Vysoká škola ekonomická v Praze

Fakulta informatiky a statistiky

Katedra statistiky a pravděpodobnosti

Studijní program: Kvantitativní metody v ekonomice

Obor: Statistické a pojistné inženýrství

Diplomant: Martin Krupa

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martina Kuncová

Oponent diplomové práce: prof. Ing. Hana Řezanková, CSc.

Srovnání programových produktů pro simulaci a možnosti jejich využití

školní rok 2009/2010

Prehlásenie

Prehlasujem, že som diplomovú prácu spracoval samostatne a že som uviedol všetky použité pramene a literatúru, z ktorých som čerpal.

V Prahe dňa

…….
podpis

Obsah

1. Úvod ... 8
2. Simulácie ... 10
2.1. Dynamická simulácia ... 10
2.1.1. Princíp ... 11
2.1.2. Diskrétne simulácie ... 13
2.1.3. Výhody ... 13
2.1.4. Tvorba modelu ... 14
2.1.5. Prípadová štúdia ... 17
2.2. Monte Carlo simulácie ... 19
3. Oblasti použitia ... 21
3.1. MATLAB ... 21
3.2. WITNESS ... 22
3.3. SIMUL8 ... 24
3.4. SIMPROCESS ... 25
3.5. Crystal Ball ... 27
4. Práca s programami ... 29
4.1. MATLAB ... 29
4.1.1. Systémové požiadavky ... 30
4.1.2. Tvorba modelu ... 31
4.1.3. Simulácia ... 33
4.2. WITNESS ... 34
4.2.1. Systémové požiadavky ... 35
4.2.2. Tvorba modelu ... 36
4.3. SIMUL8 ... 40
4.3.1. Systémové požiadavky ... 41
4.3.2. Tvorba modelu ... 42
4.4. SIMPROCESS ... 45
4.4.1. Systémové požiadavky ... 46
4.4.2. Tvorba modelu ... 47
4.4.3. Simulácia ... 50
4.5. Crystal Ball ... 51
4.5.1. Systémové požiadavky ... 52
4.5.2. Tvorba modelu ... 53
4.5.3. Simulácia ... 56
4.5.4. Distribution fitting ... 57
5. Praktická časť ... 65
5.1. Výsledky analýzy ... 66
6. Záver ... 78
7. Použitá literatúra ... 82
7.1. Knihy a články ... 82
7.2. Užívateľské manuály ... 82
7.3. Internetové zdroje ... 82
7.4. Použité články v praktickej časti ... 83
8. Príloha ... 86
8.1. Obrazové prílohy jednotlivých programov ... 86
8.1.1. Matlab ... 86
8.1.2. Simprocess ... 87
8.1.3. Simul8 ... 88

8.1.4. Witness 89
8.1.5. Crystal Ball 91
8.2. Tabuľka s údajmi použitá v praktickej časti 92

V práci použité názvy programových produktov, firiem apod. môžu byť ochrannými známkami alebo registrovanými ochrannými známkami príslušných vlastníkov.

Abstrakt (sk):

Predložená práca sa zaoberá porovnaním dostupného softwaru určeného pre simulácie procesov. Jedná sa o programy MATLAB, WITNESS, SIMUL8, SIMPROCESS a Crystal Ball. Najprv je vysvetlená dynamická simulácia, jej metodika, význam a oblasti použitia, a potom je popísaný zmysel a využitie simulačných metód Monte Carlo. Toto sú dva základné typy simulácií, pre ktoré sú tieto programy určené. Po stručnom úvode k študovaným programom nasleduje podrobný popis systémových požiadaviek, užívateľského prostredia a princípov práce s programami, ktorého súčasťou je aj popis základných funkčných blokov. Ďalej sú v práci zahrnuté ďalšie dôležité informácie ako je cena programov a druhy dostupných licencií a v prílohe je možné nájsť ukážky pracovného prostredia jednotlivých programov.

Druhá časť práce je založená na analýze sledovaných článkoch, ktoré sa zaoberajú danou problematikou. Na základe zistených a usporiadaných dát sa snažím popísať využitie týchto programov na trhu, oblasť ch použitia, poprípade typ simulácie, ktorý bol použitý. Informácie sú usporiadané v prehľadných tabuľkách a zobrazené na grafoch tak aby boli pre čitateľa prehľadné a zrozumiteľné. V závere sa už nachádza určité zhrnutie zistených poznatkov, ku ktorým som sa dopracoval a ktoré verím, že budú prínosom.

Abstract (eng):

This diploma paper compares available software for simulations. These are MATLAB, WITNESS, SIMUL8, SIMPROCESS and CRYSTAL BALL. In the first part, the dynamic simulations are explained, its methodic, purpose, areas of implementation and after that it describes the simulation of Monte Carlo type. These are the basic types of simulations used by programs mentioned in this paper. After a short introduction follows detailed description of the system requirements, user interface and the principles of working with these programs, that contains also a definition of basic function blocks. This paper also describes another important information like price, available licenses and in the attachment the pictures of the programs interface.

The next part of my paper is based on analyze of observed articles, which concern this special area of interest. I try to describe the usage of this software on a market, area of application or eventually a type of simulation. The information from data assimilation are ordered in transparent tables and visualized on a graphs and diagrams. At the end is the final summary, which I believe will be beneficiary for the readers.

1. Úvod

Predložená práca si kladie za cieľ porovnanie programových produktov vhodných na simuláciu procesov a popis možností ich využitia. Jedná sa o nasledujúce produkty:

- **MATLAB**[1]
- **WITNESS**[2]
- **SIMUL8**[3]
- **SIMPROCESS**[4]
- **Crystal Ball**[5]

Druhá kapitola je zameraná na popis metód, ktoré tieto programy k simuláciám využívajú. Z hľadiska chovania systému v priebehu času sa jedná o dynamickú simuláciu a z hľadiska toku času behom simulácie o diskrétnu simuláciu. Ďalej sú objasnené zásady tvorby vhodného a použiteľného modelu simulovanej skutočnosti a je ukázané využitie dynamickej simulácie v praxi. Záver druhej kapitoly je venovaný stručnému zoznámeniu s metódou Monte Carlo, ako ďalšieho možného prístupu k simuláciám.

V tretej kapitole sú uvedené základné informácie o programoch, predovšetkým na aké typy simulácií sa špecializujú, základné výhody, nevýhody a princípy ich použitia. Nasledujúca kapitola podrobne popisuje prácu so študovanými programami, zameriava sa na systémové požiadavky, na princípy tvorby modelov a získavanie výstupov, a tiež na spôsob, akým program prevádza simulácie. Tento prehľad však nemôže byť chápaný ako užívateľský manuál, pretože obsiahnuť všetky možnosti týchto programov by bolo ďaleko nad rámec predloženej práce. Zameriaval som sa iba na niektoré zaujímavé a užitočné vlastnosti, ktoré som popísal dôkladnejšie i s možnosťami ich nastavenia.

Záverečná kapitola uvádza niektoré ďalšie užitočné informácie týkajúce sa

---

[1] *The Mathworks : MATLAB and Simullink for technical computing* [online]. 1994-2009 [cit. 2009-09-19]. Dostupný z WWW: <http://www.mathworks.com/>.
[2] *Lanner : Process Simulation Software* [online]. 2008-2009 [cit. 2009-09-25]. Dostupný z WWW: <http://www.lanner.com/index.cfm>.
[3] *Simul8 : Simulation Software* [online]. 2009 [cit. 2009-09-16]. Dostupný z WWW: <http://www.simul8.com/>.
[4] *Simprocess : Business Process Management Software* [online]. 1995-2008 [cit. 2009-09-26]. Dostupný z WWW: <http://www.simprocess.com/>.
[5] *Oracle* [online]. 2009 [cit. 2009-10-08]. Dostupný z WWW: <http://www.oracle.com/us/>.

predovšetkým ceny týchto programov a dostupných verzií.

Oblasti využitia týchto programov sa veľakrát prekrývajú, preto sú aj niektoré metódy tvorby modelov podobné a mohlo by sa zdať, že je zbytočné opakovať, to čo už bolo uvedené u iného programu. Avšak považoval som za dôležité popísať každý program samostatne ako celok, bez ohľadu na ostatné programy. Dôvodom k tomuto rozhodnutiu bol tiež fakt, že často pod rovnakým alebo podobným názvom vystupuje trocha odlišný prvok a mohlo by tak dôjsť k nepresnostiam.

Pretože sú všetky programy v angličtine často sa v práci objavuje použitie originálneho termínu namiesto nepresného prekladu, ktorý by mohol byť pri práci s programom skôr mätúci, hlavne pri vyhľadávaní konkrétnych ikon alebo volieb v okne programu. Sankciou za toto spresnenie sú však nepekné dvojjazyčné vety.

Hlavnými zdrojmi informácií nutných k napísaniu tejto práce boli predovšetkým domovské stránky sledovaných produktov, ale tiež nápovede k programom a užívateľské manuály, ktorých úplný zoznam je uvedený v prehľade použitej literatúry na konci práce.

2. Simulácie

Uvedený software slúži k vytváraniu simulácií reálnych procesov, čím sa stáva veľmi dôležitým a užitočným nástrojom hlavne pre rozhodovanie. Dôležitosť simulácií však nespadá iba do obchodnej oblasti, kde sa obvykle jedná o rozhodnutia spojené s maximalizáciou zisku, ale časté je tiež ich využitie vo výskume rôznych prírodných systémov vo fyzike, chémii a biológii, k sledovaniu chovania skupiny jedincov v ekonómii alebo psychológii, a tiež k optimalizácii technologických postupov.

Software sa zameriava na dva hlavné druhy simulácií. Dynamickú simuláciu je možné prevádzať pomocou programov MATLAB, WITNESS, SIMUL8 a SIMPROCESS a na simulácie metódami Monte Carlo sa dajú využiť programy MATLAB a Crystal Ball.

2.1. Dynamická simulácia

K simulovaniu sú predovšetkým vhodné akékoľvek premenlivé procesy s množstvom interakcií a zmien. Metóda používaná k simulácii týchto procesov sa nazýva dynamická simulácia (angl. *dynamic simulation*)[6], ktorá tiež umožňuje zahrnúť do simulovania náhodné chovanie systému, ktorý vždy pozorujeme v reálnom živote. Keby sa sledované systémy nechovali náhodne, nebolo by treba vykonávať simulácie a stačilo by daný systém analyzovať na základe priemerných hodnôt.

Takýto model sa nazýva stochastický a náhoda je tu realizovaná generovaním tzv. pseudonáhodných čísel. Generátor takýchto čísel funguje na základe presne stanoveného, deterministického algoritmu, preto sa nejedná o náhodné čísla v pravom slova zmysle[7]. Pseudonáhodné čísla sú však štatistickými testami nerozlíšiteľné od náhodných čísel a majú aj niektoré výhody. Hlavná z nich je možnosť opakovať identickú postupnosť čísel jediným zadaním tzv. semienka alebo kľúča (angl. *seed, key*). Na popis reálneho procesu má použitie stochastických modelov nezanedbateľný význam. Takmer stále sa v praxi stretávame s istou mierou neistoty, či nejaká udalosť nastane alebo nie. Túto situáciu je možné ilustrovať nasledujúcim príkladom sledovania príchodu zákazníkov do banky. Nedá sa povedať,

[6] *Dynamicfuture* [online]. 2001 [cit. 2009-09-19]. Dostupný z WWW: <http://www.dynamicfuture.cz/uvod/>.
[7] *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 2001 [cit. 2009-10-12]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pseudonáhodná_čísla >.

že zákazníci chodia do banky v presných časových intervaloch, alebo v konkrétnych časoch. Čo ale môžeme pozorovať sú pravdepodobnosti ich príchodu, popr. rozdelenie týchto pravdepodobností. Potom už stačí využiť niektorú z metód simulácie z tohto rozdelenia[8]. Určiť však rozdelenie pravdepodobnosti uvažovaných udalostí nebýva spravidla nejaká jednoduchá úloha, preto sa k overeniu správnosti odhadu používajú ďalšie štatistické metódy.

Simulácia zostaveného modelu by mohla sama o sebe bežať do nekonečna, preto je treba nastaviť koncové podmienky (angl. *ending condition*), t.j. podmienky na jej ukončenie. Bežnou koncovou podmienkou je napr. dosiahnutie nejakého času, počtu udalostí, alebo hodnoty niektorej z premenných.

2.1.1. Princíp

Dynamická simulácia je pojem známy a využívaný už radu rokov, avšak v súčasnej dobe nastáva jej veľký rozmach v dôsledku mohutného rozvoja informačných technológií. Použiteľnosť simulácií je totiž často spojená s výkonom počítačov, pretože niektoré rozsiahle simulácie môžu trvať aj niekoľko dní. Tiež vizualizácia procesu, ktorá je pre bežného človeka oveľa prínosnejšia a prehľadnejšia ako nič nehovoriace čísla, kladie isté nároky na výkon počítača.

Princíp dynamickej simulácie spočíva v sledovaní dynamického modelu procesu a jeho reakcie na zmeny v dopredu definovanej škále parametrov[9]. Dynamický simulačný model je zostavený na základe abstrakcie reálneho procesu definovaného pomocou tzv. pojmového modelu, ktorý určuje mieru abstrakcie daného procesu. Samozrejme platí, že čím viac sa model blíži skutočnosti, tým je presnejší, ale aj zložitejší. S ohľadom na dostupné kapacity je preto nutné zvoliť vhodný kompromis medzi presnosťou modelu a jeho zložitosťou.

Prvým krokom realizácie projektu dynamickej simulácie je zber dát, pričom ich presnosť priamo ovplyvňuje kvalitu a vypovedaciu hodnotu simulácií. S nepresnými alebo irelevantnými údajmi nie je možné vytvoriť hodnotný model. Z tohto dôvodu je treba presne pochopiť problematiku riešeného procesu a identifikovať faktory, ktoré ho ovplyvňujú. U týchto faktorov je nutné získať potrebné parametre spojené s ich

---

[8] DEVROYE, L. *Non-uniform random number generation*. New York : Springer-Verlag, 1986. 843 s. ISBN 0-387-96305-7.
[9] *Humusoft : Technical computing, control systems, simulations* [online]. 1991-2009 [cit. 2009-08-16]. Dostupný z WWW: <http://www.humusoft.com/produkty/witness/simulace/>.

výskytom (napr. v akých intervaloch sa opakujú) a tiež zistiť, aká je reakcia systému na ich výskyt.

V ďalšom kroku nasleduje tvorba pojmového modelu, ktorý s využitím predchádzajúcej analýzy v teréne popisuje daný proces. Rozlišujú sa nasledujúce spôsoby popisu[10]:

- **verbálny popis** - je najmenej presný, ale ľahko pochopiteľný. Hlavnou nevýhodou je, že nemusí byť konzistentný, tzn. v opise sa môžu vyskytovať protichodné fakty. Často býva východiskom pre neskoršiu presnejšiu formuláciu pojmového modelu.
- **matematický popis** - najpresnejší popis vyznačujúci sa jednoznačnou sémantikou. Popis chovania spojitých systémov je najčastejšie daný ako sústava diferenciálnych rovníc.
- **schematický popis** - často sa využíva u systémov, ktoré sú špecifikované svojou štruktúrou (napr. elektrické systémy). Opis je jednoznačný, pokiaľ sa správne špecifikujú všetky komponenty a prepojenie v štruktúre. Vyžaduje však popis chovania jednotlivých komponentov.
- **vývojový diagram** - používa sa v prípadoch, pokiaľ je charakter chovania systému možné graficky znázorniť ako sekvenčnú postupnosť vykonávania určitých akcií s možnosťou vetvenia. Výhodou je, že umožňuje priamočiaru implementáciu formou počítačového programu.

Ďalšiu fázu predstavuje tvorba virtuálneho modelu, ktorý charakterizuje súčasný stav procesu. Jedná sa o prenos pojmového modelu do počítačového prostredia, kde sa potom vykonáva jeho testovanie. Toto je nutný krok k overeniu správnosti nameraných dát a celej štruktúry procesu. Absolútna zhodnosť so skutočnosťou síce nie je nikdy možná, pretože vždy sa jedná o isté zjednodušenie skutočnosti, ale na druhej strane veľké odchýlky signalizujú chyby v modelu. Až po odstránení týchto chýb je možné vykonávať použiteľné simulácie, ktorých výstupy budú odpovedať realite. Potom je možné rôznymi spôsobmi meniť parametre a sledovať chovanie systému k dosiahnutiu optimálnych výsledkov.

[10] *Dynamicfuture* [online]. 2001 [cit. 2009-09-19]. Dostupný z WWW: < http://www.dynamicfuture.cz/dynamicka-simulace/>.

2.1.2. Diskrétne simulácie

Študovaný software využíva ďalší špecifický typ simulácie – diskrétnu simuláciu (angl. *discrete-event simulation*). Jedná sa o trochu iné kritérium hodnotenia ako v prípade dynamickej simulácie a preto sa tieto dve možnosti nevylučujú. Je možné teda povedať, že sledované programy simulujú reálne procesy pomocou diskrétnej a dynamickej simulácie.

Diskrétna simulácia nesleduje systém kontinuálne, alebo teda v spojitom čase, ale iba v dobe udalostí, ktoré daný systém ovplyvňujú. Nie je totiž treba pamätať si záznamy z doby, keď sa so systémom nič nedialo, je potreba poznať iba rozhodujúce okamžiky a následné zmeny systému. Toto opatrenie mimo iné slúži k skráteniu času simulácie. Výsledkom je teda akýsi zoznam udalostí spolu s časmi ich výskytu, pričom niekedy môže byť čas udalosťou popísaný dobou jej trvania pomocou časového intervalu. V takomto systéme sa však môže vyskytnúť viacej udalostí v rovnakom čase, čo so sebou nesie značné problémy so synchronizáciou a zaistením správnej následnosti udalostí.[11]

2.1.3. Výhody

Hlavnou výhodou riešení problémov pomocou simulácií je možnosť komplexného pohľadu na situáciu a zohľadnenie všetkých jej špecifikácií. Týmto spôsobom je možné riešiť aj veľmi zložité problémy, ktoré sa nedajú adekvátne riešiť pomocou analytických metód. Bežné analytické metódy sú totiž veľakrát príliš statické a nemôžu postihnúť celú zložitosť systému. Simulácie ďalej umožňujú štúdium procesov v spomalenom, reálnom a alebo zrýchlenom čase, a pomocou toho je možné v relatívne krátkom čase vyskúšať a zhodnotiť rôzne kombinácie nastavenia systému a tým minimalizovať nebezpečenstvo chybného rozhodnutia. Tiež prvotná fáza merania a zberu dát je veľmi prínosná a vedie k oveľa lepšiemu pochopeniu daného procesu a k odhaleniu zákonitostí, ktoré nemusia byť vždy na prvý pohľad jasné.

Pokiaľ uvažujeme využitie simulácií v podnikateľskej sfére (napr. simulácia výroby, systémy hromadnej obsluhy, projektovanie výrobných systémov), obvykle na projekte spolupracuje široký okruh ľudí, čím je podporená tímová práca, kreatívna

[11] *Simul8 : Simulation Software* [online]. 2009 [cit. 2009-09-16]. Dostupný z WWW: < http://www.simul8.cz/co-je-simulace >.

práca a snaha o zlepšenie firemných postupov.

2.1.4. Tvorba modelu

Mnoho ľudí určite napadne otázka, do akej miery je možné sa na výsledky dynamické simulácie a simulácií obecne spoľahnúť, do akej miery výsledky odpovedajú skutočnosti. V skratke by sa dalo povedať, že žiadny model nie je úplne presný, pretože vždy dochádza k určitému zjednodušeniu reality. Vhodným príkladom je simulácia chovania populácie. Intuitívne je zrejmé, že každý jedinec jedná samostatne a je odlišný od ostatných, ale pre potreby výskumu je treba týchto jedincov usporiadať do skupín s podobným jednaním a jedincov v rámci skupín už ďalej nerozlišovať. Toto zjednodušenie je nutné, aby vôbec bolo možné s daným systémom pracovať, pretože ako už bolo uvedené, je treba nájsť vhodný kompromis medzi presnosťou a zložitosťou modelu. Ďalším, nemenej dôležitým, pravidlom je správna interpretácia získaných údajov. Nesprávna interpretácia totiž môže celkom znehodnotiť aj kvalitne vykonanú simuláciu, ktorá potom stráca svoju vypovedaciu hodnotu.

V praktickom živote sa však skôr pýtame, aká je užitočnosť danej simulácie, či dobre slúži nášmu zámeru a cieľu, ktorého chceme dosiahnuť. Nepochybne je toto skôr subjektívne hľadisko a výsledné hodnotenie teda závisí len na zadávateľovi projektu. V nasledujúcom texte si podrobnejšie popíšeme základné kritéria, ktorá by mal kvalitný model splňovať. Až potom sa dá považovať za vyhovujúci a užitočný.

Štruktúra

Štruktúrou modelu rozumieme jeho jednotlivé prvky (napr. jednotlivé stroje v modely výrobnej linky) a interakciu medzi nimi alebo teda spôsoby, akými sa navzájom ovplyvňujú. Pretože štruktúra modelu je kľúčová pre jeho vývoj a zmeny v priebehu simulácie, je nutné klásť veľký dôraz na jej správnosť a čo najbližšie stotožnenie s modelovanou skutočnosťou. Každý prvok modelu musí mať svoj skutočný náprotivok a každá dôležitá časť systému musí byť zavedená v modely. Rovnako je to aj s vzťahmi medzi prvkami systému. Je treba ich postihnúť čo najpresnejšie, pričom sa v širokej miere uplatnia skúsenosti a úsudok tých, ktorí so systémom priamo pracujú, alebo sú sami jeho súčasťou. Je treba pokladať si otázky typu: Ako to funguje? Prečo to tak funguje? Často sa stáva, že mnohé dôležité zákonitosti systému sú odhalené až pri samotnej tvorbe modelu na simuláciu. Z toho

je jasné, že rozhodujúce nie je množstvo dát, ale ich vzájomné prepojenie.

Parametre

V mnohých prípadoch je možné porovnať zadané hodnoty parametrov s historickými dátami, ale pokiaľ sa dá očakávať istý posun vplyvom vývoja daného systému, sú tieto dáta nevyhovujúce. V iných prípadoch však vôbec nemusia byť historické dáta k dispozícii. Môže sa stať, že do modelu potrebujeme zahrnúť skutočnosť, ktorá nie je bežne kvantifikovaná. Ako príklad je možné uviesť zahrnutie predsudkov v modelu heroínovej závislosti, viď [5]. Aj takéto parametre, pokiaľ majú skutočný význam, je treba zohľadniť v modely a odhadnúť spôsob ich prepojenia s ostatnými prvkami. Niekedy sa tiež môže stať, že sa dáta, ktoré máme k dispozícii a zdá sa, že majú k systému dôležitý vzťah, ukážu ako celkom irelevantné a zbytočne skresľujúce. Je preto lepšie takéto dáta z modelu vypustiť a zamerať sa na podstatnejšie aspekty.

Priestorové vymedzenie

Toto hľadisko úzko súvisí s odpovedajúcou interpretáciou simulácie. Pokiaľ totiž je model zameraný na sledovanie nejakého systému iba lokálne, nie je obecne možné jeho výsledky paušalizovať na celý systém. Napr. výsledky sledovania chovania ľudí v Prahe určite nepopisuje chovanie ľudí v malej dedinke v horách, nemôžeme preto tieto výstupy brať ako popis chovania ľudí v celej Českej Republike. V niektorých bežných prípadoch to ale samozrejme možné je, alebo stačia len drobné úpravy v modely. V opačnej situácii – pri globálnom modely celého systému – zase nie je obecne možné z jeho výsledkov usudzovať niečo o zákonitostiach a vzájomnej interakcii prvkov v časti tohto systému. Toto však patrí medzi špecifikácie modelu, preto je treba sa vždy zamyslieť nad konkrétnymi situáciami a adekvátne interpretovať výstupy zo simulácií.

Extrémne podmienky

Veľmi užitočným kontrolným prostriedkom uvažovaného modelu je jeho použiteľnosť pre extrémne podmienky parametrov. Takéto podmienky sa obvykle nevyskytujú, preto býva toto kritérium v praxi často prehliadané, predovšetkým z dôvodu nedostatku času pre tvorbu ideálneho modelu. Dobrá adaptabilita modelu na extrémne podmienky však zaručuje jeho širšie a kvalitnejšie využitie, ktoré bude určite odmenené. Aj keď sa tieto podmienky objavujú iba zriedka, ich výskyt možný

je, a v takej situácii samozrejme požadujeme odpovedajúce chovanie modelu. Testovanie modelu pri extrémnych podmienkach môže tiež pomôcť odhaliť iné chyby, ktoré za normálnych podmienok neboli zreteľné.

Nasledujúce kritéria sa dajú popísať ako kritéria sledujúce chovanie modelu pri simuláciách. Tieto kritéria sú menej technické a pritom často viacej presvedčujúce o vhodnosti alebo nevhodnosti daného modelu.

Podobnosť skutočnosti

Prvé z kritérií sleduje vývoj reálneho procesu (obvykle na základe historických dát) a porovnáva hodnoty premenných so simuláciou spustenou za rovnakých počiatočných podmienok. Táto požiadavka je určite oprávnená a je treba, aby bola splnená. Hovorí iba to, že pokiaľ nastavíme modelu počiatočné parametre rovnaké ako hodnoty reálneho systému niekedy v minulosti, mali by odpovedajúce premenné mať v prítomnosti rovnaké hodnoty. Je nutné zvoliť vhodný časový rozsah v závislosti na charaktere samotného modelu a samozrejme tiež v závislosti na kvalite reálnych dát. Všetko je nutné posudzovať veľmi opatrne a nerobiť unáhlené závery, pretože nesplnenie tohto kritéria môže byť zavinené zlými vstupnými dátami, pričom model môže byť celkom správny. Keď sú ale dáta správne a model aj napriek tomu neodpovedá skutočnosti, bude chyba najskôr niekde v štruktúre modelu, v nastavení parametrov apod. Niečo mohlo byť nevhodne špecifikované alebo prehliadnuté. Pokiaľ sa model chová zle iba vo výnimočných situáciách, napr. pri špecifickom nastavení počiatočných parametrov, hľadajme chybu skôr v dátach, s ktorými porovnávame.

Citlivosť

Hodnoty tohto kritéria opäť záležia na konkrétnom modely. Niektoré systémy sú veľmi stabilné a nereagujú príliš na drobné zmeny parametrov, naproti tomu iné modely sa veľmi dynamicky menia aj pri malej zmene parametrov. Vyplýva to z podstaty veci, a preto nie je možné jednoznačne určiť medze, kedy ešte model reaguje dobre a kedy nie. Dôležité je zase, aby sa zmeny spôsobené zmenou parametrov odrážali v skutočnom chovaní systému. V dobre zostavenom modely sa dajú jednoducho identifikovať parametre, ktorých výchylky majú rozhodujúci vplyv na zmenu systému, a ktoré len zanedbateľný. To pomáha k ešte lepšiemu pochopeniu sledovaného systému.

Predikcia

Nedielnou súčasťou práce s dynamickými simulačnými modelmi je ich využitie pre predpovedanie chovania systému v budúcnosti. V prípade, že model dobre simuluje systém v minulosti a prítomnosti, nie je dôvod očakávať jeho chybné chovanie v budúcnosti. Dynamické systémy navyše svojím charakterom poskytujú veľmi vhodné prostriedky pre predpovedanie. Toho je dosiahnuté predovšetkým spôsobom tvorby modelu a tým, že model nielen kopíruje dlhodobé chovanie systému, ale aj aktívne reaguje na každú zmenu vo vnútri systému i na podnety zvonku, keď sú do modelu zahrnuté. Schopnosť predikcie je možné testovať zrejmým spôsobom, ktorý sa vlastne zhoduje s testovaním podobnosti skutočnosti. V dnešnej dobe má predikcia veľký význam predovšetkým v obchodnej a finančnej sfére.

2.1.5. Prípadová štúdia

V tejto kapitole je uvedený príklad reálneho problému riešeného pomocou dynamickej simulácie. Sú na ňom dobre viditeľné zásady spracovania dynamického modelu riešené v predchádzajúcej časti práce a tiež dôkladne osvetľuje možnosti a výhody využitia dynamickej simulácie v praxi. Tento problém riešila firma DYNAMIC FUTURE s.r.o., ktorá sa zaoberá logistickým poradenstvom, optimalizáciou a zlepšovaním podnikových procesov. Štúdia je prevzatá z internetových stránok firmy.[12]

V závode Siemens Elektromotory s.r.o. v Mohelnici prebiehala reorganizácia celej prevádzky, ktorá si kládla za ciel modernizáciu výroby a pokrytie dopytu po elektromotoroch, ktoré sa tu vyrábajú. V prvej etape mala byť premenená lisovňa, a preto tým pracovníkov navrhol možné usporiadanie, avšak bolo treba preveriť jeho prevádzkyschopnosť a celkovú priechodnosť navrhovaného riešenia. Preto bolo pristúpené k dynamickej simulácii v spolupráci s poradenskou firmou DYNAMIC FUTURE s.r.o., ktorá disponuje simulačným programom WITNESS. Projekt prebiehal v troch etapách, ktoré prebiehali pri vzájomnej spolupráci obidvoch účastníckych strán:

1. **zber dát, ich analýza a spracovanie** - v tejto fáze bolo potrebné zhromaždiť všetky dáta od plánu novej prevádzky, tokov jednotlivých výrobkov, výkonov jednotlivých strojov (vrátane nastavených časov), určenia počtu

[12] *Dynamicfuture* [online]. 2001 [cit. 2009-09-19]. Dostupný z WWW: <www.dynamicfuture.cz/pzp_layout.php>.

a parametrizácie obslužných prostriedkov, stanovenia skladových kapacít, až po obsadenie jednotlivých uzlov výroby pracovníkmi. Tieto dáta boli prevedené do podoby potrebnej na zostavenie modelu tak, aby bola, v prípade potreby, možnosť ich zmeny. Už pri spracovaní tejto fáze boli viditeľné prvé kladné výsledky projektu. V priebehu zberu a analýzy všetkých potrebných dát bolo nutné podrobne popísať toky jednotlivých výrobkov a tým došlo aj k odhaleniu niektorých nedostatkov, ktoré pri prvom zadaní projektu neboli zrejmé (optimalizácia procesov).

2. **zostavenie dynamického modelu a jeho validácia -** ďalšou etapou bola stavba dynamického modelu - dynamická simulácia prevádzky lisovne, ktorá odpovedá navrhovanému riešeniu a je možné v nej prevádzať aktuálne zmeny, ktoré vyplynú z následných analýz.
3. **preverovanie jednotlivých výkonov a tokov a analýzy** - poslednou etapou bolo preverovanie zadaných variant, analýzy, vedúce k odhaleniu úzkych miest a návrhy na ich odstránenie.

V modely museli byť postihnuté všetky výrobné uzly prevádzky: lisovanie rotorových a statorových plechov, rovnanie rotorových plechov, liatie rotorov a zväzkovanie statorov. Pre obsluhu celej prevádzky boli určené 3 vysokozdvižné vozíky a nastavené kapacity jednotlivých skladových regálov.

Z výsledkov dynamickej simulácie a analýz bolo potrebné hlavne preveriť celkovú priepustnosť prevádzky pre súčasnú výrobu, ale tiež pre jej zvýšenie o 40% v ďalšom období. Ďalej stanoviť počet obslužných prostriedkov, zistiť, či navrhnutie skladových miest odpovedá predpokladanému objemu budúcej výroby a posúdiť technické parametre zakladačov vo všetkých regáloch.

Simulačným obdobím bolo 10 týždňov, to znamená 50 pracovných smien, čo je dostatočná doba na zistenie priemernej hodnoty produkcie za smenu a týždeň, a tým aj výpočet celkovej výroby za celý rok. V prípade potreby bolo možné previesť simuláciu celého roku.

Model bol zostavený tak, aby bolo možné na základe výstupov zo simulácie sledovať nasledujúce hodnoty výkonnosti procesu:

- počet výrobkov vyrobených za sledované obdobie

- využitie jednotlivých strojov vrátane nastavenia časov
- využitie vysokozdvižných vozíkov
- využitie regálových zakladačov
- priebežná naplnenosť regálov
- plynulosť výroby a vyhľadanie úzkych miest

Pre súčasnú výrobu bola prevedená dynamická simulácia pre 6 variant s rôznym rozložením typov výrobkov, ktoré jednotlivé stroje spracovávajú. Z konečnej varianty, ktorá odpovedala požadovanej produkcii, s ohľadom na naplnenosť jednotlivých skladov, boli použité štatistiky na analyzovanie projektu. V záverečnej fáze bola prevedená simulácia pri navýšení súčasnej výroby o 40%. Výsledky preukázali priechodnosť prevádzky aj pre túto variantu.

Boli stanovené 2 úzke miesta výroby: sklad rotorových plechov a úsek liatia rotorov. Dynamická simulácia a následná analýza dát potvrdila možnosť ich odstránení pri vhodnom rozložení spracovania rôznych typov výrobkov na jednotlivých strojoch a dobrým plánovaním výrobných dávok pre jednotlivé uzly tak, aby celý proces výroby prebiehal kontinuálne bez zbytočných zásob v rozpracovanej výrobe. Toto potvrdila štatistika naplnenosti skladov, kde sa preukázalo, že pri dodržaní zadaných pravidiel postačujú 2 tretiny navrhnutých skladových miest oproti prvým variantom simulácie, keď dochádzalo k úplnému zaplneniu skladu za lisovaním a tým nemožnosti ukladania materiálu od lisov.

Týmto projektom bol tiež preukázaný značný prínos dynamickej simulácie pre reorganizáciu výroby.

2.2. Monte Carlo simulácie[13]

Metóda simulácie nazývaná Monte Carlo zahrňuje celú škálu algoritmov vhodných na simulovanie zložitých stochastických systémov. Základom týchto metód je opakované generovanie pseudonáhodných čísel, s ktorými je následne počítaný už deterministický výpočet. Algoritmy triedy Monte Carlo majú spoločný nasledujúci prístup k riešeniu problému:

1. určí obor prípustných hodnôt vstupných parametrov a ich pravdepodobnostné

[13] *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 2001 [cit. 2009-10-12]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_Monte_Carlo >.

rozdelenie

2. generujú náhodné realizácie týchto parametrov
3. s využitím nagenerovaných hodnôt prevedú výpočet a výsledok uložia do pamäti
4. opakujú fáze 2. - 3. pokiaľ nie je splnené ukončovacie kritérium
5. výsledky jednotlivých výpočtov zhromažďujú do celkového výstupu

Jednoduchým príkladom použitia metódy Monte Carlo simulácie je výpočet pravdepodobnosti, že zo skupiny *n* ľudí majú aspoň dvaja narodeniny v rovnaký deň (viď [2]). Klasický prístup k tejto úlohe spočíva vo výpočte pravdepodobnosti doplnkového javu, ktorý hovorí, že žiadni dvaja ľudia nemajú narodeniny v rovnaký deň. Je nutné postupne spočítať počet priaznivých výsledkov (usporiadaných *n*-tic, kde sa jednotlivé zložky nesmú opakovať) a ten vydeliť počtom všetkých možných výsledkov (usporiadané *n*-tice s opakovaním). Tento výpočet dáva pre $n=30$ približne 71% pravdepodobnosť, že aspoň dvaja ľudia budú mať narodeniny v rovnaký deň. Pri využití metódy Monte Carlo je nutné zvoliť 30 čísel z množiny {1, 2, …, 365} a zistiť, či je medzi nimi dvojica s rovnakou hodnotou. Tento postup by sa opakoval napríklad 10000 krát a výsledný odhad pravdepodobnosti sa potom rovná relatívnemu počtu behov, v ktorých sa dvojice s rovnakou hodnotou vyskytovali.

Z uvedených dvoch postupov je zrejmé, že Monte Carlo simulácia dáva iba odhad počítanej pravdepodobnosti, zatiaľ čo prvý prístup určil jej presnú hodnotu. Odhad metódou Monte Carlo je tým presnejší, čím viac behov simulácie bolo k jeho výpočtu prevedených.

Monte Carlo metódy sú vhodné na modelovanie ľubovoľného fenoménu s určitou mierou neistoty ohľadne vstupných parametrov. Možnými oblasťami použitia sú napr.: fyzika (napr. aerodynamika, molekulárna fyzika, fyzikálna chémia), zostavenie modelov pre predpovede počasia, telekomunikácie, financie a obchod (napr. finančné plány, hodnotenie investícií alebo finančných derivátov, analýza rizika), zodpovedanie 'what-if' otázok. V matematike majú Monte Carlo metódy veľmi široké využitie, napr. na počítanie určitých integrálov alebo diferenciálnych rovníc, ktorých výpočet nie je pomocou priamych metód možný.

3. Oblasti použitia

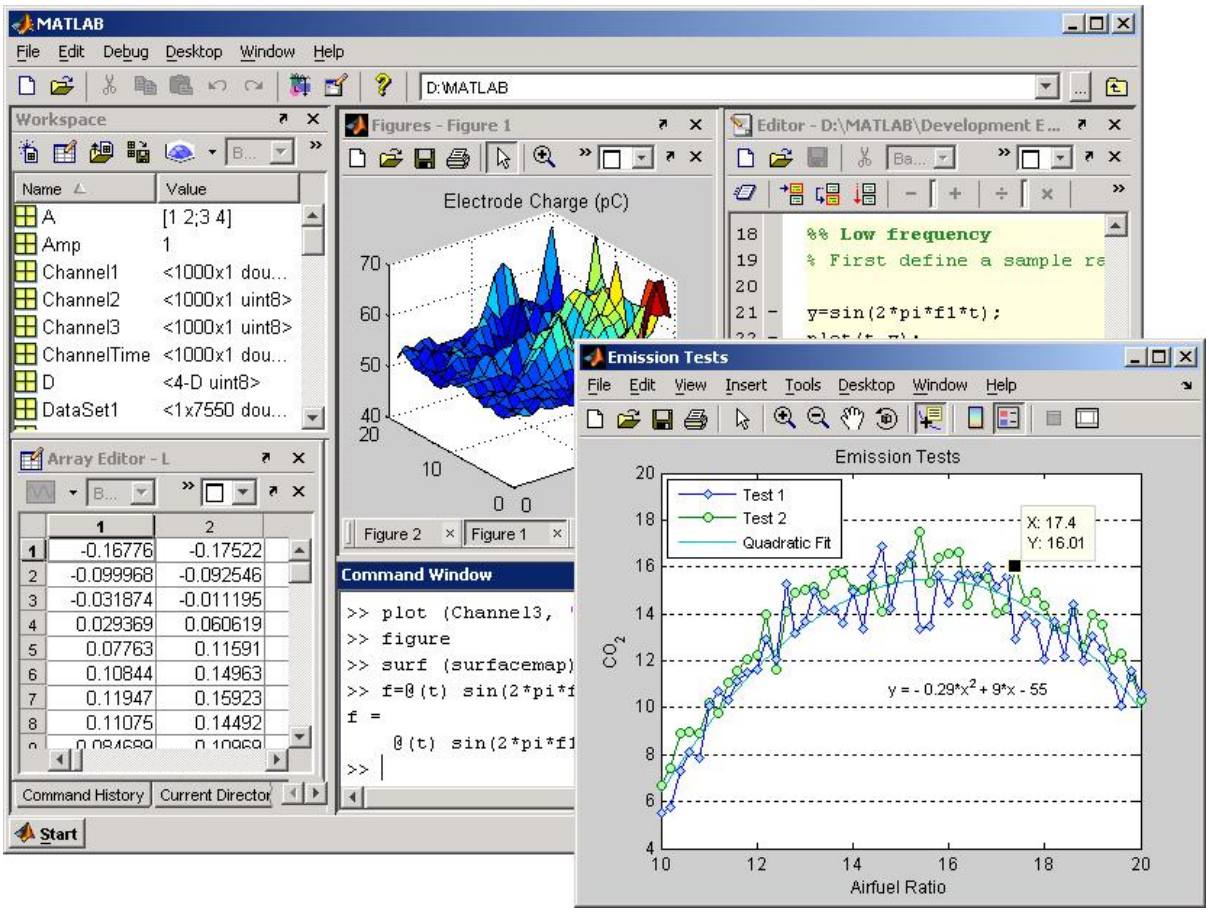
3.1. MATLAB[14]

MATLAB je programovací jazyk a interaktívne prostredie určené na vedecko-technické výpočty, návrhy algoritmov, analýzu a prezentáciu dát, modelovanie a počítačové simulácie. Napriek tomu, že vlastný programovací jazyk vychádza z jazyka Fortran, sú výpočty v ňom podstatne rýchlejšie ako vo Fortrane alebo v ďalších tradičných programovacích jazykoch, ako je napr. C, C++. To je umožnené tým, že pri práci nie je treba riešiť nízko-úrovňové úlohy ako je deklarovanie premenných a špecifikácia dátových typov. Pri správnom použití funkcií je celkom obmedzená nutnosť aplikácie cyklov, čo so sebou nesie tiež istú úsporu času. Ďalší z uznávaných vlastností MATLABu je jeho široká variabilita. Okrem základného balíku je totiž k dispozícií rada rozšírení tzv. toolboxov, ktoré umožňujú riešiť aj problémy z mnohých ďalších oblastí. Samozrejme nechýba možnosť napísať vlastné nadstavbové súbory alebo aj celé programy.

Simulácie pomocou metód Monte Carlo sa dajú implementovať priamo v užívateľskom prostredí MATLABu. Na samotné simulácie dynamických systémov bola vyvinutá nadstavba – Simulink.

Simulink je interaktívne prostredie, ktoré poskytuje možnosť rýchlo a ľahko vytvárať modely dynamických systémov vo forme blokových schém a rovníc. Simulink je úzko prepojený s MATLABom, čo zaisťuje okamžitý prístup k veľkému množstvu funkcií a nástrojov. Otvorená architektúra Simulinku viedla k vzniku knižníc blokov, nazývaných blocksety, ktoré rozširujú základnú knižnicu Simulinku. Spolu s možnosťou rozšírenia knižníc o vlastné bloky, vytvorené užívateľom, umožňuje Simulink efektívne využitie programu v akomkoľvek vednom a technickom obore. Jednoduchým presúvaním funkčných blokov myšou je možné vytvárať aj iné typy simulácií, než o akých bola reč v druhej kapitole. Jedná sa o modely lineárnych, nelineárnych, v čase diskrétnych alebo spojitých systémov.

[14] *The Mathworks : MATLAB and Simullink for technical computing* [online]. 1994-2009 [cit. 2009-09-19]. Dostupný z WWW: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>.



Obr. 1. Pracovné prostredie programu Matlab

3.2. WITNESS[15]

WITNESS je veľmi dobre zavedený nástroj pre simulácie dynamických systémov. Dokonca je uznávaný ako jeden zo svetovo najúspešnejších simulačných softwarov. Zameriava sa predovšetkým na použitie v podnikateľskej sfére, kde sa najčastejšie využíva k overeniu správnosti navrhovaných usporiadaní a k podpore investičných rozhodnutí. Svojou komplexnosťou zaistí pochopenie aj veľmi zložitého procesu. Jeho využitie, rovnako tak ako využitie akéhokoľvek iného programu pre simulácie, značne znižuje riziko zlých rozhodnutí a tým umožňuje nájdenie vždy toho najlepšieho riešenia obchodných problémov bez nutnosti straty investície. Tento program je určený pre simulácie dynamických procesov na bázy diskrétnych udalostí.

Využitie programu WITNESS však nie je obmedzené iba na obchodnú sféru, príkladom môže byť použitie pri vyučovaní na TU v Liberci, Fakulte strojnej, Katedre

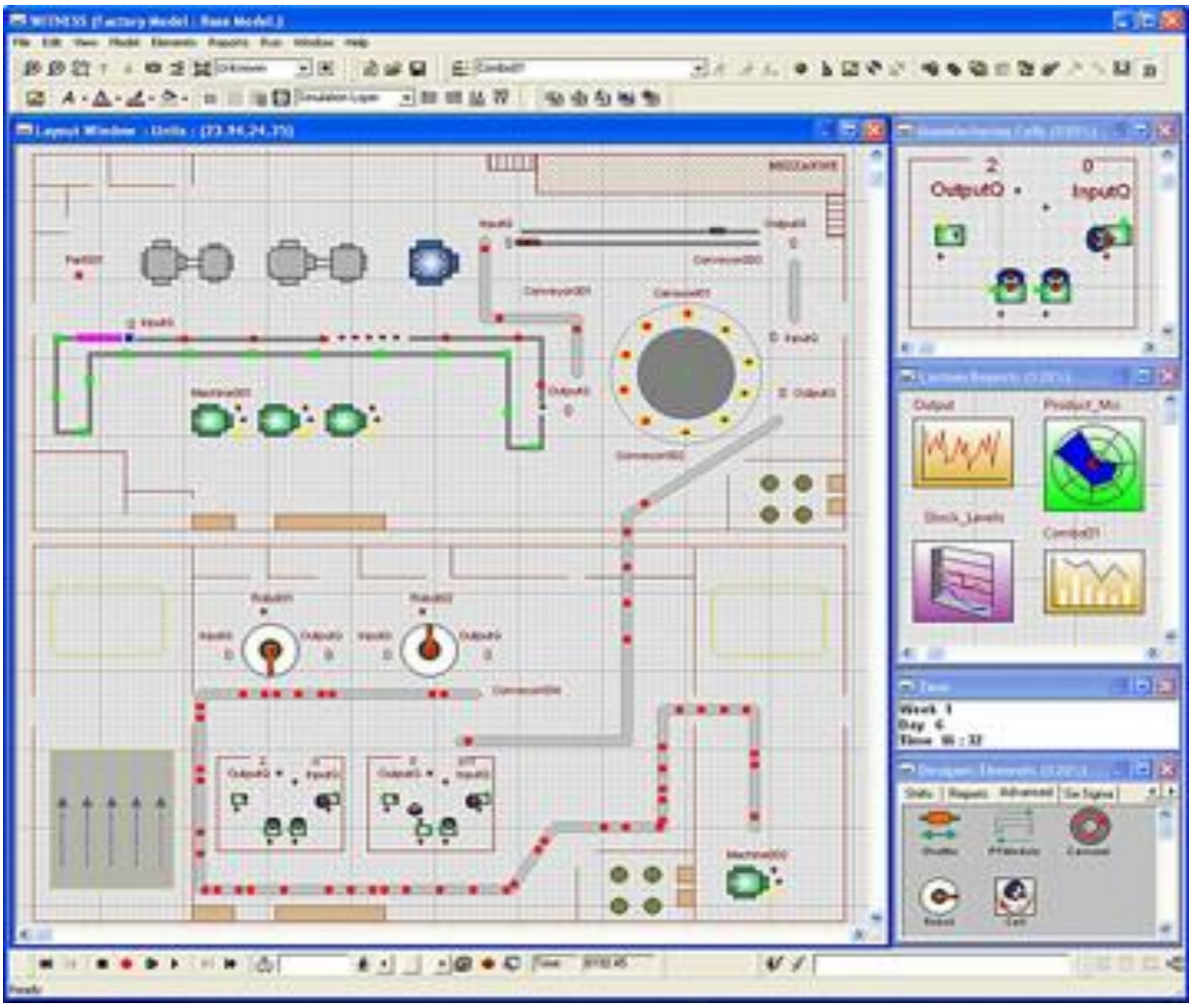
[15] *Humusoft : Technical computing, control systems, simulations* [online]. 1991-2009 [cit. 2009-08-16]. Dostupný z WWW: <http://www.humusoft.com/produkty/witness/simulace/>.

výrobných systémov (viď [16]). Tu sa využíva predovšetkým na simuláciu výrobných procesov, ďalej na tvorbu výukových simulačných modelov, ktoré znázorňujú zákonitosti výroby či vybraných spôsobov riadenia výroby.

WITNESS je k dostaniu v dvoch základných verziách: Manufacturing Performance Edition and the Service a Process Performance Edition, ktoré sa predovšetkým líšia v terminológii užitej pre jednotlivé simulačné elementy. Prvá menovaná verzia je zameraná na výrobné procesy, zatiaľ čo ďalšia sa zameriava skôr na firmy podnikajúce v oblasti služieb. Princípy fungovania jednotlivých elementov sú si veľmi podobné, preto sa využitie týchto dvoch verzií môže prekrývať. Základný balík je možné rozšíriť o ďalšie nástroje, ktorými sú:

- Optimizer – slúži k inteligentnému experimentovaniu s rôznymi nastaveniami k nájdeniu ideálneho riešenia
- Scenario Manager – poskytuje pokročilé možnosti pre analýzu výstupov zo simulácií
- Virtual Reality – pridáva možnosti 3D zobrazenia pre akúkoľvek simuláciu
- Presentation Manager
- Documentor

[16] MANLIG, F. *Sborník příspěvků mezinárodní konference*. Brno : HUMUSOFT s.r.o. & VUT Brno, 2006. ISBN 80-214-3198-9. Postavení simulace a simulačního systému WITNESS ve výukovém virtuálním podniku, s. 11-15.



Obr. 2. Pracovné prostredie programu Witness

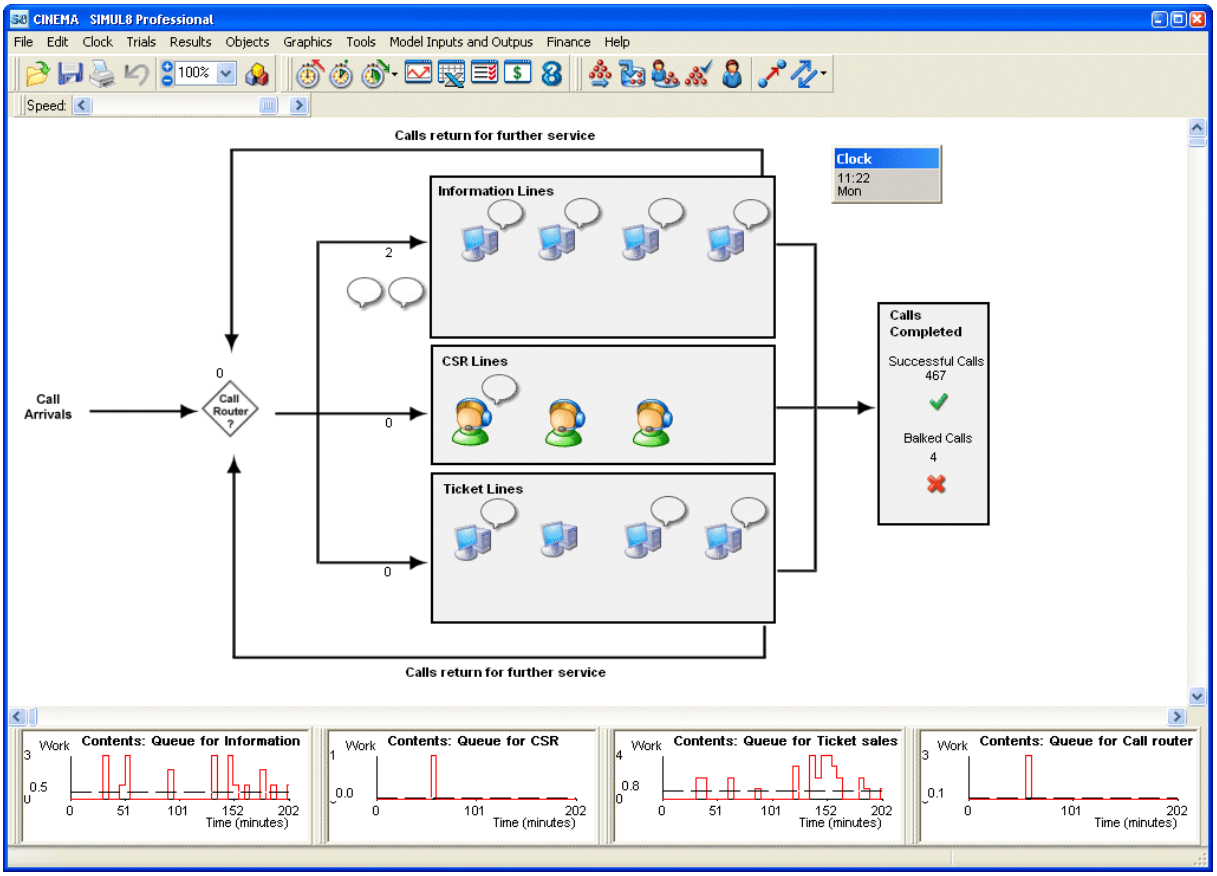
3.3. SIMUL8[17]

SIMUL8 je ďalší veľmi rozšírený softwarový produkt pre dynamickú diskrétnu simuláciu podnikových procesov, ktorý ponúka užívateľsky prívetivé integrované prostredie pre ľahkú a rýchlu prácu. Pomocou tohto programu je možné vytvoriť presné, flexibilné a robustné simulácie podnikových, výrobných alebo logistických procesov. Napr. sa dá SIMUL8 využiť na simulácie výrobných systémov (montážnych liniek, materiálových tokov vo výrobe), logistických systémov (manipulácie materiálu medzi skladom, výrobou a expedíciou, dopravné obsluhy distribučných centier), modelov spracovania prijatých objednávok, alebo systémov obsluhy zákazníkov a poskytovanie služieb (obsluha volajúcich klientov do call-centra, obsluha zákazníkov pri pokladniach supermarketov).

[17] *Simul8 : Simulation Software* [online]. 2009 [cit. 2009-09-16]. Dostupný z WWW: <http://www.simul8.com/>.

Na programu SIMUL8 určite veľa užívateľov ocení jeho užívateľské rozhranie. Nejedná sa totiž o programovacie prostredie, modely sa vytvárajú pomocou načrtnutia štruktúry, prepojením simulačných objektov a následným nastavením parametrov simulácie. Na druhej strane, iní užívatelia môžu túto vlastnosť považovať za príliš obmedzujúcu a uchýlia sa radšej k inému softwaru.

Tento program je tiež určený na simuláciu dynamických systémov v diskrétnych časoch, ako bolo popísane v druhej kapitole tejto práce. Príprava modelu aj samotná simulácia prebiehajú graficky, a preto je možné ľahko sledovať zákonitosti simulovaného procesu.



Obr. 3. Pracovné prostredie programu Simul8

3.4. SIMPROCESS[18]

SIMPROCESS je nástroj, ktorý je špeciálne určený na simuláciu podnikových procesov v oblasti priemyslu, obchodu a služieb. Jeho výhody ocení hlavne profesionáli v oblastiach Business Process Reengineering či informačných

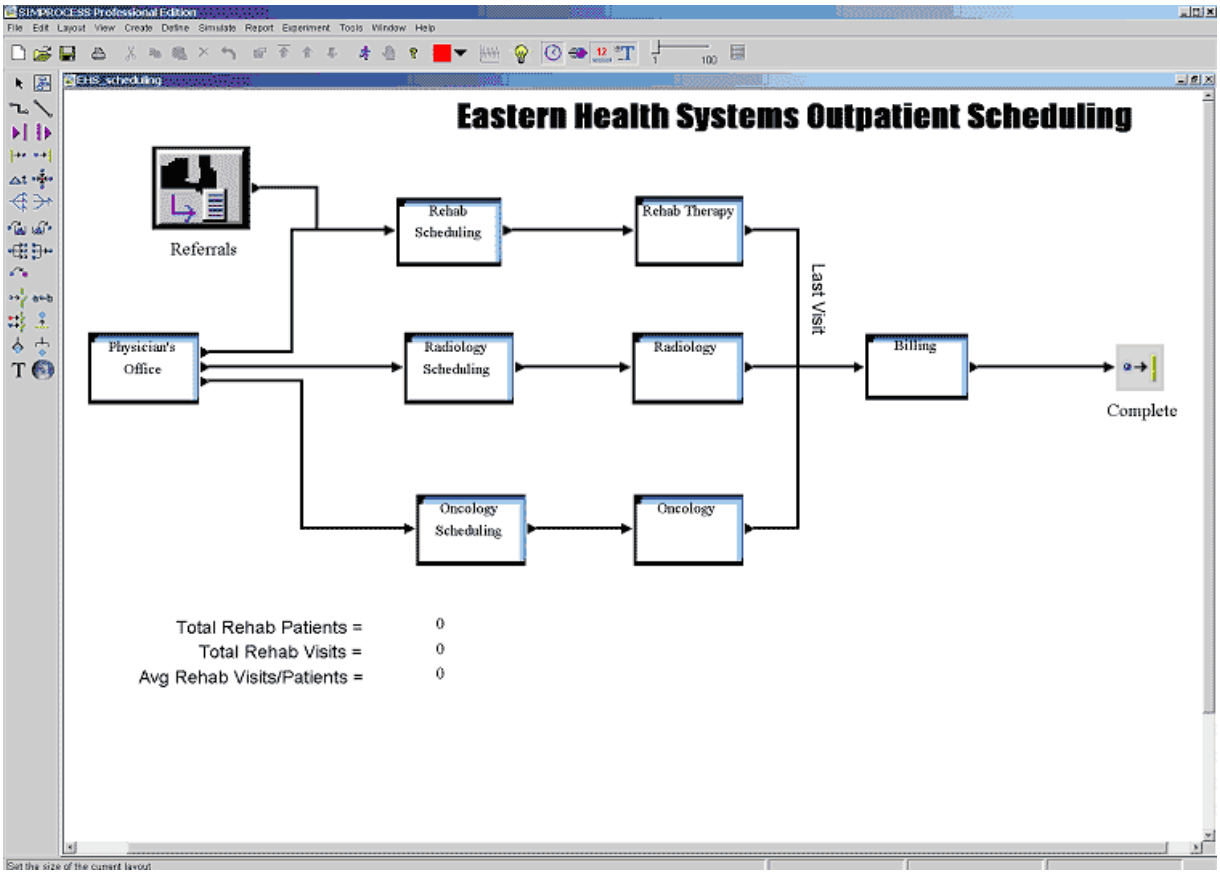
[18] *Simprocess : Business Process Management Software* [online]. 1995-2008 [cit. 2009-09-26]. Dostupný z WWW: <http://www.simprocess.com/>.

technológií, ktorí sa snažia redukovať čas a riziko potrebné napr. k odbavení zákazníkov, naplnení dopytu a výrobe nových produktov.

Tento program v sebe integruje možnosti nástrojov *process mapping*, hierarchickú dynamickú diskrétnu simuláciu a *activity-based costing*. Princíp hierarchickej dynamickej diskrétnej simulácie je zrejmý z predchádzajúceho textu, zamerajme sa preto v tejto časti iba na zostávajúce dva nástroje.

Process mapping je metóda slúžiaca k presnému a zrozumiteľnému popisu sledovaných procesov, ktorá poskytuje výhody grafického znázornenia procesu spolu s sprievodnými textovými komentármi. Zahrnuje tiež analýzu vstupných parametrov, zdrojov a výstupov a tým ukazuje, akým spôsobom je práca skutočne vykonávaná.

Activity-based costing je technika merania nákladov, ktorá predpokladá príčinné vzťahy medzi nákladovými objektmi (napr. produktmi, službami, zákazníkmi), ktorých náklady sú samostatne určené, a medzi činnosťami, ktoré spotrebovávajú zdroje. Metóda je potom prevedená v dvoch fázach – činnostiam odpovedajú náklady na zdroje potrebné k ich behu a nákladovým objektom odpovedajú náklady na činnosti nimi vyžadované. Stavebným kameňom tohto prístupu k meraniu nákladov je znalosť príčin vzniku jednotlivých nákladov. S lepším pochopením týchto princípov je spojené lepšie pochopenie celého procesu a tým tiež lepšia kvalita rozhodnutia.



Obr. 4. Pracovné prostredie programu Simprocess

3.5. Crystal Ball[19]

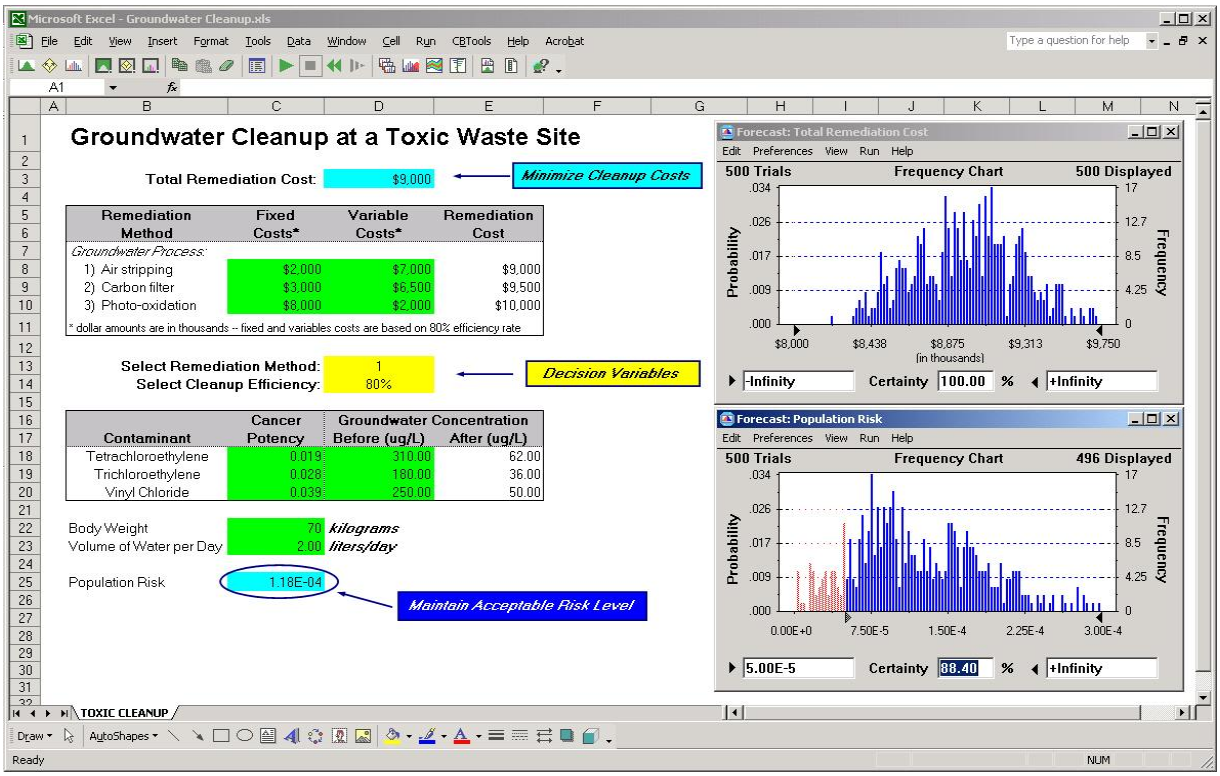
Crystal Ball je program určený na prediktívne modelovanie a predpovedanie, pre Monte Carlo simulácie a optimalizáciu. Najčastejšie je využívaný v rôznych obchodných oblastiach, ako je napr. letectvo, finančníctvo, výrobné procesy, farmaceutický alebo ropný priemysel, kde predovšetkým slúži k analýze finančného toku a k podpore rozhodovania za neistoty. Nie je však určená na dynamickú simuláciu, ale na simulácie metódami Monte Carlo.

Užívateľsky príjemnou vlastnosťou tohto softwaru je, že pracuje priamo v prostredí Microsoft Excel, čím eliminuje problémy pri prevode predchádzajúcich analýz vykonaných v Microsoft Excel do prostredia Crystal Ball. Microsoft Excel je v dnešnej dobe obľúbeným a hojne používaným nástrojom obchodného sveta, aj napriek tomu má jednu veľkú nevýhodu, ktorá sa týka napr. prípravy finančných plánov. Každá bunka môže mať totiž iba jedinú hodnotu, ktorou sa obvykle stáva

[19] *Oracle* [online]. 2009 [cit. 2009-10-08]. Dostupný z WWW: <http://www.oracle.com/appserver/business-intelligence/crystalball/crystalball.html>.

bodový odhad pozorované veličiny (tržieb, nákladov, cien atd.). Bodový odhad však v žiadnom prípade nemôže obsiahnuť celú mieru neistoty skrytú v tejto veličine, ani vzájomné väzby medzi veličinami. Pohodlnejšia a užitočnejšia je veľakrát práca s intervalovými odhadmi, ktoré už v sebe nesú informáciu o vnímanej neistote. Samotný Microsoft Excel toto neumožňuje, avšak pokiaľ ho doplníme o Crystall Ball, získame veľmi silný nástroj na analýzu rozhodovania za neistoty.

Crystal Ball je základným balíkom, ktorý je možné doplniť o ďalšie nástroje, ktorými sú Crystal Ball Enterprise Performance Management alebo Crystal Ball Decision Optimizer. Druhá menovaná voľba dodáva Crystal Ballu pokročilé možnosti optimalizácie a výpočtovej rýchlosti, čím sa stáva užitočným nástrojom na zodpovedanie 'what-if' otázok a nájdenie najlepšieho riešenia.



Obr. 5. Pracovné prostredie programu Crystal Ball

4. Práca s programami

4.1. MATLAB

Výhradným zástupcom americkej firmy The MathWorks, Inc. pre Českú Republiku a Slovensko je česká súkromná obchodná spoločnosť HUMUSOFT s.r.o.,[20] zaoberajúca sa mimo svojich ostatných činností tiež distribúciou a užívateľskou podporou software MATLAB a Simulink. Firma sa tiež podieľa na vývoji niektorých nadstavieb tohto softwaru, jedná sa konkrétne o Real Time Toolbox (knižnica pre interaktívnu prácu v reálnom čase), Simulink 3D Animation (zobrazovanie simulácií v prostredí virtuálnej reality) a Real-Time Windows Target (spúšťanie simulácií v reálnom čase na platforme PC).

Na internetových stránkach firmy HUMUSOFT s.r.o. je možné zdarma objednať 30 dennú skúšobnú verziu kompletného softwarového balíku spolu so všetkými jeho nadstavbami, ktorá bude buď zaslaná na nosiči DVD, alebo bude umožnené stiahnutie potrebných súborov z internetu. V prípade platenej verzie sú všetky konfigurácie programového balíka MATLAB dodávané s časovo neobmedzenou licenciou, pričom základná cena zahrňuje predplatné na update a technickú podporu po dobu 12 mesiacov. Po uplynutí tejto doby je možné zaplatenie tzv. renewal poplatku, ktorý sprístupňuje update a technickú podporu na ďalších 12 mesiacov po vypršaní predchádzajúcej doby predplatného. Jeho výška odpovedá 8%-25% pôvodnej ceny produktov. Podrobnejšie informácie o licenčných podmienkach sú dostupné na internetových stránkach [21]

Za veľmi výhodných podmienok sú ponúkané školné licencie, ktorých použitie je obmedzené na potreby vyučovania a vedeckej činnosti študentov a pedagógov. Jedná sa o individuálne školné licencie alebo sieťovú školnú licenciu, classroom kit, čo je sieťová konfigurácia určená iba na pravidelné vyučovanie, alebo študentskú licenciu určenú k využitiu na súkromných počítačoch študentov, ktorú však musí zakúpiť univerzita v minimálnom množstve 10 ks. Licencie Standard sú určené ostatným neuniverzitným užívateľom a sú použiteľné aj na komerčné účely.

Nasledujúca tabuľka zachytáva orientačný prehľad základných cien MATLABu

[20] *Humusoft : Technical computing, control systems, simulations* [online]. 1991-2009 [cit. 2009-08-16]. Dostupný z WWW: <http://www.humusoft.com/index.php>.
[21] *Humusoft : Technical computing, control systems, simulations* [online]. 1991-2009 [cit. 2009-08-16]. Dostupný z WWW: <www.humusoft.cz/produkty/matlab/cenik/obecne-informace>.

a Simulinku (bez toolboxov), v prípade školných sieťových konfigurácií bola zvolená veľkosť 10-24 užívateľov, u sieťovej licencie Standard je možná inštalácia na neobmedzený počet počítačov, avšak počet súčasne pracujúcich užívateľov je daný počtom zakúpených licencií. Kompletný cenník je možné nájsť na stránkach firmy. [22]

Licencia	MATLAB	Simulink
Individuálna školná	19 980 Kč	18 980 Kč
Sieťová školná (10-24 užívateľov, cena za jedného sieťového užívateľa)	7 480 Kč	4 480 Kč
Clasroom Kit (10-24 užívateľov, cena za jedného sieťového užívateľa)	1 980 Kč	1 980 Kč
Individuálna Standard	62 980 Kč	95 980 Kč
Sieťová Standard (jeden kľúč)	246 980 Kč	376 980 Kč

Uvedené ceny sú bez DPH.

Firma HUMUSOFT s.r.o. také zaisťuje rôzne školenia a semináre zamerané na základy aj pokročilé techniky práce s programami. Konajú sa v Prahe a ich ceny sa pohybujú okolo 4 000 Kč, pričom školné ceny vychádzajú približne o 1 000 Kč menej.[23] Zaujímavým nápadom sa javia byť www semináre, ktoré prebiehajú na internete v reálnom čase v daný deň a hodinu. Tieto semináre prebiehajú pod záštitou The MathWorks, Inc. a sú dostupné iba v anglickom jazyku, rovnako ako celý programový balík. Záznamy uskutočnených seminárov sú k dispozícii na stránkach firmy.

4.1.1. Systémové požiadavky

Okrem tradičnej verzie programu určenej pre Microsoft Windows, MATLAB je k dispozícii aj pre ďalšie operačné systémy – Linux, Mac OS X a Solaris, pričom väčšinou ako pre 32-bitové, tak aj pre 64-bitové verzie. Pri použití s operačným systémom Microsoft Windows MATLAB na viac ponúka niektoré nástroje pre priamu spoluprácu s kancelárskymi programy Microsoft Word a Microsoft Excel, sú nimi Notebook Tool, Builder EX a Spreadsheet Link EX. K behu programu inak nie je treba žiadny dodatočný software a požiadavky na hardware sa iba ľahko líšia v závislosti

[22] *Humusoft : Technical computing, control systems, simulations* [online]. 1991-2009 [cit. 2009-08-16]. Dostupný z WWW: <www.humusoft.cz/produkty/matlab/cenik>
[23] *Humusoft : Technical computing, control systems, simulations* [online]. 1991-2009 [cit. 2009-08-16]. Dostupný z WWW: <www.humusoft.cz/skoleni>

na použitom operačnom systéme. Pre orientáciu uvediem požiadavky na systém Microsoft Windows, úplný prehľad je k nájdeniu na internetových stránkach.[24]

- procesor – Intel Pentium 4 a vyšší, Intel Celeron, Intel Xeon, Intel Core, AMD Athlon 64, AMD Opteron, AMD Sempron
- voľný priestor na disku – 680 MB (iba MATLAB samotný, aktuálne požiadavky na voľné miesto závisia na počte inštalovaných rozšírení a sú uvedené pri inštalácii)
- operačná pamäť – 512 MB (odporúča sa minimálne 1024 MB)

Simulink funguje ako nadstavba MATLABu, preto je k jeho behu treba nainštalovať tiež MATLAB. Ostatné systémové požiadavky zostávajú nezmenené.

4.1.2. Tvorba modelu[25]

Po inštalácii a spustení programu MATLAB pomocou príkazu *matlab* alebo ikony na ploche sa otvorí základné okno, ktoré je v základnom nastavení rozdelené na niekoľko častí. Toto nastavenie sa dá ľahko meniť, čo umožňuje usporiadať si pracovné prostredie podľa svojich predstáv. Najväčšiu časť tvorí okno zvané Command Window, kam užívateľ píše príkazy a program vypisuje výstupy prevedených operácií. V ľavej časti sa nachádza okno zvané Current Directory, ktoré zobrazuje systém súborov pre ľahkú orientáciu a vyhľadávanie. V pravej časti ležia dve okná – Workspace a Command History. V okne Workspace sú vidieť všetky použité premenné spolu s ich parametrami (hodnotou, popr. rozmerom pre viacdimenzionálne premenné, minimom a maximom). Pri poklikaní na premennú sa otvorí Variable Editor a tu je možné priamo zmeniť hodnoty tejto premennej. Je tu dobre vidieť s akým dátovým typom MATLAB pracuje, jedná sa totiž o matice bez udania rozmeru, a preto je možné meniť rozmer premennej bez akýchkoľvek problémov. Stačí v Variable Editoru pridať ďalšie zložky, alebo naopak niektoré zmazať. Okno Command History zachycuje históriu zadávaných príkazov v poradí, ako išli po sebe. Odtiaľ sa dajú príkazy znovu vyvolať alebo presunúť do Command Window k ďalšej práci.

V hornej časti hlavného okna sa nachádzajú nástrojové lišty a mimo iného tiež

[24] *The Mathworks : MATLAB and Simullink for technical computing* [online]. 1994-2009 [cit. 2009-09-19]. Dostupný z WWW: <www.mathworks.com/products/matlab/requirements.html>.
[25] *MATLAB 7: Getting Started Guide.* 2009 , vol. 1996

ikonka na spustenie Simulinku. Inou možnosťou, ako spustiť Simulink, je napísať príkaz *simulink* do príkazového riadku Command Window. Modely simulovaných dynamických systémov sa v Simulinku zostavujú z tzv. blokov, ktoré spolu so vzťahmi medzi nimi určujú daný systém. Bloky sú funkčnými prvkami modelu, spravidla sú popísané vstupnými hodnotami premenných, vzťahom a výstupnými hodnotami premenných, pričom vstupné alebo výstupné hodnoty môžu chýbať. Vzťahom môže byť napr. nejaká matematická rovnica, príkaz k zápisu dát do súboru, konverzia dát, generovanie náhodného čísla alebo akýkoľvek iný príkaz.

Po spustení Simulinku sa otvorí okno s názvom Simulink Library Browser. Tu je možné vyhľadávať v knižnici blokov a otvoriť nový alebo už skôr uložený model. Ten sa otvorí v samostatnom okne, kam sa postupne pridávajú vybrané bloky, je treba nastaviť požadované parametre a potom ich spojiť linkami znázorňujúcimi ich vzťahy. Výsledkom je prehľadný grafický obrázok nazývaný blokový diagram. Simulink rozširuje možnosti blokov na tzv. virtuálne a nevirtuálne bloky, čím zavádza hierarchický prístup k tvorbe modelov. Nevirtuálne bloky reprezentujú elementárne funkčné časti systému, zatiaľ čo virtuálne bloky nemajú žiadny efekt na chovanie systému a slúžia iba na spriehľadnenie modelu. Sú tvorené tzv. sub-systémami, čo sú vlastne vnorené blokové diagramy tvorené z nevirtuálnych alebo ďalších virtuálnych blokov a liniek medzi nimi. Takto môže vzniknúť hierarchické usporiadanie do ľubovoľnej úrovne. Subsystémy majú tiež veľké uplatnenie v modeloch, kde sa niektorá časť – postupnosť blokov - opakuje na viac miestach. V takom prípade stačí opakovane použiť nami definovaný subsystém. Okrem subsystémov je však tiež možné definovať vlastné nevirtuálne bloky naprogramovaním tzv. M-súborov alebo MEX-súborov a tie potom ďalej využívať.

Dôležitú rolu pri simuláciách dynamických systémov hrá čas. Vzťahy medzi blokmi sú vždy charakterizované nejakým časovým údajom (napr. doba trvania činnosti), ktorý sa zohľadňuje pri samotnej simulácii prebiehajúcej behom doby medzi počiatočným časom a koncovým (angl. *start*, *stop time*). Premenné modelu, ktorých hodnota je behom simulácie prepočítavaná a je definovaná v každom čase simulácie, sa nazývajú signály. Okrem nich môžu byť v modely ešte premenné, ktoré svoju hodnotu nemenia, tzv. stavové premenné (angl. *state variables*).

4.1.3. Simulácia[26]

Vlastná simulácia zostaveného modelu v Simulinku neprebieha graficky, iba výstupy z nej môžu mať grafickú podobu. Je tvorená niekoľkými fázami:

1. **Kompilácia modelu –** prvá fáza začína, hneď ako je pomocou voľby Štart v okne modelu spustená simulácia. Najprv sa spustí kompilátor, ktorý prevedie kroky potrebné k príprave modelu k spusteniu. Je treba vyhodnotiť parametre blokov a určiť ich počiatočné hodnoty, určiť atribúty signálov a overiť, že je model správne zostavený – každý blok môže prijať signál, ktorý je na jeho vstupe. Ďalej kompilátor vyhladí model nahradením virtuálnych blokov ich obsahom a u každého bloku vymedzí časy jeho činnosti.
2. **Prepojovacia fáza –** v tejto fáze je pridelená pamäť potrebná k realizácii blokového diagramu a je zostavený zoznam blokov v poradí najvhodnejším k výpočtu ich hodnôt v priebehu simulácie. Užívateľ môže nastaviť priority podľa svojho uváženia, avšak musí byť zachovaná postupnosť daná šípkami v diagrame.
3. **Simulácia –** posledné fáza je už vlastnou simuláciou systému. Najprv sú stanovené počiatočné hodnoty premenných a potom sú v každom kroku spočítané nové hodnoty signálov, čo sa opakuje, pokiaľ nie je dosiahnutý konečný čas simulácie. Dĺžky krokov (angl. *step size*) môžu byť buď pevne stanovené pre celý model, alebo sa môžu v jeho priebehu meniť. Dĺžka kroku je potom menšia, keď sa hodnoty signálu menia rýchlo (čo zaistí vyššiu presnosť výpočtov), alebo väčšia, keď sa hodnoty menia pomaly (čo zase obmedzí zbytočné veľký počet krokov). Žiadna metóda riešenia modelu nie je vhodná pre všetky typy modelov, z tohto dôvodu Simulink zahrňuje radu programov nazvaných anglicky *solvers* a každý z nich je vhodný na riešenie iného typu modelu (napr. *solvers* s pevným alebo variabilným krokom, spojité alebo diskrétne atd.).

Simulink ponúka niekoľko metód na zobrazovanie výsledkov simulácií, ktoré sa od seba rôznym spôsobom líšia. Sú nimi predovšetkým- *scope blocks*, *signal viewers* a *data logging*.

Scope block je samostatný blok, ktorý graficky zobrazuje hodnotu vstupného

[26] *Simulink 7 : Getting Started Guide.* 2009 , vol. 2005.

signálu v závislosti na čase prebiehajúcej simulácie. *Scope block* môže zobrazovať viac grafov, čo je určené počtom jeho vstupných signálov. Každý signál sa totiž zobrazuje v samostatnom grafe. Pri spustení simulácie nie je výstupné okno tohto bloku otvorené, ale aj napriek tomu je výsledok simulácie zapísaný na neskoršie použitie.

Signal viewer je v blokovom diagrame zobrazený iba ako malá ikonka nad príslušným signálom, užívateľské rozhranie na správu týchto objektov tvorí tzv. Signal & Scope Manager. Jeho funkcia je obdobná ako funkcia predchádzajúceho nástroja *scope block*, ale líšia sa v niektorých detailoch.

Data logging je súborný názov pre ukladanie hodnôt signálu na ich ďalšie využitie.

MATLAB a Simulink tvoria silný nástroj na prácu so simuláciami a vzhľadom k možnosti doplňovať vlastné funkcie a bloky majú skoro neobmedzené možnosti. Vďaka tejto komplexnosti sa môžu na prvý pohľad zdať zložitejšie, avšak ku každej dostupnej funkcii a metóde poskytujú veľmi prepracovaný systém nápovedí. Ten je doplnený dostatočným množstvom ilustratívnych príkladov, či už vo forme krátkych inštruktážnych videí alebo vypracovaných modelov určených na simulácie. Nápovede sú tiež dostupné on-line na internetových stránkach[27], kde nechýbajú ani manuály vo formáte pdf.

4.2. WITNESS[28]

HUMUSOFT s.r.o. je tiež výhradným zástupcom anglickej firmy Lanner Group Ltd. a zaisťuje distribúciu a technickú podporu pre software WITNESS.

Program je štandardne k dispozícii v troch základných verziách – Manufacturing Performance Edition (MPE), Manufacturing Performance Edition Continuous (plná verzia s podporou spojitých elementov) a Service and Process Performance Edition (SAPPE, vždy dodávaná s podporou spojitých elementov). Moduly Scenario Manager a Presentation Manager sú súčasťou všetkých týchto systémov. Samostatne sa dajú dokúpiť moduly Documentor, Optimizer a Virtual Reality. V cene licencie je tiež prístup k aktualizáciám produktov a rozšírená

27 *The Mathworks : MATLAB and Simullink for technical computing* [online]. 1994-2009 [cit. 2009-09-19]. Dostupný z WWW: <www.mathworks.com/access/helpdesk/help/helpdesk.html>.
[28] *Witness : Getting Started Materials.* 2009

užívateľské podpora na 12 mesiacov. Je možné tiež zakúpenie sieťovej konfigurácie, kde je cena ďalších kľúčov už omnoho nižšia, a ďalej firma HUMUSOFT s.r.o. ponúka dva zvýhodnené balíky.

Zvýhodnené licencie pre školy obsahujú plné verzie systému MPE Continuous a všetky moduly, ktoré k programu existujú. Cena sa odvíja od počtu užívateľov a je možné dokúpenie jednej užívateľskej verzie pre pedagógov, ktorá je inak samostatne nepredajná. Licencia zahrňuje prístup k najnovším verziám softwaru spolu s rozšírenou užívateľskou podporou po dobu 12 mesiacov. Úplné informácie o cenách a produktoch sú uvedené na internete.[29]

Produkt	Cena
MPE	476 980 Kč
MPE Continuous	595 980 Kč
SAPPE	595 980 Kč
Documentor	50 980 Kč
Optimizer	179 980 Kč
Virtual Reality	298 980 Kč
Školské licencie (20 užívateľov)	166 980 Kč

Uvedené ceny sú bez DPH.

Ďalej je ponúkané 5-denné školenie v cene 25 000 Kč, ktoré je ale pri zakúpení komerčnej licencie MPE a SAPPE pre jednu osobu zdarma.

Tento program je dodávaný iba v angličtine a skúšobná verzia nie je k dispozícii.

4.2.1. Systémové požiadavky

Program WITNESS je určený iba na platformy s operačným systémom Microsoft Windows, konkrétne s týmito jeho verziami: Microsoft Windows NT 4, Microsoft Windows 2000, Microsoft Windows XP a Microsoft Windows Vista. Program nevyžaduje žiadny dodatočný software a požiadavky na hardware sú nasledujúce:

- procesor – Intel nebo AMD, minimálne 500 MHz, ale odporúča sa skôr 2 GHz

[29] *Humusoft : Technical computing, control systems, simulations* [online]. 1991-2009 [cit. 2009-08-16]. Dostupný z WWW: <www.humusoft.cz/produkty/witness/cenik>.

- voľný priestor na disku – približne 100 MB
- operačná pamäť – minimálne 512 MB, odporúča sa 1024 MB

Pri využití nadstavby Virtual Reality je treba grafická akcelerácia (napr. grafické karty NVIDIA GeForce a ATI Radeon, bežne dodávané s osobnými počítačmi) a rozlíšenie obrazovky minimálne 800x600, aj keď sa odporúča radšej 1024x768 a vyššie.

V súčasnej dobe je na viac k dispozícii prídavný modul WITNESS Server, ktorý umožňuje rýchle a ľahké rozšírenie užívateľského rozhrania bez nutnosti inštalácie na každý z počítačov, stačí iba jeho inštalácia na centrálnom servery.

Program ďalej umožňuje spoluprácu s programom Microsoft Visio, pričom obojsmerná komunikácia medzi týmito dvoma nástrojmi je zaistená pomocou plug-inu WITNESS VISIO LINK modul. Vďaka nemu nie sú ani pri opakovanom importu a exportu stratené žiadne informácie, špecifické pre jedno či druhé prostredie.

4.2.2. Tvorba modelu[30]

Najväčšia časť hlavného okna programu WITNESS zaberá vlastný priestor pre simulácie, nástrojové lišty sa nachádzajú v jeho hornej a dolnej časti. Okno s názvom Designer Elements obsahuje všetky dostupné elementy, z ktorých sa model zostavuje. Sú tu prehľadne usporiadané a pripravené k okamžitému vkladaniu do modelu, ktoré prebieha na základe pravidla 3D v troch krokoch:

1. *define* – v prvej fáze je nutné definovať typ daného elementu, ktorý chceme v modely použiť, ďalej je možné definovať jeho meno a množstvo (pokiaľ je známe)
2. *display* – v tejto fáze sa definovanému prvku priraďuje obrazová podoba, s akou sa bude objavovať v modely; môže byť zobrazené jeho meno v ľubovoľnej farbe a veľkosti, a ikona, buď vybraná z knižnice ikon alebo vlastná vytvorená v editore ikon
3. *detail* – toto je zásadná fáza celej tvorby modelu, v ktorej sú definovaným elementom zadané parametre a tým je určená ich funkcia a chovanie

[30] *Witness : Getting Started Materials.* 2009

v simulácii; konkrétne možnosti nastavenia sa u jednotlivých typov elementov líšia

Program WITNESS obsahuje dostatočné množstvo rôznych typov elementov, aby bol vhodným nástrojom na simulovanie ľubovoľného procesu. Podľa svojich vlastností môžu byť elementy rozdelené do niekoľkých základných skupín, ktorými sú – diskrétne, spojité, logické, grafické a manipulačné. Ako už bolo povedané vyššie, názvy niektorých elementov sa môžu líšiť v závislosti na použitej verzii programu, v takom prípade uvádzam obidva názvy. Najprv tu popíšeme niektoré diskrétne elementy, ktoré sú v modely zobrazené ako dynamické ikony a predstavujú hmotné prvky reálnych systémov.

Entities, parts patrí medzi základné stavebné prvky každého modelu, predstavujú totiž produkty, telefónne hovory, ľudí atd. samostatne sa pohybujúce modelom. Model môže obsahovať väčšie množstvo typov týchto elementov, ktoré môžu byť v priebehu simulácie premenené na iný typ, zlučované, rozdeľované. Podľa spôsobu ich vstupu do modelu ich môžeme deliť na aktívne, ktoré do modelu vstupujú o svojej vôli, aktívne s profilom, ktoré do modelu vstupujú na základe dopredu stanoveného profilu, a na pasívne, ktoré sú do modelu vťahované z vonkajšieho sveta.

Queues, buffers sú zásobníky slúžiace ako úložisko súčastí, pričom ich však sami o sebe nevyberajú ani nikam neodosielajú. Môže sa jednať napr. o rad ľudí v obchode alebo sklad súčiastok. Nastavenie týchto elementov umožňuje uvažovať rôzne typy front z hľadiska spôsobu radenia, napr. FIFO (*first-in, first-out*), LIFO (*last-in, first-out*), alebo z hľadiska minimálnej a maximálnej dĺžky zotrvania súčastí. Ako neobmedzený zásobník pasívnych súčastí sa dá využiť univerzálne miesto svet – *world,* ktorý nie je treba explicitne definovať. Podobne sa pre výstup súčastí zo systému používa univerzálne miesto zvané – *ship*.

Activities, machines sú veľmi komplexné elementy, ktorých základným princípom je, že odniekiaľ berú súčasti, spracujú ich a potom odošlú na iné miesto. Tieto elementy môžu modelovať mnoho typov zariadení, ktoré sa vyskytujú v reálnom živote, napr. výrobnú linku, pokladňu v supermarkete, zásielkovú službu apod. Podľa spôsobu práce so vstupnými a výstupnými súčiastkami sú k dispozícii stroje:

- *single* – jeden diel na vstupe, jeden na výstupe

- *batch* – stroj spracováva súčasti po dávkach a vystupuje rovnaký počet
- *assembly* – viac dielov na vstupe, jeden výstup
- *production* – jeden diel na vstupe, viac na výstupe
- *general* – počty dielov na vstupe a výstupe sa môžu líšiť
- *multi-station* – viac strojov spolupracuje na jednej úlohe, jednotlivé činnosti na seba nadväzujú
- *multi-cycle* – viac cyklov (rôznych operácií) vykonávaných na jednom diely

Resource, labor predstavujú pracovné zdroje, ktoré môžu byť vyžadované inými elementmi. Môže sa jednať o zdroje fyzické (nástroj, súčiastka) alebo ľudské (opravár, telefónny operátor). Experimentovanie s dostupným objemom týchto zdrojov je pri simuláciách veľmi dôležitým nástrojom.

Conveyors alebo dopravníkové pásy sú jedným z možných spôsobov, ako zaistiť prepravu súčastí vo vnútri modelu. Môžu byť napr. využité k modelovaniu pásu prepravujúceho batožinu, dopravníku posunujúcemu karosérie po montážnej linke.

Vehicles tiež reprezentujú elementy určené k preprave súčastí, pričom je možné si ich predstaviť ako vysokozdvižné vozíky, žeriavy atd. *Vehicles* predstavujú tzv. pružný spôsob dopravy v čom sa líšia od *conveyors*, ktoré prepravujú z jedného pevného miesta do druhého, ktoré je tiež pevne určené.

Tracks sú jednosmerné alebo obojsmerné dráhy, po ktorých sa vozíky v modely pohybujú. Je stanovený ich začiatok a koniec, ďalej miesta, kde sú vozíky nakladané alebo vykladané a kde môžu parkovať, ich skutočná dĺžka, maximálna povolená rýchlosť a ďalšie parametre.

Spojité elementy sa používajú k modelovaniu systémov, v ktorých je základným prvkom spojitý tok. Pre túto situáciu WITNESS obsahuje sadu elementov, ktoré zaisťujú rovnaké činnosti ako popísané diskrétne elementy, len sú určené pre spojité situácie.

Fluids reprezentujú kvapaliny, prášok, alebo elektrinu prúdiacu modelom. Vyobrazené sú ako farebné bloky a pokiaľ sa zmiešajú prispôsobí sa aj výsledná farba. V diskrétnom prípade im odpovedajú súčasti.

Processors predstavujú analógiu strojov, kvapaliny do nich prúdia, vo vnútri

podstúpia nejakú operáciu a potom tečú preč. Príkladom môže byť nádoba, v ktorej sú kvapaliny miešané a potom ohrievané po stanovený čas.

Tanks sú nádoby, v ktorých môžu byť kvapaliny uchovávané a skladované, teda analógia front.

Pipes sú akési potrubia používané k prepojeniu *processors* a *tanks*, ktorými prúdia kvapaliny.

Dáta a podklady pre výstupy simulácií sú vo WITNESSu uchovávané trochu odlišným spôsobom než v ostatných programoch a síce vo forme logických elementov, ktoré umožňujú ľahkú manipuláciu s dátami a prispôsobovanie výstupných reportov.

Attributes sú charakteristiky určitej súčasti alebo stroja, ktoré môžu nadobúdať reálne alebo textové hodnoty a môžu odkazovať na iný element.

Distributions pridávajú do modelov variabilitu, samozrejmosťou je veľké množstvo preddefinovaných alebo možnosť definovať vlastné.

Hierarchické usporiadanie modelu je vo WITNESSu zaistené pomocou ďalšieho typu logického elementu – *module.* Jedná sa o element, ktorý môže obsahovať iné elementy a tak vytvárať hierarchickú štruktúru. Na viac je možné chrániť *module* heslom.

K zobrazovaniu grafických výstupov je určená ďalšia sada elementov, ktoré sa súborne nazývajú grafické. Zobrazujú dianie v modely a behom simulácie sa priebežne, v konštantných časových intervaloch, aktualizujú. Užívateľ má na výber z nasledujúcich: *pie chart, timeserie, histogram, report*, ktorých použitie je už podľa názvu zrejmé.

K určeniu toku jednotlivých súčastí alebo kvapalín medzi elementmi modelu sa využíva manipulačný element s názvom rule. Najdôležitejšími a najpoužívanejšími príkladmi týchto pravidiel sú *push* a *pull,* napr. stroj bude mať definované vstupné pravidlo – vytiahnuť súčasť zo zásobníku (pull) a výstupné pravidlo – vytlačiť súčasť do iného stroja (push).

Samotná simulácia prebieha celá graficky, pričom užívateľ môže pozorovať súčasti pohybujúce sa modelom, vývoj na zobrazovaných grafoch a výstupy

z reportov. Úzke miesta sa dajú veľakrát odhaliť len za pomoci vizuálnej kontroly

prebiehajúcej simulácie.

4.3. SIMUL8

V Českej Republike je možné zakúpiť software SIMUL8 prostredníctvom firmy Logio s.r.o.,[31] čo je poradenská a technologická spoločnosť zameraná na logistiku.

Dočasná skúšobná verzia programu je k dispozícii zdarma[32] a doba jej trvania je asi 20 dní. Jedná sa o skúšobnú verziu pre SIMUL8 Standard, skúšobná verzia pre SIMUL8 Professional je určená iba pre majiteľov SIMUL8 Standard.

Program je dodávaný vo dvoch základných verziách – Standard a Professional. K verzii Standard je možné dokúpiť plug-in OptQuest, ktorý pridáva do prostredia SIMUL8 možnosti optimalizácie, a plug-in Stat::Fit, ktorý umožňuje ľahké nájdenie rozdelenia pravdepodobností. Verzia Professional už tieto dva plug-iny obsahuje a na viac pridáva ďalšie rozšírenie ako napr. Virtual Reality (pre vytváranie 3D vizualizácií), Enhanced Debugging Tools, ABC Costing a ďalšie.

K dispozícii je tiež veľmi výhodná licencia pre školy – SIMUL8 for Education, ktorá zahrňuje neobmedzený počet licencií verzie Standard pre využitie v rámci školy spolu s plug-inmi OptQuest a Stat::Fit, jednu licenciu Professional a ďalej bezplatné študentské licencie pre použitie na súkromných počítačoch študentov, ktoré majú obmedzenú dobu trvania 3 mesiace. Všetky aktualizácie softwaru a povyšovania na novšie verzie sú už navždy zdarma. Neplatia sa ani žiadne poplatky softwaru. Navyše je registrovaným lektorom poskytnutá bezplatná telefonická a emailová podpora mimo iné aj v oblasti vyučovania.[33]

[31] *Logio : poradenství v logistice* [online]. 2009 [cit. 2009-07-12]. Dostupný z WWW: <http://logio.cz/>.
[32] *Simul8 : Simulation Software* [online]. 2009 [cit. 2009-09-16]. Dostupný z WWW: <www.simul8.com/downtrial.htm>.
[33] *Simul8 : Simulation Software* [online]. 2009 [cit. 2009-09-16]. Dostupný z WWW: <http://www.simul8.com/>.

Produkt	Cena
Standard	29 000 Kč
Professional	97 000 Kč
OptQuest	9 600 Kč
Stat::Fit	4 800 Kč
Education	38 800 Kč

*Uvedené ceny sú bez DPH.

K programu SIMUL8 nie sú ponúkané žiadne školenia alebo semináre, avšak na uľahčenie začiatku práce so softwarom je k dispozícii tisíc stránková publikácia Learning SIMUL8: The Complete Guide, ktorá na mnohých príkladoch veľmi podrobne popisuje prácu s programom.

4.3.1. Systémové požiadavky

SIMUL8 je dodávaný v dvoch základných verziách – Standard a Professional, pričom verzia Professional obsahuje všetky funkcie verzie Standard a navyše[34] napr.:

- virtuálnu realitu – umožňuje zobrazenie simulácií v realistickom 3D prostredí
- určenie rozdelení pravdepodobnosti – na základe vstupných dát získaných z tabuľkového procesoru definuje vhodné rozdelenie pravdepodobnosti odpovedajúce týmto dátam
- optimalizácia – jednoduchý nástroj na zodpovedanie 'what-if' otázok
- zlúčenie simulácií – umožňuje vziať dve samostatné simulácie a zlúčiť ich do jednej

Systémové požiadavky obidvoch verzií sa nelíšia. Program a všetky jeho rozšírenia sú kompatibilné iba s operačným systémom Microsoft Windows. Minimálne systémové požiadavky sú nasledujúce:

- procesor – 486/66 MHz
- voľný priestor na disku – 128 MB
- operačná pamäť – o 256 MB viac ako je bežné pre príslušný operačný systém
- myš alebo iné odpovedajúce ukazovacie zariadenie

[34] *Simul8 : Simulation Software* [online]. 2009 [cit. 2009-09-16]. Dostupný z WWW: <www.simul8.com/products/features>.

Tieto požiadavky sú naozaj len minimálnymi požiadavkami pre beh programu, užívateľ by mal mať na pamäti, že v prípade spustenia dlhej simulácie vzrastú požiadavky jak na operačnú pamäť, tak aj na dostupný priestor na disku, pretože SIMUL8 využíva tento dodatočný priestor k ukladaniu priebežných výsledkov simulácie. S tým tiež úzko súvisí požiadavka na rýchlosť procesoru – čím rýchlejší procesor, tým rýchlejšie bude simulácia prevedená. Zvlášť u dlhých simulácií potom môže byť tento rozdiel značne citeľný. SIMUL8 nepotrebuje k svojej základnej práci žiadny ďalší software, avšak obsahuje funkcie, ktoré spolupracujú s Microsoft Word, Excel, Access a Visio, a preto k ich využitiu sú tieto programy potreba.

4.3.2. Tvorba modelu[35]

Po spustení programu sa okrem hlavného okna otvorí tiež ponukové okno umožňujúce rýchle otvorenie uloženého modelu, import z rôznych programov (zahrňujúci napr. i WITNESS) alebo otvorenie jedného z mnohých dostupných vzorov a príkladov. Práca s programom je veľmi jednoduchá a intuitívna. Nespočíva v programovaní, ale len v kreslení modelu do simulačného okna, ktoré zostáva stále aktualizované, takže je možné sledovať dianie v systéme i behom simulácie.

Model je určený tzv. objektmi, ktoré vyjadrujú určitú formu práce, ktorá je v danom mieste systému vykonávaná. Už názvy a funkcie zabudovaných objektov napovedajú, pre ké typy simulácií je SIMUL8 určený. Dostupné simulačné objekty sú napr.: *work entry point, work centers, storage bins, routing arrows, resources, conveyors, work exit point* a ďalšie. Ich ikony sa nachádzajú v hornej lište hlavného okna, stačí na ne kliknúť a pomocou myši umiestniť na obrazovku. Dvojitým poklikaním sa otvorí okno, v ktorom je možné nastaviť požadované vlastnosti daného objektu. Potom už len prepojiť vzniknutú štruktúru pomocou šípiek znázorňujúcich toky položiek v uvažovanom systéme.

Work items znázorňujú položky, o ktoré sa v systéme jedná, napr. to môžu byť: pacienti v nemocnici, prichádzajúce hovory do call-centra, výrobky v továrne apod. Vo počiatočnom nastavení programu majú všetky položky rovnaký typ, ale užívateľ môže vytvoriť akékoľvek iné typy. *Work items* môžu mať viac vlastností (angl. *labels*), napr. pacient v nemocnici je určený svojím vekom, chorobou, pohlavím

[35] DLOUHÝ, M., FÁBRY, J., KUNCOVÁ, M. *Simulace pro ekonomy, druhé upravené vydání*. Praha : Oeconomica, 2005. 134 s. ISBN 80-245-0973-3.

apod. Hodnoty vlastností sa u každého pacienta môžu líšiť, ale každý pacient má rovnakú sadu vlastností. Hodnoty vlastností môžu byť zmenené pomocou akcií vo *work centers*, čo sú miesta, kde je vykonávaná práca. Táto práca trvá dobu špecifikovanú v panely Timing.

Storage bins sú niekedy taktiež nazývané *queues*, čo oveľa lepšie vyjadruje ich funkciu. Určujú totiž miesto, kde položky čakajú na spracovanie vo *work centers*, takže akási predstava fronty je o mnoho bližšia tomuto princípu. Položky v rade môžu mať stanovený maximálny čas, aký vo fronte strávia. Pokiaľ do tejto doby neopustia frontu a nie sú spracované vo work centers, opustia systém (zákazníci v obchode pri príliš dlhej fronte odchádzajú bez nákupu).

Ďalšími dôležitými objektmi sú *resources,* ktoré predstavujú zdroje potrebné na prácu *work centers*. Príkladom môžu byť napr. ľudia potrební k obsluhe strojov v továrni. Určite veľmi užitočná je možnosť meniť mená jednotlivých objektov tak, aby bolo hneď na prvý pohľad jasné, čo objekt vyjadruje a k čomu je určený.

Conveyors sú objekty určené k preprave položiek vo vnútri systému. Ich ikony nie sú v počiatočnom nastavení zobrazené na lište, čo sa dá jednoducho napraviť pomocou voľby Tools – Preferences. *Conveyors* môžu byť použité v podobnom zmysle ako *work centers*, pretože ich činnosť trvá nejakú dobu, alebo tiež ako *storage bins*, pretože môžu ukladať väčšie množstvo položiek.

Pri zostavovaní modelu je nutné definovať trasu pre každý typ *work item*. *Work items* nemusia ísť všetky rovnakou trasou, toto je špecifikované u každého z *work centers* vo voľbe *Routing In* a *Out*. Pri vlastnej simulácii sa potom položky pohybujú po stanovených trasách, kde prechádzajú rôznymi objektmi (*work centres, storage bins atd.*), ktoré môžu meniť ich vlastnosti. Celý proces začína vo *work entry point*, kam podľa dopredu nadefinovaných časov prichádzajú nové *work items*, a končí vo *work exit point*, kde spracované položky opúšťajú systém. V tomto mieste sú evidované štatistické údaje o priechode položiek systémom, napr. doba zotrvania v systéme.

V praxi sa obvykle nestáva, že by sme modelovali systém, ktorý by bol na začiatku úplne prázdny. Výnimkou však môže byť spustenie novej výrobnej linky, pokiaľ zamýšľame zistiť informácie o prvých chvíľach jej prevádzky. V drvivej väčšine prípadov však skôr modelujeme systém, ktorý už v minulosti niekedy bežal. Z tohto

dôvodu je výhodné nastaviť u objektov, napr. u *storage bins,* ich počiatočné hodnoty (angl. *start-up*). Ďalšia z často využívaných možností je nastaviť tzv. *warm-up period* a výsledky simulácie zbierať až po uplynutí tejto doby. Týmto spôsobom sa zaplnia všetky objekty podobne, ako by tam práca skutočne prebiehala. Behom nasledujúcej fázy, ktorá sa nazýva *result collection period,* sú ukladané výsledné dáta z prebiehajúcej simulácie. SIMUL8 umožňuje získavať rôzne výstupy a štatistické dáta o behu simulácie. Buď je možné je zobrazovať zvlášť u každého objektu modelu, alebo jednotlivé objekty priradiť do tzv. *result summary*. V tomto okne sa zobrazujú výstupy užívateľom zadaných objektov záujmu vo forme prehľadnej tabuľky, po kliknutí je možné zobraziť tiež aj ich grafickú verziu.

Všetky číselné údaje, ktoré slúžia k nastaveniu modelu (doba práce vo *work centers*, doby a počet prichádzajúcich *work items*, počet položiek v *resources*) môžu byť nastavené konštantne alebo náhodne s použitím niektorého pravdepodobnostného rozdelenia vhodného pre tento účel. Použitie náhodných čísel umožňuje zachytiť presnejšie variabilitu obvyklú v bežnom živote. SIMUL8 určí pre každé miesto, kde má byť generované náhodné číslo jeho originálny *seed* (viď vyššie), ku ktorému sa vráti vždy, keď je čas simulácie vrátený na začiatok. Tento postup predovšetkým zaručuje nezávislosť generovaných náhodných čísel v rôznych miestach modelu, ale tiež schopnosť, že všetky behy simulácie dopadnú identicky. Druhá vlastnosť sa dá prípadne podľa potreby zmeniť. Pomocou voľby Auto Change sa pri každom behu simulácie nastaví iný *seed* a v dôsledku toho sa generovaná postupnosť pseudonáhodných čísel líši. Program ponúka celú radu bežne používaných pravdepodobnostných rozdelení, napriek tomu je však možné definovať vlastné rozdelenie, najlepšie odpovedajúce sledovanému systému.

SIMUL8 podporuje hierarchicky usporiadané modely, čo je výborný nástroj pri zostavovaní veľkého modelu, ktorý zaisťuje o mnoho lepší prehľad. Tu sa takéto objekty nazývajú *sub-windows.* Ich tvorba je ľahká – stačí pomocou myši nakresliť okolo niekoľkých objektov obdĺžnik, stlačiť pravé tlačidlo a potom už voľbu *Create Sub-Window*. Týmto spôsobom sa môžu tiež vkladať nové *sub-windows* do súčasných *sub-windows*, až do ľubovoľnej úrovne a tým zostaviť napr. model celej spoločnosti s niekoľkými prevádzkami a v každej prevádzke s niekoľkými výrobnými linkami atd.

Ako ostatné simulačné programy, aj SIMUL8 zobrazuje čas, ako dôležitý

parameter prebiehajúcej simulácie. Všetky časti modelu by mali byť čo najlepšie synchronizované tak, aby časová postupnosť udalostí odpovedala reálnej situácii. Rýchlosť toku času je možné nastaviť podľa vlastných potrieb a hlavne podľa účelu danej simulácie – je rozdiel, či sa jedná o krátkodobú alebo dlhodobú simuláciu.

Ako už bolo povedané, používaním programu SIMUL8 je veľmi ľahké. Z dobre konštruovaných dialógov je zrejmé použitie a efekt jednotlivých nastavení a grafická podoba celého procesu vrátane jeho simulácie to celé ešte uľahčuje. K dispozícii sú tiež trochu stručné nápovede, ktorá sú však dostačujúce pre začiatky práce s programom.

4.4. SIMPROCESS

Priamo na hlavných stránkach projektu je k dispozícii trial verzia, ktorú je možné zdarma stiahnuť a vyskúšať. Táto verzia je časovo obmedzená zhruba na 80 dní, neobsahuje žiadne pokročilé funkcie[36] a má ešte ďalšie obmedzenia ohľadne veľkosti modelu. Trochu nepríjemná je nutnosť najprv vyplniť pomerne dlhý dotazník, ale potom už všetko funguje bez problémov.

Základná verzia programu sa nazýva Professional Edition a obsahuje všetky funkcie a voľby pre SIMPROCESS dostupné. Užívateľ tejto verzie nie je nijak obmedzovaný vo veľkosti tvoreného modelu a použitie licencie nie je časovo obmedzené. K dostaniu je tiež výhodnejšia licencia pre školy – University Edition, avšak tieto verzie už majú niektoré obmedzenia. Jedná sa vlastne o verziu Professional so všetkými funkciami, akurát nie je možné vytvárať modely väčšie než 50 uzlov. Školná licencia má dobu trvania 14 mesiacov a obsahuje 20 študentských verzií s týmto obmedzením a jednu plnú verziu Professional pre učiteľa, ktorá funguje úplne bez obmedzení.

Pre majiteľa SIMPROCESS Professional je ponúkaná verzia programu s názvom Runtime Edition, ktorá obsahuje všetky dostupné funkcie SIMPROCESSu, akurát nie je povolené ukladať zmeny v modeloch.

Firma ponúka ďalšie rozšírenia, ktorých licenciu je treba si zakúpiť zvlášť, pretože nie sú súčasťou základnej verzie. Prvý doplnok sa nazýva OptQuest (už o ňom bola reč u programu SIMUL8), zahrňuje pokročilé možnosti optimalizácie, ktoré

[36] *Simprocess : Business Process Management Software* [online]. 1995-2008 [cit. 2009-09-26]. Dostupný z WWW: <www.simprocess.com/products/products_features.html>.

sú vykonávané automaticky a slúžia k nájdeniu optimálneho riešenia podľa zadaných parametrov. Druhým doplnkom je Unified Modeling Language, ktorý rozširuje a doplňuje možnosti SIMPROCESSu.

Produkt	Cena
Professional	185 000 Kč
OptQuest	18 400 Kč

Uvedené ceny sú iba orientačné.

Užívatelia ďalej môžu využiť možnosti školení vo svojich firmách alebo priamo vo firme CACI Products Company, avšak školenia v iných zemiach, napr. v Českej Republike, priamo ponúkané nie sú. Pre akékoľvek ďalšie informácie zahrňujúce tiež aktuálny cenník dodávaných produktov je treba kontaktovať firmu.

4.4.1. Systémové požiadavky

SIMPROCESS je okrem MATLABu jediným študovaným programom, ktorý nie je určený iba pre operačný systém Microsoft Windows, ale je schopný fungovať aj na platforme s operačným systémom Linux. Jedná sa však iba o distribúciu Red Hat 6.x – 8.x a kompatibilné, a aj napriek tomu ani pre distribúcie splňujúce tieto kritéria nie je zaistená plná funkcionalita. Je treba program vyskúšať na konkrétnej platforme a o prípadných problémoch sa poradiť s technickou podporou, ktorú firma CACI Products Company ponúka.

Použiteľné verzie operačného systému Microsoft Windows sú verzie 2000, XP, Vista a Server 2003. Zistené požiadavky na hardware sú:

- operačná pamäť – minimálne 512 MB, ale odporúča sa radšej 1024 MB

Požiadavky na rýchlosť a typ procesora a voľné miesto na disku nie sú na stránkach programu ani v užívateľskom manuály explicitne stanovené.

Aby bolo možné využiť všetky dostupné funkcie programu, je treba mať ďalej nainštalovaný nasledujúci software: Microsoft Access 2000 a vyšší, Microsoft Data Access Components, verzia 2.5 a vyššia.

4.4.2. Tvorba modelu[37]

Po spustení programu sa otvorí hlavné okno, na ktorého ľavej strane sa nachádza lišta s komponentmi, z ktorých sa modely zostavujú. Medzi najdôležitejšie z nich patrí: *processes, activities, entities, resources, connectors, pads,* pričom *processes* spolu s *activities* reprezentujú obchodné operácie v uvažovanom modely. Model v SIMPROCESSe môže byť zostavený hierarchicky tak, že objekt *process* obsahuje ďalšie procesy a aktivity.

Entities sú objekty, ktoré sa pohybujú skrz model a reprezentujú veci (napr. produkty, ľudí), ktoré postupne prechádzajú definovanými aktivitami. Na rozdiel od procesov alebo aktivít, ktoré sú tvorené ikonami v simulačnom okne, nie sú *entities* viditeľné až do doby, než je model spustený. V prípade, že je zapnutá animácia, zobrazujú sa v priebehu simulácie ako ikonky pohybujúce sa po modely. V modely môže byť definovaných viacej typov *entities*, ktorých exempláre sú neskôr generované behom simulácie.

Systém objektov zvaných *processes* reprezentuje operácie prebiehajúce v systéme a tvorí hrubý náčrt modelovaného procesu. Simulovaný obchodný proces je tak hierarchicky rozložený na niekoľko menších podprocesov, ktoré sú postupne ďalej rozdeľované do ďalších vrstiev. V prípade potreby je možné ako sub-procesy určitého procesu definovať sadu jeho rôznych modifikácií, alternatívnych implementácií procesu, ktoré tak zostanú prehľadne umiestnené. V jednom časovom okamžiku iba jeden z nich môže byť aktívny, čo umožňuje postupne vyskúšať niekoľko možných usporiadaní a vybrať to najvhodnejšie.

Základnými stavebnými prvkami týchto procesov sú aktivity, ktoré sú už ďalej nedeliteľné. Každá z nich popisuje jeden typ konkrétnej operácie vykonávanej v systéme a tým modeluje jeho chovanie, pričom tieto operácie môžu byť jak fyzické tak aj logické. Zmieňovaná lišta na ľavej strane simulačného okna obsahuje 17 vstavaných blokov s rôznymi aktivitami, ale užívateľ môže podľa potreby vytvárať ďalšie bloky a potom ich pridať do stávajúcej knižnice. Popíšme tu aspoň v stručnosti základné bloky, ktoré sú k dispozícii:

- *generate* – simuluje vstupy *entities* do modelu (napr. príchody pacientov na

[37] DLOUHÝ, M., FÁBRY, J., KUNCOVÁ, M. *Simulace pro ekonomy, druhé upravené vydání*. Praha : Oeconomica, 2005. 134 s. ISBN 80-245-0973-3.

kliniku) a obvykle je prvou aktivitou v novo definovanom modely, intenzita generovania môže byť konštantná alebo sa môže jednať o generovanie podľa pravdepodobnostného rozdelenia, ktoré sa môže na viac líšiť v rôznych častiach dňa, roku apod., jedna *generate activity* môže generovať viac typov *entities*

- *dispose* – znamená výstup *entities* z modelu, aktivita môže byť využitá k zberu štatistických údajov o priebehu simulácie
- *delay* – reprezentuje dĺžku trvania činnosti (opäť konštantnú alebo náhodnú) a je preto najčastejšie používanou aktivitou, ďalej definuje zdroje potrebné pre túto činnosť a spolu s dobou čakania na tieto zdroje určuje celkovú dobu, ktorú entities strávia v systéme
- *assemble* – zhromažďuje viacero typov *entities*, aby vytvorili jednu výslednú (napr. k výrobe jedného výrobku je treba niekoľko súčiastok)
- *branch* – umožňuje rozdeliť tok *entities* na viac vetví, vetvenie môže byť založené na náhode alebo na deterministickej podmienke, čím umožňuje rozhodovanie s rôznymi výstupmi na základe jeho výsledku
- *merge* – zlučuje niekoľko *connectors* do jedného (spojí viac tokov)
- *batch* – združuje určité množstvo *entities* do jednej dávky (napr. hromadenie pošty určenej k roznáške) a pritom zachováva ich individuálne charakteristiky, vytvorí sa nová, rodičovská *entity*
- *unbatch* – znovu rozpustí skôr spojené *entities* (napr. vykladanie nákladného auta s viacero typmi produktov) a rodičovská *entity* zanikne
- *transform* – premení vstupujúce *entity* na iný typ, jeden typ vstupujúcej *entity* môže byť rozdelený na viac výstupných typov
- *transfer* – presunie *entities* do inej časti modelu bez použitia *connectors*
- *gate* – drží *entities* vo fronte, pokiaľ ich počet nedosiahne stanovené hranice, alebo pokiaľ nepríde signál k ich uvoľneniu
- *assign* – ponúka možnosti zmeny parametrov prechádzajúcich *entities*

Niektoré nastaviteľné parametre sú u väčšiny aktivít rovnaké, pričom v prvej rade sa jedná o kolónku meno a ikona, ktorých význam je zrejmý. ďalším takým

parametrom je komentár, kam je možné vpísať krátky jednoriadkový komentár, ktorý sa bude objavovať v dolnej časti simulačného okna, v tzv. *status bar*, kedykoľvek bude aktivita označená. Záložka *Documentation* umožňuje pripojiť podrobnejší popis danej aktivity. Správne a dostatočne ilustratívne nastavenie parametrov uvedených v tomto odseku zlepšuje prehľadnosť modelu a umožňuje jeho využitie aj po dlhšej dobe.

Aj napriek tomu, že SIMPROCESS ponúka veľké množstvo preddefinovaných funkcií a štatistických možností, môže sa stať, že k účinnému modelovaniu nejakého komplexného problému bude potreba ešte väčšia flexibilita. Každý obchodný problém je totiž sám o sebe unikátny, a preto je nutné k nemu týmto spôsobom aj pristupovať. Z tohto dôvodu je možné u preddefinovaných aktivít upraviť ich chovanie, aby čo najlepšie vyhovovali modelovanej situácii. Slúži k tomu záložky *Attributes* a *Expressions*, ktoré dohromady tvoria veľmi silný nástroj pri tvorbe modelu.

Attributes sú premenné priradené jednotlivým aktivitám, ktoré môžu byť použité k modifikácii chovania procesu behom simulácie, k predávaniu informácií medzi dvoma alebo viac procesmi v modely, alebo k ukladaniu dát získaných behom simulácie. Napr. u aktivity *batch*, ktorá má za úlohu hromadiť poštu určenú k roznáške, je nutné špecifikovať, kedy bude pošta roznesená. Pre štandardnú roznášku prebiehajúcu každý deň ráno nie je treba žiadne dodatočné atribúty, avšak pokiaľ by čas roznášky bol určený dosiahnutím určitej celkovej váhy došlých balíkov, je treba premennú, ktorá bude váhu postupne spočítavať

Expressions sú užívateľom napísané príkazy, ktoré program vyhodnocuje behom simulácie. Sú vždy definované u aktivity, u ktorej majú byť vykonané. Vráťme sa k príkladu o hromadení pošty. Každý balík bude mať teraz nastavený atribút s váhou a hneď ako vstúpi do *batch* aktivity, je nutné jeho váhu pripočítať k celkovej váhe skôr došlých balíkov, skontrolovať, či nebola dosiahnutá určená hraniční váha, prípadne počítadlo vynulovať a balíky odoslať ďalej. Celá táto procedúra by mala byť popísaná v *expressions.*

Resources umožňujú prácu v aktivitách, pretože dodávajú potrebné zdroje, akými môžu byť napr. pracovník obsluhujúci výrobnú linku, nákladné auto potrebné k dodaniu balíku na miesto určenia atd. Experimentovaním s rôznou úrovňou

vstupných zdrojov sa dá dosiahnuť optimalizácia nákladov, na druhej strane ale nedostatok dostupných zdrojov spôsobuje časové zdržania, čím sa predlžuje dĺžka trvania procesu. Z tohto dôvodu je dobré rozumieť princípu použitých zdrojov a aplikovať tieto znalosti k prospechu celého podniku.

Connectors spojujú procesy a aktivity dohromady a tvoria cesty, po ktorých sa pohybujú *entities* behom simulácie.

Pads sú malé trojuholníčky pripojené k aktivitám alebo procesom, ktoré umožňujú pripojenie jedného alebo viac *connectors. Entities* prúdia systémom iba v jednom smere, vstupujú do aktivity pomocou vstupného *pad* a opúšťajú ju pomocou výstupného *pad. Pads* môžu byť tiež využívané ako miesta, kde *entities* čakajú na doplnenie zdrojov. Je nutné dohliadnuť na to, aby bol celý model správne pospájaný, inak nebude určená cesta, po ktorej sa majú *entities* pohybovať a zmiznú z modelu.

Na modelovanie náhodného chovania systému je možné využiť niektoré z dopredu definovaných pravdepodobnostných rozdelení, zvoliť empirické rozdelenie založené na vlastných dátach, alebo definovať nové rozdelenie. Na rozpoznanie rozdelení experimentálnych dát je určená funkcia *ExpertFit*, ktorá k danému účelu používa sofistikované štatistické testy.

Celý model v SIMPROCESSu teda pozostáva z množiny uzlov (procesov a aktivít), ktoré sú vzájomne prepojené pomocou konektorov, a z *entities*, ktoré nimi prechádzajú. Každý model musí obsahovať g*enerate activity* ku generovaniu *entities* a *dispose activity* k ukončeniu behu *entities* a zberu dát. Prítomnosť ďalších typo v aktivít je voliteľná a záleží na konkrétnom systéme, ktorý má byť modelovaný. Špecifikácia modelu prebieha pomocou nastavenia parametrov pre aktivity, zdroje a *entities*. Výsledkom je potom dynamický model obchodného systému, ktorý je určený k ďalšej analýze a k nájdeniu a následnému odstráneniu tzv. úzkych miest, teda miest, kde je porušená plynulosť toku *entities,* alebo dochádza k nejakým iným poruchám.

4.4.3. Simulácia

Po vytvorení odpovedajúceho modelu je treba nastaviť parametre behu simulácie, ktorými sú napr. počiatočný a koncový čas, ktorý je určený dátumom a hodinou (s presnosťou na nanosekundy), a parametre animácií, medzi ktoré patrí

napr. nastavenie viditeľnosti simulačných hodín alebo pohybujúcich sa *entities* (tato voľba dovoľuje zviditeľniť zmeny systému pri prebiehajúcej simulácii). Dôležitým nastavením je tiež voľba *Simulation Time Unit,* pomocou ktorej sa menia jednotky simulačných hodín. Hodiny musia dodržovať konštantné jednotky behom celej simulácie. Napriek tomu, že časové jednotky u jednotlivých objektov sa môžu líšiť, tieto jednotky sa vždy prepočítavajú na jednotky simulačných hodín, preto je dobré jednotky aspoň nejakým spôsobom zjednotiť. Napr. pri nastavenom meškaní v nanosekundách a simulačných hodinách, ktorých jednotky odpovedajú hodinám, môže dôjsť k zaokrúhľovacím chybám.

Pre modely obsahujúce náhodu v podobe generovaných náhodných čísel je vhodné nastaviť vyšší počet opakovaní (angl. *number of replication*) behu celej simulácie, čo je v podstate založené na myšlienke metódy Monte Carlo a dáva lepšiu predstavu o očakávanom chovaní systému. Uchovávané sú štatistické dáta o všetkých jednotlivých behoch a tiež ich výsledný priemer.

Ihneď po stlačení tlačidla Run v hornej lište, alebo rovnakou voľbou v menu Simulate vykoná SIMPROCESS dve úlohy:

1. uloží zmeny prevedené v modelu
2. skontroluje, či model neobsahuje chyby

V prípade, že je všetko v poriadku, potvrdí správnosť modelu a začne s vlastnou simuláciou, behom ktorej je možné meniť pohľad na úroveň modelu pomocou volieb *Descend* a *Ascend*.

SIMPROCESS zhromažďuje informácie o priebehu simulácie všetkých typov *entities* a všetkých *resources*, ktoré sa po skončení simulácie zobrazujú vo forme *Standard Report.* V tomto výstupe sú zahrnuté všetky dôležité štatistiky, program však tiež ponúka možnosť definovať vlastné štatistiky a pridať ich do výstupu *Standard Report.* Výsledný prehľad je možné exportovať do Microsoft Excel na ďalšie spracovanie.

4.5. Crystal Ball

Na internetových stránkach firmy Oracle Corporation je po zaregistrovaní možné stiahnuť zdarma trial verziu programu Crystal Ball, ktorá v sebe skrýva aj nadstavby Decision Optimizer a Enterprise Performance Manager.

K dispozícii je rovnako zvýhodnená verzia pre školy – Classroom Edition, ktorá je navyše k dispozícii v dvoch prevedeniach a to Student Edition a Faculty Edition. Obidve tieto možnosti sú tvorené plne funkčným softwarom a zahrňujú tiež doplnok Decision Optimizer. Student Edition má časovo obmedzenú licenciu buď na jeden alebo na dva roky, je určená na použitie v triedach a technická podpora nie je dostupná. Naproti tomu Faculty Edition má časovo neobmedzenú licenciu a poskytovaná je aj technická podpora.

U samotného Crystal Ballu a obidvoch jeho doplnkoch Decision Optimizer a Enterprise Performance Manager je k dispozícii časovo neobmedzená licencia, u nadstavby Enterprise Performance Manager navyše ešte licencia na 1, 2, 3, 4 nebo 5 rokov.

Firma Oracle Corporation má sieť obchodov rozmiestnenú po celom svete, aj napriek tomu užívatelia z Českej Republiky musia buď cestovať do Nemecka alebo Rakúska, alebo využiť nákup cez internet. Oracle University ponúka celú radu kurzov pre zoznámenie aj pokročilejšie techniky použitia Crystal Ballu. Možnosťou je zúčastniť sa kurzu vedeného lektorom konajúceho sa v Prahe, alebo tzv. live virtual class prebiehajúci v reálnom čase po internete, alebo si objednať súkromnú hodinu.

Firma sa snaží o lokalizáciu programu do iných jazykov ako je angličtina, bohužiaľ lokalizácie do češtiny sa užívatelia len tak nedočkajú. V prvom rade záujmu teraz stoja jazyky ako čínština alebo francúzština.

4.5.1. Systémové požiadavky

Pretože Crystal Ball využíva ako pracovné prostredie Microsoft Excel, je zrejmé, že ho nie je možné používať na iných platformách než Microsoft Windows, prípustné verzie operačného systému sú Microsoft Windows 2000 a vyšší. S tým tiež súvisia požiadavky na ostatný software. Samozrejmosťou je Microsoft Excel, opäť vo verzii 2000 a vyšší, ale program vyžaduje aj Microsoft Explorer 6.0 a vyšší, Microsoft .NET Framework 2.0 (alebo 3.0 nebo 3.5 s verziami Microsoft Windows XP alebo Microsoft Windows Vista) a ďalej Adobe Acrobat Reader 6.0 a vyšší. Hardwarové požiadavky sú obdobné ako u ostatných programov, študovaných v tejto práci:

- procesor – minimálne 800 Mhz
- voľný priestor na disku – pre Crystal Ball minimálne 80 MB, pre .NET

Framework minimálne 280 MB na 32-bitovým počítači, 610 MB na 64-bitovým

- operačná pamäť – 512 MB

Uvedené požiadavky na voľný priestor na disku nie je možné brať ako definitívne, pretože jak Crystal Ball, tak i .NET Framework, vyžadujú približne dvakrát toľko miesta v priebehu inštalácie.

4.5.2. Tvorba modelu[38]

V počiatočnom nastavení sa Crystal Ball nespustí automaticky pri spustení Microsoft Excel, ale je treba ho spustiť samostatne. V každom prípade toto nastavenie ide jednoducho zmeniť pomocou Application Manager, ktorý sa nachádza v ponuke Štart - Všetky programy - Crystal Ball.

Po spustení Crystal Ballu sa najprv otvorí uvítacie okno. Užívateľ môže voliť niektoré prvotné nastavenia, priamy odkaz na internetové stránky programu, otvoriť nápovede, vybrať z predpripravených príkladov alebo začať pracovať s Crystal Ballom. V prípade tejto voľby sa otvorí Microsoft Excel, v ktorého hornej lište pribudla záložka Crystal Ball obsahujúca všetky jeho funkcie. Je rozdelená na štyri časti:

- Define – obsahuje príkazy, umožňujúce definovať podmienky modelu, premenné určené na rozhodovanie, bunky predpovedí atd.
- Run – obsahuje príkazy na spustenie, zastavenie a ďalšie manipulácie so simuláciami
- Analyze – obsahuje príkazy, ktoré umožňujú vytvoriť a uložiť radu výstupných tabuliek, grafov a reportov
- Help – obsahuje odkazy na interaktívne nápovede a informácie o programe

Crystal Ball umožňuje definovať tri typy buniek: *assumption cells, decision variable cells* a *forecast cells,* ktoré sú pre lepšiu prehľadnosť modelu rozlíšené farebne: *assumption cells* – zelená, *decision variable cells* – žltá, *forecast cells* – modrá (jedná sa iba o počiatočné nastavenie, všetko je možné vylepšiť podľa vlastných predstáv).

Assumption cells obsahujú premenné, ktorých hodnotami si nie sme istí. Pre každú takú premennú sa definuje možný obor hodnôt spolu s pravdepodobnostným

[38] *Crystal Ball : User´s Guide.* 2009, vol. 1988.

rozdelením, ktoré sa volí na základe podmienok sprevádzajúcich danú premennú. Crystal Ball ponúka mnoho bežne používaných rozdelení, zo spojitých sú to napr. normálne, rovnomerné, trojuholníkové, Beta, Gamma, lognormálne, exponenciálne, z diskrétnych menujme napr. binomické, Poissonovo, geometrické, hypergeometrické alebo rovnomerné. Behom simulácie potom Crystal Ball počíta stanovený počet scenárov (v rádu stoviek alebo tisícov) na základe generovania hodnôt *assumption cells* zo zvolených rozdelení a následného použitia týchto hodnôt k ďalším výpočtom. Z toho je zrejmé, že kvalita celej simulácie zásadným spôsobom závisí na použitých pravdepodobnostných rozdeleniach a na tom, do akej miery odpovedajú simulovanej skutočnosti. Je preto vhodné venovať dostatok času nájdeniu najvhodnejšieho rozdelenia. K tomuto tiež slúži posledné rozdelenie v ponuke programu - *Custom Distribution,* pomocou neho je možné popísať chovanie výnimočných dát, ktoré neodpovedajú žiadnemu bežnému rozdeleniu. Môže sa jednať o dáta so spojitými hodnotami, diskrétnymi aj ich kombinácie.

Pokiaľ sú k dispozícii historické dáta, u ktorých je treba odhadnúť ich rozdelenie, užitočnou funkciou, ktorá tento proces značne uľahčuje, je *fitting distributions to data*. Ale jej jediným prínosom nie je ľahšia práca, ale aj lepšie výsledky a rozdelenie, ktoré omnoho presnejšie vystihuje podstatu dát než odhad. K tomuto účelu Crystal Ball automaticky porovná dáta so sadou užívateľom zvolených rozdelení a pomocou testov dobrej zhody určí to, ktoré dátam najviac odpovedá.

Pokiaľ v uvažovanom modely nie je splnená podmienka nezávislosti medzi *assumption* premennými, je nutné nastaviť hodnoty korelácií medzi týmito podmienkami, pretože Crystal Ball inak generuje jednotlivé pseudonáhodné čísla nezávisle na ostatných. Umiestnením veľkého počtu korelácií do modelu vzniká riziko ich konfliktu a následnej nemožnosti výpočtu, preto je výhodnejšie koreláciu blízku nule radšej vynechať a tieto podmienky považovať za nezávislé.

Decision variable cells obsahujú hodnoty, nad ktorými má užívateľ kontrolu a ktoré môže meniť (napr. veľkosť investície). Nie je nutné tieto bunky umiestňovať do modelu, avšak občas môžu byť veľmi užitočné pri porovnávaní a optimalizácii rôznych scenárov.

Forecast cells (závislé premenné) obsahujú vzorce, ktoré odkazujú k jednej

alebo viacerým *assumption* alebo *decision variable cells,* kombinujú ich hodnoty s hodnotami v ďalších bunkách k výpočtu svojej výslednej hodnoty. Pri definovaní *forecast cell* užívateľ súčasne určuje meno predpovede, jednotky a tiež ďalšie preferencie. Jedná sa o nastavenie výstupov zo simulácie a ich prispôsobenie potrebám konkrétnej úlohy.

V prvom rade je možné zmeniť nastavenia *forecast cells,* ktoré súvisia so zobrazovanou vlastnosťou pravdepodobnostného rozdelenia, a tým zaistiť najlepšie vyhovujúci vzhľad vykresľovaných grafov. Počiatočným nastavením je voľba *Frequency*, ktorá zobrazí histogram početností hodnôt v sledovaných intervaloch. Inou voľbou je *Cumulative Frequency*, alebo empirická distribučná funkcia, v ktorej je hodnota každého intervalu daná počtom hodnôt menších alebo rovných dané hodnote vo vnútri intervalu. Opačnou voľbou je potom Reverse *Cumulative Frequency*, v ktorej je hodnota každého intervalu daná počtom hodnôt väčších alebo rovných danej hodnote vo vnútri intervalu. Voľba *Statistics* vypisuje kompletný prehľad ukazovateľov popisnej štatistiky (priemer, medián, štandardnú odchýlku, rozptyl, šikmosť, špicatosť atd.). Predposlednou voľbou je možnosť *Percentiles*, ktorá zobrazí zoznam hodnôt percentilov s 10% prírastkami. Posledná voľba je k dispozícii iba v prípade, že je označená voľba *Fit Distribution* (viď. ďalej). Jedná sa o voľbu Goodness Of Fit, ktorá zobrazí hodnoty štatistík u testov dobrej zhody pre vybrané rozdelenia. Ďalším užitočným nastavením je už zmieňované *Fit Distribution,* pomocou, ktorého je možné získanými dátami preložiť krivku rozdelení, ktoré vyjde najlepšie zo sledovanej skupiny na základe zvoleného testu dobrej zhody. Táto voľba funguje rovnako ako voľba *Fitting Distribution* používaná na historické dáta pri definovaní *assumption cells* (viz vyššie).

Ďalšie možné nastavenia sa nachádzajú v záložke *Precision* a poskytujú užívateľovi kontrolu nad úrovňou presnosti predpovedných štatistík. Táto voľba rozhoduje o zastavení simulácie na základe intervalu spoľahlivosti vybranej štatistiky. Čím viac behov simulácie je spočítaných, tým viac sa intervaly spoľahlivosti zužujú a štatistiky sú presnejšie. Na druhej strane ale viac behov simulácie trvá dlhší čas, preto nie je vhodné zadávať neprimerané požiadavky na presnosť. Crystal Ball, ale našťastie disponuje možnosťou zastaviť simuláciu skôr, ešte pred dosiahnutím zvolenej presnosti, pokiaľ bol už dosiahnutý maximálny počet behov.

Záložka *Filter* ponúka možnosť dočasne zabudnúť pozorovania, ktoré padnú

do zadaných intervalov. Tieto hodnoty môžu byť buď popísané ako hodnoty, ktoré padnú mimo daný interval, alebo ako hodnoty, ktoré padnú do zadaného intervalu, záleží na požiadavkách užívateľa. Filtrované hodnoty nie definitívne zmazané, sú len vytesnené na účely súčasnej analýzy.

Poslednou záložkou je Auto Extract, ktorá umožňuje špecifikovať štatistiky, ktoré majú byť po skončení simulácie automaticky extrahované do Microsoft Excel.

Okrem priradenia číselných hodnôt bunkám je také možné vkladať odkazy na iné bunky a vytvárať z nich vzorce tak, jak je zvykom v Microsoft Excel. Obvykle sú odkazy na bunky dynamické a menia sa zakaždým, keď je zošit prepočítavaný. Inou možnosťou sú statické referencie, ktoré sú spočítané iba jedenkrát, na začiatku simulácie. Ďalším typom odkazov sú relatívne a absolútne odkazy, medzi ktorými sa dá ľahko prepínať stlačením klávesy F4. Relatívne odkazy si pamätajú pozíciu odkazovanej bunky vzhľadom k pozícii bunky, v ktorej je umiestnený odkaz.

4.5.3. Simulácia

Po definovaní modelu pomocou *assumption cells, decision variable cells* a *forecast cells* je už všetko pripravené na spustenie simulácie. Crystal Ball využíva k výpočtu predpovedí situácie danej modelom techniku Monte Carlo, ktorá zahrňuje opakované generovanie náhodných čísel ako hodnôt *assumption cells*. Monte Carlo simulácia predstavuje vhodnú techniku na simulácie chovania reálnej situácie, ktorá obsahuje príliš veľa možných scenárov na to, aby sa dali riešiť analyticky. Jednanie za neistoty iste takouto situáciou je.

Crystal Ball obvykle počíta stovky až tisíce možných scenárov na základe rôznych počiatočných hodnôt v *assumption cells*. Z týchto scenárov ďalej vypočíta hodnoty *forecast cells*, ktoré sú vlastným výstupom simulácie a sú preto uchovávané na neskoršie vyhodnotenie. Tento proces sa dá popísať troma fázami:

1. pre každú *assumption cell* je vygenerovaná jedna realizácia príslušného rozdelenia pravdepodobnosti (pseudonáhodné číslo)
2. sú prepočítané hodnoty všetkých buniek v modely
3. hodnota každej predpovedi je uložená a pridaná do *forecast window*

Tento iteračný proces sa opakuje pokiaľ nie je dosiahnuté ukončovacie kritérium, alebo pokiaľ užívateľ nezastaví simuláciu manuálne. Výsledné

predpovedné schéma vo *forecast window* odráža mieru neistoty obsiahnutú v *assumption cells* a prenesenú do výstupnej hodnoty modelu. Je treba si uvedomiť, že Monte Carlo simulácie poskytuje iba odhad reálnej situácie, preto je nutné vystihnúť chovanie sledovaných premenných a prípadne model ešte upraviť, aby tento odhad skutočnosti bol čo najvernejší.

Na rozdiel od ostatných programov Crystal Ball neberie v úvahu časový vývoj modelu, preto je jeho rozsah použiteľnosti trochu iný. Vhodným príkladom použitia môže byť napr. analýza plánovanej investície – model potom zahrňuje predpokladané vstupné hodnoty (napr. počet prenajatých bytov) s istou mierou neistoty a na nich závislé premenné (predpovede – napr. zisk z nájmu po odčítaní nákladov na prevádzku). Na zistenie optimálneho rozloženia skladu ale bude lepšie zvoliť iný software.

4.5.4. Distribution fitting[39]

Distribution fitting je procedúra, v ktorej sa štatisticky vyberá pravdepodobnostné rozdelenie, tak aby najlepšie odpovedalo dátam, generovaným náhodným procesom. Inými slovami, keby sme mali k dispozícii náhodné dáta a chceli by sme vedieť špecifické rozdelenie, ktoré ich popisuje, potom distribution fitting je to čo hľadáme.

Pravdepodobnostné rozdelenia nám slúžia ako nástroj na vysporiadanie sa s neistotou. Používajú sa na charakteristické výpočty a ich výsledky sa aplikujú pri dôležitých podnikových rozhodnutiach. Avšak v prípade, že používame nesprávny nástroj, dostaneme sa k zlým výsledkom. V prípade, že zvolíme rozdelenie, ktoré nezodpovedá našim dátam, jednotlivé výpočty budú nesprávne a určite povedú ku nesprávnemu konečnému rozhodnutiu. Použitie chybného modelu môže mať teda v mnohých podnikoch vážne následky ako napr. neschopnosť dokončenia úloh a projektov v danom čase, čo samozrejme vedie k značným časovým aj finančným stratám.

Za posledných niekoľko storočí sme si osvojili početnejšie množstvo pravdepodobnostných rozdelení, tak aby odpovedali dátam využívaných v našich

[39] *The Mathworks : MATLAB and Simullink for technical computing* [online]. 1994-2009 [cit. 2009-09-19]. Dostupný z WWW: <http://www.mathwave.com/articles/distribution_fitting_faq.html#q1>.

analýzach a najpoužívanejším z nich je normálne rozdelenie.

Normálne rozdelenie[40] (ďalšie pravdepodobnostné rozdelenia viď 40)

Normálne rozdelenie je najdôležitejším pravdepodobnostným rozdelením, ktoré slúži ako model chovania veľkého množstva náhodných javov v technike, prírodných vedách ale aj v ekonómii. Obecne sa dá povedať, že normálne rozdelenie je vhodným pravdepodobnostným modelom, keď pôsobí na kolísanie náhodnej veličiny veľký počet nepatrných a vzájomne nezávislých vplyvov. Veľký význam spočíva tiež v tom, že za určitých podmienok je možné týmto rozdelením aproximovať radu iných spojitých aj nespojitých rozdelení.

Náhodná premenná X má normálne rozdelenie s parametrami μ a σ^2, $\mu \in R$, $\sigma > 0$,ak jej hustota pravdepodobnosti má tvar:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad x \epsilon R$$

Pričom μ je stredná hodnota charakterizujúca polohu tohto rozdelenia a σ^2 je jeho rozptyl charakterizujúci rozptýlenie hodnôt okolo strednej hodnoty.

$$E(X) = \mu, D(x) = \sigma^2$$

Distribučná funkcia:

$$F(x) = P(X < x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$$

Výpočet distribučnej funkcie podľa tohto vzorca je náročný a preto sa prevádza transformácia náhodnej veličiny X na normovanú veličinu U, kde $U = X - \mu / \sigma$.

V prípade, že zavedieme transformáciu do hustoty pravdepodobnosti a distribučnej funkcie dostaneme pre tzv. normované normálne rozdelenie jeho hustotu

[40] SEGER, J, HINDLS, R, HRONOVÁ, S. *Statistika v hospodářství*. Praha : ETC Publishing, 1998. 636 s. ISBN 80-86006-56-5.

pravdepodobnosti:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}, \quad x \epsilon R$$

a distribučnú funkciu:

$$\phi(x) = P(X < x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

Parametre normovaného rozdelenia sú:

$\mu = E(U) = 0$

$\sigma^2 = D(U) = 1$

Normovaná náhodná veličina má teda normálne rozdelenie so strednou hodnotou 0 a rozptylom 1. Pomocou tabuliek a transformácie je možné stanoviť pravdepodobnosti, resp. distribučné funkcie normálneho rozdelenia s akýmikoľvek hodnotami parametrov μ a σ^2.

Výber rozdelenia

Vo viacerých prípadoch je nutné vybrať z 2 alebo viacerých rozdelení, na základe porovnania výsledkov a následné rozhodnutie pre model, ktorý sedí najviac. Dané rozdelenia by mali byť vybraté vzhľadom k povahe našich dát. Napr., keď chceme analyzovať čas medzi zlyhaniami technického zariadenia, mali by sme vybrať nezáporné rozdelenia ako sú exponenciálne alebo Weibullovo, pretože čas poruchy nemôže byť záporné číslo.

Ďalšou možnosťou ako dôjsť k správnemu pravdepodobnostnému rozdeleniu je analýza histogramu, kde na základe tvaru grafu môžeme určiť podobnosť s niektorým ďalším rozdelením.

Ak sa rozhodneme pre nejaký typ rozdelenia, je nutné zistiť ako dané rozdelenie popisuje skutočné dáta. Toto je možné overiť na základe testov dobrej

zhody alebo vizuálnym porovnaním empirických a teoretických dát. Výsledkom bude model, ktorý naším dátam odpovedá najviac.

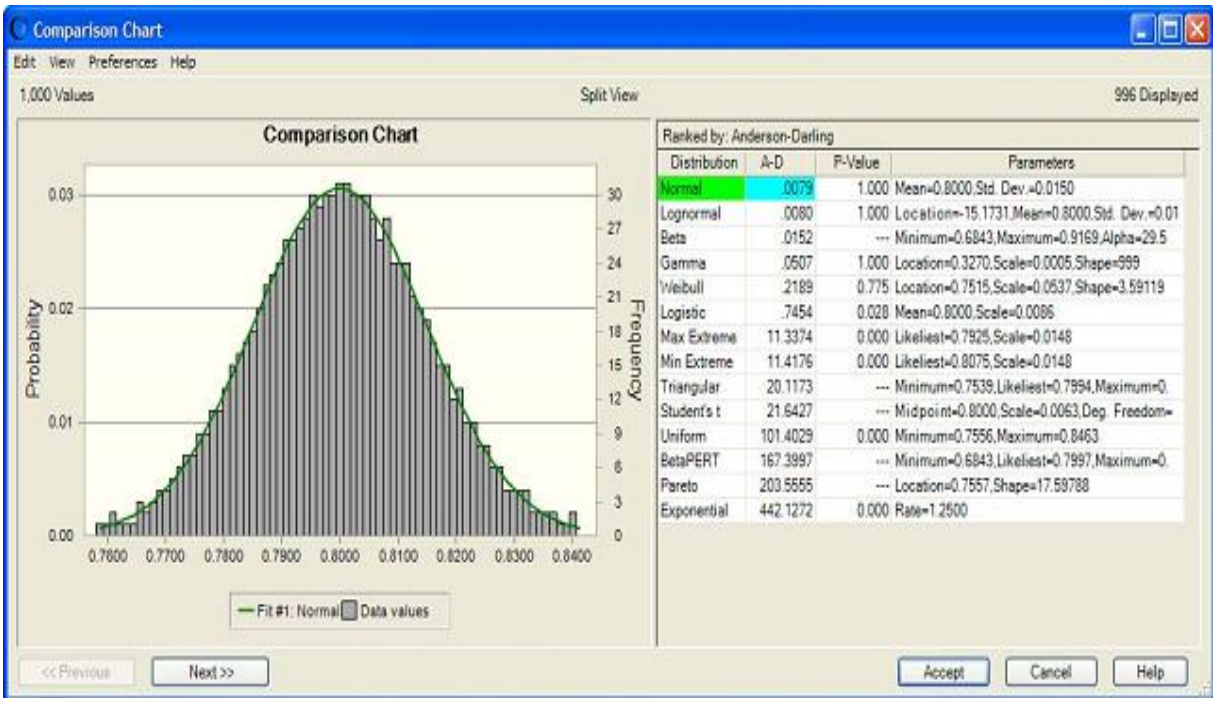
Použitie správnych pravdepodobnostných rozdelení zahrňuje komplexné matematické a štatistické výpočty, ktoré sú prakticky nemožné alebo veľmi ťažko dosiahnuteľné bez požadovaného softwaru. Crystal Ball je jeden z programov, ktorý daný software obsahuje.

Crystal Ball a Distribution fitting[41]

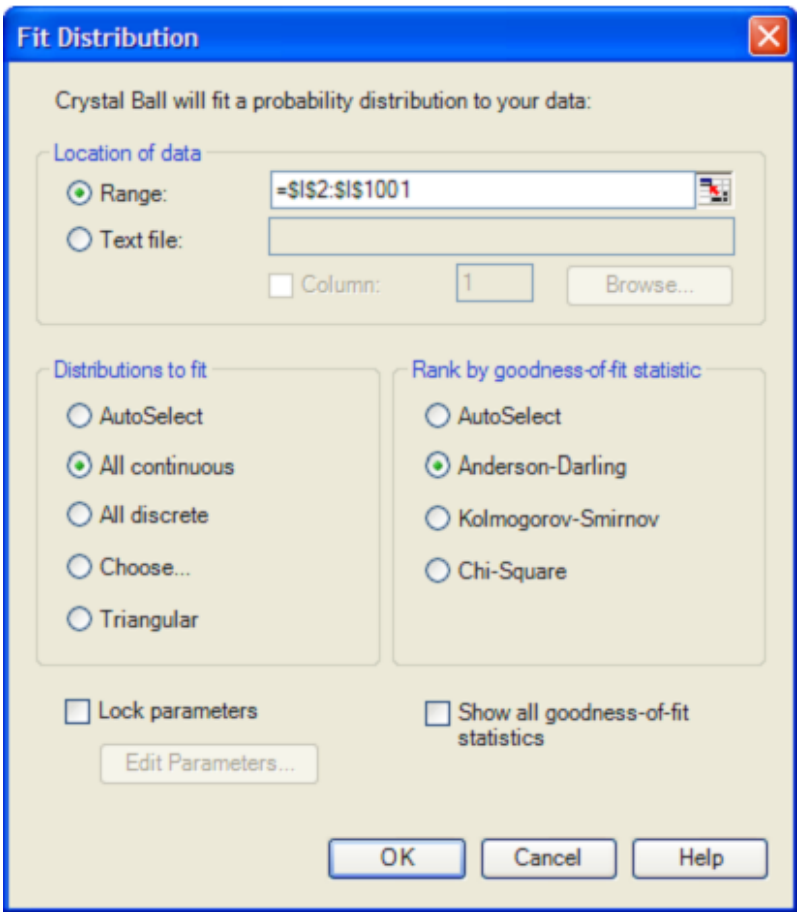
V distribution fitting, Crystal Ball automaticky porovnáva naše dáta so spojitými alebo diskrétnymi pravdepodobnostnými rozdeleniami. Môžeme si vybrať porovnanie s len niektorými alebo všetkými dostupnými rozdeleniami okrem alternatívneho a vlastného rozdelenia. Crystal Ball potom na základe matematických výpočtov určí požadované parametre pre každé rozdelenie, tak aby najlepšie popisovali charakteristiky našich dát. Crystal Ball posudzuje kvalitu modelu na základe jedného z niekoľkých štandardných testov dobrej zhody a vyberie rozdelenie, v ktorom je zhoda najväčšia. Ďalej je možné jednotlivé rozdelenia usporiadať podľa výsledkov jednotlivých testov a vizuálne porovnať s našimi dátami na grafe.

Výsledná tabuľka nám môže ukázať všetky testy dobrej zhody, vrátane p-value pre každé rozdelenie. Pre každé rozdelenie sa počítajú všetky testy, avšak hodnotenie a rebríček najvhodnejších rozdelení závisí na teste, ktorý zvolíme. Chi-kvadrát testy sa najčastejšie používajú pri diskrétnych rozdeleniach, pri spojitých sa vychádza z Kolmogorovho-Smirnovho testu**,** či testu Andersona-Darlinga. Na záver už iba vyberieme pravdepodobnostné rozdelenie s najväčšou zhodou, Crystal Ball dopočíta požadované parametre a zobrazí výsledné rozdelenie na finálne zhodnotenie.

[41] *Oracle* [online]. 2009 [cit. 2009-10-08]. Dostupný z WWW: <http://www.oracle.com/technology/products/bi/crystalball/pdf/distribution-fitting.pdf>.



Obr. 6. Porovnanie jednotlivých rozdelení pomocou funkcie Fit Distribution



Obr. 7. Možnosti funkcie Fit Distribution programu Crystal Ball

Chi-kvadrát test dobrej zhody[42]

Pearsonov chi-kvadrát test dobrej zhody vychádza z frekvenčnej tabuľky a testuje nulovú štatistickú hypotézu, ktorá tvrdí, že početnosti v jednotlivých kategóriách sa rovnajú očakávaným (teoretickým) početnostiam.

Ako testové kritérium zvolíme štatistiku:

$$G = \sum_{i=1}^{k} \frac{(n_i - n\pi_{0,i})^2}{n\pi_{0,i}},$$

kde n_i sú pozorované početnosti a $n\pi_{0,i}$ sú teoretické početnosti v i-tej skupine. Štatistika G má za predpokladu dostatočne veľkého výberu približne chi-kvadrát rozdelenie s $v = k-1$ stupňami voľnosti. Za kritické hodnoty volíme $100(1-\alpha)\%$ kvantily chí-kvadrát rozdelenia a kritický obor je potom vymedzený nerovnosťou $G \geq \chi^2_{1-\alpha}$. Zároveň je nutné aby rozsah výberu zaistil, že bude dostatočné obsadenie vo všetkých skupinách, do ktorých je súbor roztriedený, to znamená aby platilo $n\pi_{0,I} > 5$ *pre* $i = 1,2,\ldots,k$

Ak je *P*-hodnota nižšia ako zvolená hladina významnosti (tradične 5 % = 0,05), nulová hypotéza sa zamietne. Znamená to, že rozdiel medzi početnosťami zistenými vo vzorke a očakávanými početnosťami je príliš veľký na to, aby bol iba dôsledkom náhodného výberu, teda je štatisticky významný.

Ak je *P*-hodnota rovná alebo vyššia ako zvolená hladina významnosti, nulovú hypotézu nemožno zamietnuť. Znamená to, že rozdiel medzi početnosťami zistenými vo vzorke a očakávanými početnosťami môže byť dôsledkom náhodného výberu, teda nie je štatisticky významný.

[42] SEGER, J, HINDLS, R, HRONOVÁ, S. *Statistika v hospodářství*. Praha : ETC Publishing, 1998. 636 s. ISBN 80-86006-56-5.

Kolmogorov-Smirnov test[43]

Pri overovaní dobrej zhody medzi empirickým a teoretickým rozdelením dávame tomuto testu prednosť pred chí-kvadrát testom v prípade malého rozsahu. Má totiž väčšiu silu a zároveň sa tým vyhneme komplikáciám spojeným s obmedzujúcimi podmienkami ohľadom veľkosti výberu. V prípade malého výberu je tento test jediným východiskom. Ďalšou jeho výhodou je, že vychádza z pôvodných jednotlivých napozorovaných hodnôt a nie z údajov roztriedených do tried a tým pádom nedochádza k strate informácie obsiahnutej vo výbere.

Test sa používa k overeniu hypotézy, že daný výber pochádza z rozdelenia so spojitou distribučnou funkciou *F(x)*, ktorá ale musí byť úplne špecifikovaná vrátane všetkých parametrov. Testujeme hypotézu o teoretickej distribučnej funkcii

H_0: $F(x) = F_0(x)$, $-\infty < x < \infty$,

Kde $F_0(x)$ je úplne špecifikovaná a nezávisí na žiadnom neznámom parametre. Ako testové kritérium použijeme štatistiku

$$D_n = sup|F_n(x) - F_0(x)| = \max(D_1^*, D_2^*, \dots, D_n^*),$$

kde

$$D_i^* = \max\left\{\left|F_0(x_i) - \frac{i-1}{n}\right|, \left|\frac{i}{n} - F_0(x_i)\right|\right\},$$

pre i = 1, 2,..., n

Test Andersona-Darlinga[44]

Test hypotézy H_0: $F(x) = F_T(x)$ proti H_1: *non* H_0, kde $F_T(x)$ je plne špecifikované teoretické rozdelenie, ktoré odvodili Anderson a Darling, vychádza z testového kritéria

[43] SEGER, J, HINDLS, R, HRONOVÁ, S. *Statistika v hospodářství*. Praha : ETC Publishing, 1998. 636 s. ISBN 80-86006-56-5.
[44] BÍLKOVÁ, D., HEBÁK, P., SVOBODOVÁ, A. *Praktikum k výuce matematické statistiky II : Testování hypotéz*. 2. vyd. Praha : Oeconomica, 2004. 280 s. ISBN 80-245-0721-8.

$$AD = -\left[\sum_{i=1}^{n} (2i-1)\, ln\, F_i + \frac{ln(1-F_{n-i+1})}{n} - n\right]$$

v ktorom $F_i = F_T(z_{(i)})$. Hypotéza H_0 sa zamieta na hladine významnosti α, keď je hodnota tohto *ad* kritéria väčšia ako $(1-\alpha)100\%$ kvantil rozdelenia AD pri platnosti H_0.

Pre veľký rozsah výberu platí približný vzťah

$$ad_{0,95} = 1{,}0348(1 - \frac{1{,}013}{n} - \frac{0{,}93}{n^2})$$

5. Praktická časť

Pred samotným spracovávaním praktickej časti mojej diplomovej práce som si vyhľadal voľne na internete 50 textov (článkov, prípadových štúdií,...), ktoré pojednávajú o simuláciách rôznych procesov, ich využití a uplatnení v praxi. Niektoré zo zdrojov riešia všeobecné problémy, ktoré je možné simuláciami rôznych procesov vyriešiť, iné aplikujú simuláciu procesov na konkrétny problém v danej spoločnosti. Výhodou teoretických (všeobecných) riešení problémov spojených so simuláciou procesov môže byť ich širší pohľad na skúmanú problematiku. Vypracované teoretické modely procesov je možné následne využiť a aplikovať pri riešení konkrétnych úloh, problémov a otázok v rozličných firmách pôsobiacich v oblasti, ktorej sa to týka.

V týchto textoch pojednávajúcich o simuláciách procesov som sledoval a následne skúmal tieto znaky:

- použitý software
- výrobca použitého software
- typ simulácie
- oblasť využitia
- praktické / teoretické využitie

V mnou skúmaných textoch boli použité aj iné typy softwaru, ako tie, ktoré popisujem v teoretickej časti mojej práce (Matlab, Witness, Simul8, Simprocess, Crystal Ball). Jedná sa o podobné druhy programov na simuláciu procesov, a tak som ich taktiež zahrnul do analýzy. Pri typoch simulácie som rozlišoval simuláciu, dynamickú a simuláciu Monte Carlo. Dynamická sa potom môže deliť na diskrétnu alebo spojitú v čase. Oblastí využitia simulácii procesov je veľmi veľa, a tak som sa ich snažil zredukovať na čo najmenšie relevantné množstvo, tak aby to neovplyvnilo výsledky analýzy. Ako som už v úvode tejto časti práce spomenul, vybrané texty riešia problematiku simulácií procesov buď v teoretickej rovine, alebo ju priamo aplikujú na konkrétne situácie. A preto budem pozorovať aj tento rys.

Po zozbieraní textov a preskúmaní pozorovaných znakov som zaznamenal zistené hodnoty do tabuľky v Excely. Zaznamenané údaje v tabuľke som analyzoval podľa jednotlivých znakov, z hľadiska počtu zastúpenia (absolútne/relatívne) v skúmanom súbore dát, ale aj vzájomné závislosti medzi jednotlivými premennými.

5.1. Výsledky analýzy

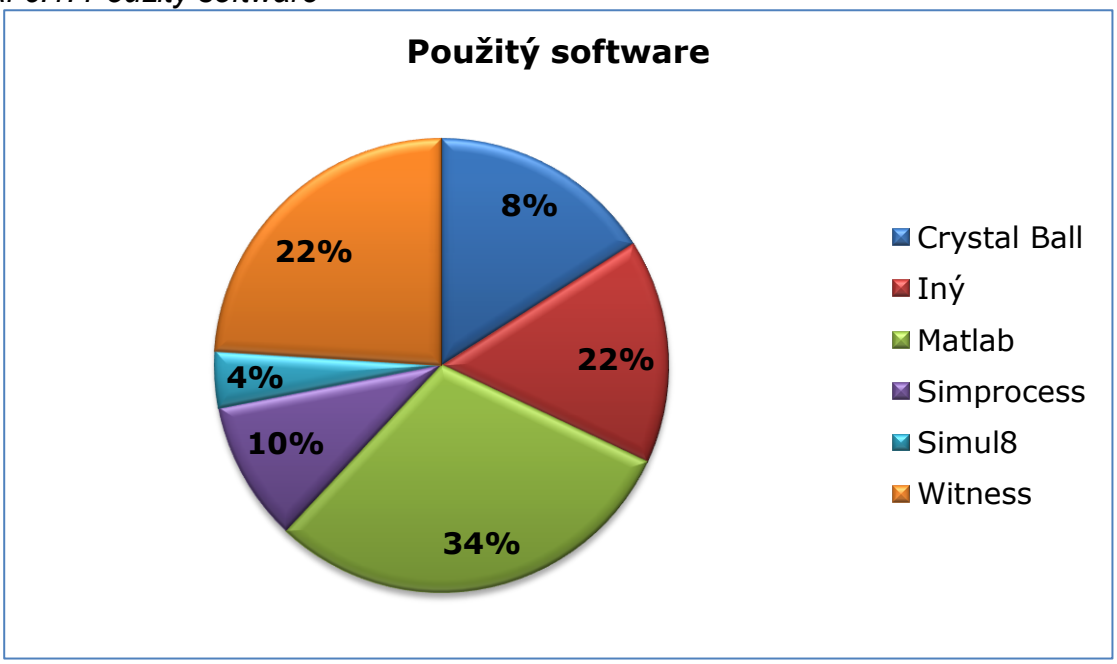
Výstupy z analýz početnosti (absolútnej/relatívnej) jednotlivých charakteristík sú zobrazené v príslušných grafoch, ktoré sú doplnené tabuľkami. Vzájomné vzťahy medzi dvojicami premenných sú zachytené v kontingenčných tabuľkách a s nimi korešpondujúcimi grafmi.

Prvým zo skúmaných znakov je software, ktorý bol použitý pri simulácii procesu v danom článku. Absolútne zastúpenie daných programov z celého súboru zachytáva nasledujúca tabuľka a relatívny podiel každého z programov je zobrazený v koláčovom grafe pod ňou.

Tabuľka č.1: Použitý software

Použitý software	**Počet článkov**
Crystal Ball	4
Iný	11
Matlab	17
Simprocess	5
Simul8	2
Witness	11
Celkový súčet	**50**

Graf č.1: Použitý software

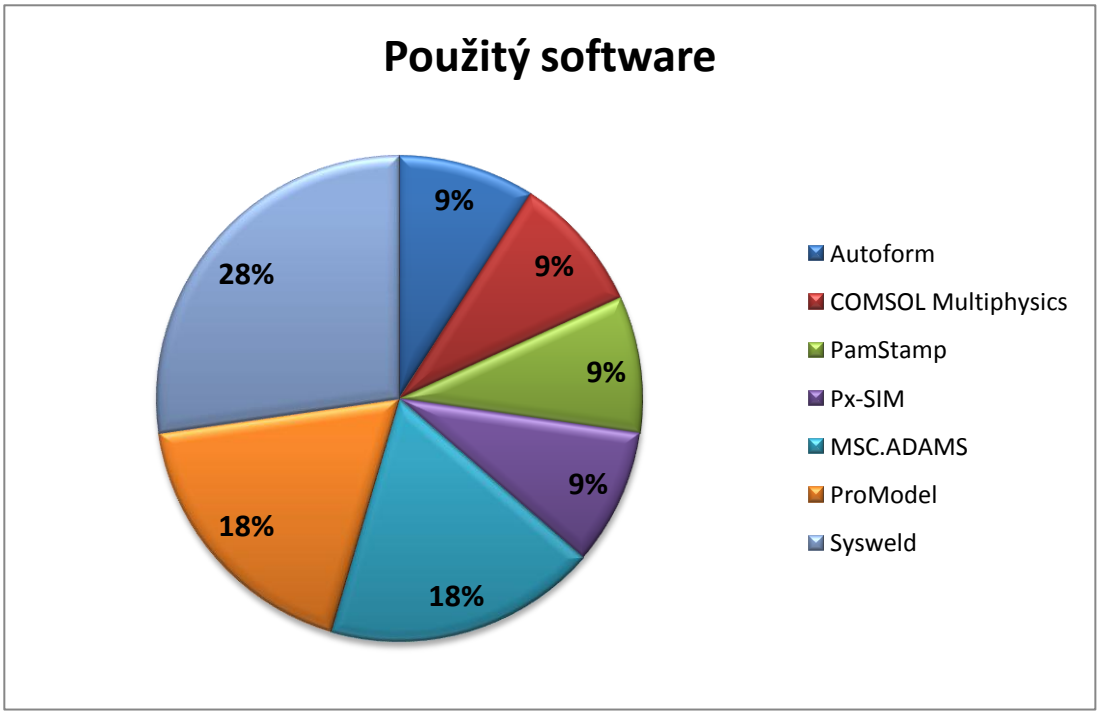


V grafe a tabuľke je vidieť zastúpenie jednotlivých programov v analyzovanom súbore. Najviac používaným programom s 34 % zastúpením je Matlab, za ním nasleduje Witness s približne štvrtinovým podielom, tak Crystal Ball, Simprocess a nakoniec Simul8, ktorý bol v sledovaných článkoch spomenutý iba dva krát. Vysoké zastúpenie má iný software (viď ďalej). Je to 22 percent, no z toho nemožno priamo usúdiť, či ide o ten istý software, alebo o viacero rôznych. Zastúpenie v kategórii iný software je preto zobrazené v nasledujúcej tabuľke doplnenej koláčovým grafom.

Tabuľka č.2: Použitý software (iný, ako spomínané v teoretickej časti)

software	**počet článkov**
Autoform	1
COMSOL Multiphysics	1
PamStamp	1
Px-SIM	1
MSC.ADAMS	2
ProModel	2
Sysweld	3
Celkový súčet	**11**

Graf č.2: Použitý software (iný, ako spomínané v teoretickej časti)



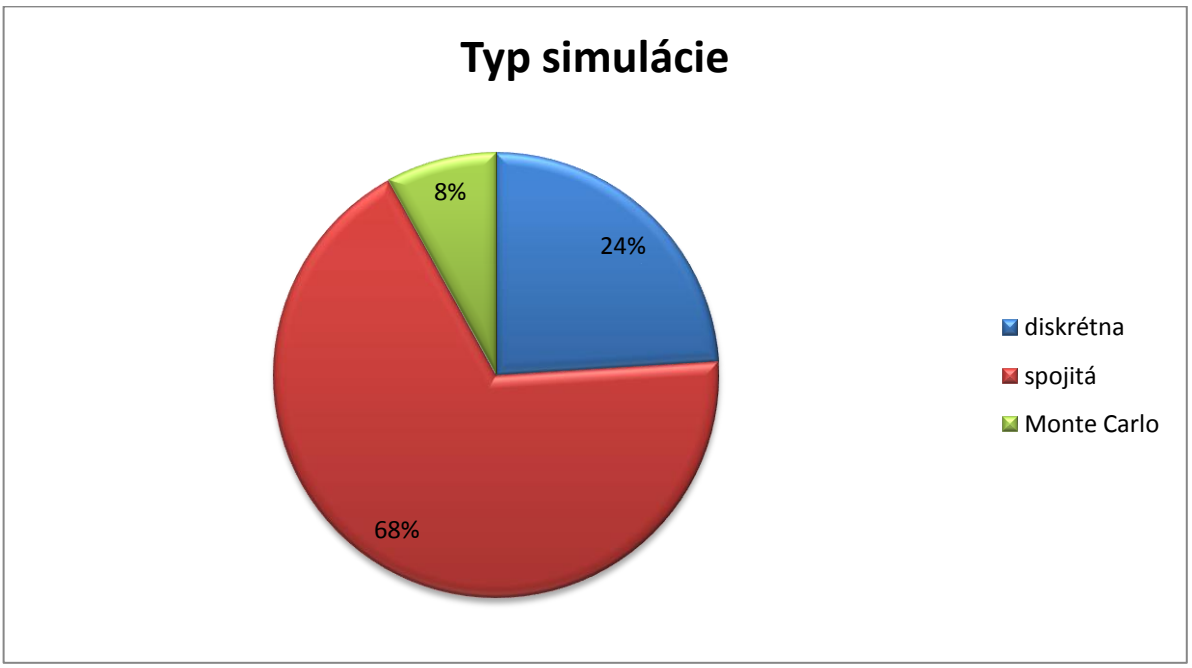
Najväčšie zastúpenie z ostatných softwarov mal program Sysweld, ktorý bol použitý celkom trikrát, potom programy MSC.ADAMS a ProModel, ktoré sa v prejdených článkoch vyskytli zhodne dvakrát a ostatné programy po jednom článku. Z toho možno usúdiť, že paleta programov na simuláciu procesov je pomerne rozmanitá, avšak programy spomínané v tejto práci majú v sledovanom súbore skoro 80 % zastúpenie.

Ďalším sledovaným znakom je typ simulácie, ktorého výsledky reprezentuje nasledujúca tabuľka a graf.

Tabuľka č.3: Typ simulácie

Typ simulácie	**Počet článkov**
diskrétna	12
spojitá	34
Monte Carlo	4
Celkový súčet	**50**

Graf č.3: Typ simulácie



Ako je na grafe vidieť, najväčšie zastúpenie má dynamická spojitá simulácia, ktorá bola použitá v skoro sedemdesiatich percentách prípadov, za ňou nasleduje

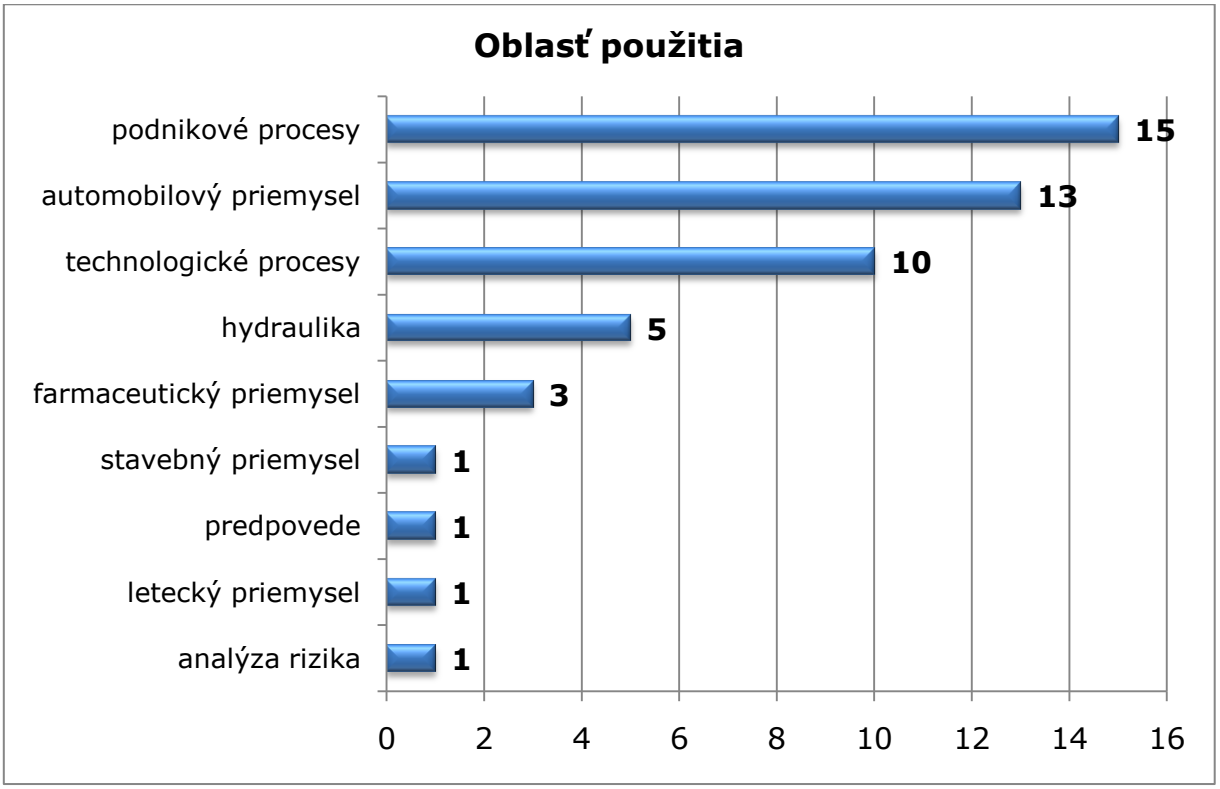
diskrétna simulácia s 24 % a simulácie Monte Carlo s 9 %. Nízke zastúpenie simulácii Monte Carlo môže byť spôsobené tým, že daným typom simulácie sa zaoberá menej softwarov. Z programov, ktoré som si vybral na porovnanie s takýmto typom simulácii pracuje hlavne Crystal Ball a pomenej Matlab.

Oblastí použitia simulácií procesov je pomerne veľa, a tak nebolo ľahké zaradiť analyzované články do čo najmenej kategórií. Niektoré z textov pojednávali o simulácii v špecifickom odvetví, nezaradil som ich do žiadnej so všeobecných kategórií, aby to neskreslilo výsledky, ale vytvoril som nové položky, ktoré odpovedajú konkrétnej problematike. Nakoniec mi vzniklo 9 odlišných oblastí použitia simulácií procesov. Konkrétne hodnoty sú zachytené v tabuľke číslo 4 a zobrazené v zodpovedajúcom grafe.

Tabuľka č.4: Oblasť použitia simulácie procesov

Oblasť použitia	**Počet článkov**
analýza rizika	1
automobilový priemysel	13
letecký priemysel	1
farmaceutický priemysel	3
hydraulika	5
podnikové procesy	15
predpovede	1
stavebný priemysel	1
technologické procesy	10
Celkový súčet	**50**

Graf č.4: Oblasť použitia simulácie procesov



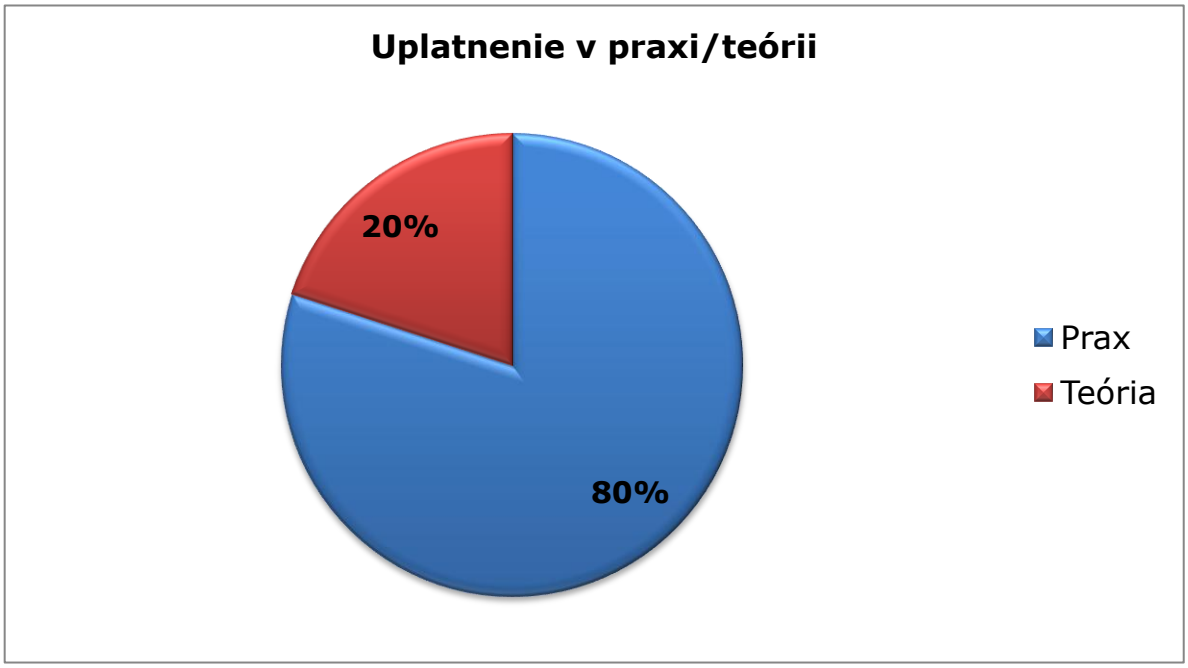
Pri danom rozdelení sú podnikové procesy najväčšou oblasťou použitia simulácií procesov a to s 15 % zastúpením. Hneď za nimi nasleduje automobilový priemysel spolu s technologickými procesmi. V prípade, že by sme ale spojili rôzne technické smery dohromady, prevýšili by oblasť použitia podnikových procesov dvojnásobne. Najmenej zastúpenými oblasťami sú analýza rizika, stavebný priemysel a predpovede.

Nasledujúcim sledovaným znakom je uplatnenie simulácie procesov v praxi/teórii. V skúmaných textoch boli prípady, kedy sa riešil buď teoretický problém, alebo konkrétny problém z praxe. Obidva druhy článkov riešili obdobné problémy, avšak na inej úrovni. Koľko teoretických uplatnení a koľko uplatnení v praxi bolo v sledovanom súbore zaznamenané, je v ďalšej tabuľke a v príslušnom grafe.

Tabuľka č.5: Uplatnenie simulácie procesov v praxi/ teórii

Teória/prax	**Počet článkov**
Prax	40
Teória	10
Celkový súčet	**50**

Graf č.5: Uplatnenie simulácie procesov v praxi/ teórii



Veľká väčšina článkov, až 80% sa zameriavala na praktické otázky uplatnenia simulačného softwaru a teoretickým otázkam sa venuje iba 20% skúmaných dát, pričom veľká časť údajov a poznatkov získaných týmito teoretickými simuláciami je v praxi tak či tak časom využitá.

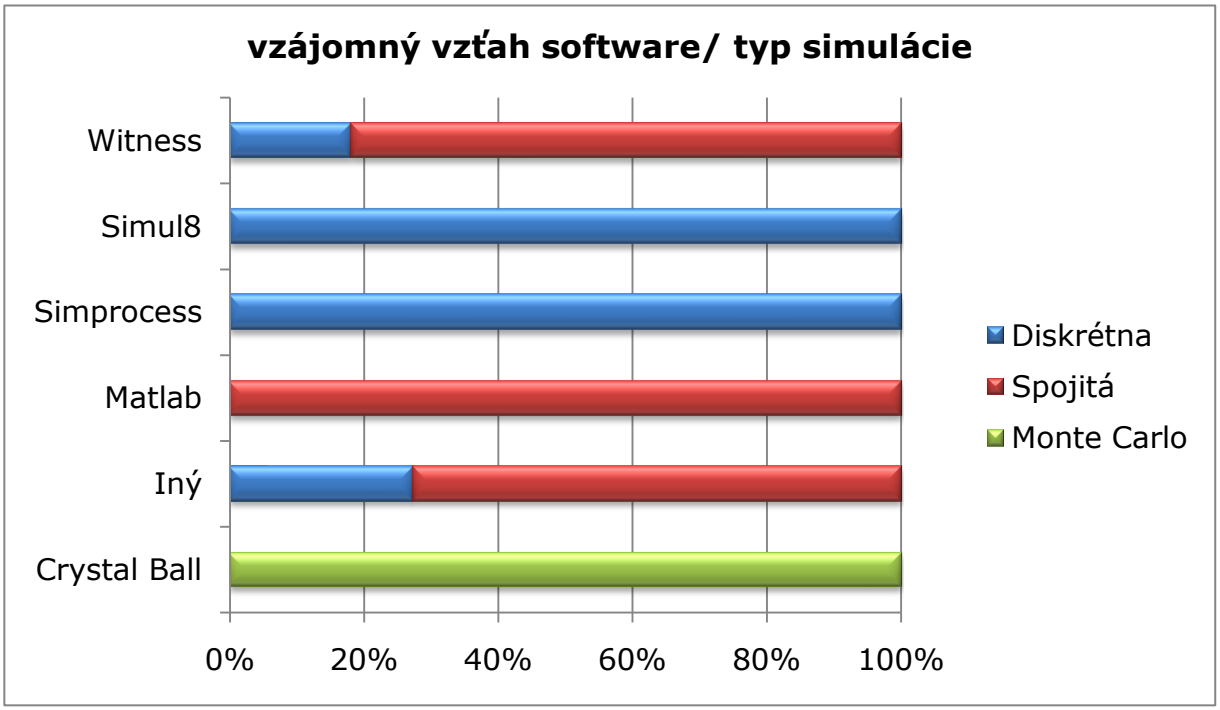
Na rozdiel od prvej časti, kde som sa zaoberal pomerným zastúpením v rámci sledovaných znakov, v ďalšej časti budem analyzovať vzájomné vzťahy medzi týmito znakmi.

Prvou dvojicou znakov, ktoré som porovnával je vzťah medzi softwarom a typom simulácie použitej v danom článku. Výsledok tohto porovnania je zaznamenaný v tabuľke číslo 6 a znázornený v korešpondujúcom grafe.

Tabuľka č.6: Vzájomný vzťah medzi software a typom simulácie

	Typ simulácie			
Software	**Diskrétna**	**Spojitá**	**Monte Carlo**	**Celkový súčet**
Crystal Ball	0	0	4	4
Iný	3	8	0	11
Matlab	0	17	0	17
Simprocess	5	0	0	5
Simul8	2	0	0	2
Witness	2	9	0	11
Celkový súčet	**12**	**34**	**4**	**50**

Graf č.6: Vzájomný vzťah medzi software a typom simulácie



Na prvý pohľad je zrejmé, že pri simuláciách typu Monte Carlo bol použitý len jeden software, a to Crystal Ball od spoločnosti Oracle. Programy Simul8 a Simprocess sa využívali len pri diskrétnych simuláciách, na rozdiel od Matlabu, ktorý bol v článkoch spomínaný výhradne v súvislosti so simuláciami spojitými. Jediný program Witness od spoločnosti Lanner sa mi podarilo nájsť v súvislosti s diskrétnymi aj spojitými simuláciami. Čo sa týka ostatných programov, ktoré nie sú primárne spomínané v mojej práci, prevláda využitie v dynamickej spojitej simulácii.

Ako som už spomínal, oblastí využitia simulácií procesov je mnoho. Taktiež aj programov, ktoré pomáhajú simulovať rôzne procesy je viacero. Preto môže byť zaujímavý práve vzťah medzi týmito dvoma skúmanými znakmi, ktorý je zachytený v ďalšej tabuľke a grafe.

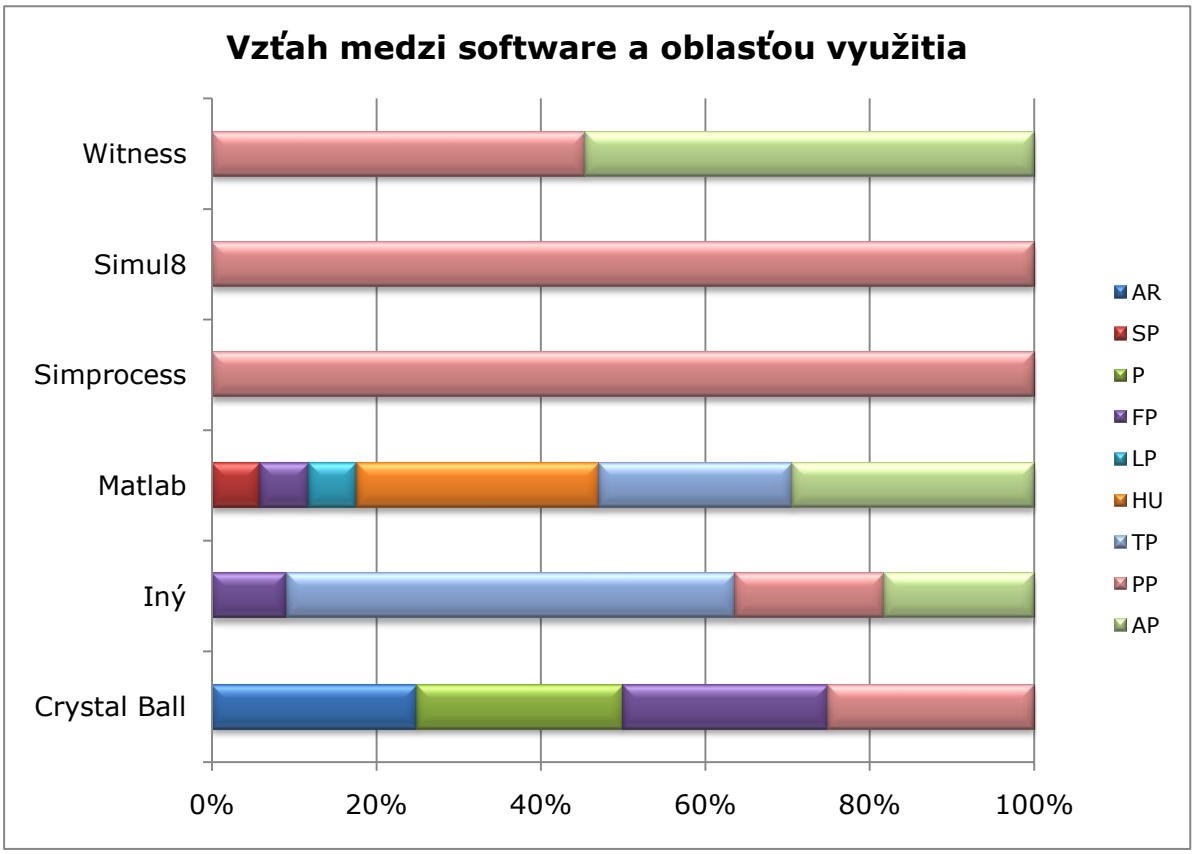
Tabuľka č.7: Vzájomný vzťah medzi software a oblasťou využitia

	Oblasť využitia *									
Software	**AR**	**SP**	**P**	**FP**	**LP**	**HU**	**TP**	**PP**	**AP**	**Celkový súčet**
Crystal Ball	1	0	1	1	0	0	0	1	0	4
Iný	0	0	0	1	0	0	6	2	2	11
Matlab	0	1	0	1	1	5	4	0	5	17
Simprocess	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5
Simul8	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
Witness	0	0	0	0	0	0	0	5	6	11
Celkový súčet	1	1	1	3	1	5	10	15	13	

* pozn.: AR= analýza rizika, SP= stavebný priemysel, P= predpovede, FP= farmaceutický priemysel, LP=letecký priemysel, HU= hydraulika, TP= technologické procesy, PP= podnikové procesy, AP= automobilový priemysel

Z tabuľky vyplýva, že využitie daného softwaru je veľmi rôznorodé, s výnimkou Simul8 a Simprocess, kde som vypozoroval ich využitie výhradne v rámci podnikových procesov, čo však pri takom malom množstve pozorovaní nemusí byť smerodajné. Najpestrejšiu paletu využitia predstavuje Matlab a jeho simulink, ktorý však nachádza uplatnenie hlavne v technických smeroch ako automobilový priemysel, hydraulika či ďalšie procesy technického zamerania. Zaujímavý je aj výsledok Crystal Ballu. Ako jediný som ho vypozoroval v spojitosti s analýzou rizika a predpoveďami, čo však súvisí s jeho simuláciami pomocou metódy Monte Carlo.

Graf č.7: Vzájomný vzťah medzi software a oblasťou využitia



Ďalší vzťah, ktorým by som sa chcel zaoberať je využitie jednotlivých programov v teoretickej rovine a v praxi.

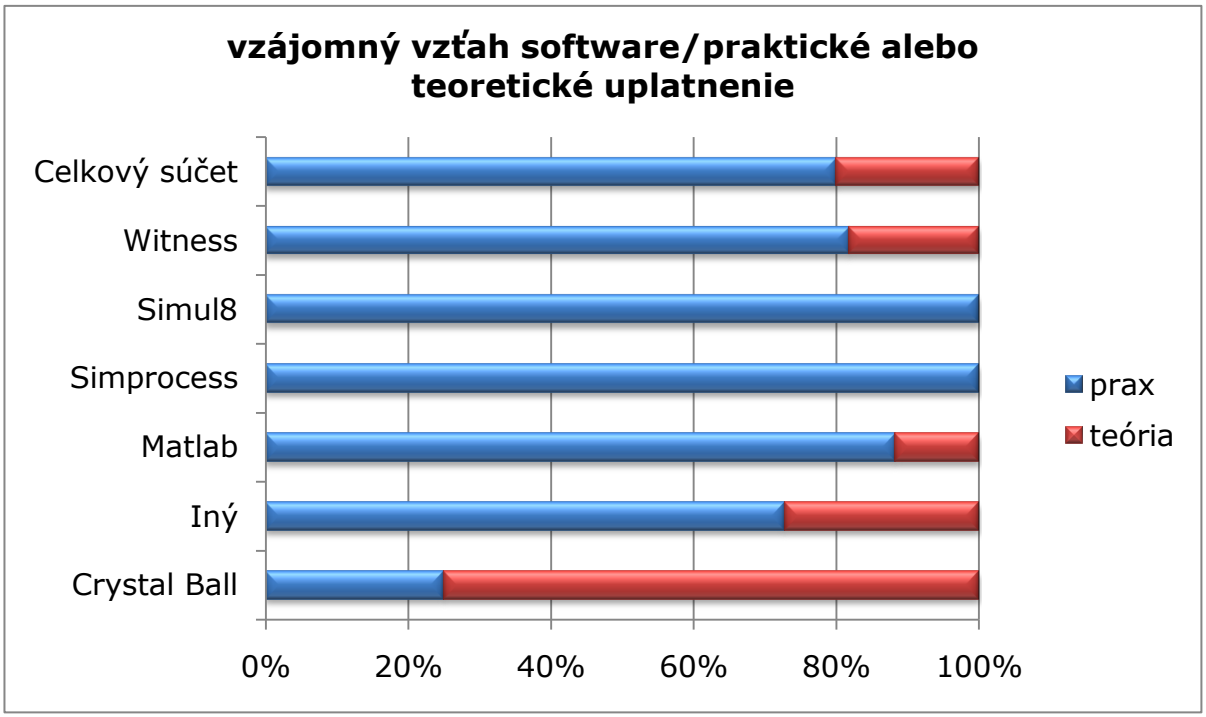
Tabuľka č.8: Vzájomný vzťah medzi software a praktickým/ teoretickým uplatnením

	prax/teória		
Software	**prax**	**teória**	**Celkový súčet**
Crystal Ball	1	3	4
Iný	8	3	11
Matlab	15	2	17
Simprocess	5	0	5
Simul8	2	0	2
Witness	9	2	11
Celkový súčet	**40**	**10**	**50**

Uplatnenie simulácií procesov sa rôzni podľa použitého programu. Niektoré sú skôr zamerané na riešenie v teoretickej rovine, iné zase riešia konkrétne problémy. V tabuľke číslo 8 je vidieť, že všetky zo sledovaných programov, okrem jedného, riešia viac praktické ako teoretické otázky. Jedine software Crystal Ball bol použitý

viac krát pri simulácii procesov zaoberajúcich sa teoretickými problémami.

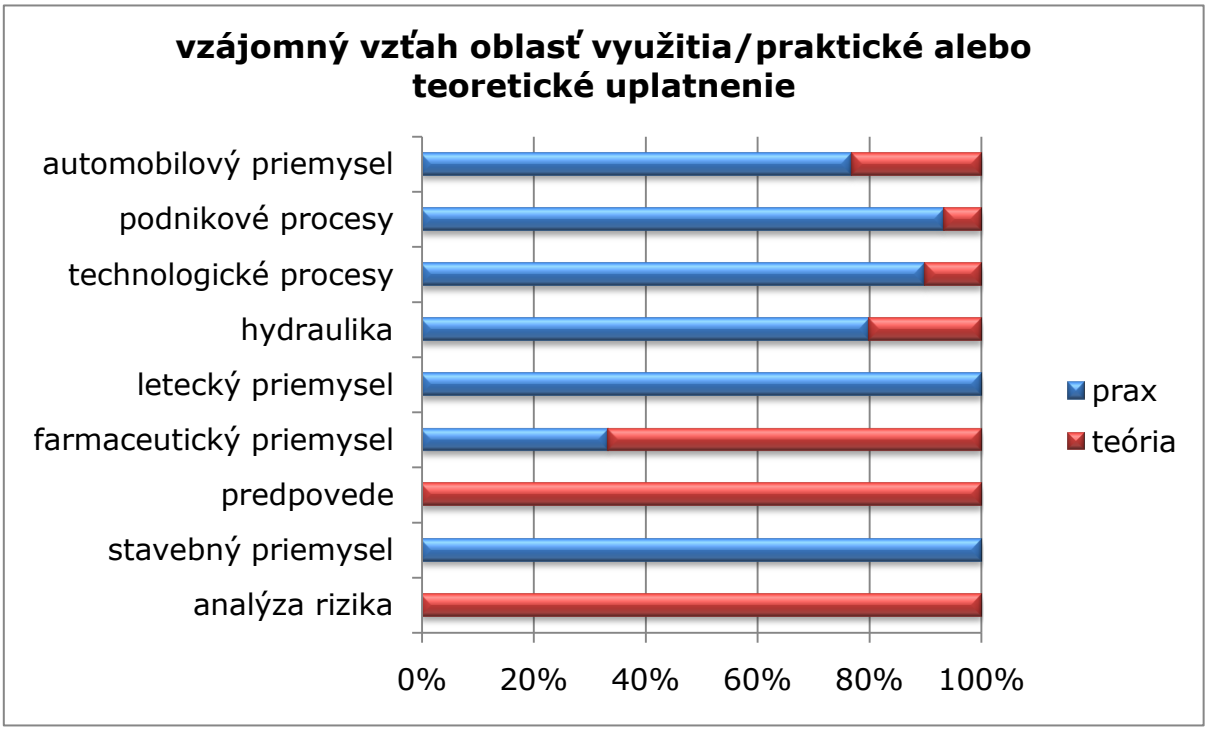
Graf č.8: Vzájomný vzťah medzi software a praktickým/ teoretickým uplatnením



Tabuľka č.9: Vzájomný vzťah medzi praktickým/ teoretickým uplatnením a oblasťou využitia

	prax/teória		
Oblasť využitia	**prax**	**teória**	**Celkový súčet**
analýza rizika	0	1	1
stavebný priemysel	1	0	1
predpovede	0	1	1
farmaceutický priemysel	1	2	3
letecký priemysel	1	0	1
hydraulika	4	1	5
technologické procesy	9	1	10
podnikové procesy	14	1	15
automobilový priemysel	10	3	13
Celkový súčet	**24**	**26**	**50**

Graf č.9: Vzájomný vzťah medzi praktickým/ teoretickým uplatnením a oblasťou využitia



V tabuľke a k nej prislúchajúcom grafe sú zobrazené údaje porovnávajúce vzťah medzi oblasťou v ktorej bola simulácia procesov použitá a tým či išlo o teoretické, alebo praktické uplatnenie.

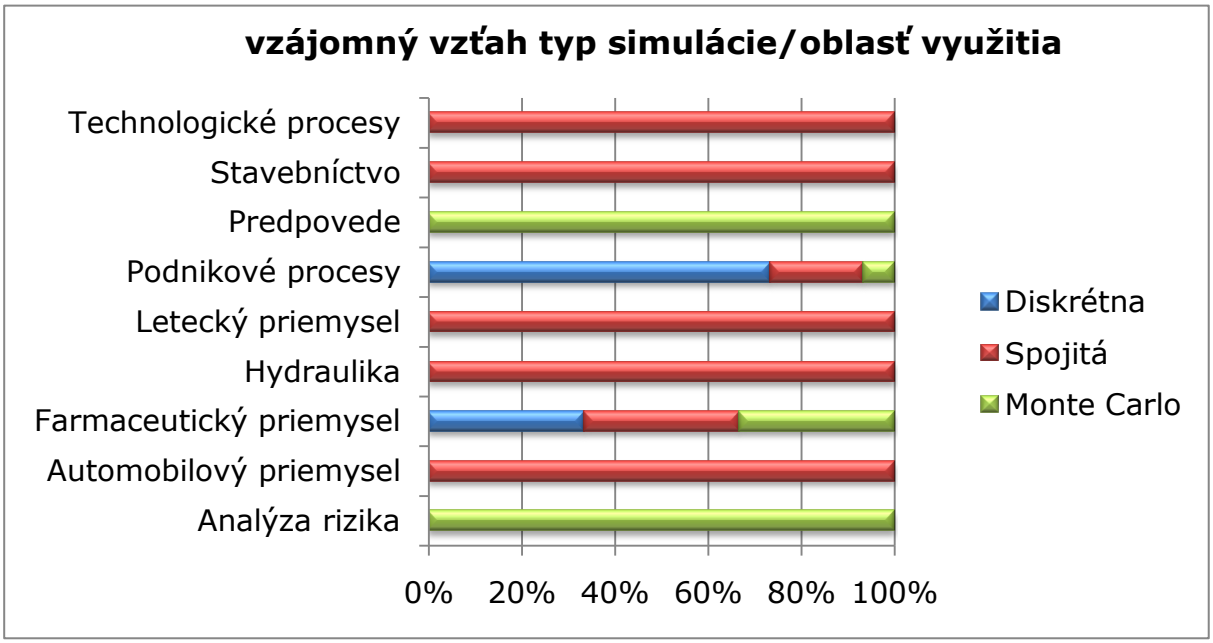
Simulácie procesov v spomínaných článkoch pri analýze rizika a pri predpovediach boli využité len teoreticky, vo vsetkých ostatných oblastiach, okrem farmaceutického priemyslu, prevláda praktické využitie daného programu. Zvlášť výrazný je tento jav hlavne u podnikových a technických procesov, kde miera uplatnenie v praxi je nad 90 %.

Posledný vzťah, ktorému sa budem venovať je medzi typom simulácie a oblasťou využitia. Ako je vidieť na grafe nižšie, pri oblastiach zameraných na technický smer prevládajú spojité simulácie a to hlavne preto, že výskumníci, ktorí sa danými technickými problémami zaoberajú potrebujú informácie o fyzikálnych veličinách v reálnom čase, v celom priebehu simulácie. Na rozdiel od nich, pri podnikových procesoch prevláda diskrétny typ simulácie. Zaujímavý sa mi javí farmaceutický priemysel, kde som zaregistroval využitie každého typu simulácie v zhodnom pomere.

Tabuľka č.10: Vzájomný vzťah medzi typom simulácie a oblasťou využitia

	Typ simulácie			
Oblasť využitia	**Diskrétna**	**Spojitá**	**Monte Carlo**	**Celkom**
Analýza rizika	0	0	1	1
Automobilový priemysel	0	13	0	13
Farmaceutický priemysel	1	1	1	3
Hydraulika	0	5	0	5
Letecký priemysel	0	1	0	1
Podnikové procesy	11	3	1	15
Predpovede	0	0	1	1
Stavebníctvo	0	1	0	1
Technologické procesy	0	10	0	10
Celkom	**12**	**34**	**4**	**50**

Graf č.10: Vzájomný vzťah medzi typom simulácie a oblasťou využitia



6. Záver

Na záver tejto práce by som rád uviedol stručné zhrnutie získaných poznatkov. Považujem totiž za vhodné vystihnúť v prehľadnej forme hlavné rozdiely medzi študovanými programami a poskytnúť tak ucelenejší pohľad na danú problematiku. Takého pohľadu nebolo možné dosiahnuť pomocou predchádzajúcich kapitol, ktoré boli skôr zamerané na popis jednotlivých programov bez možnosti ich súborného porovnania.

Študované programy je možné podľa ich funkcionality rozdeliť do troch skupín. Prvú skupinu tvorí program MATLAB, ktorý má medzi danými programami trochu iné postavenie. Predovšetkým sa totiž jedná o programovací jazyk vhodný pre akékoľvek vedecko-technické výpočty. To so sebou samozrejme nesie veľa výhod a predovšetkým široké spektrum využitia, ale na druhej strane užívateľ mu musí venovať trochu času, aby sa s programom naučil efektívne pracovať. Je totiž vhodné správne využívať pokročilé funkcie MATLABu ako programovacieho jazyka a vyhnúť sa tak používaniu cyklov, ktoré značne predlžujú dobu výpočtov. Trochu práce dá zapamätať si syntax príkazov, pretože tá sa u každého programovacieho jazyka určitým spôsobom líši a môže tak spôsobovať problémy, pokiaľ užívateľ súčasne programuje vo viacerých jazykoch.

Simulácia dynamických systémov pomocou nadstavby Simulink a jeho vstavaných blokov sa hodí skôr na rôzne fyzikálne modely, aj keď užívateľ môže naprogramovať akékoľvek iné bloky vychádzajúce z jeho vlastných potrieb. Napriek tomu MATLAB nie je asi najvhodnejšou voľbou pre užívateľov, ktorí chcú iba ľahko a rýchlo modelovať podnikové procesy. Dôvodom môže byť tiež to, že dynamické systémy tu nie sú simulované graficky, čo je zvlášť v prípade podnikových procesov veľmi žiadaným a užitočným pomocníkom pri ich analýze.

Mimo iné je samozrejme možné využiť jazyka MATLAB na implementáciu Monte Carlo algoritmov a akýchkoľvek ďalších metód výpočtov, možnosti sú naozaj skoro neobmedzené. Preto sa MATLAB hodí pre užívateľov, ktorí potrebujú všestranný program schopný spracovať aj iné typy výpočtov, než len simulácie. Pokiaľ sa totiž užívateľ s MATLABom naučí pracovať, môže ho využiť k akýmkoľvek výpočtom a simuláciám, môže definovať vlastné bloky a vlastné funkcie. Skrátka MATLAB je univerzálny nástroj a dá sa prispôsobiť k akémukoľvek účelu využitia.

V ďalšej skupine sú zaradené programy WITNESS, SIMUL8 a SIMPROCESS, ktoré si sú ako použiteľnosťou, tak aj spôsobom práce veľmi podobné. Zameriavajú sa na vizuálne simulácie rôznych podnikových procesov, pričom model sa zostavuje umiestňovaním funkčných objektov do simulačného okna. Predovšetkým možnosť vizuálne sledovať priebeh simulácií je hlavnou výhodou týchto programov, ktorá napomáha k ešte lepšiemu pochopeniu zákonitostí sledovaného procesu a umožňuje ľahko nájsť úzke miesta a tie potom odstrániť.

Vlastný princíp práce sa u jednotlivých programov z tejto skupiny líši len nepatrne a taká sada základných funkčných objektov je veľmi podobná. Najjednoduchším z týchto programov je SIMUL8, ktorý obsahuje najmenší počet funkčných prvkov, prepracovanejšie modely sa dajú vytvárať s programom SIMPROCESS a najkomplexnejším programom je WITNESS. Avšak toto zoradenie nutne netvrdí, že WITNESS je najlepším programom. Záleží totiž na konkrétnom použití, pretože pre niektoré jednoduché simulácie môže byť zase príliš ťažkopádny.

Programy z tejto skupiny by som odporučil tým, ktorí chcú ľahkou formou modelovať dynamické podnikové procesy. Nie je treba sa učiť žiadnu syntax programovacieho jazyka ale iba pomocou myši vytvárať v simulačnom okne daný systém. Po zoznámení sa s významom jednotlivých blokov je možná okamžitá práca a maximálna efektivita vo využití programov. Výber konkrétneho programu už záleží na vlastnom zámere, finančných možnostiach a predovšetkým na zložitosti simulovaných systémov.

Do poslednej skupiny patrí program Crystal Ball, ktorý má tiež mierne odlišné postavenie ako ostatné programy. Hlavný rozdiel spočíva v tom, že je predovšetkým určený na simulácie pomocou metódy Monte Carlo, nie teda obecne na simulácie dynamických systémov. Ďalším významným rozdielom je, že je integrovaný do pracovného prostredia Microsoft Excel, čo je v obchodnej oblasti veľmi často využívaný nástroj a jeho používanie tak nie je náročné. Samotná práca s Crystal Ballom spočíva v definovaní špeciálnych typov buniek, pričom k výpočtom sa používajú krížové odkazy na iné bunky, jak je zvykom pri práci s Microsoft Excel. Z tohto dôvodu sa Crystal Ball obzvlášť hodí pre tých, ktorí vytvárajú rôzne finančné analýzy a plánovania, ktoré sú vďaka zapojeniu metód Monte Carlo ďaleko presvedčivejšie a lepšie odpovedajú realite. Simulácie v tomto programe neprebiehajú graficky, čo ani u Monte Carlo simulácií nie je nutné, ale dôležitou

zložkou sú grafické výstupy, ktoré prehľadnou formou vyzdvihnú hodnoty sledovaných javov.

V praktickej časti, z celého súboru textov mali najvyššie zastúpenie zo skúmaných programov Matlab a Witness, a to viac ako 56 percent. Iný ako analyzovaný software mal relatívne vysoké zastúpenie a to zhruba 22 percent rovnako ako program Witness. Programy Crystal Ball a Simprocess mali približne rovnaké zastúpenie a to okolo 10 % a najhoršie dopadol simul8, na ktorý som v daných článkoch natrafil iba dva krát, čo zodpovedá 4 % celého súboru. Časté využívanie Matlabu sa dá vysvetliť jeho už spomínaným naozaj širokým spektrom použitia a možnosťou doplnenia vlastných blokov, na základe ktorých je možné nasimulovať v podstate čokoľvek.

V prípade, že nás zaujíma štruktúra z hľadiska typu simulácie, tak prevládali simulácie dynamické (cca 90 %) a simulácie typu Monte Carlo sa vyskytovali len v programe Crystal Ball a odpovedajú zhruba 8 %. Dynamické simulácie sa ešte rozdeľujú na diskrétne (24 %) a spojité (68 %).

Využitie týchto programov je skutočne rôznorodé. Po rozčlenení článkov do mnou zvolených skupín, som zistil, že väčšina týchto programov sa špecializuje v technických smeroch do ktorých môžeme započítať automobilový priemysel (26 %), technologické procesy(20 %), hydrauliku (10 %) a letecký priemysel (2 %). Na druhú stranu významné zastúpenie majú aj podnikové procesy (30 %). Ostatné skupiny boli nevýrazné, každá mala cca 2 %, okrem farmaceutického priemyslu, ktorý sa vyšplhal na 6 %.

Čo sa uplatnenia týka, tak sú výsledky jednoznačné. Až 80 % mnou prečítaných článkov popisovalo situáciu využitia simulačného software v praxi. Praktické využitie prevládalo u všetkých popisovaných programoch s výnimkou Crystal Ball, kde prevládla teória pred praxou v pomere 3:1.

Pri sledovaní vzťahov medzi jednotlivými znakmi som dospel k niekoľkým zaujímavostiam. Väčšina software sa sústreďuje na jeden typ simulácie, napr. Crystal Ball sa venuje simuláciám Monte Carlo, Simul8 a Simprocess sa vyskytujú v mojich dátach výhradne v spojení s diskrétnymi simuláciami a u Matlabu ide o simulácie spojité. Jedinú výnimku som zaregistroval u programu Witness, kde som natrafil na simulácie jak diskrétneho tak aj spojitého typu.

Čo sa týka rôznorodosti uplatnenia jednotlivých programov tak vedie Matlab,

čo prisudzujem jeho širokému spektru využiteľnosti ako už bolo v mojej práci spomínané. Za zmienku tu stojí určite aj Crystal Ball, pretože jeho založenie na simuláciách typu Monte Carlo ho predurčuje k určitému typu úloh, odlišnému od ostatných programov. To sa prejavuje aj vo vzťahu k uplatneniu v teórii a praxi, kde je zrejmý rozdiel medzi Crystal Ball a ostatnými programami, u ktorých prevláda praktické využitie.

Na záver by som chcel ešte spomenúť jednoznačné využitie spojitých simulácií k riešeniu problémom technického smeru, kde je nutné zisťovať údaje v každom okamžiku simulácie. V prípade automobilového, stavebného, či leteckého priemyslu, technologických procesov a hydrauliky je použitie spojitých simulácií pravidlom.

7. Použitá literatúra

7.1. Knihy a články

BÍLKOVÁ, D., HEBÁK, P., SVOBODOVÁ, A. *Praktikum k výuce matematické statistiky II : Testování hypotéz*. 2. vyd. Praha : Oeconomica, 2004. 280 s. ISBN 80-245-0721-8.

DEVROYE, L. *Non-uniform random number generation*. New York : Springer-Verlag, 1986. 843 s. ISBN 0-387-96305-7.

DLOUHÝ, M., FÁBRY, J., KUNCOVÁ, M. *Simulace pro ekonomy, druhé upravené vydání*. Praha : Oeconomica, 2005. 134 s. ISBN 80-245-0973-3.

KŘEMEN, J. *Spojitý dynamický systém a jeho simulace na počítači*, Praha,SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1981. 155 s. ISBN 04-014-81.

MANLIG, F. Počítačová simulace diskrétních událostí. *MM průmyslové spektrum* [online]. 1999, č. 10 [cit. 2009-09-12], s. 34-35. Dostupný z WWW: <http://www.humusoft.com/old/pub/witness/9910/manlig.htm>.

MANLIG, F. *Sborník příspěvků mezinárodní konference*. Brno : HUMUSOFT s.r.o. & VUT Brno, 2006. ISBN 80-214-3198-9. Postavení simulace a simulačního systému WITNESS ve výukovém virtuálním podniku, s. 11-15.

SEGER, J, HINDLS, R, HRONOVÁ, S. *Statistika v hospodářství*. Praha : ETC Publishing, 1998. 636 s. ISBN 80-86006-56-5.

SHRECKENGOST, R. C. *Self-Report Methods of Estimating Drug Use : Meeting Current Challenges to Validity*. Washington, D.C. : U.S. Government Printing Office, 1985. Dynamic simulation models: How valid are they?, s. 63-70.

7.2. Užívateľské manuály

MATLAB 7: Getting Started Guide. 2009 , vol. 1996

Simulink 7 : Getting Started Guide. 2009 , vol. 2005.

Witness : Getting Started Materials. 2009

Learning Simul8 : The Complete Guide. 2009

Simprocess : Getting Started . 2007 , no. 4

Crystal Ball : User´s Guide. 2009, vol. 1988.

7.3. Internetové zdroje

Dynamicfuture [online]. 2001 [cit. 2009-09-19]. Dostupný z WWW: <http://www.dynamicfuture.cz/uvod/>.

Humusoft : Technical computing, control systems, simulations [online]. 1991-2009

[cit. 2009-08-16]. Dostupný z WWW: <http://www.humusoft.com/index.php>.

Lanner : Process Simulation Software [online]. 2008-2009 [cit. 2009-09-25]. Dostupný z WWW: <http://www.lanner.com/index.cfm>.

Logio : poradenství v logistice [online]. 2009 [cit. 2009-07-12]. Dostupný z WWW: <http://logio.cz/>.

Oracle [online]. 2009 [cit. 2009-10-08]. Dostupný z WWW: <http://www.oracle.com/us/>.

Simprocess : Business Process Management Software [online]. 1995-2008 [cit. 2009-09-26]. Dostupný z WWW: <http://www.simprocess.com/>.

Simulace [online]. [2009] [cit. 2009-07-28]. Dostupný z WWW: <www.simulace.com>.

Simul8 : Simulation Software [online]. 2009 [cit. 2009-09-16]. Dostupný z WWW: <http://www.simul8.com/>.

The Mathworks : MATLAB and Simullink for technical computing [online]. 1994-2009 [cit. 2009-09-19]. Dostupný z WWW: <http://www.mathworks.com/>.

Wikipedie, otevřená encyklopedie [online]. 2001 [cit. 2009-10-12]. Dostupný z WWW: <www.cs.wikipedia.org>.

7.4. Použité články v praktickej časti

1. http://www.designtech.cz/c/cae/vyuziti-simulace-procesu-v-automobilovem-prumyslu.htm
2. http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34182
3. http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31412
4. http://www.mmspektrum.com/clanek/simulace-procesu-tepelneho-zpracovani-kovu
5. http://www.mmspektrum.com/clanek/simulace-hlubokeho-tazeni-plechu
6. http://www.mmspektrum.com/clanek/numericke-simulace-svarovani-a-tepelneho-zpracovani
7. http://www.mmspektrum.com/clanek/simulace-tazeni-plechu-pri-navrhu-lisovacich-nastroju
8. http://www.mmspektrum.com/novinka/simulace-hydraulickych-systemu
9. http://www.mmspektrum.com/clanek/fyzikalni-modelovani-mechanickeho-treni-v-simulinku
10. http://www2.humusoft.cz/www/papers/witkonf09/knazik.pdfhttp://www.humusoft.cz/archiv/clanky/matlab/2009-atp-2/
11. http://www.humusoft.cz/old/pub/matlab/2007/elektro_hydro/elektro_hydro.htm
12. http://www.humusoft.cz/old/pub/matlab/10_03/kursk.htm

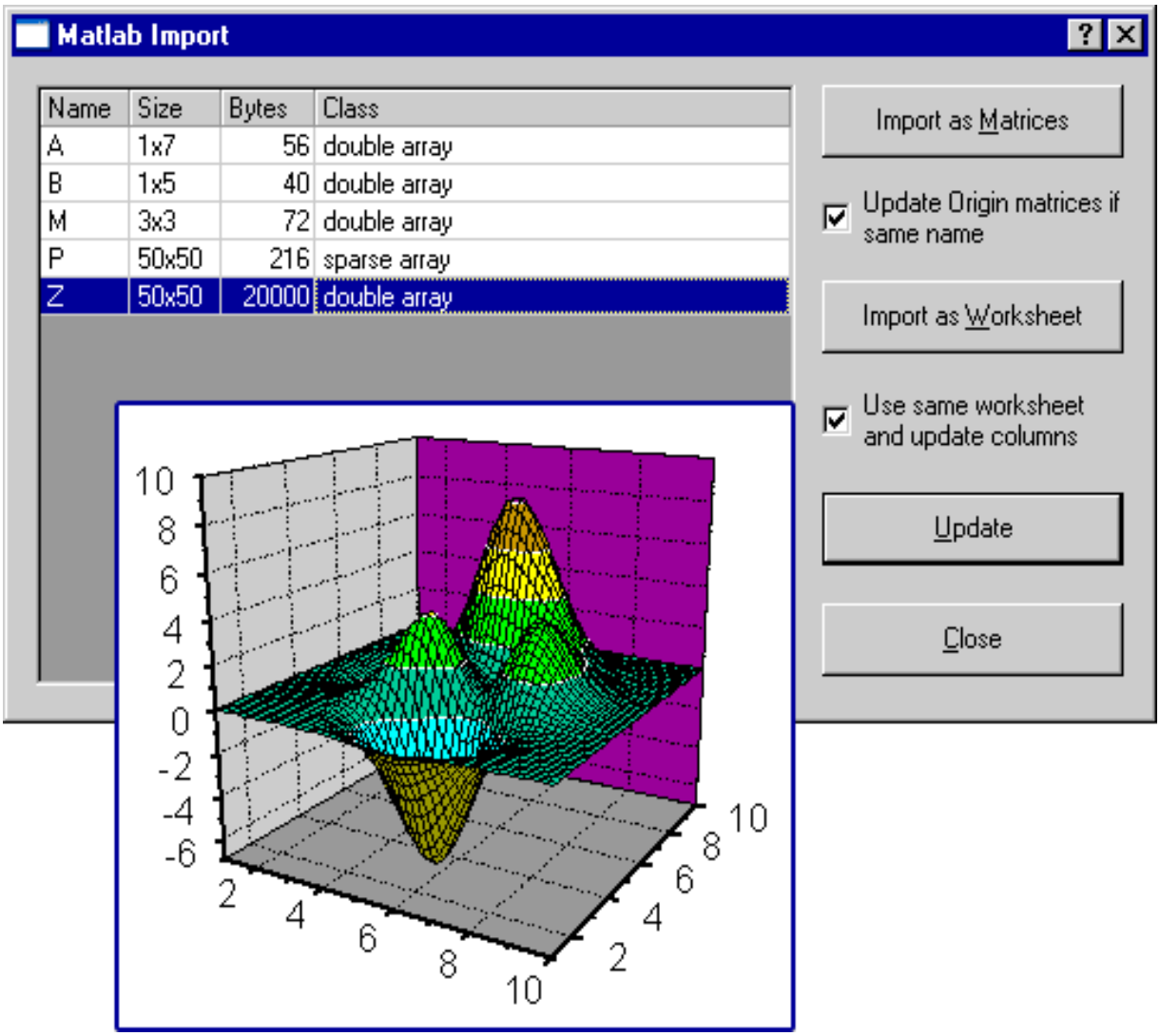
13. http://www.humusoft.cz/old/pub/matlab/2008/fyz_mod/index.htm
14. http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/matlab03/krecl.pdf
15. http://www.atpjournal.sk/casopisy/atp_03/pdf/atp-2003-06-38.pdf
16. http://www.odbornecasopisy.cz/download/au070453.pdf
17. http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30630
18. http://www.humusoft.cz/old/pub/matlab/03_03/mat_skl.htm
19. http://www.konstrukce.cz/clanek/moznosti-vyuziti-pocitacove-simulace-svarovani-v-prumyslove-praxi/
20. http://www.automatizace.cz/article.php?a=531
21. http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28949
22. http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39171
23. http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36535
24. http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37011
25. http://www.lanner.com/en/case-study.cfm?theCaseStudyID=C98A2118-15C5-F4C0-999FC090B7546DC6
26. http://www.mcsolutions.co.uk/article/10433/3-goes-for-call-centre-simulation-with-Simul8-.aspx
27. http://www.manufacturingtalk.com/news/lan/lan111.html
28. http://www.manufacturingtalk.com/news/lan/lan101.html
29. http://www.manufacturingtalk.com/news/lan/lan103.html
30. http://www.manufacturingtalk.com/news/lan/lan112.html
31. http://www.manufacturingtalk.com/news/lan/lan113.html
32. http://www.manufacturingtalk.com/news/mth/mth101.html
33. http://www.manufacturingtalk.com/news/mth/mth129.html
34. http://www.humusoft.cz/archiv/clanky/matlab/2009-automotive-eng-1/
35. http://www.automatizace.cz/article.php?a=533
36. http://www.fs.vsb.cz/akce/2000/asr2000/Sbornik/papers/wagnerova.pdf
37. http://www.logio.cz/ammann-as
38. http://www.simprocess.com/solutions/hallmark_manufacturer.html
39. http://www.simprocess.com/solutions/er_model.html
40. http://www.simprocess.com/solutions/patient_rehab.html
41. http://www.simprocess.com/solutions/call_center.html
42. http://www.simprocess.com/solutions/help_desk.html
43. http://pcworld.cz/ostatni/pentagon-pracuje-na-softwaru-pro-kristalovou-kouli-5212
44. http://www.vse.cz/aop/pdf/47.pdf
45. http://www.hearne.com.au/attachments/The%20Use%20of%20Monte%20Carlo%20Simulation%20in%20Production%20Modeling.pdf

46. http://www.informs-sim.org/wsc02papers/138.pdf
47. http://www.scs.org/getDoc.cfm?id=2168
48. http://jcp.sagepub.com/cgi/content/full/43/10/1116
49. https://www.civ.cvut.cz/others/ansys_meeting/data/12._AUM_Sbornik/Sekce_A_Mechanical/Skacel+Kuchar+Hlavacek-Analyzy_klikovych_hrideli.pdf
50. http://www.kmp.tul.cz/ukaz.php?soub=publikace/blekta_mevald_IM2006.pdf

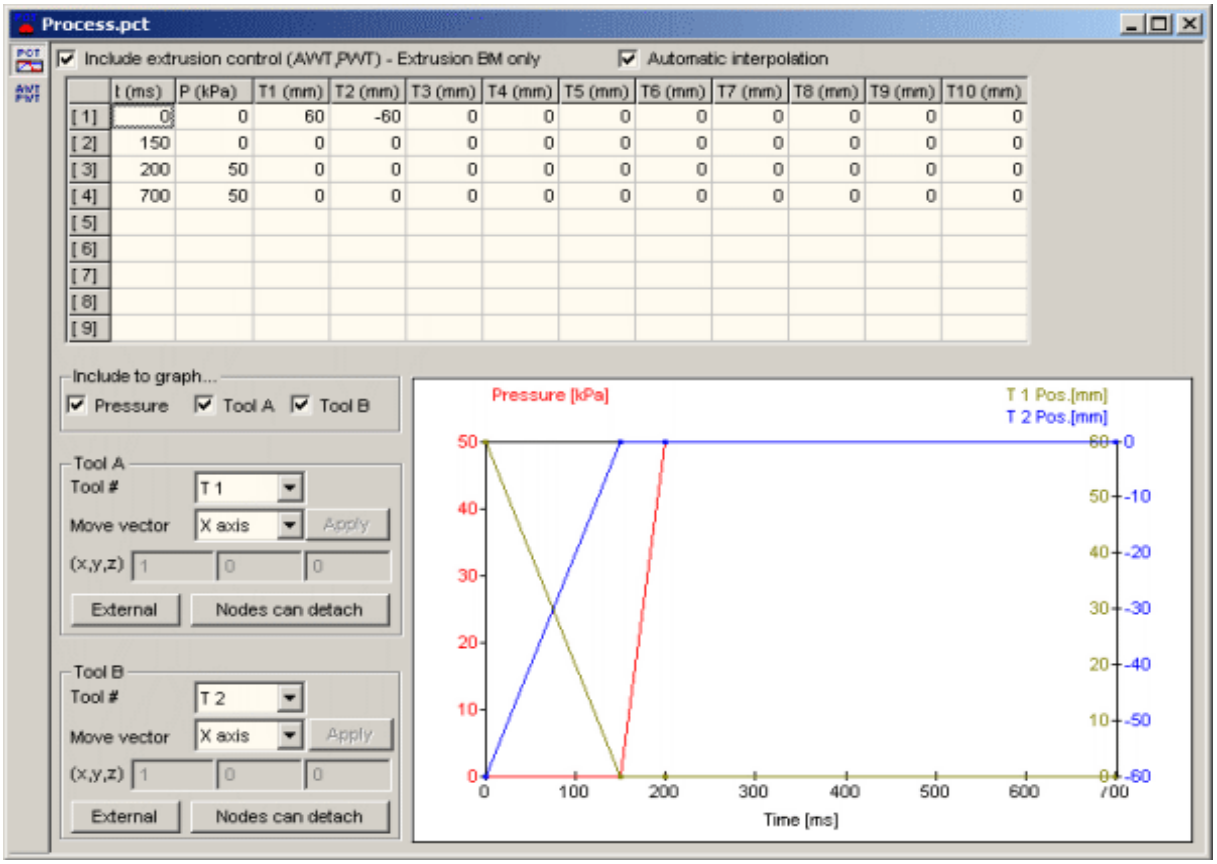
8. Príloha

8.1. Obrazové prílohy jednotlivých programov

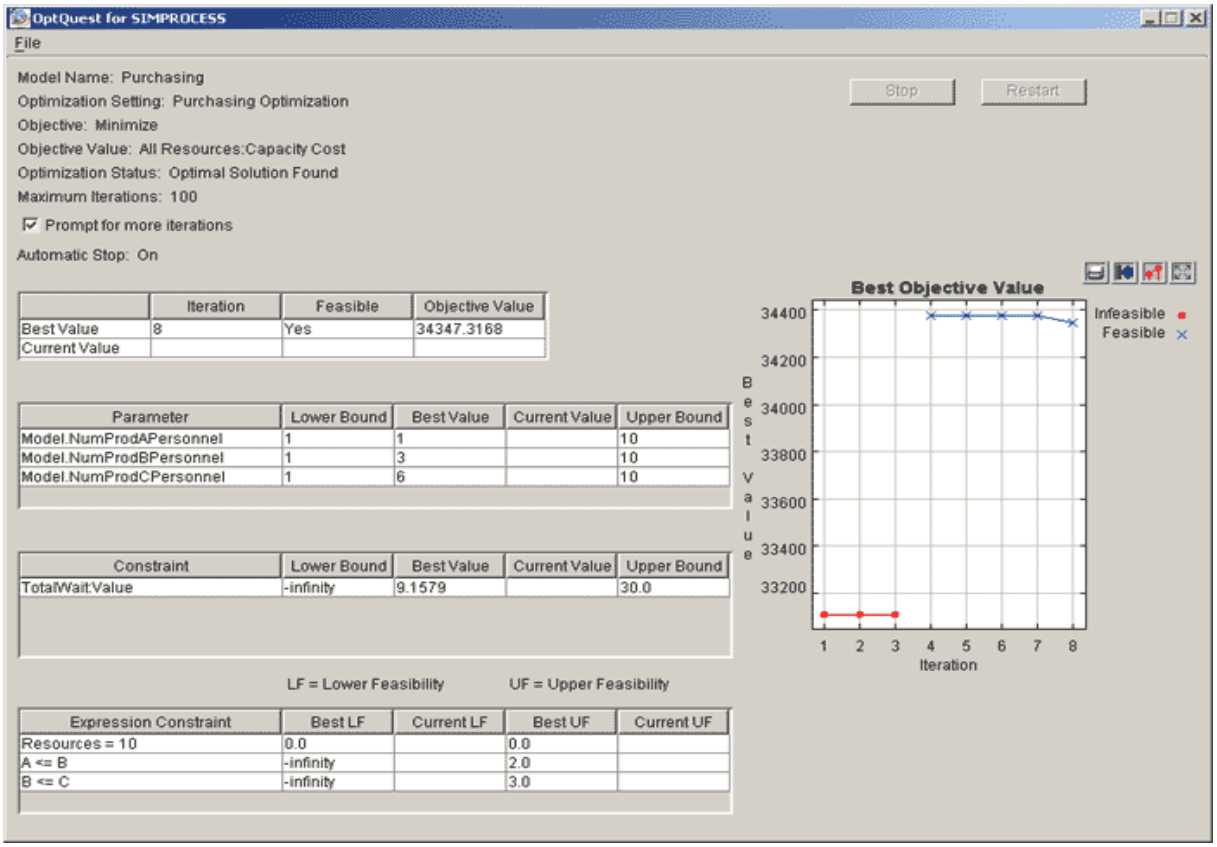
8.1.1. Matlab



8.1.2. Simprocess



	t (ms)	P (kPa)	T1 (mm)	T2 (mm)	T3 (mm)	T4 (mm)	T5 (mm)	T6 (mm)	T7 (mm)	T8 (mm)	T9 (mm)	T10 (mm)
[1]	0	0	60	-60	0	0	0	0	0	0	0	0
[2]	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[3]	200	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[4]	700	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[5]												
[6]												
[7]												
[8]												
[9]												



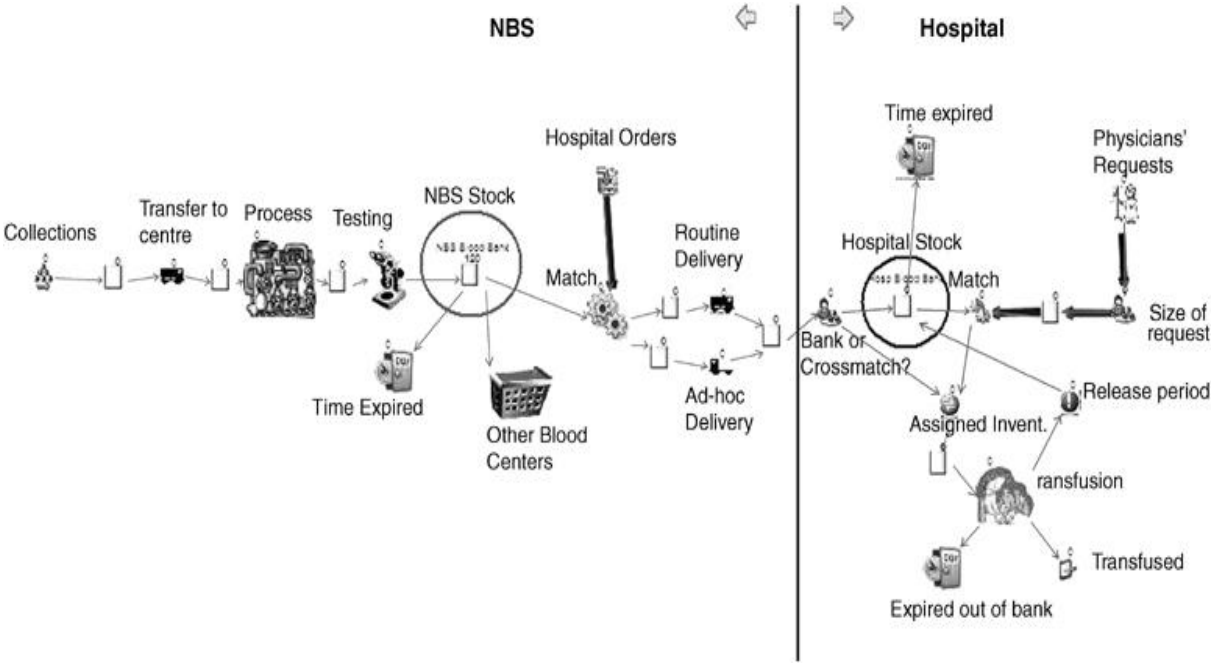
	Iteration	Feasible	Objective Value
Best Value	8	Yes	34347.3168
Current Value			

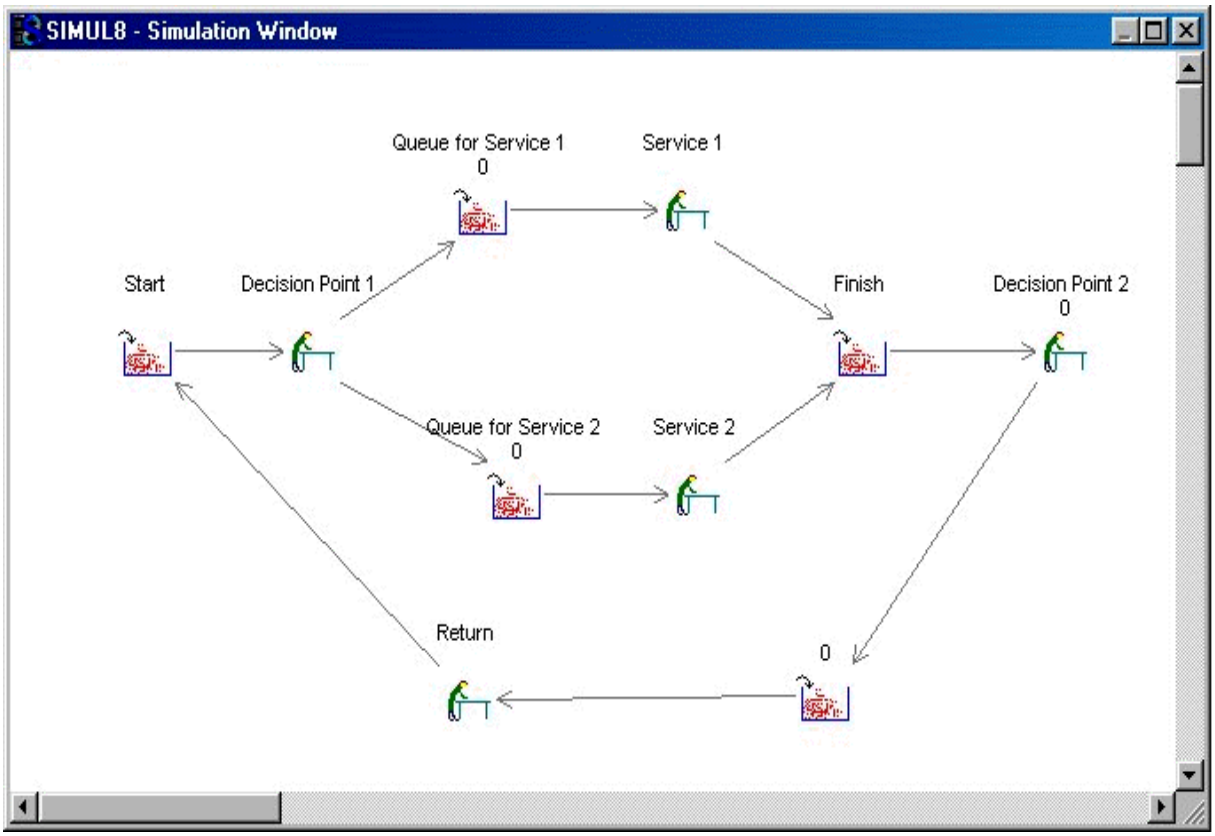
Parameter	Lower Bound	Best Value	Current Value	Upper Bound
Model.NumProdAPersonnel	1	1		10
Model.NumProdBPersonnel	1	3		10
Model.NumProdCPersonnel	1	6		10

Constraint	Lower Bound	Best Value	Current Value	Upper Bound
TotalWait:Value	-infinity	9.1579		30.0

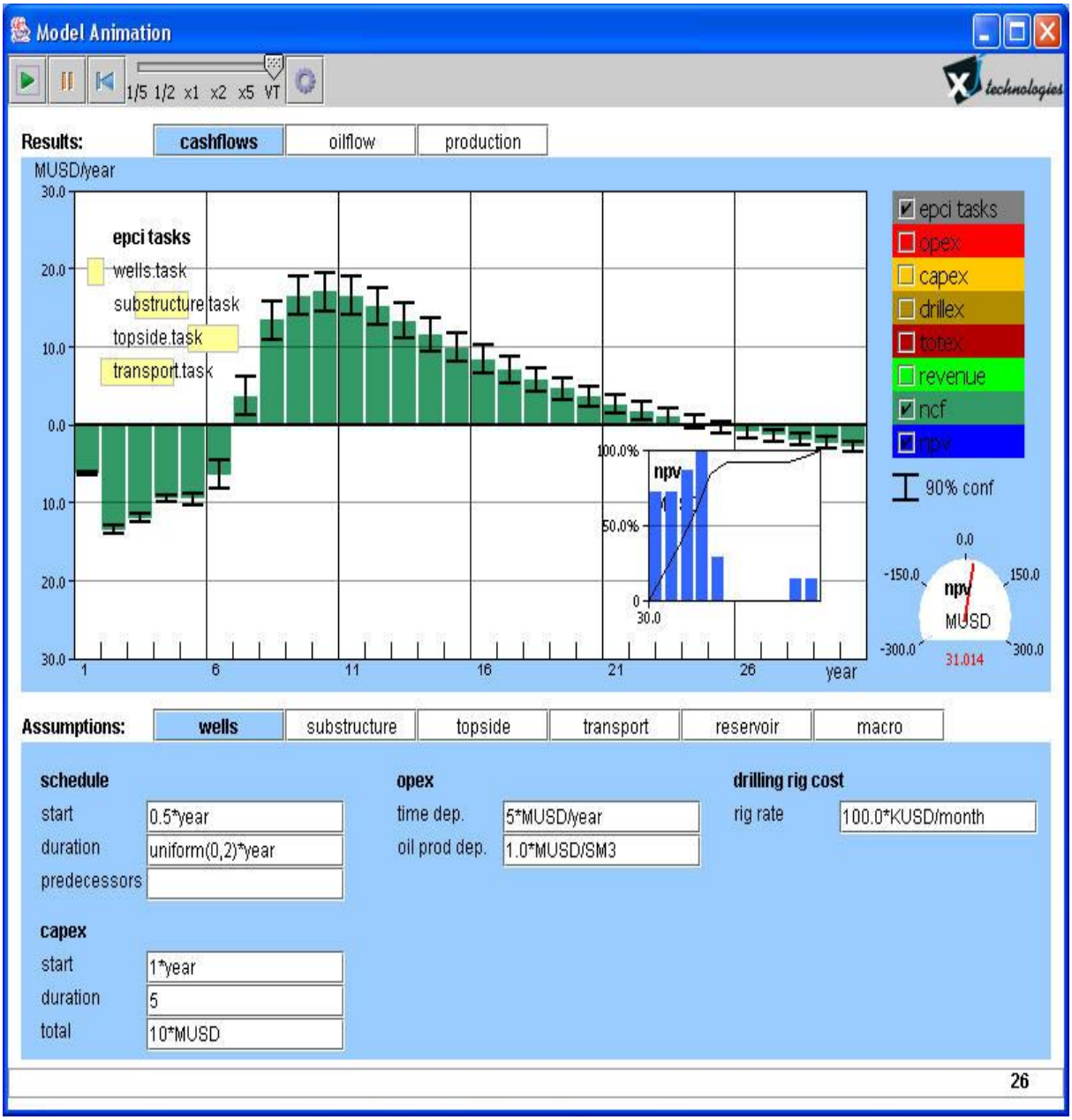
Expression Constraint	Best LF	Current LF	Best UF	Current UF
Resources = 10	0.0		0.0	
A <= B	-infinity		2.0	
B <= C	-infinity		3.0	

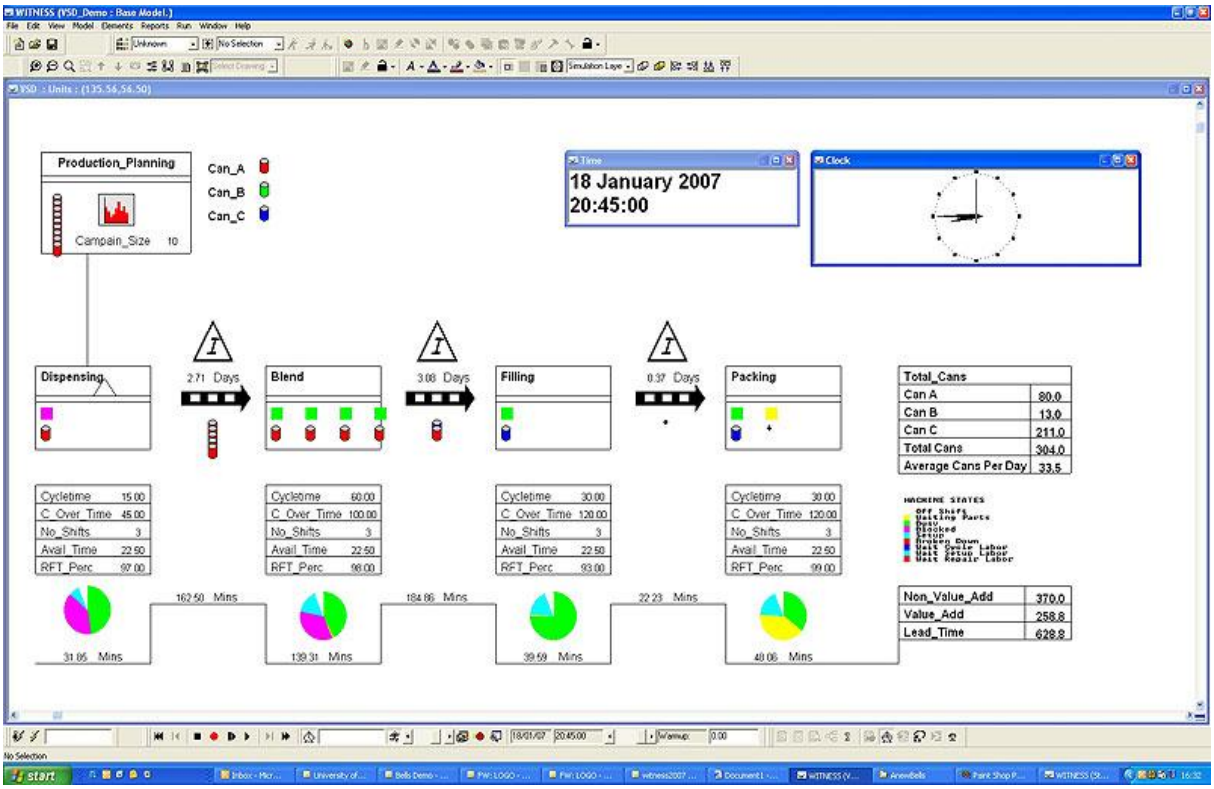
8.1.3. Simul8

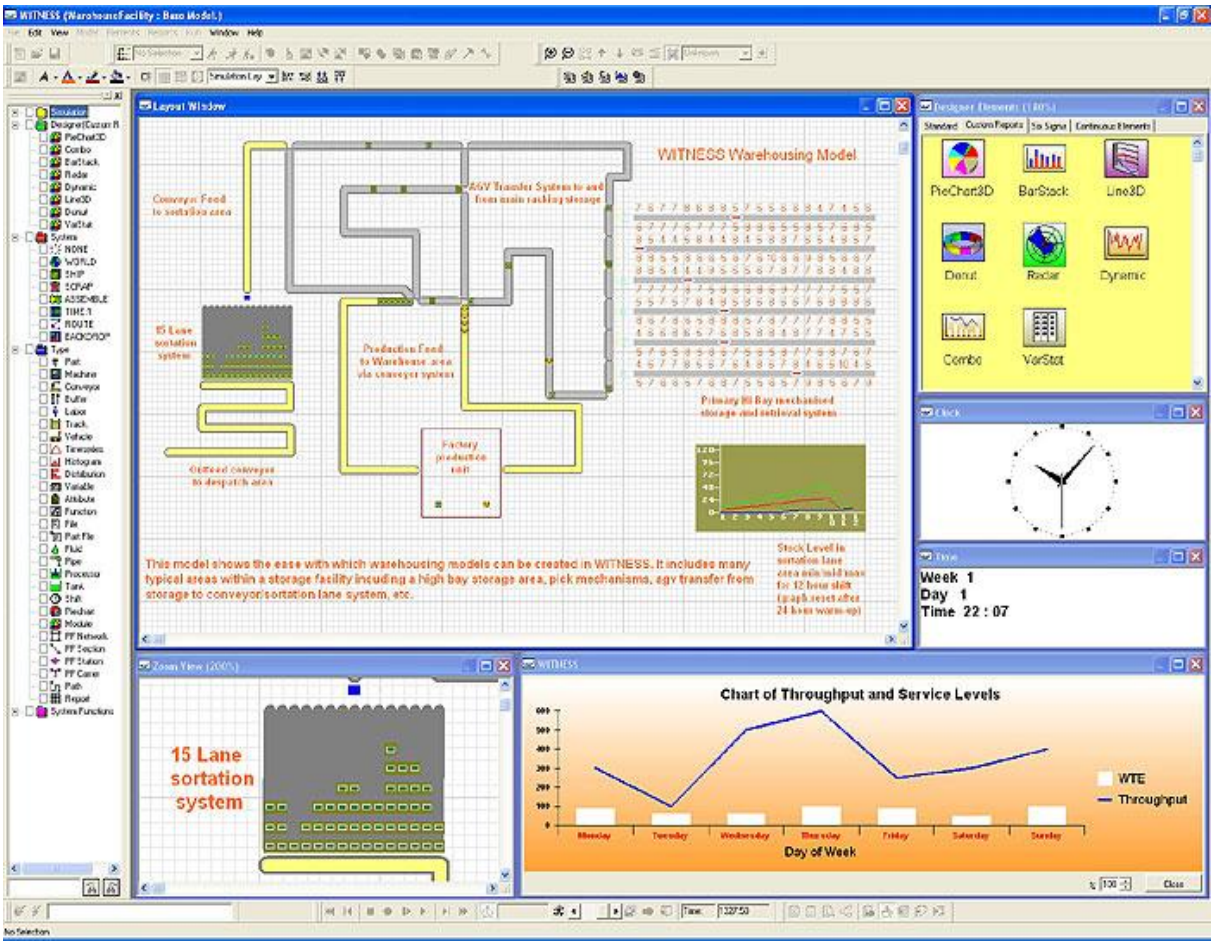

NBS
Hospital
Collections
Transfer to centre
Process
Testing
NBS Stock
Hospital Orders
Match
Routine Delivery
Time Expired
Other Blood Centers
Ad-hoc Delivery
Time expired
Physicians' Requests
Hospital Stock
Match
Size of request
Bank or Crossmatch?
Release period
Assigned Invent.
ransfusion
Transfused
Expired out of bank


SIMUL8 - Simulation Window
Queue for Service 1
0
Service 1
Start
Decision Point 1
Finish
Decision Point 2
0
Queue for Service 2
0
Service 2
Return
0

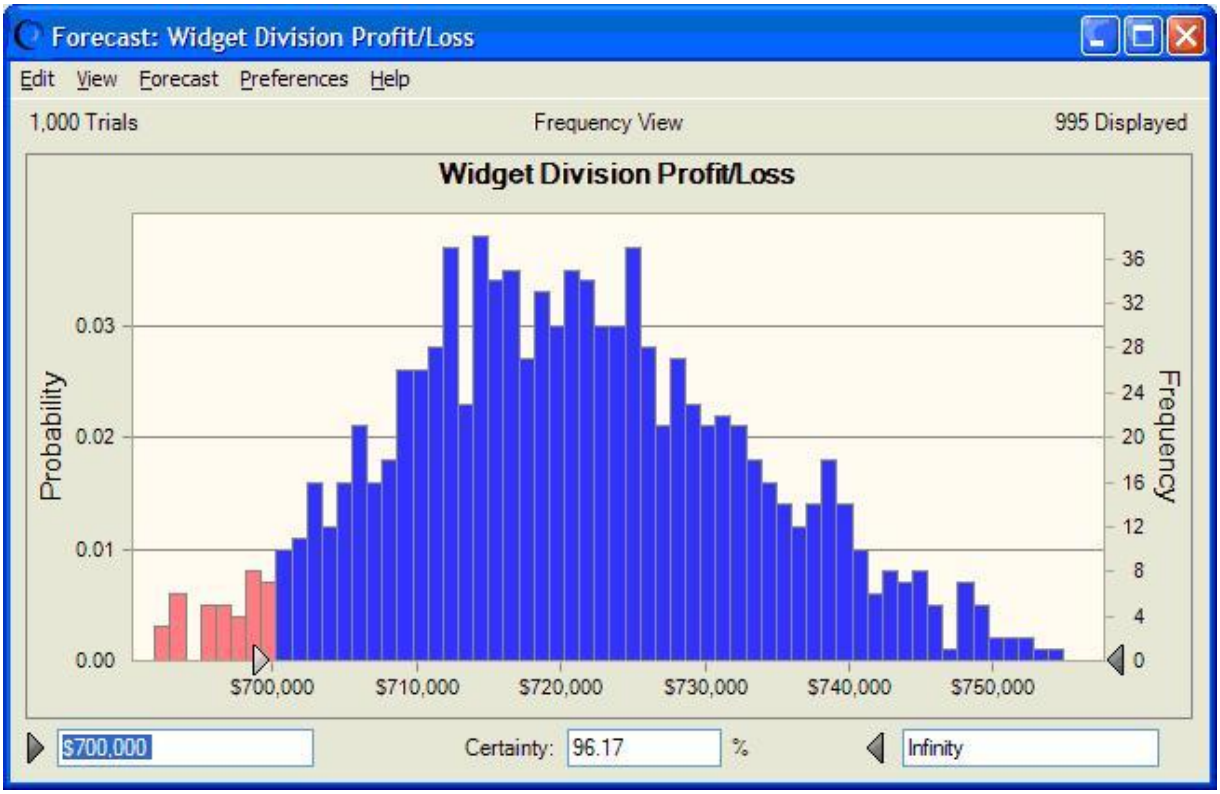
8.1.4. Witness

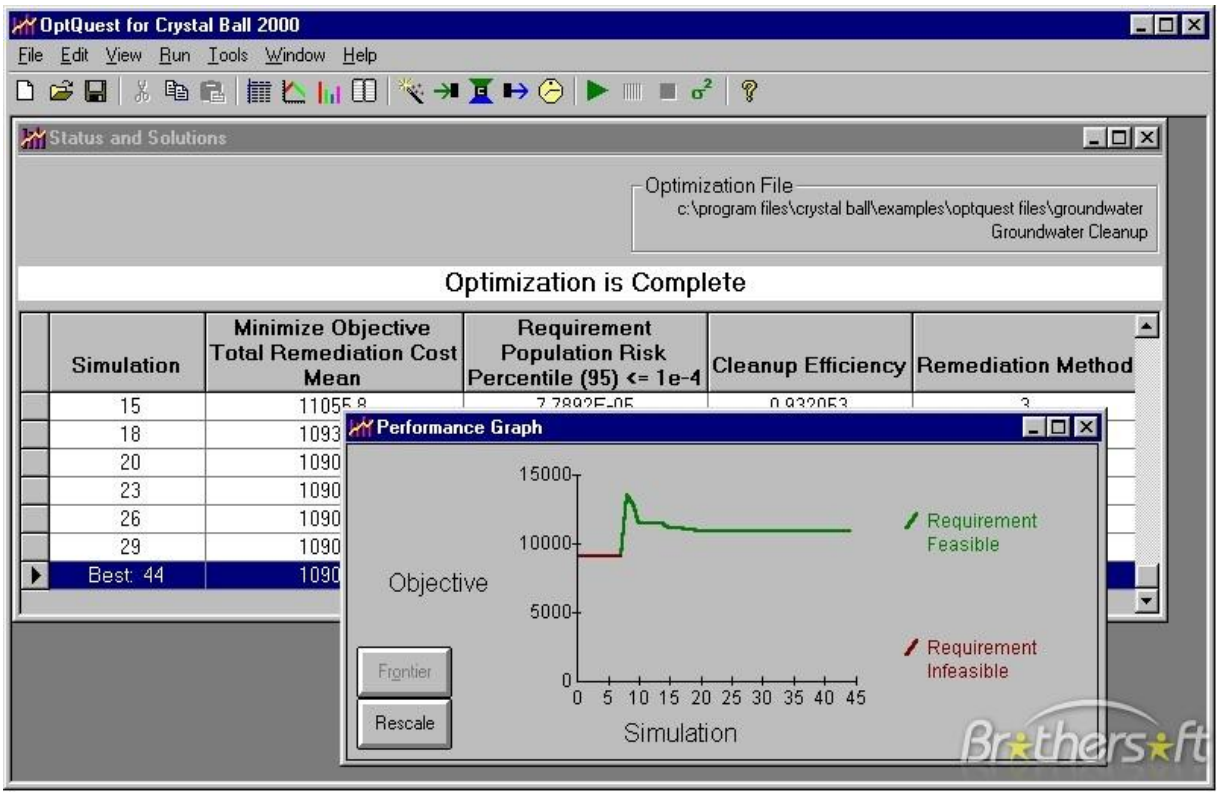

Model Animation
1/5 1/2 x1 x2 x5 VT
Results:
cashflows
oilflow
production
MUSD/year
epci tasks
wells.task
substructure.task
topside.task
transport.task
epci tasks
opex
capex
drillex
totex
revenue
ncf
npv
90% conf
npv
MUSD
31.014
year
Assumptions:
wells
substructure
topside
transport
reservoir
macro
schedule
start
0.5*year
duration
uniform(0,2)*year
predecessors
opex
time dep.
5*MUSD/year
oil prod dep.
1.0*MUSD/SM3
drilling rig cost
rig rate
100.0*KUSD/month
capex
start
1*year
duration
5
total
10*MUSD
26


Production_Planning
Can_A
Can_B
Can_C
Campain_Size 10
18 January 2007
20:45:00
Clock
Dispensing
2.71 Days
Blend
3.08 Days
Filling
0.37 Days
Packing
Total_Cans
Can A 80.0
Can B 13.0
Can C 211.0
Total Cans 304.0
Average Cans Per Day 33.5
Cycletime 15.00
C_Over_Time 45.00
No_Shifts 3
Avail_Time 22.50
RFT_Perc 97.00
Cycletime 60.00
C_Over_Time 100.00
No_Shifts 3
Avail_Time 22.50
RFT_Perc 98.00
Cycletime 30.00
C_Over_Time 120.00
No_Shifts 3
Avail_Time 22.50
RFT_Perc 93.00
Cycletime 30.00
C_Over_Time 120.00
No_Shifts 3
Avail_Time 22.50
RFT_Perc 99.00
162.50 Mins
184.86 Mins
22.23 Mins
31.05 Mins
139.31 Mins
39.59 Mins
48.06 Mins
Non_Value_Add 370.0
Value_Add 258.8
Lead_Time 628.8


Layout Window
WITNESS Warehousing Model
PieChart3D
BarStack
Line3D
Donut
Radar
Dynamic
Combo
VarStat
Week 1
Day 1
Time 22 : 07
15 Lane sortation system
Chart of Throughput and Service Levels
WTE
Throughput
Day of Week

8.1.5. Crystal Ball





8.2. Tabuľka s údajmi použitá v praktickej časti

p.č.	názov článku	autor	použitý software	spoločnosť	typ simulácie	oblasť	teória/prax
1	Využití simulace procesů v automobilovém průmyslu	Jan Daněk	Witness	Lanner	Spojitá	Automobilový priemysel	Prax
2	Vývoj korejských automobilů s použitím systému Matlab	Ing. Karel Bittner	Matlab	Mathworks	Spojitá	Automobilový priemysel	Prax
3	Simulování hydraulických soustav: Simhydraulics 1.0	Ing. Petr Bartošík	Matlab	Mathworks	Spojitá	Hydraulika	Prax
4	Simulace procesů tepelného zpracování kovů		Sysweld	Esi computers	Spojitá	Technologické procesy	Prax
5	Simulace hlubokého tažení plechů		Autoform	Technodat	Spojitá	Technologické procesy	Prax
6	Numerické simulace svařování a tepelného zpracování	Ing. Marek Slováček, Ph.D.	Sysweld	Esi computers	Spojitá	Technologické procesy	Prax
7	Simulace tažení plechů při návrhu lisovacích nástrojů		PamStamp	Siwe	Spojitá	Technologické procesy	Prax
8	Simulace hydraulických systémů		Matlab	Mathworks	Spojitá	Hydraulika	Prax
9	Fyzikální modelování mechanického tření v Simulinku	Ing. Jaroslav Jirkovský	Matlab	Mathworks	Spojitá	Automobilový priemysel	Teória
10	Optimalizácia výkonnosti použitím na návrhu procesu a simulácie materiálového toku v Nemak Česká	Ing. Marek Kňažík	Witness	Lanner	Spojitá	Automobilový priemysel	Teória
11	Modelování elektrohydraulických systémů u těžkých strojů systémem MATLAB.	Ing. Karel Bittner	Matlab	Mathworks	Spojitá	Hydraulika	Prax

12	Simulink a MATLAB pomáhají zachránit jadernou ponorku Kursk	Ing. Karel Bittner	Matlab	Mathworks	Spojitá	Hydraulika	Prax
13	Fyzikální modelování.Využití pro počítačovou simulaci elektromotoru		Matlab	Mathworks	Spojitá	Technologické procesy	Prax
14	HIL simulace jako prostředek pro testováni řídících jednotek v automobilu	Ing. Jaromír Krecl	Matlab	Mathworks	Spojitá	Automobilový priemysel	Prax
15	Witness a metodika six Sigma	Jan Daněk	Witness	Lanner	Diskretna	Podnikové procesy	Prax
16	Matlab v modelování komunálního zdroje tepla	Martin Kaďůrek	Matlab	Mathworks	Spojitá	Technologické procesy	Prax
17	Výukový laboratorní model hydraulicko-pneumatické soustavy	doc. Ing. Jiří Macháček, CSc.	Matlab	Mathworks	Spojitá	Hydraulika	Teória
18	MATLAB pomáhá řešit zemědělské problémy zemí třetího světa	Ing. Petr Byron	Matlab	Mathworks	Spojitá	Stavebníctvo	Praxe
19	Možnosti využití počítačové simulace svařování v průmyslové praxi	Josef Tejc	Sysweld	Esi computers	Spojitá	Technologické procesy	Praxe
20	Matlab pomohl při návrhu řídicí jednotky pro palivový článek	Ing. Karel Bittner	Matlab	Mathworks	Spojitá	Technologické procesy	Praxe
21	Witness – simulací ke zlepšování podnikových procesů	Jan Daněk	Witness	Lanner	Diskretna	Podnikové procesy	Teória
22	Px-SIM – simulační nástroj pro farmaceutický průmysl	Jan Daněk	Px-SIM	Lanner	Diskretna	Farmaceutický priemysel	Teória
23	Comsol Multiphysics 3.4 pro řešení úloh na víceprocesorových počítačích		COMSOL Multiphysics	COMSOL	Spojitá	Technologické procesy	Teória

24	Simulační model automobilu pro testování řídicích jednotek ABS	Ing. Radim Klečka	Matlab	Mathworks	Spojitá	Automobilový priemysel	Prax
25	Ford Focus on WITNESS Simulation		Witness	Lanner	Spojitá	Automobilový priemysel	Prax
26	3 goes for call centre simulation with Simul8		Simul8	Simul8 Corporation	Diskretna	Podnikové procesy	Prax
27	Car plant simulates production systems		Witness	Lanner	Spojitá	Automobilový priemysel	Prax
28	Simulation software improves product flow		Witness	Lanner	Spojitá	Automobilový priemysel	Prax
29	Simulation streamlines metal refinery		Witness	Lanner	Spojitá	Podnikové procesy	Prax
30	Simulation technology visualises paint shop flow		Witness	Lanner	Spojitá	Podnikové procesy	Prax
31	Simulation helps optimise car plant efficiency		Witness	Lanner	Spojitá	Automobilový priemysel	Prax
32	Simulation and modelling speeds aerospace concepts		Matlab	Mathworks	Spojitá	Letectvo	Prax
33	Speedier analysis of large data sets		Matlab	Mathworks	Spojitá	Farmaceutický priemysel	Prax
34	Hardware-in-the-loop simulace ve Formuli 1	Ing. Jaroslav Jirkovský	Matlab	Mathworks	Spojitá	Automobilový priemysel	Prax
35	Software pro simulaci podnikových procesů		Witness	Lanner	Spojitá	Podnikové procesy	Prax
36	Využití programového systému MATLAB pro řízení laboratorního modelu	Renata Wagnerová	Matlab	Mathworks	Spojitá	Technologické procesy	Prax
37	Projekt optimalizace zásobování montážních pracovišť pro firmu AMMANN		Simul8	Simul8 Corporation	Diskretna	Podnikové procesy	Prax

38	Hallmark Gift Manufacturer		Simprocess	CACI Products Company	Diskrétna	Podnikové procesy	Prax
39	Emergency Room Model		Simprocess	CACI Products Company	Diskrétna	Podnikové procesy	Prax
40	Optimizing Rehabilitation Patient Scheduling		Simprocess	CACI Products Company	Diskrétna	Podnikové procesy	Prax
41	Call Center Model Description		Simprocess	CACI Products Company	Diskrétna	Podnikové procesy	Prax
42	Help Desk with Demonstration Model		Simprocess	CACI Products Company	Diskrétna	Podnikové procesy	Prax
43	Pentagon pracuje na softwaru pro křišťálovou kouli	Jakub Jílek	Crystal Ball	Oracle	Monte Carlo	Predpovede	Teória
44	Simulace Monte Carlo v analýze rizika investičních projektů	Jiří Fotr	Crystal Ball	Oracle	Monte Carlo	Analýza rizika	Teória
45	Use of Monte Carlo simulation at Lockheed Martin	Jorge Pica	Crystal Ball	Oracle	Monte Carlo	Podnikové procesy	Prax
46	A simulation study of an automotive foundry plant manufacturing engine blocks	Sang D. Choi	ProModel	ProModel Corporation	Diskretna	Podnikové procesy	Prax
47	A simulation study of an automotive foundry plant manufacturing engine heads	Sang D. Choi	ProModel	ProModel Corporation	Diskretna	Podnikové procesy	Prax
48	Use of Monte Carlo Simulation to Design an Optimized Pharmacodynamic Dosing Strategy for Meropenem	Joseph L. Kuti, PharmD	Crystal Ball	Oracle	Monte Carlo	Farmaceutický priemysel	Teória
49	Analýzy klikových hřídelí	Jan Skácel	MSC.ADAMS	MSC.Software	Spojitá	Automobilový priemysel	Teória
50	The multibody simulation of dynamic effects in passanger car	J. Blekta	MSC.ADAMS	MSC.Software	Spojitá	Automobilový priemysel	Prax