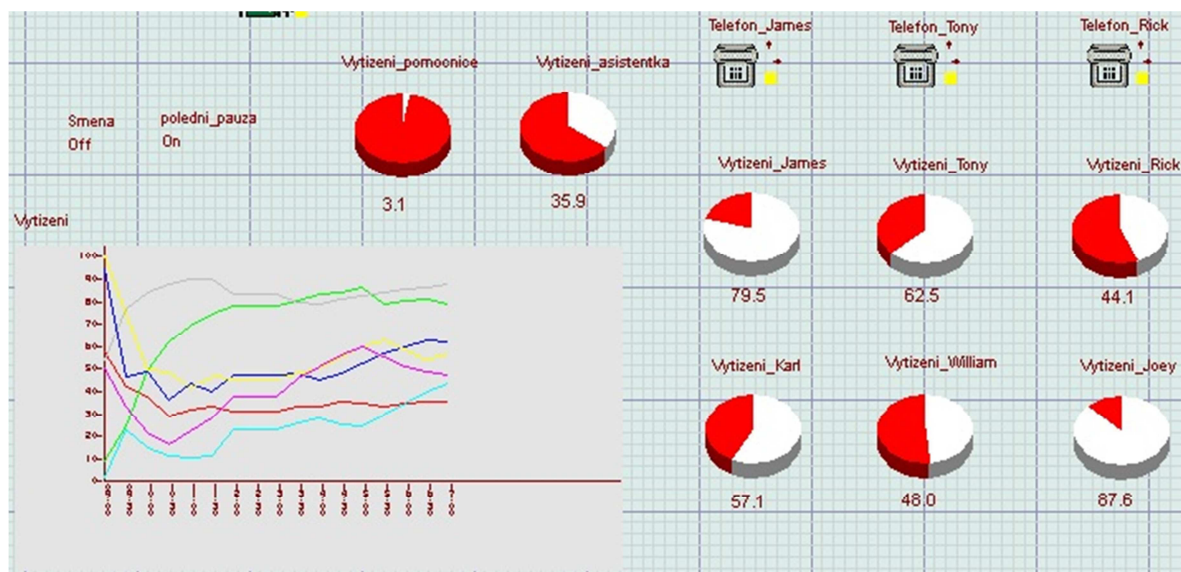
**červená** – poptávky, **zelená** – objednávky, **modrá** – počet ztracených hovorů

## 7.4 Experiment 3

Můj třetí experiment spočíval v přijetí další asistentky, která bude mít schopnosti a práva jako stávající asistentka. Očekával jsem od tohoto experimentu nulovou ztrátu telefonátů, snížení vytížení obchodníků a zkrácení přesčasů.

Bohužel se ukázalo, že další asistentka není potřeba, protože nová asistentka (označena jako pomocnice) měla vytížení nižší než 5%, tudíž by byla na pozici úplně zbytečná. Navíc rozhodla i chod techniků, což si dokážu vysvětlit jen tím, že pomocnice sdílí s techniky možnost obsluhovat třídirnu a tohle technikům může nabourat program. Tím se snižuje jejich vytížení. Snížení je dáno i lehce pseudonáhodnými hodnotami generovanými z rozdělení, které jim bylo přiřazeno.

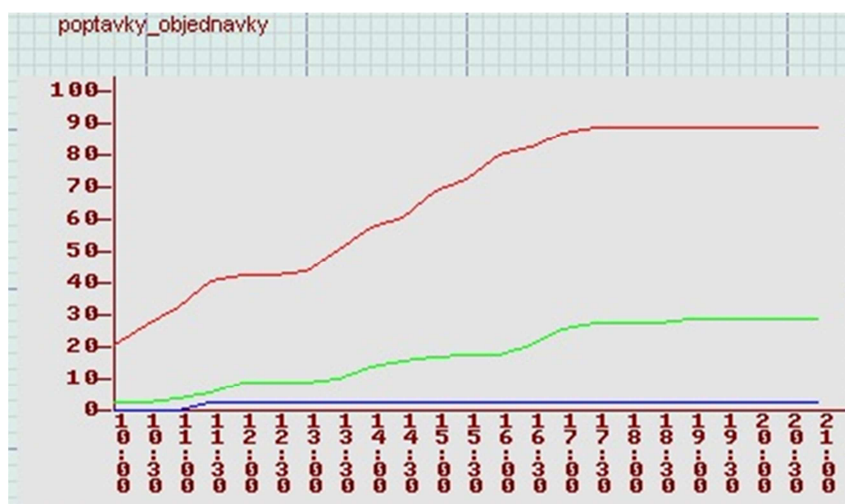
Navíc se prodloužila pracovní doba do 19:00 a byly ztraceny 3 telefonáty.



Obrázek 35: Nasimulované vytížení zaměstnanců experiment 3

Legenda:

šedá – Joey, zelená – James, světle modrá – Rick, fialová – William, žlutá – Karl, modrá – Tony, červená – asistentka



Obrázek 36: Graf poptávek a objednávek experiment 3

Legenda:

červená – poptávky, zelená – objednávky, modrá – počet ztracených hovorů

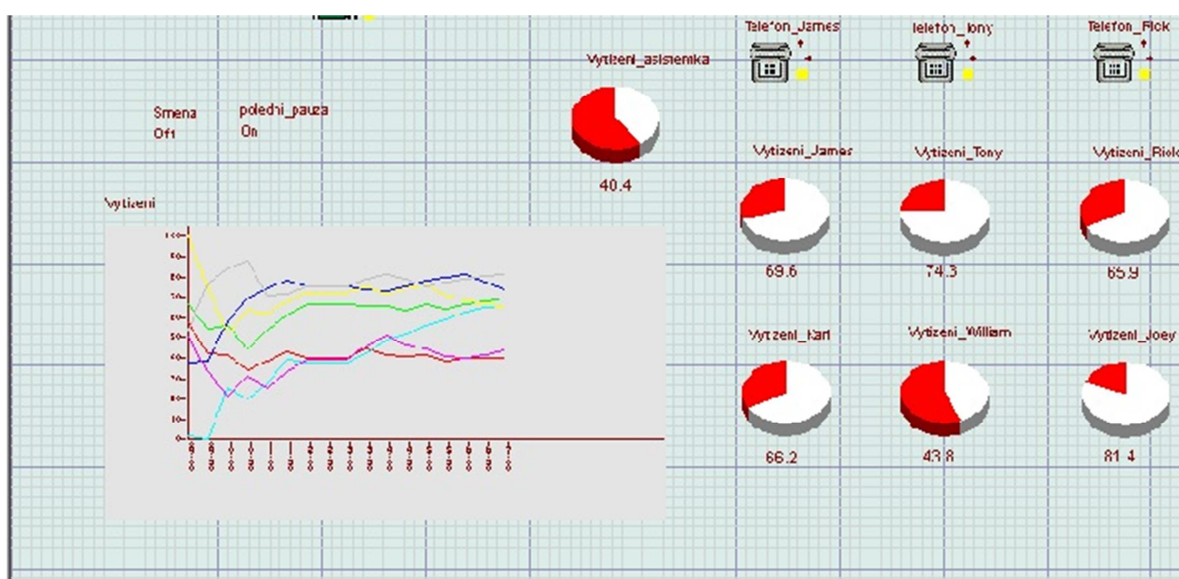
## 7.5 Experiment 4

Experiment 4 patří mezi ty, od kterých jsem si nejvíc sliboval. Spočívá v tom, že obchodníci mezi sebou sdílejí jak své telefony, tak i pracoviště i zákazníky. Tím by se mohly zmenšit prostoje a vyrovnat vytížení. A hlavně by se mohla lépe dodržovat pracovní doba.

K mému překvapení došlo ke ztrátě 3 telefonátů. Ale proti tomu se staví velké pozitivum rovnoměrného vytížení obchodníků, které se pohybuje v okruhu požadované hodnoty.

Dalším významným úspěchem tohoto experimentu je dosažení konce pracovní doby v 17:30.

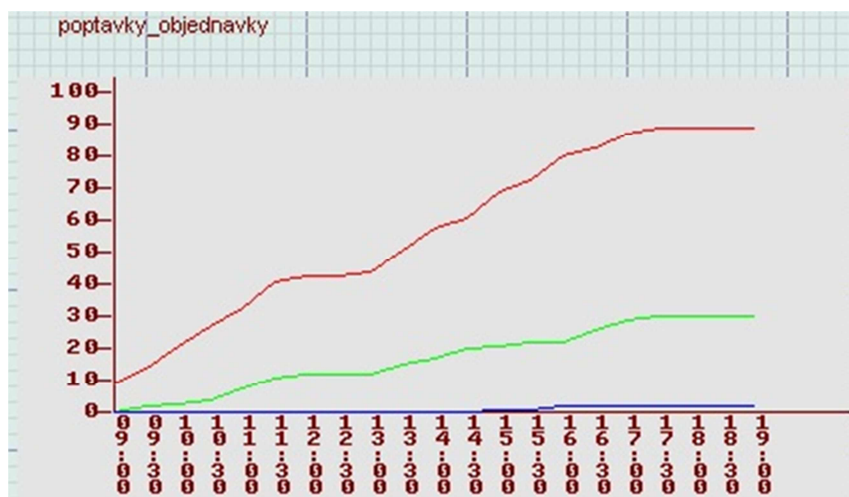
Celkově tento experiment hodnotím jako nejúspěšnější.



Obrázek 37: Nasimulované vytížení zaměstnanců experiment 4

Legenda:

šedá – Joey, zelená – James, světle modrá – Rick, fialová – William, žlutá – Karl, modrá – Tony, červená – asistentka



Obrázek 38: Graf poptávek a objednávek experiment 4

Legenda:

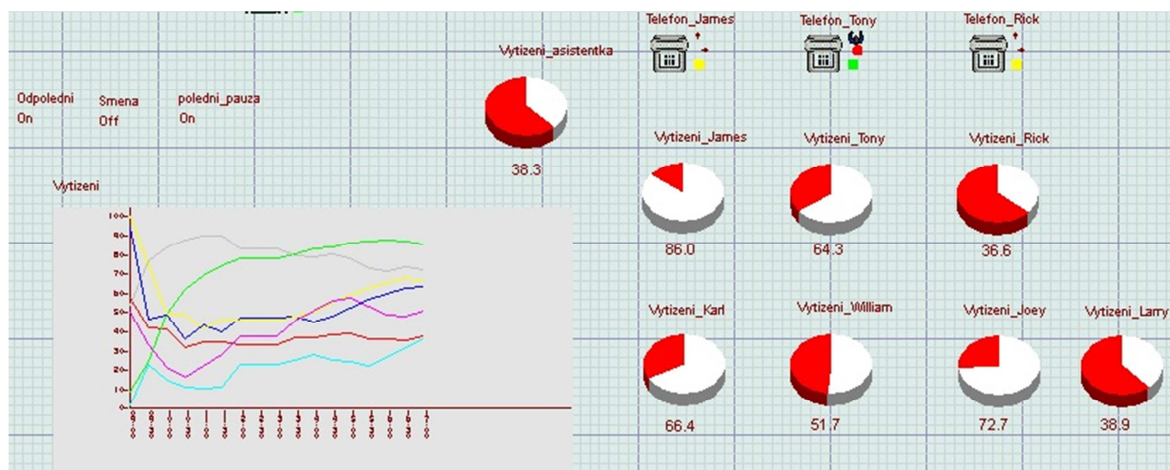
červená – poptávky, zelená – objednávky, modrá – počet ztracených hovorů

## 7.6 Experiment 5

Dalším experimentem bylo přijetí „brigádníka“ (pracovní jméno Larry) na pozici technika, který pracuje podle směny “odpolední“, která je popsána v kapitole 6.2.3. Očekával jsem vyrovnání vytížení jednotlivých techniků a dosažení požadovaného vytížení.

Tento technik sdílí se svými kolegy techniky jejich zákazníky. Sdílí také telefony a pracoviště. Tudíž lze očekávat, že brigádník nebude plně vytížen. Předpokládal jsem, že se vytížení techniků přiblíží 70% a brigádník se bude pohybovat někde kolem 30%. Ve skutečnosti měli technici nižší vytížení, než jsem očekával a naopak brigádník byl více zaneprázdněn oproti mému očekávání.

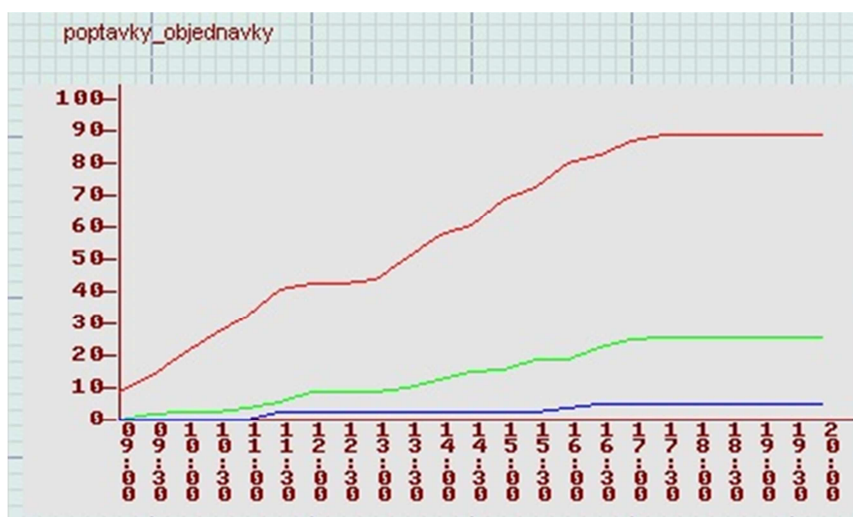
Tento experiment hodnotím jako průměrným a nemyslím si, že by měl pro firmu velký přínos.



Obrázek 39: Nasimulované vytížení zaměstnanců experiment 5

Legenda:

šedá – Joey, zelená – James, světle modrá – Rick, fialová – William, žlutá – Karl, modrá – Tony, červená – asistentka



Obrázek 40: Graf poptávek a objednávek experiment 5

Legenda:

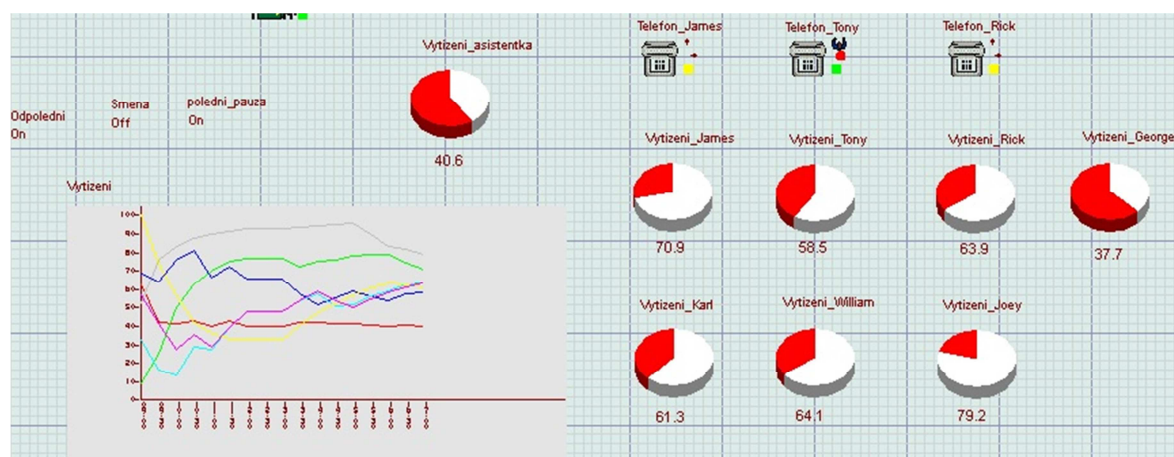
červená – poptávky, zelená – objednávky, modrá – počet ztracených hovorů

## 7.7 Experiment 6

Po předchozím experimentu jsem opět sáhl k možnosti rozšířit řady zaměstnanců o brigádníka. Tentokrát na pozici obchodníka (opět vystupuje pod pracovním jménem George). Pracuje podle směny “odpolední“, která je popsána v kapitole 6.2.3.

Vhledem k tomu, že brigádník sdílí se svými kolegy obchodníky jejich zákazníky, telefony a pracoviště, měl tento experiment vést k vyrovnaní vytížení obchodníků. Po zkušenostech z minulého experimentu jsem očekával vytížení brigádníka kolem 40%, což se nakonec ukázalo být správné.

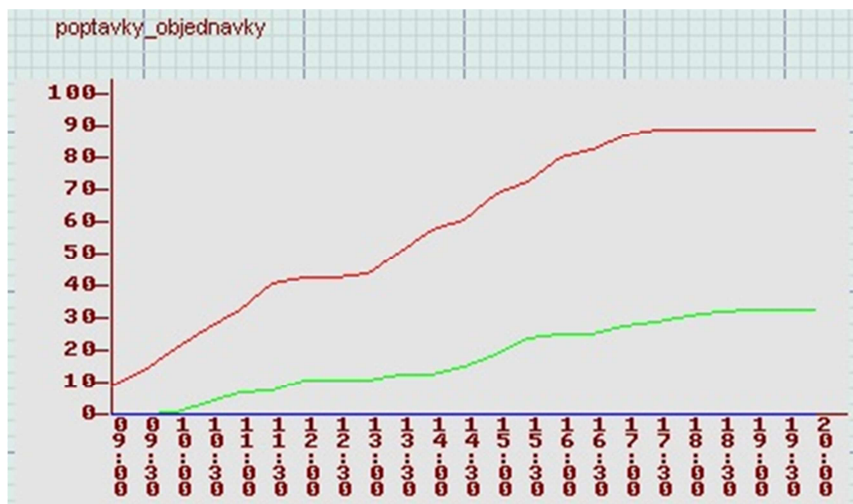
Kupodivu bylo vytížení obchodníků přesně podle mých představ, tzn. v rozmezí 60 – 70%. I technici byli rovnoměrně vytíženi a to i ve správném rozmezí 60 – 80%. Jediným zklamáním byl konec pracovní doby až v 18:30. Tato hodnota, stejně tak i u ostatních experimentů je dána pseudonáhodnými čísly, takže při rozhodování o nejlepším experimentu nebude mít konec pracovní doby největší váhu.



Obrázek 41: Nasimulované vytížení zaměstnanců experiment 6

Legenda:

šedá – Joey, zelená – James, světle modrá – Rick, fialová – William, žlutá – Karl, modrá – Tony, červená – asistentka



Obrázek 42: Graf poptávek a objednávek experiment 6

Legenda:

**červená** – poptávky, **zelená** – objednávky, **modrá** – počet ztracených hovorů

## 7.8 Shrnutí výsledků

	požadováno [%]	stávající model	experiment 1	experiment 2	experiment 3	experiment 4	experiment 5	experiment 6
vytížení asistentka	40	41	30	40	36	40	38	41
vytížení pomocnice	---	---	---	---	3	---	---	---
vytížení James	60	67	92	75	80	70	86	71
vytížení Tony	60	71	---	74	63	74	64	59
vytížení Rick	60	73	86	28	44	66	37	64
vytížení George	---	---	---	25	---	---	---	38
vytížení Karl	75	97	97	46	57	66	66	61
vytížení William	75	45	41	71	48	44	52	64
vytížení Joey	75	78	65	94	87	81	73	79
Vytížení Larry	---	---	---	---	---	---	39	---
konec pracovní doby	17:30	18:30	18:30	18:00	19:00	17:30	17:30	18:30
Počet scrapovaných požadavků	0	0	10	0	3	3	5	0
Počet objednávek	maximum	27	23	32	28	30	26	33
Pořadí		mezi 2. a 3.	6.	4.	5.	1. - 2.	3.	1. - 2.

Tabulka 12: Shrnutí výsledků

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo provést simulační studii firmy dodávající výpočetní techniku a návrh, který by vedl ke zvýšení efektivity práce a k dodržování pracovní doby s minimálními přesčasy.

V první části této práce jsem zpracoval rešerši na dané téma. Popsal jsem zde termíny, jako jsou model, modelování a simulace. Uvedl jsem příklady využití simulace. Popsal jsem prostředí Witness, ve kterém jsem navržený model simuloval. Prostudoval a popsals jsem obdobné práce, jako je moje, kde autoři simulují systémy hromadné obsluhy v programu Witness i v jiných.

V praktické části popisuji chod firmy dodávající výpočetní techniku, se kterým jsem se seznámil. Z reálného provozu jsem experimentálně získal data pro sestavení modelu tohoto provozu. Navrhl jsem schéma a strukturu modelu stávajícího provozu. Provedl jsem simulaci a navrhl experimenty, které jsem také odsimuloval. Výsledky simulací jsem analyzoval a došel jsem k závěru, že největší přínos pro firmu by mohly mít experimenty 4 a 6.

Ve čtvrtém experimentu jsem simuloval změnu práv obchodníků a techniků, kdy nebudou pracovat každý „na svém písčku“, ale sdílí zákazníky a prostředky a budou fungovat více týmově. Takto by se každý z nich stal nahraditelným a při personálních změnách by nedocházelo k problémům, které by mohly vést ke ztrátě významného zákazníka.

V šestém experimentu jsem simuloval přijetí brigádníka na pozici obchodníka, který by se svými kolegy obchodníky sdílel jejich zákazníky a prostředky a tím by se snížily časové prodlevy v chodu firmy.

Úzká místa vidím v křehkosti systému a tom, že zaměstnanci nejsou jednoduše nahraditelní. Nemoc, dlouhodobá nepřítomnost nebo personální změny by mohly dočasně způsobit ohrožení plnohodnotného chodu pobočky.

Myslím, že tato práce může být velkým přínosem pro firmu, jejíž chod jsem simuloval a výsledky předložím vedení regionálního zastoupení. Doporučím změnu nejprve na lokální bázi a později může firma přejít ke globálním změnám.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this thesis was to conduct a simulation study of companies supplying computer equipment and a proposal that would increase work efficiency and compliance with working hours with minimal overtime.

In the first part I worked on the search topic. Terms I have described here, as a model, modeling and simulation. I gave examples of the use of simulation. Witness, I described the environment in which I have simulated model. I Studied and described similar work, like mine, where the authors simulate the queuing systems in Witness and other.

The practical part describes the operation of the company supplying the computers, with whom I met. The experimental real traffic, I got the data to build a model of this operation. I designed the structure diagram and model of the current operation. I have conducted simulation experiments and suggested that I also simulated. I analyzed the results of simulations and I concluded that the greatest benefit for the company could have experiments 4 and 6.

In the fourth experiment, I simulated a change in the rights of businessmen and engineers, which will not work any "on their sandbox", but it shares customers and resources and will function more as a team. This would each become recoverable and personnel changes to avoid problems that could lead to a loss of significant customers.

In the sixth experiment, I simulated the adoption of part time employees for the position of traders with their fellow traders and customers shared their resources and thereby reduce delays in the running of the company.

I see the bottlenecks in the system's fragility and the fact that employees are not easily replaceable. Disease, prolonged absence or personnel changes may temporarily cause a threat to run full-fledged branch.

I think this work can be great benefit for the company, which I have simulated the operation and management will present the results of regional representation. I will recommend change first on a local basis and later the company can switch to global changes.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### *Internetové zdroje:*

- [1] Simulace Wikipedia [online]. Dostupný z WWW:  
  
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Simulace>>
- [2] Diskrétní Simulace Wikipedia [online]. Dostupný z WWW:  
  
<[http://cs.wikipedia.org/wiki/Diskr%C3%A9tn%C3%AD\\_simulace](http://cs.wikipedia.org/wiki/Diskr%C3%A9tn%C3%AD_simulace)>
- [3] Počítačová Simulace Wikipedia [online]. Dostupný z WWW:  
  
<[http://cs.wikipedia.org/wiki/Po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Dov%C3%A1\\_simulace](http://cs.wikipedia.org/wiki/Po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Dov%C3%A1_simulace)>
- [4] Teorie modelů Wikipedia[online]. Dostupný z WWW:  
  
<[http://cs.wikipedia.org/wiki/Teorie\\_model%C5%AF](http://cs.wikipedia.org/wiki/Teorie_model%C5%AF)>

### *Monografie:*

- [5] KŘIVÝ, Ivan, KINDLER, Evžen. Simulace a modelování. 1.vydání. Ostrava: Ostravská univerzita, 2001. 146 s. ISBN: 80-704-2809-0
- [6] Witness 2003 Release 2 Uživatelská příručka, Humusoft s.r.o., 2003
- [7] VAŠEK, Vladimír, VAŠEK Lubomír, Simulace systémů, VUT Brno, fakulta technologická
- [8] ZÍTEK, Pavel. Simulace dynamických systémů. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 418 s. ISBN 80-03-00330-X.
- [9] Mošna, J., Pešek, P. Systém hromadné obsluhy. Plzeň: ZČU, 2001

- [10] BALOUNOVÁ, Ingrid., Simulace zmrzlinového stánku v Aquaparku v Děčíně, 2009
- [11] DORDA, Michal, TEICHMANN, Dušan, Modelování provozu na svážném pahrbku seřaďovací stanice pomocí nespolehlivého systému hromadné obsluhy, 2010
- [12] KULÍK, Lukáš, Zavedení turniketů do pražského metra jako system hromadné obsluhy, 2010

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

3D	Trojrozměrný
FIFO	Fronta – první dovnitř, první ven
LIFO	Zásobník – poslední dovnitř, první ven
OSN	Organizace spojených národů
VŠB - TU Ostrava	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
VŠE v Praze	Vysoká škola ekonomická v Praze

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Dřevěný mechanický simulátor koně .....</i>	12
<i>Obrázek 2: Human in the loop.....</i>	15
<i>Obrázek 3: Princip simulace .....</i>	17
<i>Obrázek 4: 3D věžní simulátor letiště.....</i>	21
<i>Obrázek 5: Simulátor pacienta se srdeční vadou .....</i>	23
<i>Obrázek 6: Ukázka ze simulační hry Need for speed: Porsche (2000) .....</i>	24
<i>Obrázek 7: Zábavní park Mission Space .....</i>	26
<i>Obrázek 8: Nadefinování elementu typu entity.....</i>	36
<i>Obrázek 9: Nastavení základních parametrů .....</i>	37
<i>Obrázek 10: Nastavení základních parametrů .....</i>	39
<i>Obrázek 11: Nastavení parametru elementu typu resource .....</i>	40
<i>Obrázek 12: Nastavení parametrů entity typu conveyor .....</i>	41
<i>Obrázek 13: Nastavení základních parametrů dráhy .....</i>	42
<i>Obrázek 14: Nastavení základních parametrů vozíku .....</i>	43
<i>Obrázek 15: Nastavení základních parametrů entity Attribute .....</i>	44
<i>Obrázek 16: Nastavení základních parametrů entity Variable .....</i>	45
<i>Obrázek 17: Nastavení základních parametrů entity distribution.....</i>	46
<i>Obrázek 18: Nastavení základních parametrů funkce .....</i>	47
<i>Obrázek 19: Nastavení základních parametrů směny .....</i>	49
<i>Obrázek 20: Nastavení základních parametrů koláčového grafu .....</i>	50
<i>Obrázek 21: Nastavení základních parametrů časového grafu.....</i>	51
<i>Obrázek 22: Nastavení základních parametrů histogramu .....</i>	52
<i>Obrázek 23: Profil vstupních požadavků - Telefonát .....</i>	69
<i>Obrázek 24: Detail vstupního požadavku i se vstupním pravidlem – Požadavek na obchodníka .....</i>	70
<i>Obrázek 25: Podrobnosti entity SHIFT - Smena .....</i>	71
<i>Obrázek 26: Detail pravidel stroje Telefon .....</i>	73
<i>Obrázek 27: Tvorba vlastního rozdělení .....</i>	75
<i>Obrázek 28: Schéma přepravy zboží od dodavatelů.....</i>	78
<i>Obrázek 29: Nasimulované stávající vytížení zaměstnanců .....</i>	80
<i>Obrázek 30: Graf poptávek a objednávek stávajícího systému .....</i>	81
<i>Obrázek 31: Nasimulované vytížení zaměstnanců experiment 1 .....</i>	82

<i>Obrázek 32: Graf poptávek a objednávek experiment 1 .....</i>	<i>82</i>
<i>Obrázek 33: Nasimulované vytížení zaměstnanců experiment 2 .....</i>	<i>83</i>
<i>Obrázek 34: Graf poptávek a objednávek experiment 2 .....</i>	<i>84</i>
<i>Obrázek 35: Nasimulované vytížení zaměstnanců experiment 3 .....</i>	<i>85</i>
<i>Obrázek 36: Graf poptávek a objednávek experiment 3 .....</i>	<i>85</i>
<i>Obrázek 37: Nasimulované vytížení zaměstnanců experiment 4 .....</i>	<i>86</i>
<i>Obrázek 38: Graf poptávek a objednávek experiment 4 .....</i>	<i>87</i>
<i>Obrázek 39: Nasimulované vytížení zaměstnanců experiment 5 .....</i>	<i>88</i>
<i>Obrázek 40: Graf poptávek a objednávek experiment 5 .....</i>	<i>88</i>
<i>Obrázek 41: Nasimulované vytížení zaměstnanců experiment 6 .....</i>	<i>89</i>
<i>Obrázek 42: Graf poptávek a objednávek experiment 6 .....</i>	<i>90</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 1: Vstupní a výstupní pravidla .....</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 2: Výstupní procentuální rozdělení – telefony obchodníků .....</i>	<i>74</i>
<i>Tabulka 3: Výstupní procentuální rozdělení – telefony techniků .....</i>	<i>74</i>
<i>Tabulka 4: Rozdělení určující délku telefonátů .....</i>	<i>74</i>
<i>Tabulka 5: Rozdělení určující délku procesu na pracovišti obchodníků.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabulka 6: Rozdělení určující délku procesu na pracovišti techniků .....</i>	<i>76</i>
<i>Tabulka 7: Výstupní procentuální rozdělení – pracoviště obchodníci .....</i>	<i>76</i>
<i>Tabulka 8: Výstupní procentuální rozdělení – pracoviště technici .....</i>	<i>76</i>
<i>Tabulka 9: Rozdělení určující délku schůzky u zákazníků obchodníků .....</i>	<i>77</i>
<i>Tabulka 10: Rozdělení určující délku zásahu u zákazníků techniků.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabulka 11: Výstupní procentuální rozdělení zákazníci obchodníků a techniků.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabulka 12: Shrnutí výsledků .....</i>	<i>91</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

P I	Profily vstupních požadavků
P II	Výstupní podmínky entity typu part
P III	Detail pravidel stroje Recepce a Cekarna_servis
P IV	Simulační model

## PŘÍLOHA P I: PROFILY VSTUPNÍCH POŽADAVKŮ

**Detail Part - Nakup**

General | Attributes | Route | Actions | Costing | Reporting | Arrival Profile | Notes

	Time	Volume
1	0:00	Undefined
2	0:30	Undefined
3	1:00	1
4	1:30	Undefined
5	2:00	1
6	2:30	Undefined
7	3:00	Undefined
8	3:30	Undefined
9	4:00	Undefined
10	4:30	1
11	5:00	Undefined
12	5:30	Undefined
13	6:00	2
14	6:30	Undefined
15	7:00	1
16	7:30	Undefined
17	8:00	Undefined

Time Display: 24 Hour Day

Multiplier: 1.0

Random Number Stream(s): ☒ Automatic ☐ Smoothing ☐ Cumulative Time

Import... Import from Excel

OK Storno Nápověda

**Detail Part - Servis**

General | Attributes | Route | Actions | Costing | Reporting | Arrival Profile | Notes

	Time	Volume
1	0:00	Undefined
2	0:30	Undefined
3	1:00	1
4	1:30	Undefined
5	2:00	1
6	2:30	1
7	3:00	Undefined
8	3:30	Undefined
9	4:00	1
10	4:30	1
11	5:00	Undefined
12	5:30	Undefined
13	6:00	1
14	6:30	Undefined
15	7:00	1
16	7:30	Undefined
17	8:00	Undefined

Time Display: 24 Hour Day

Multiplier: 1.0

Random Number Stream(s): ☒ Automatic ☐ Smoothing ☐ Cumulative Time

Import... Import from Excel

OK Storno Nápověda

## PŘÍLOHA P II: VSTUPNÍ PODMÍNKY ENTITY TYPU PART

Detail Part - Servisni\_zakazky

General | Attributes | Route | Actions | Costing | Reporting | Notes

Name:  
Servisni\_zakazky

Arrivals

Type:  
Active

Maximum Arrivals:  
Unlimited

First Arrival At:  
0.0

Shift:  
Smena

Input to Model

Inter Arrival Time:  
UNIFORM (30,60,142)

Lot Size:  
1

To...  
Percent

Actions on Create... ✓

Exit From Model

Actions on Leave... ✕

Edit OUTPUT RULE FOR PART Servisni\_zakazky

Select Search Editor Print

PERCENT /100 Zasobnik\_zakazek\_Karl 40.00 Zasobnik\_zakazek\_William 50.00 Zasobnik\_zakazek\_Joey 10.00

## PŘÍLOHA P III: DETAIL PRAVIDEL STROJE RECEPCE A CEKARNA\_SERVIS

**Detail Machine - Recepce**

General | Setup | Breakdowns | Fluid Rules | Shift | Actions | Costing | Reporting | Notes

Name: Recepce Quantity: 1 Priority: Lowest Type: Single

Input Quantity: 1

From... Pull

Actions on Input... X

Duration Cycle Time: UNIFORM (2,4,171)

Labor Rule... ☒

Actions on Start... X Actions on Finish... X

Output Quantity: 1

To... Percent

Actions on Output... X

Output From: Front

**Edit OUTPUT RULE FOR MACHINE Recepce**

Select Search Editor Print

PERCENT /100 Nakup to Pracoviste\_obch\_James 40.00 ,Pracoviste\_obch\_Tony 20.00 ,Pracoviste\_obch\_Rick 40.00

**Detail Machine - Cekarna\_servis**

General | Setup | Breakdowns | Fluid Rules | Shift | Actions | Costing | Reporting | Notes

Name: Cekarna\_servis Quantity: 1 Priority: Lowest Type: Single

Input Quantity: 1

From... Pull

Actions on Input... X

Duration Cycle Time: UNIFORM (1,3,285)

Labor Rule... ☒

Actions on Start... X Actions on Finish... X

Output Quantity: 1

To... Percent

Actions on Output... X

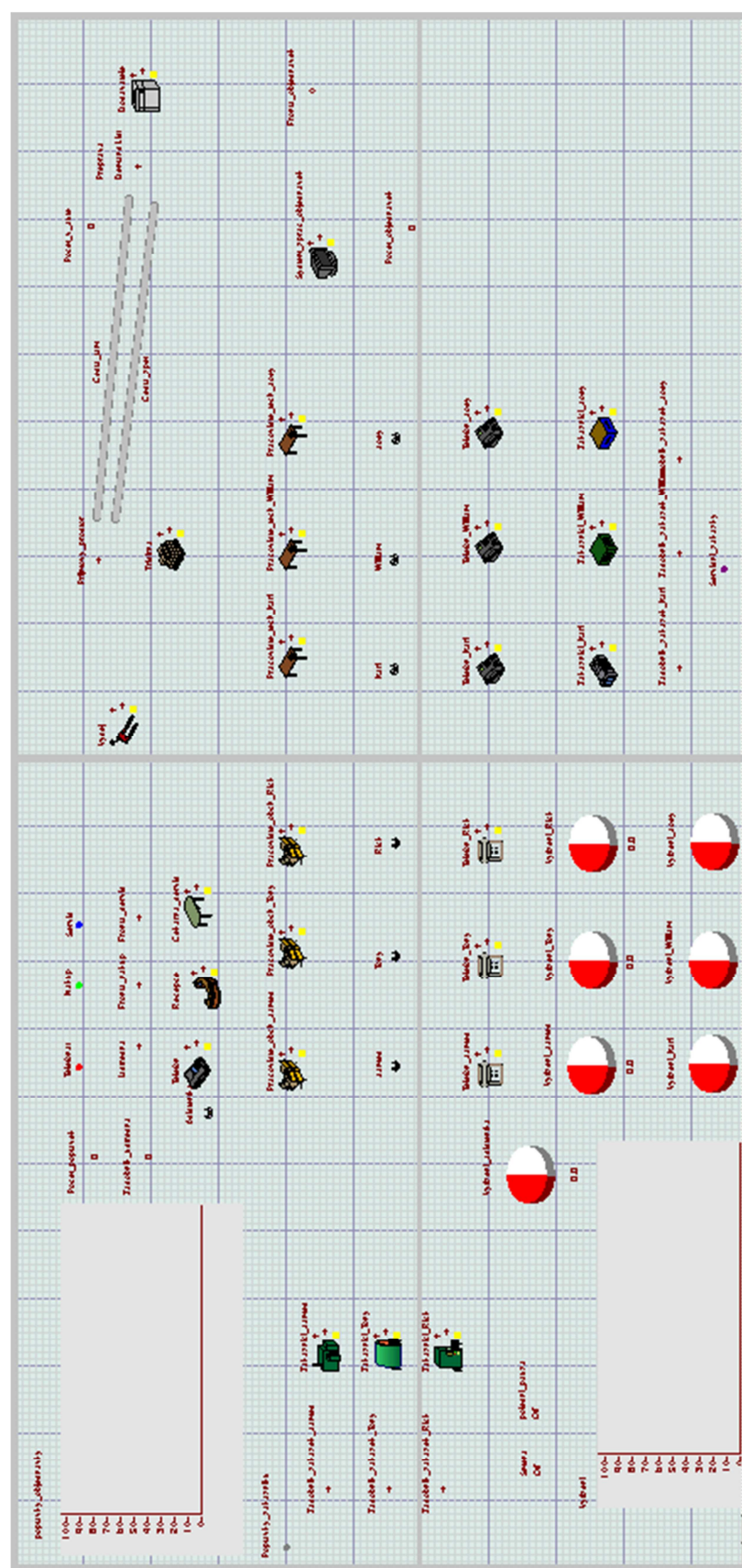
Output From: Front

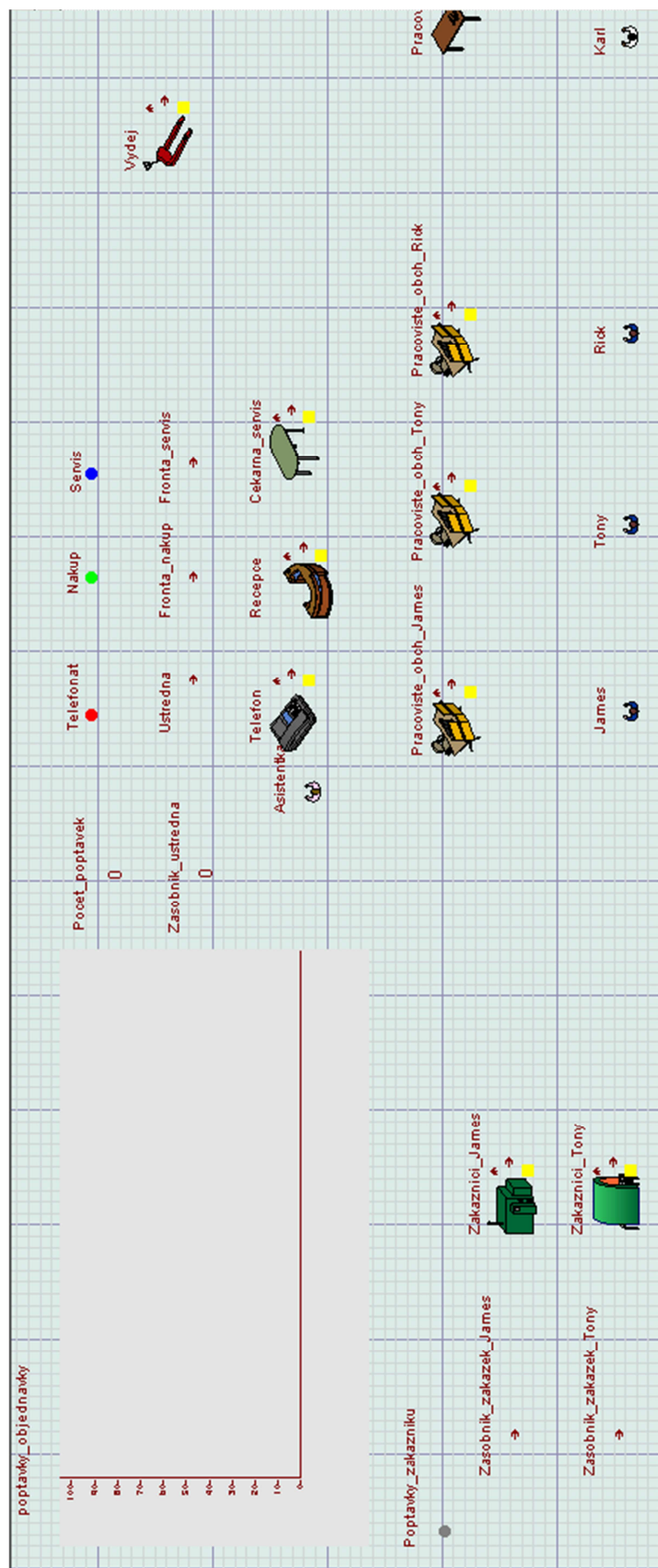
**Edit OUTPUT RULE FOR MACHINE Cekarna\_servis**

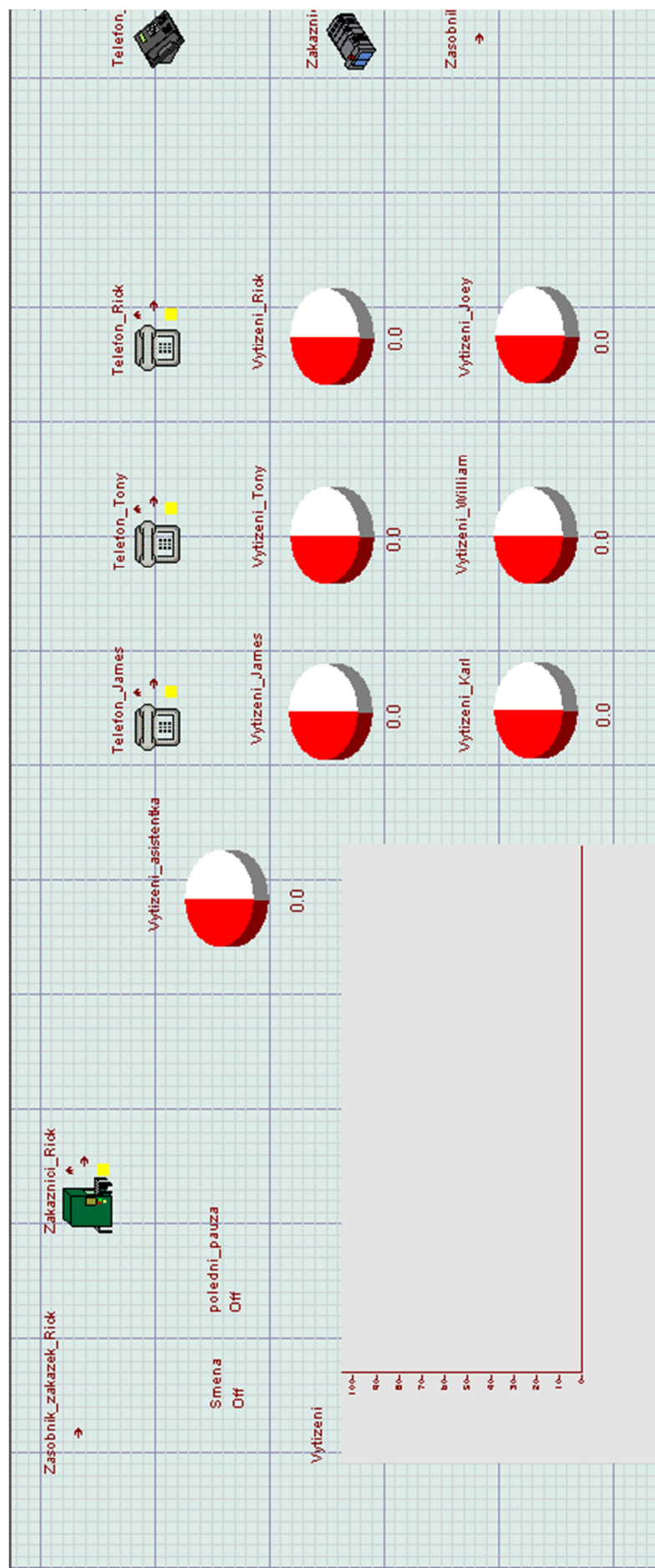
Select Search Editor Print

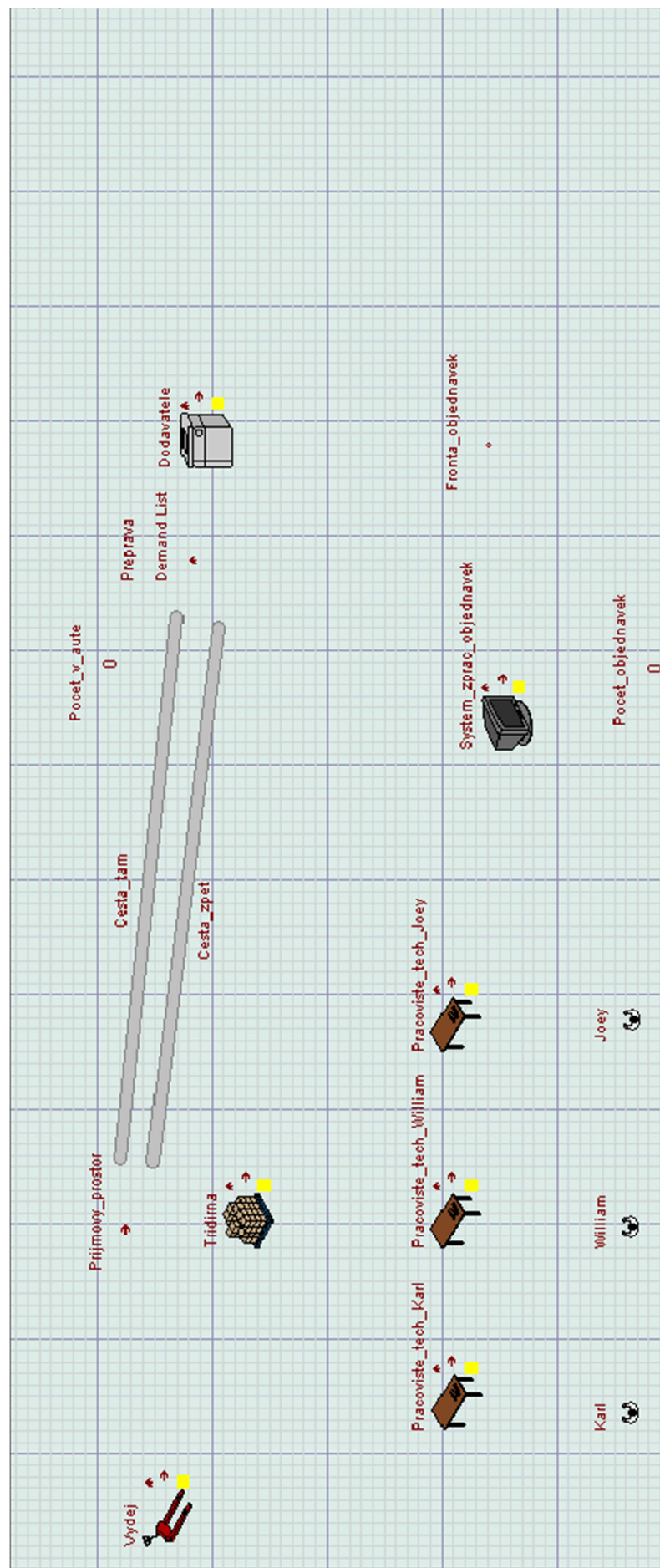
PERCENT /100 Pracoviste\_tech\_Karl 20.00 ,Pracoviste\_tech\_William 37.00 ,Pracoviste\_tech\_Joey 43.00

# PŘÍLOHA P IV: SIMULAČNÍ MODEL











Telefon\_Karl



Telefon\_William



Telefon\_Joey



Zakaznici\_Karl



Zakaznici\_William



Zakaznici\_Joey

Zasobnik\_zakazek\_Karl    Zasobnik\_zakazek\_William    Zasobnik\_zakazek\_Joey

Servisni\_zakazky