

Vzorové úlohy pro simulační program Witness

Bohuslav Tmej

Bakalářská práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav aplikované informatiky

akademický rok: 2005/2006

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bohuslav TMEJ**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Vzorové úlohy pro simulační program Witness**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Seznamte se simulačním prostředím Witness, nastudujte možnosti jeho využití.
3. Doplňte elektronickou učební pomůcku pro simulační program Witness o názorně řešené příklady z oblasti simulace a optimalizace výrobních, obslužných a logistických systémů.
4. Připravte interaktivní úlohy do cvičení z předmětu Simulace systémů. Konkrétně se jedná o úlohy zpracované v prostředí programu Witness. Tyto úlohy zpřístupněte prostřednictvím elektronické učební pomůcky pro simulační program Witness.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Katedra oděvnictví [online]. 2005 , 18.1.2006 [cit. 2006-01-25]. Dostupný z WWW:
http://www.kod.vslib.cz/ucebni_materialy/PSI/default.html.

Lanner Group | WITNESS simulation and optimization software and consulting solutions [online]. 2001 [cit. 2006-01-25]. Dostupný z WWW:
http://www.lanner.com/home/the_value_of_knowing.php.

Kosek Jiří: PHP – Tvorba interaktivních internetových aplikací – podrobný průvodce. Praha, Grada, 1999.

Popelková Kateřina: Současná česká grafická úprava knih, možnosti propagace literatury, elektronická kniha. Bakalářská práce. FT UTB Zlín, 2001.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bronislav Chramcov**
Ústav aplikované informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2006**

Termín odevzdání bakalářské práce: **16. června 2006**

Ve Zlíně dne 14. února 2006



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
pověřený děkan



doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vytvořením řešených příkladů a interaktivních úloh do simulačního programu Witness pro předmět „Simulace systémů“.

V teoretické části se práce věnuje popisu důležitých pojmů z oblasti diskrétní simulace systémů jako je např. „systém“, „model“ a „simulace“. A dále se věnuje popisu integrovaného prostředí Witness, zejména popisu tvorby modelu a základních součástí v tomto nástroji.

Praktická část se zabývá podrobným popisem jednoho ze tří vytvořených řešených příkladů a dále popisuje jednu ze tří vytvořených interaktivních úloh.

Klíčová slova: diskrétní simulace, Witness

ABSTRACT

This bachelor thesis is occupied by creating solved examples and interactive tasks in the simulation program Witness. It's for learning of subject "System simulation".

Important conceptions like system, model or simulation in the theoretical part are drawn out. All these conceptions are from discrete system simulation area. Thereinafter integrated environment of Witness is described, especially creating of models and base sections of this program.

Practical part describes one of three examples in detail and also one of three created interactive tasks.

Keywords: discrete simulation, Witness

Děkuji vedoucímu práce Ing. Bronislavovi Chramcovovi za odbornou pomoc, za věcné připomínky při vedení práce, poskytnuté materiály a ochotu při řešení problémů.

Především bych chtěl ale poděkovat rodičům, za jejich podporu jež mi umožnila bakalářské práce dosáhnout.

Na celé bakalářské práci jsem pracoval samostatně a veškerou použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, dne 1.6.2006

.....

Bohuslav Tmej

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 DISKRÉTNÍ SIMULACE	10
1.1 SYSTÉM.....	11
1.2 MODEL.....	12
1.3 MODELOVÁNÍ.....	14
1.4 SIMULACE	15
1.5 DŮVODY PRO VYUŽÍVÁNÍ POČÍTAČOVÉ SIMULACE	16
1.6 PŘÍNOSY A NÁKLADY POČÍTAČOVÉ SIMULACE.....	17
1.7 JAK VYUŽÍVAT POČÍTAČOVOU SIMULACI.....	17
2 PROGRAM WITNESS	19
2.1 SIMULACE S PROGRAMEM WITNESS	20
2.2 PRÁCE S MODELEM	20
2.3 STAVBA MODELU V PROGRAMU WITNESS	21
2.3.1 Define	21
2.3.2 Display	21
2.3.3 Detail	22
2.4 ZÁKLADNÍ SOUČÁSTI MODELU	22
2.4.1 Součásti (PARTS).....	23
2.4.2 Zásobníky (BUFFERS).....	23
2.4.3 Stroje (MACHINES).....	24
2.4.4 Pracovní síla a dopravníky	25
2.5 MODELOVÁNÍ SMĚN	26
2.6 VZORKOVÁNÍ A NÁHODNÁ ČÍSLA	27
2.7 AKCE.....	27
2.7.1 Řídící akce.....	28
2.7.2 Vstup a výstup textu.....	28
2.7.3 Další akce pro Witness.....	29
II PRAKTICKÁ ČÁST	30
3 ŘEŠENÉ ÚLOHY DO PROGRAMU WITNESS	31
3.1 ÚLOHA „MENZA”	31
3.1.1 Zadání úlohy.....	32
3.1.2 Popis řešení	34
4 INTERAKTIVNÍ ÚLOHY	39
4.1 INTERAKTIVNÍ ÚLOHA ACME.....	40
ZÁVĚR	43
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	44

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	45
SEZNAM OBRÁZKŮ	46
SEZNAM TABULEK.....	47
SEZNAM PŘÍLOH.....	48

ÚVOD

V dnešní době, při současné úrovni informační techniky, se stále více rozmáhá pojem diskrétní simulace systémů. Není se čemu divit. Je ekonomicky výhodnější a časově méně náročné simulovat daný problém pomocí výpočetní techniky, než jej zdlouhavě a často i finančně náročně testovat v reálném prostředí.

Proto se zavádí pojem diskrétní simulace systémů i do učebních osnov pro střední a vysoké školy. Jedním z nástrojů používajících se k simulaci systému je program Witness. Software britské společnosti Lanner Group Ltd.

Úkolem této bakalářské práce je vytvořit řešené příklady a interaktivní úlohy do simulačního programu Witness, které budou sloužit půl semestru jako učební pomůcka pro výuku předmětu *Simulace systémů*.

Dalším úkolem je zpracovat literární rešerši na téma diskrétní simulace. Pokud chceme definovat co znamená diskrétní simulace, je potřeba znát význam některých základních termínů jako je *systém*, *model*, *modelování* a *simulace*.

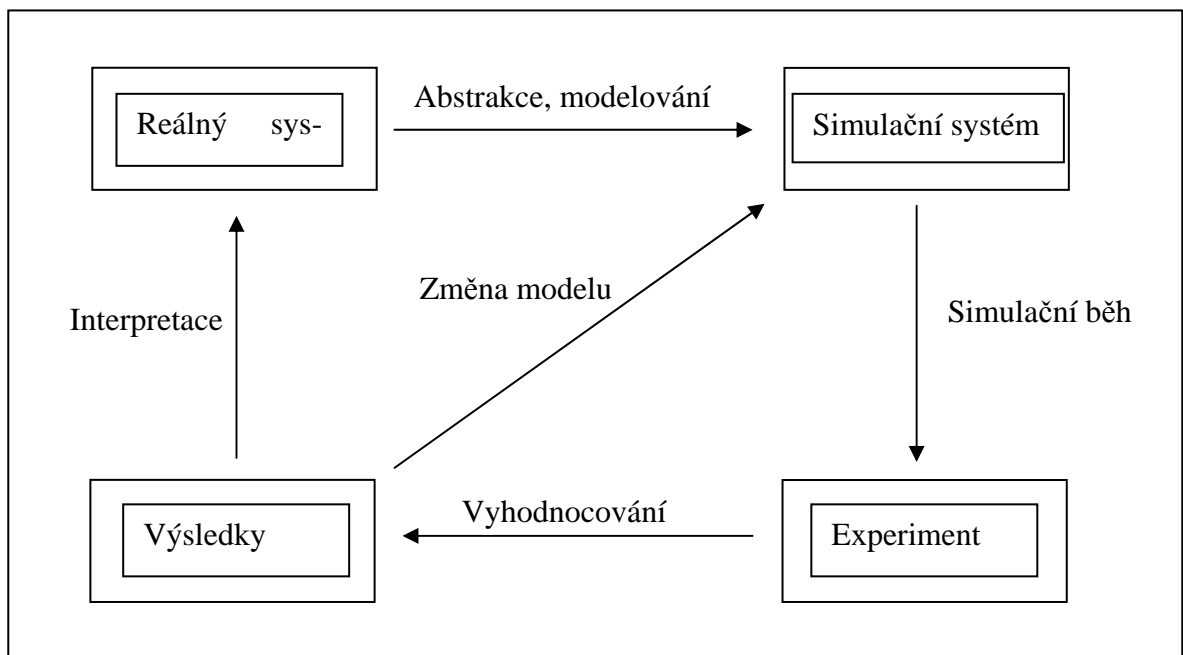
Dále je potřeba se zmínit o důvodech proč počítačovou simulaci využívat, o jejich přínosech a nákladech a možnostech jak počítačovou simulaci využít.

Podstatnou částí bude také souhrn informací o simulačním prostředí Witness. Zabývající se zejména popisem základních prvků, ze kterých se skládá každý simulační model, stavbou modelu v prostředí Witness, nebo například pojmem generování pseudonáhodných čísel.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DISKRÉTNÍ SIMULACE

Diskrétní neboli počítačová simulace výrobního systému je etapa dynamického zkoumání výrobního systému. Jejím principem je experimentování s počítačovým modelem, který je pokud možno přesným obrazem stochasticky se chovajícího výrobního systému (obr. 1). Na simulačním modelu se simulují stavy systému (např. transport součásti, proces obrábění, porucha atd.) v závislosti na čase. Jejich změna přitom nastává diskrétně v časových okamžicích, které jsou reprezentovány diskrétní událostí (např. příchod zakázky, začátek obrábění, začátek seřizování, začátek poruchy apod.). Cílem experimentování je vyhledání takových hodnot výstupních veličin modelu, které vyhovují předem stanoveným požadavkům (cílům simulační studie). Vstupní hodnoty tohoto řešení jsou potom použitelné i pro reálný systém. [5]



Obr. 1 Princip simulace

Pokud chceme definovat co znamená modelování a simulace, je potřeba znát význam některých základních termínů (systém, model, ...) ale také termínů pomocných.

1.1 Systém

Simulace a modelování se zabývají studiem nějakého objektu reálného světa (továrna, pošta, krajina, ...), nebo objektu o kterém uvažujeme, že by existovat mohl (např. stroj, budova či výrobní provoz). Objekt je chápán v jeho úplné složitosti spolu se všemi nejasnostmi jeho existence, které není možné vždy rozumovými prostředky pochopit a zvládnout. Z těchto důvodů se na zkoumaném objektu zavádějí abstrakce, které zanedbávají některé aspekty daných jevů. Tato abstrakce je v modelování a simulaci chápána jako systém a podle charakteru profese, která systém definuje, dostává svůj přívlastek (výrobní, ekonomický, elektronický, ...).

Systém, v němž se od významu času abstrahuje, se nazývá statickým systémem (anglicky static system). Systém, jehož čas se zanedbává a je přitom chápán „newtonovsky“ (to jest jako v klasické fyzice, čili tak, že je smysluplné mluvit o tom, že dvě události nastaly v systému současně nebo jedna z nich nastala dříve než druhá), se v modelování a simulaci nazývá dynamickým systémem (anglicky dynamic system). Simulace se jinými než dynamickými systémy nezabývá.

V modelování a simulaci je systém složen z prvků (anglicky elements). Prvky systému, tedy prvky abstrakce na nějaké věci, mohou odpovídat komponentám, které na věci nějak poznáváme fyzicky (prostorové složky daného prvku) nebo logicky (např. schopnosti dané věci či jejích složek).

V dynamickém systému se může počet prvků během jeho existence měnit, systém může růst nebo se smršťovat, avšak v technických a ekonomických aplikacích jde nejčastěji o to, že prvky mohou do systému „vstupovat“ a „opouštět“ ho. Takové prvky se nazývají transakcemi. Jako příklad transakcí je možné uvést zákazníky vstupující do obchodního domu, pracovníky přicházející do práce, vozidla vstupující do dopravního systému, apod.

Prvky, které jsou v dynamickém systému v průběhu jeho celé existence, se nazývají permanentními prvky nebo aktivitami (anglicky permanent elements nebo activities). Příkladem aktivit je např. stroj, nebo přepážka na poště či v bance.

Prvky systému mají své vlastnosti, které se odborně nazývají atributy. Vlastnosti prvků v dynamickém systému se mohou v čase měnit.

Podle formátu hodnoty je možné atributy rozdělit do následujících skupin:

- Reálný (aritmetický) – nabývá reálná čísla, aritmetické hodnoty.
- Booleovský – nabývá booleovských hodnot „ano“ a „ne“ („schopen pracovat“ a „v poruše“).
- Textový – nabývá textové hodnoty (název stroje).

1.2 Model

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

Pro simulaci jsou vhodné pouze tzv. simulační modely, které splňují následující požadavky [5]:

1. Modelující i modelované systémy modelu jsou dynamickými systémy.
2. Existuje zobrazení τ existence modelovaného systému do existence modelujícího systému, jestli je tedy t_1 okamžik, ve kterém existuje modelovaný systém M_1 , je mu přiřazen okamžik $\tau(t_1) = t_2$, ve kterém existuje modelující systém M_2 , a tak je zobrazením τ přiřazen i stavu $S_1(t_1) = \sigma_1$ systému M_1 stav $S_2(t_2) = \sigma_2$ systému M_2 .
3. Mezi stavy σ_1 a σ_2 jsou splněny požadavky na vztahy mezi prvky a jejich atributy, jako kdyby každému stavu σ_1 modelovaného systému odpovídal stav σ_2 modelujícího systému tak, že oba stavy jsou ve vztahu statického modelu.
4. Zobrazení τ je neklesající; pokud nastane stav s modelovaného systému před stavem s^* toho samého systému, pak stav, který odpovídá v modelujícím systému stavu s nastane před stavem, který odpovídá stavu s^* , nebo mohou oba stavy nastat v modelujícím systému současně. Nikdy však nemůže být časové pořadí stavů v modelovaném systému a jim odpovídajících stavů v modelujícím systému přehozené.

Z uvedených skutečností vyplývá, že model je složitá struktura, která váže dva systémy, jejich prvky a atributy a v případě simulačních modelů i existence obou systémů. V praxi

se ustálilo, že pod pojmem model se rozumí modelující systém a místo termínu „modelovaný systém“ se používá termín originál.

Modely se často dělí na modely deterministické a stochastické. Toto rozdělení se provádí na základě toho, zda v modelu jsou či nejsou zahrnuty náhodné veličiny. V deterministickém modelu nejsou zahrnuty náhodné veličiny. Modely se vyznačují jednoznačně určenými příčinami a jejich následky. Zatímco v stochastickém modelu mají zkoumaný problém nebo metoda řešení náhodný charakter.

Dále se modely dělí na spojité a diskrétní. Spojité modely jsou modely se spojitým časem, kde časová proměnná může nabývat všech hodnot z určitého intervalu. Spojité modely jsou vhodné tam, kde je studován konzistentní, spojitý tok informací nebo materiálů. Diskrétní modely jsou charakteristické tím, že všechny stavové proměnné nabývají pouze diskrétních hodnot a v průběhu času se mění skokem.

Modely s diskrétními událostmi a procesy se používají zejména pro popis technologických procesů, ve kterých lze identifikovat hromadění zpracovávaných prvků do front a případně výlučný přístup k zařízením, které je zpracovávají. Těmto systémům se říká systémy hromadné obsluhy SHO. Typickými příklady jsou provoz s dopravníkovými pásy, nebo obchody s frontami zákazníků před pokladnami. Výstupem těchto modelů jsou typicky statistické údaje o počtu obslužených zákazníků, nebo počtu zpracovaných polotovarů za nějaký časový interval.

Systémy SHO obsahují v nejjednodušším případě zařízení – uzel obsluhy, který zpracovává jednotlivé položky - transakce. Transakce vznikají ve zvláštních prvcích, kterým říkáme zdroje požadavků - generátory transakcí. Jestliže vznikne požadavek na další zpracování ve formě příchodu další transakce a uzel obsluhy je obsazený, transakce musí čekat na zpracování v dalším prvku systému, který se nazývá fronta. Kromě uvedených základních prvků systémů zde mohou existovat ještě další prvky, které mohou navzájem vytvářet značně složité systémy. Příklady takových systémů jsou řídicí číslicový počítač napojený na technologický proces, pokladna kina nebo dílna výrobního závodu.

System je možné popsat následujícím způsobem [4]:

- systém (model) obsahuje komponenty (elementy), ze kterých každý vykonává určitě předepsané funkce
- jednotky toku systému procházejí od jednoho elementu k druhému a vyžadují provedení určité funkce v elementu dřív než může být tento prvek přesunut k dalšímu elementu
- elementy mají konečnou kapacitu na zpracování prvků a proto prvky musí čekat v „čekací řadě“ nebo ve „frontě“ před dosažením určitého elementu.

Hlavním cílem studia těchto systémů je testování jejich chování a určení „kapacity“ systému, tj. kolik prvků projde systémem v dané časové periodě. Analytické techniky, které mohou být použity při řešení těchto problémů jsou teorie front a stochastických systémů.

1.3 Modelování

Modelování jako široký obor aplikací výpočtové techniky je téměř výhradně zaměřen na modelování v následujícím smyslu [3]:

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

To znamená, že se vytvoří model, ve kterém modelovaným systémem je zkoumaný systém a poté se bude experimentovat s vytvořeným modelujícím systémem, při čemž cílem bude dozvědět se něco o modelovaném systému. Pokud by bylo cílem pouhé vytvoření modelu, či modelujícího systému, šlo by o modelování jako „zábavu“ a ne o modelování ve smyslu výzkumné techniky. V případě, že by cílem bylo nahrazení modelovaného systému modelujícím systémem v reálném životě, šlo by o modelování ve smyslu vytváření protězy a pokud by cílem experimentování bylo dozvědět se něco o modelujícím systému bez vztahu k systému modelovanému, model by úplně vypadl „ze hry“ a šlo by pouze o přímé experimentování s modelujícím systémem.

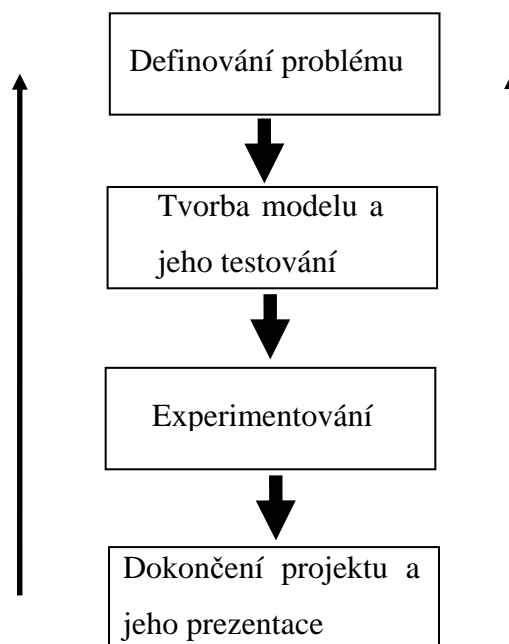
Modelování není ale omezeno pouze na aplikaci výpočtové techniky i když v současnosti se stále více uplatňuje ve funkci modelujícího systému výpočet na číslicovém počítači.

Modelující systém může být abstraktní matematická struktura (vzorec, ...), fyzikální analogie (Bohrův model atomu, ...) apod. [4]

1.4 Simulace

Simulace je výzkumná technika, jejíž podstatou je náhrada zkoumaného dynamického systému jeho simulátorem s tím, že se simulátorem se experimentuje s cílem získat informace o původním zkoumaném dynamickém systému.

Simulace systému, jako specifické formy procesu poznání, se využívá při zkoumání i projektování objektu, dále při výuce, výcviku a v jiných případech sdělování poznatků a hypotéz. Předmětem simulace systému jsou systémy vymezené na objektech poznání a jejich dynamika ve smyslu jakékoli změny v čase. [4]



Obr. 2 Fáze simulačního projektu

Celý simulační projekt je možno rozdělit do čtyř stěžejních částí jak je naznačeno na obr. 2. Zde jsou znázorněny čtyři základní fáze simulačního projektu. Šipkami je naznačen směr postupu při vypracování jednotlivých hlavních částí a postranními šipkami je naznačen iterační směr. Simulační studie musí vždy začínat poznáním systému a definicí pro-

blému a následně pokračovat daným směrem. Každá majoritní sekce se dále dělí na dílčí prvky.[4]

1.5 Důvody pro využívání počítačové simulace

Simulací lze řešit i velmi složité systémy, které jsou neřešitelné analytickými metodami, popř. kde by použití analytického řešení bylo příliš zjednodušující. Pomocí simulace je rovněž možné prověřit výsledky docílené jinými metodami z hlediska dynamických, stochastických vlivů.

Simulace umožňuje studium chování systému v reálném, zrychleném nebo zpomaleném čase. Během několika minut tak lze např. od-simulovat průběh výroby.

Již samotné zkušenosti z tvorby simulačního modelu mohou vést k návrhům na zlepšení řízení či struktury. Vytvoření simulačního modelu (tj. zjednodušeného popisu reálného systému) totiž není možné bez důkladné analýzy zkoumaného systému, která může odhalit v samém začátku zpracování projektu značné rezervy.

Simulace nabízí komplexní pohled na studovaný problém a umožňuje tak jeho vícekritériální analýzu. Na modelu je možné zároveň sledovat různé parametry systému (tj. vytížení zdrojů, průběžné doby a rozpracovanou výrobu) i propojení jednotlivých subsystémů.

Simulace vede k týmové práci, protože komplexnost řešení vyžaduje úzkou spolupráci odborníků z různých oblastí.

Simulace poskytuje větší přehled o podnikových procesech. V modelu lze použít součtové a grafické prvky pro lepší znázornění výsledků. Pomocí animace je rovněž možné sledovat pohybující se elementy, které mění barvu v závislosti na stavu, ve kterém se nacházejí.

Pozorování činnosti simulačního modelu vede k lepšímu pochopení reálného systému. Změnou jednoho parametru systému lze sledovat jeho vliv jak na chování zkoumaného systému, tak i na ostatní veličiny.

Pomocí simulace je možné důkladně prověřit různé varianty řešení. To umožňuje minimalizovat rizika chybných rozhodnutí, popř. připravit varianty pro nečekané události.

Možnost využití již jednou vytvořeného simulačního modelu i v dalších činnostech podniku. Simulační model vytvořený při projektování výrobního systému lze např. využít i při jeho řízení, popř. při školení pracovníků.

Simulace podporuje tvůrčí práci. Tento bod vyplývá z výhod využívání počítačové simulace. Získání rychlých výsledků různých variant, možnost ověření si i netradičních řešení, větší přehled o procesu – to vše podporuje proces hledání a rozhodování a tím tvůrčí práci pracovníků. [5]

1.6 Přínosy a náklady počítačové simulace

V zásadě by se měla simulace používat tehdy, když přínosy převýší náklady. Toto rozhodnutí je však mnohdy obtížné, neboť ne vždy jsou přínosy snadno vyčíslitelné. Přínosy lze rozdělit na kvantitativní a kvalitativní. Zatímco kvantitativní přínosy (např. úspora pracovních sil, snížení zásob apod.) jsou lehce vyčíslitelné, kvalitativní (např. od-simulování funkčnosti či spolehlivosti procesu, zabránění chybnému rozhodnutí, uchování jednou nabytých znalostí, získání argumentů pro odbornou diskusi apod.) lze vyčíslit jen obtížně.

Náklady je možné rozdělit do následujících tří skupin:

- personální náklady
- náklady na technické vybavení (Hardware, Software)
- náklady na údržbu a provoz (licenční poplatky, spotřeba energie, materiál apod.)

Největší nákladovou položkou jsou mzdové náklady, které mohou dosáhnout hranice až 80% celkových nákladů na simulační projekt. Další výraznou položku tvoří cena simulačního systému, nezanedbatelné jsou i udržovací poplatky. Přínosy i náklady se velmi liší případ od případu a nedají se předem jednoznačně určit, protože jsou odvislé od konkrétního projektu. Náklady na simulaci záleží i na tom, zda se jedná o první, pilotní projekt, či o opakovaný projekt. Ze zkušeností se ukazuje, že při včasném a správném nasazení simulace je možné dosáhnout přínosů několikanásobně vyšších, než jsou náklady s ní spojené. Kvalitativní faktory přitom mohou vést ještě k dalšímu výraznému zlepšení výsledků hospodaření podniku. [4]

1.7 Jak využívat počítačovou simulaci

Každý projekt musí začínat důkladnou analýzou problému a zvolením vhodné metody a postupu řešení, tj. určením, zda a v jaké fázi použít simulaci, či zda k vyřešení postačí jiná, jednodušší metoda. Už toto rozhodnutí značnou měrou ovlivňuje finanční a časové náklady na řešení problému.

Nevhodně zvolená metoda řešení může mít za následek zbytečné prodloužení a prodražení celého projektu. Počítačová simulace tedy není všelék a ne vždy je vhodné ji využívat. Na druhé straně je mnohdy vhodné prověřit výsledky získané pomocí jiných metod z hlediska dynamických a stochastických vlivů, popř. vyzkoušet a porovnat různé varianty řešení.

Po rozhodnutí o provedení simulace dochází v počáteční fázi k nadefinování simulačního projektu (určení realizačního týmu, stanovení cílů a rozsahu projektu). Tato etapa se často neprávem podceňuje a vynechává se. Je však nezbytná pro vyjasnění si pozic mezi zadavatelem a řešitelem.

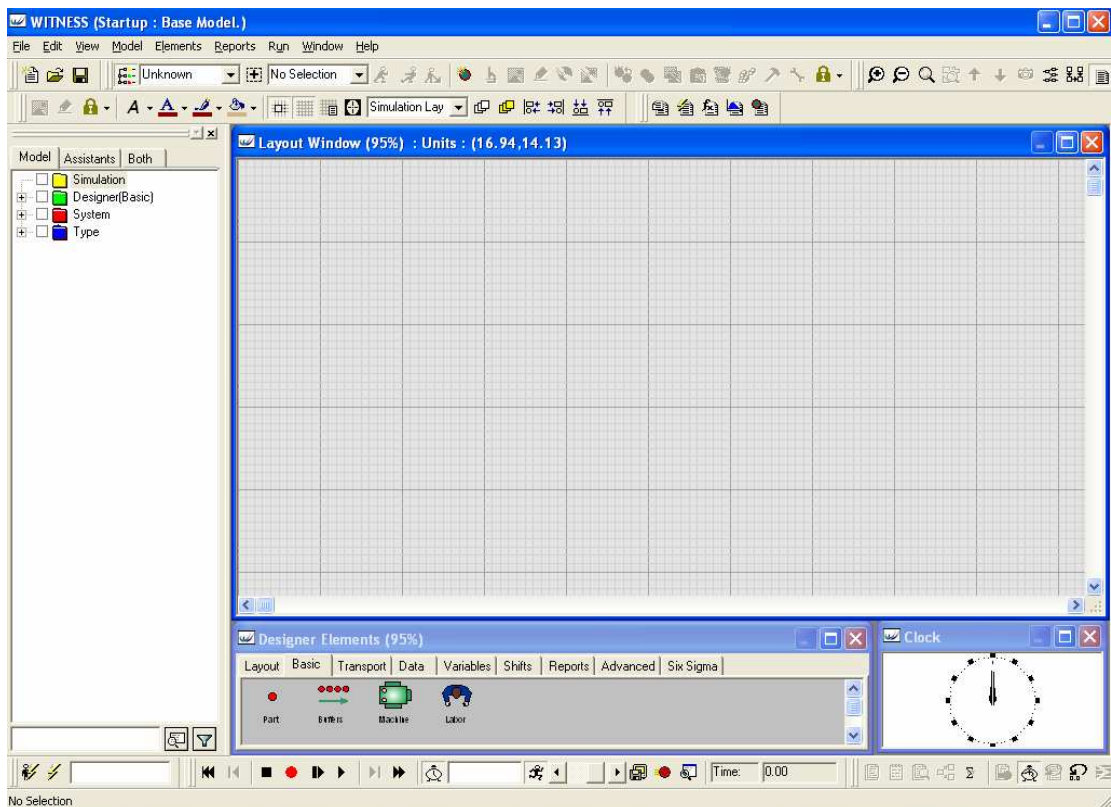
Předejde se tak pozdějším nedorozuměním a časovým prodlevám při vynucených změnách v projektu. Kromě toho lze vhodně zvolenou strategií zpracování projektu výrazně zkrátit následné etapy (etapy tvorby modelu a vlastního experimentování) a tím i celou dobu projektu.

Následuje etapa získávání vstupních údajů (definování prvků systému včetně jejich vazeb, sběr dat a analýza pravděpodobnostních rozdělení náhodných veličin) a vlastní tvorby modelu. Přitom je hlavní pozornost třeba věnovat sběru a zpracování dat, verifikaci a validaci modelu. Další částí simulační studie je experimentování, které spočívá v cílené změně hodnot parametrů modelu tak, aby se dosáhlo požadovaných cílů projektu. Experimentování tedy není zkoušení.

Simulační projekt je zakončen kompletací dokumentace (tj. uchováním znalostí), zhodnocením výsledků a realizací optimální varianty řešení. [4]

2 PROGRAM WITNESS

WITNESS je nástroj pro simulaci a optimalizaci výrobních, obslužných a logistických systémů vyvinutý britskou společností Lanner Group Ltd (obr. 3). Využívá se hlavně v oblasti produktů pro interaktivní simulaci systémů diskretních událostí, které jsou postaveny na organizaci fyzických a logických elementů, jejich významné konfiguraci na časové ose. [4]



Obr. 3 Pracovní plocha programu Witness

Přínos produktu Witness spočívá v:

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

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

- hodnocení kapitálových produktů
- pravidelný běh modelů pro testování výrobních programů
- hodnocení alternativních návrhů
- zdokonalení existujících zařízení
- změnu managementu [6]

2.1 Simulace s programem Witness

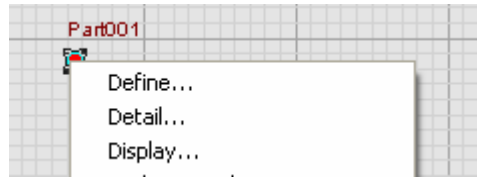
Princip simulace je jednoduchý – místo toho, abychom sledovali dynamické chování nějakého procesu (objektu), který nás zajímá a jeho reakce na provedené organizační a technické změny, sledujeme chování jeho modelu.

Takovým modelovaným objektem může být například výrobní linka, systém hromadné obsluhy, sklad velkoobchodu, tok informací v pobočce banky apod. Tento způsob práce přináší mnohé výhody – můžeme např. vytvářet modely ještě neexistujících systémů a navrhnout tak hned napoprvé systém, který svým chováním přesně odpovídá našim představám. Simulační čas může běžet mnohem rychleji než reálný, a tak je možné rychle vyhodnotit různé varianty navrhovaného řešení problému. [4]

2.2 Práce s modelem

Modely v programu WITNESS dynamicky zobrazují pohyb materiálu či zákazníků systémem, stavy jednotlivých prvků, prováděné operace, aktuální využití zdrojů. Zároveň jsou zaznamenávány všechny události, které v systému nastaly. Uživatel tak může sledovat dynamiku procesu a má k dispozici i údaje potřebné k vyhodnocení výkonnosti daného systému podle zvolených kritérií. Model vytvořený v programu Witness používá kombinaci dílů, lidí, strojů a jiných simulačních elementů za účelem simulace zkoumaných operací. [4]

2.3 Stavba modelu v programu Witness



Obr. 4 Stavba modelu

Simulační model je v programu WITNESS tvořen třemi základními kroky (obr. 4). Po zaznamenání plného jména modelu, jeho zkratky a jména tvůrce se začíná každý element modelovat v následujících krocích:

2.3.1 Define

Umožňuje nadefinovat jména a množství (je-li známo) elementů, které chceme v modelu použít. Určením typu prvku se přiřazuje jednotlivým reálným prvkům jejich simulační obraz, který v obecné terminologii odpovídá svou formou a dostupnými funkcemi daným prvkům. [4]

Ve fázi definice je nutno zadat některé parametry elementu, které již později nelze změnit. Je to především typ (stroj, zásobník, proměnná), dále některé podstatné charakteristiky (u proměnné typ a rozměry).

Element lze definovat buď z hlavního menu (MODEL/Elements..., potom tlačítko Define) nebo pomocí knihovny elementů (v tomto případě máme k dispozici zároveň implicitní vlastnosti a zobrazení prvku). [7]

2.3.2 Display

Definovanému prvku nebo jevu přiřazuje jeho obrazovou podobu. Na obrazovce je možné zobrazit jméno prvku v požadované barvě a velikosti, ikonu vybranou z knihovny ikon nebo vytvořenou v editoru ikon. Barva ikony může být fixní nebo proměnná, ta pak zobrazuje stav prvku v průběhu simulace. Barvy zobrazující stavy ve kterých se daný prvek nachází jsou popsány v manuálu, popřípadě mohou být zobrazeny formou klíče přímo na obrazovce.

Práce v tomto módu je modifikována podle typu elementu. Pro každý typ elementu jsou v rozbalovacím menu okna Display nadefinované konkrétní položky (volby), pomocí kterých navolíme optimální obrazovou podobu daného prvku. [4]

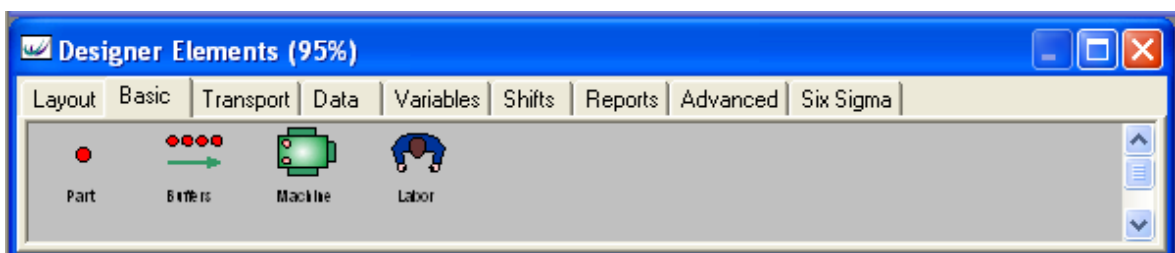
Dialog pro zobrazování elementu lze vyvolat buď z hlavního menu (MODEL/Elements..., potom tlačítko *Display*), nebo prostřednictvím základního nástrojového řádku (ikona připomínající televizi). Pokud používáme nástrojový řádek, je nutno předem element vybrat - jeho jméno se objeví v okénku uprostřed řádku. Poslední možností je klepnutí pravého tlačítka myši a výběr položky *Display* z příslušné nabídky - v tomto případě pochopitelně musí být alespoň jedna součást elementu (např. ikona) viditelná, anebo na element musíme klepnout v okně *Element Selector*. [7]

2.3.3 Detail

Nejdůležitějším krokem v průběhu definování našeho modelu je detailní popis parametrů elementu a jeho chování v simulaci. Dialogové okno dovoluje specifikovat pro každý element jeho parametry a způsob, jak je řízen tok součástí mezi jednotlivými elementy.

Dialog pro specifikaci parametrů ("detail") lze vyvolat buď z hlavního menu (MODEL/Elements..., potom tlačítko Detail), nebo prostřednictvím základního nástrojového řádku (ikona připomínající mikroskop). Pokud používáme nástrojový řádek, je nutno i v tomto případě předem element vybrat - jeho jméno se objeví v okénku uprostřed řádku. Další možností je dvojitě klepnutí levého tlačítka myši na kteroukoliv součást elementu v pracovním okně, popřípadě výběr položky Detail z kontextové nabídky přístupné po stisku pravého tlačítka myši na příslušném elementu. [7]

2.4 Základní součásti modelu



Obr. 5 Knihovna prvků

Prvky, bez kterých se téměř žádný model neobejde najdeme v knihovně prvků (obr. 5) v záložce *Basic* a jsou to:

PARTS - *součásti* - Součásti procházející modelem. Mohou reprezentovat fyzické součástky a výrobky, dokumenty obíhající ve velké firmě nebo třeba zákazník v obchodním domě.

BUFFERS - *zásobníky* - Místa, kde lze skladovat *součásti*. Typickým případem jsou lidé ve frontě nebo motory v bedně před strojem.

MACHINES - *stroje* - Elementy schopné reprezentovat cokoli, co někde odebírá *součásti*, zpracovává je a předává je dál. Pila, lakovna, lis...

Dalšími důležitými prvky, který se často používají jsou **LABOUR** - *pracovní síla* a **CONVEYOR** - *dopravník*.

2.4.1 Součásti (PARTS)

Součásti reprezentují diskrétní jednotky které se pohybují v modelovaném provozu.

Mohou být zpracovávány po jedné, montovány dohromady, děleny a měněny jedna v druhé (materiál ve výrobek). Mohou nést číselnou nebo textovou informaci v podobě atributů. Do modelu mohou vstupovat o vlastní vůli nebo mohou být „tahány“ z vnějšího světa.

Pro modelování součástí je důležité rozmyslet si, kolik typů součástí v systému existuje.

2.4.2 Zásobníky (BUFFERS)

Zásobníky jdou zjednodušeně popsat jako místa, kde se skladují součásti. Samy o sobě ani součásti nevybírají, ani nikam neodesílají. Zásobníky mohou reprezentovat:

- frontu na poště
- sklad součástek ve výrobní hale
- prostor s letadly čekajícími na přistání
- skříň s osazenými plošnými spoji čekajícími na montáž

U zásobníku můžeme zobrazit ikonu, jméno a graficky nebo číselně počet součástí v zásobníku.

2.4.3 Stroje (MACHINES)

Stroje jsou zařízení, které pracují se součástmi a obvykle je nějakým způsobem mění. Příkladem strojů jsou:

- pokladna v obchodě
- pila
- svářecí robot
- lis
- soustruh

Jednotlivé stroje rozlišujeme podle toho, kolik součástí najednou stroj zpracovává:

- **Single** - *jednoduchý stroj* - jedna součást dovnitř, jedna ven.
- **Bath** - *dávkový stroj* - mnoho součástí dovnitř, tentýž počet ven. Zde je nutno specifikovat nejmenší a největší počet součástí, který může stroj zpracovat.
- **Assembly** - *montážní stroj* - mnoho součástí dovnitř, jedna ven. Pro vstup součástí se obvykle využívá pravidla SEQUENCE nebo MATCH.
- **Production** - *produkční stroj* - jedna součást dovnitř, mnoho ven. Je nutno specifikovat, kolik součástí a jakého typu se vyprodukuje z jedné součásti na vstupu. Důležité: tato součást projde strojem nezměněna a objeví se na výstupu. Může reprezentovat např. zbytek po rozřezání surového materiálu.
- **General** - *obecný stroj* - stroj do kterého jiný počet součástí vstupuje a jiný vystupuje. Navíc může obecný stroj pracovat s vícenásobným cyklem a tak reprezentovat např. obráběcí centrum v pružném výrobním systému.
- **Multiple cycle** - *stroj s vícenásobným cyklem* - stroj s vícenásobným operačním cyklem.
- **Multiple station** - *několikastupňový stroj* - několik součástí se pohybuje strojem společně. Do dalšího stupně (oddílu atd.) postoupí pouze, když jsou na vstupu další součásti, tedy se strojem pohybují bez mezer.

K důležitým vlastnostem strojů patří [6]:

- doba pracovního cyklu
- potřeba seřízení
- vstupní a výstupní logika určující tok součástí modelem
- nároky na pracovní sílu
- četnost poruch a doba jejich oprav
- akce vykonávané při příchodu a expedici součástí
- akce vykonávané při výskytu poruchy a jejím odstranění

2.4.4 Pracovní síla a dopravníky

Pracovní síla (LABOUR)

To jsou zdroje (např. nástroje nebo lidé), které jsou požadovány ostatními elementy, aby provedli operaci, seřízení, opravu nebo čištění. Je to např.:

- dělník, údržbář, seřizovač
- úředník v bance
- robot vykonávající několik přesných úloh, apod.

Dopravník (CONVEYOR)

Dopravníky jsou prostředky, které uskutečňují dopravu materiálu. Jsou to např.:

- pás dopravující zavazadla na letišti
- dopravník přepravující karoserie na montážní lince
- válečkový dopravník, který přepravuje prázdné krabice k balící lince.

Lze modelovat dva typy dopravníků:

- **pevné** – součásti na dopravníku mezi sebou udržují stejnou vzdálenost. Jestliže se dopravník zastaví, zůstanou vzdálenosti mezi součástmi stejné. Je to např. pásový dopravník.
- **akumulující** – dovoluje součásti akumulovat. Jestliže se dopravník zastaví, součásti se budou tlačit na sebe tak dlouho, dokud se dopravník nezastaví.

2.5 Modelování směn

Většina operací je vykonávána podle nějakého rozvrhu směn. Příkladem mohou být směny dělníků v továrně nebo úřední hodiny banky.

Modelování směn je důležité zejména v těch případech, kdy:

- různé skupiny zaměstnanců mají rozdílnou pracovní dobu
- mění se počet zaměstnanců pracujících v různých směnách
- některé operace pokračují bez ohledu na směny
- dlouhotrvající poruchy a opravy pokračují i po skončení směny

Směna je sestavena z jednotlivých period. Každá perioda se skládá ze tří částí :

- **Working Time** - čas práce
- **Rest Time** - čas odpočinku
- **Overtime** - přesčas

Pokud se během směny opakují stejné časové struktury, lze je uložit jako pod-směny (sub-shifts) a potom z nich skládat hlavní směnu.

U různých elementů má zavedení směn různé efekty [7]:

- **Součást** - součásti s aktivními příchody přicházejí pouze v době směny
- **Zásobník** – je-li definována minimální doba pobytu, vztahuje se pouze na dobu během směny
- **Stroj** - pracuje se v době směny, výjimkou je dokončení započaté operace v době kratší než specifikuje parametr „Allowance“
- **Dopravník** - mimo směnu stojí
- **Pracovní síla** - během každé směny je k dispozici ve specifikované kvantitě
- **Graf** - pozorování se zaznamenávají pouze během směny
- **Kruhový graf** - přepisuje se pouze během směny
- Dále lze směny aplikovat na **vozíky** a **spojité elementy**.

2.6 Vzorkování a náhodná čísla

Protože počítač není schopen generovat opravdu náhodná čísla (např. házením hrací kostkou), využívá tzv. čísel pseudonáhodných. Jsou to dlouhé posloupnosti čísel generované matematickými metodami tak, aby se svými vlastnostmi podobaly výsledkům náhodných pokusů.

V programu WITNESS jsou uspořádány do tzv. proudů. Ačkoliv je teoreticky možno z jednoho proudu ošetřovat všechny náhodné jevy v modelu, je výhodné dodržovat princip jeden jev - jeden proud. To přináší dvě výhody:

- jevy jsou zaručeně statisticky **nezávislé**
- jevy jsou **reprodukovatelné**, tj. zavedení dalšího náhodného jevu neovlivní výsledky modelování jevů předcházejících [7]

Mezi rozděleními vhodnými pro generování náhodných čísel z empirických dat jsou oblíbená normální rozdělení.

UNIFORM(min, max, proud)

Známe-li průměrný interval mezi událostmi, lze pro modelování intervalu mezi událostmi využít rozdělení negativně exponenciální:

NEGEXP(průměrný interval, proud)

Využití dalších rozdělení vyžaduje určitou praxi ve statistice, jejich popis najdete na internetu na webových stránkách věnovaných této problematice.

2.7 Akce

Rozdělení, seznam a popis akcí důležitých při vytváření interaktivních úloh (tab. 1-3).

2.7.1 Řídící akce

Akce	Popis
IF/ELSEIF/ELSE/ENDIF	Provádění různých příkazů za splnění určitých podmínek.
GOTO/LABEL	Pokračování v běhu „programu“ na určitém místě označeném klíčovými slovy LABEL.
FOR/NEXT	Opakované provádění určitého příkazu.
WHILE/ENDWHILE	Příkazy se provádí opakovaně dokud je splněna určitá podmínka.
RETURN	Ukončení akce, v případě uživatelem definované funkce s vrácením výsledné hodnoty.
STOP	Zastavení běhu simulace.

Tab. 1 Řídící akce

2.7.2 Vstup a výstup textu

Akce	Popis
PRINT	Zobrazení zprávy v interaktivním okénku.
INPUT	Získání vstupu od uživatele prostřednictvím klávesnice a interaktivního okénka.
OPENBOX	Otevření interaktivního okénka.
CLOSEBOX	Uzavření interaktivního okénka.
WRITE	Zapsání dat do souboru.
READ	Čtení dat ze souboru.
REWIND	Přechod na začátek souboru.

Tab. 2 Akce pro vstup a výstup textu

2.7.3 Další akce pro Witness

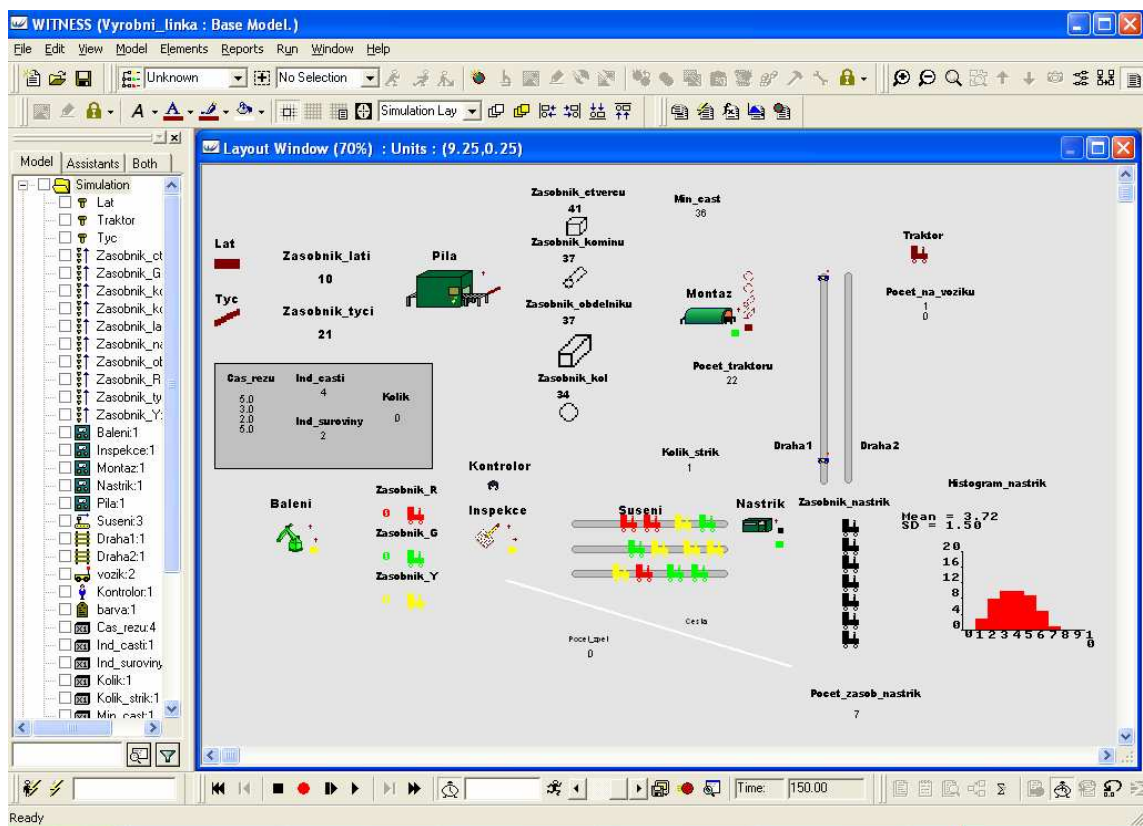
Akce	Popis
=	Přiřazení hodnoty proměnné nebo atributu.
!	První znak na řádku komentáře.
CHANGE	Změna typu aktuální součásti.
SET ICON	Změna ikony elementu (není možno použít pro součásti).
SET LIVE	Nastavení doby nebo počtu operací, které zbývají do příštího seřízení pro daný element.
SET QUANTITY	Nastavení nového počtu (parametr QUANTITY) pro daný typ elementu.
SET QUANTITY LABOR	Nastavení nového počtu pracovních sil daného typu v dané směně.
SET CAPACITY	Nastavení nové kapacity pro daný element.
RECORD	Zaznamenání hodnoty do histogramu.
ADDBAR	Prodloužení sloupce histogramu, odpovídající dané hodnotě o inkrement, v dané barvě.
DRAWBAR	Zaznamenání pozorování do histogramu v dané barvě.
INTERACT COLOR	Nastavení barvy textu v interaktivním okénku.
INTERACT CURSOR	Nastavení polohy kurzoru v interaktivním okénku.
INTERACT CLEAR	Smazání dané oblasti v interaktivním okénku.

Tab. 3 Nezařazené akce programu Witness

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 ŘEŠENÉ ÚLOHY DO PROGRAMU WITNESS

Do programu Witness byly vytvořeny tři řešené příklady z oblasti simulace a optimalizace výrobních, obslužných a logistických systémů. Byly to příklady *Čerpací stanice*, *Menza* a *Výrobní linka*. Úloha *Čerpací stanice* se skládá ze sedmi dílčích programů a simuluje provoz a vytížení např. pokladny nebo stojanů na benzín u čerpací stanice pohonných hmot. Další vytvořenou úlohou je *Výrobní linka*, která simuluje provoz výroby dřevěných hraček (obr. 6). Třetí úloha, *Menza*, je popsána podrobněji v další kapitole.



Obr. 6 Výrobní linka

3.1 Úloha „Menza“

Úloha je rozdělena do sedmi dílčích kroků vytvářejících postupně finální úlohu. Každý dílčí krok vysvětluje jeden z důležitých postupů při tvorbě simulačního modelu.

3.1.1 Zadání úlohy

Vytvořte úlohu *Menza*. Postupujte podle zadaných kroků. Po každém kroku program uložte jako samostatný soubor.

1. Tvorba základního modelu se součástmi, stroji a zásobníky

Vytvořte model jídelny, který se skládá z

- fronty o kapacitě 30 strážníků
- 2 míst pro výdej jídla
- 1 pokladny
- 50 míst u stolů (obr. 7)

Lidé přicházejí v jednominutových intervalech.

Doba vydání jídla je 30 sekund, zaplacení jídla u pokladny trvá 20 sekund.

Konzumace oběda trvá 20 minut.

Po konzumaci jídla strážníci odcházejí (odešlete – destination SHIP).



Obr. 7 Obrázek k zadání úlohy *Menza*

2. Modelování náhodných jevů

Strážníci nepřicházejí v pravidelných intervalech, ale nezávisle na sobě, opět se střední dobou mezi příchody 1 minuta (rozdělení NEGEXP).

Doba odbavení u pokladny se pohybuje mezi 10. a 60. sekundami (rozdělení UNIFORM).

Doba výdeje jídla je různá, záleží na výběru strážníka (pohybuje se mezi 30. a 60. sekundami).

V průměru každý 10. strážník požaduje minutku, a tím na 3 minuty zablokuje výdejní místo z důvodu její přípravy.

3. Modelování pracovní síly a zdrojů

Pokladnu obsluhuje 1 pracovník, u výdeje jídel jsou 2 pracovníci. Ověřte, zda v době slabého provozu, kdy strážníci přicházejí v průměru každé 2 minuty, vystačíme s jedním pracovníkem pro obě pracoviště.

4. Vstupní a výstupní pravidla, standardní funkce

Pokud je ve frontě 15 strážníků a méně, strážníci čekají vždy. Pokud je ve frontě více než 15 strážníků (standardní funkce NPARTS), strážníci s pravděpodobností 60% ve frontě nečekají (výstupní pravidlo IF ... PERCENT) a odchází do restaurace.

5. Akce

Zobrazte celkový počet obslužených strážníků (využijte pomocnou proměnnou jako čítač).

Zobrazte počet strážníků ve frontě.

Zobrazte počet strážníků, kteří odešli do restaurace.

Zobrazte počet strážníků, kteří právě konzumují jídlo.

6. Modelování směn

Výdejna pracuje v pondělí - čtvrtek 10.30 – 15.00, v pátek 10.30 – 14.00.

7. Grafická prezentace výsledků

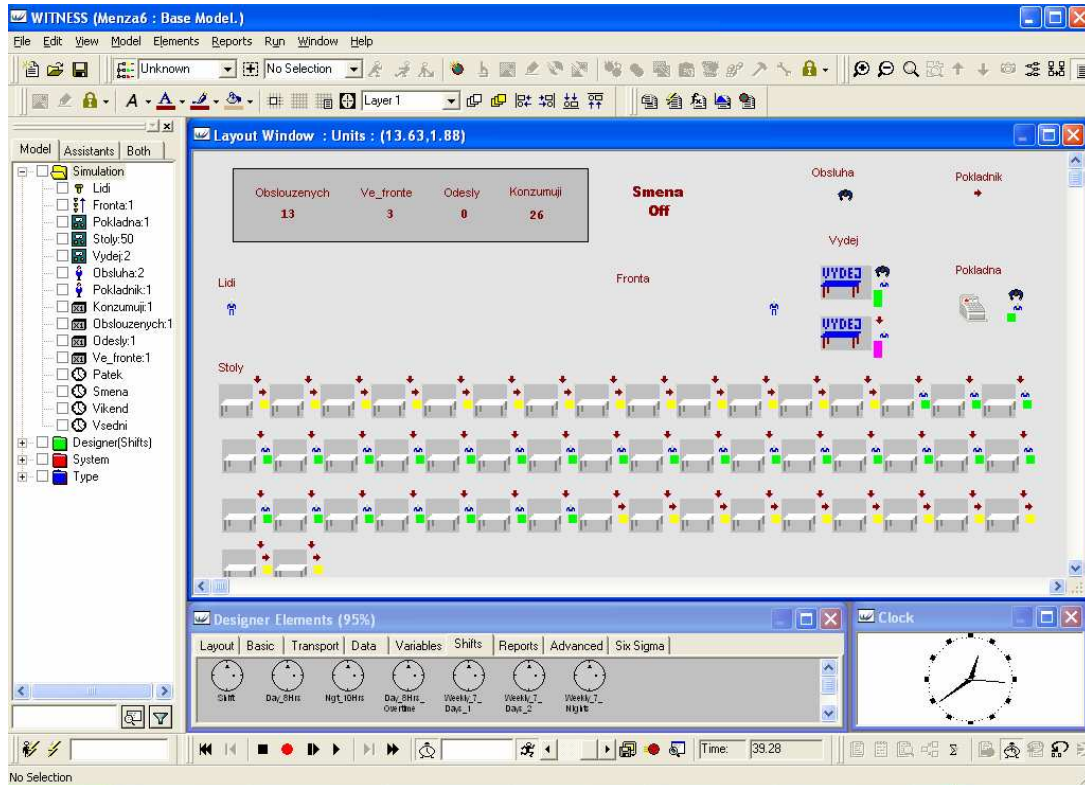
V časové posloupnosti zobrazte celkový počet strážníků v menze a počet strážníků čekajících ve frontě.

Ve formě kruhového diagramu znázorněte využití pokladny a výdejního místa, resp. využití jednotlivých pracovníků.

Ve formě histogramu znázorněte počet strážníků, kteří právě konzumují jídlo.

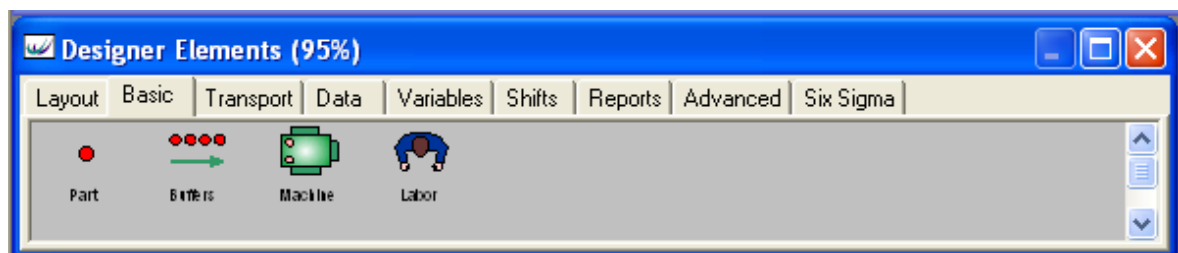
3.1.2 Popis řešení

Úloha Menza je tvořena součástmi *Lidi*, frontou, a stroji *Vydej*, *Pokladna* a *Stoly* (obr. 8).



Obr. 8 Řešená úloha - Menza

Modelování fronty se vytváří pomocí prvku *Buffers* umístěného v nabídce základních prvků v knihovně prvků (obr. 9). Do fronty se řadí lidé vytvoření pomocí prvku *Parts*. Místa pro výdej jídla, pokladna a stoly jsou modelovány pomocí elementu *Machine*. Poté jsou nastaveny pomocí funkce *Detail elements* vlastnosti příslušných prvků jako je např. jméno prvku, kapacita, množství těchto prvků, čas potřebný na zpracování jedné součásti a vstupní a výstupní pravidla.



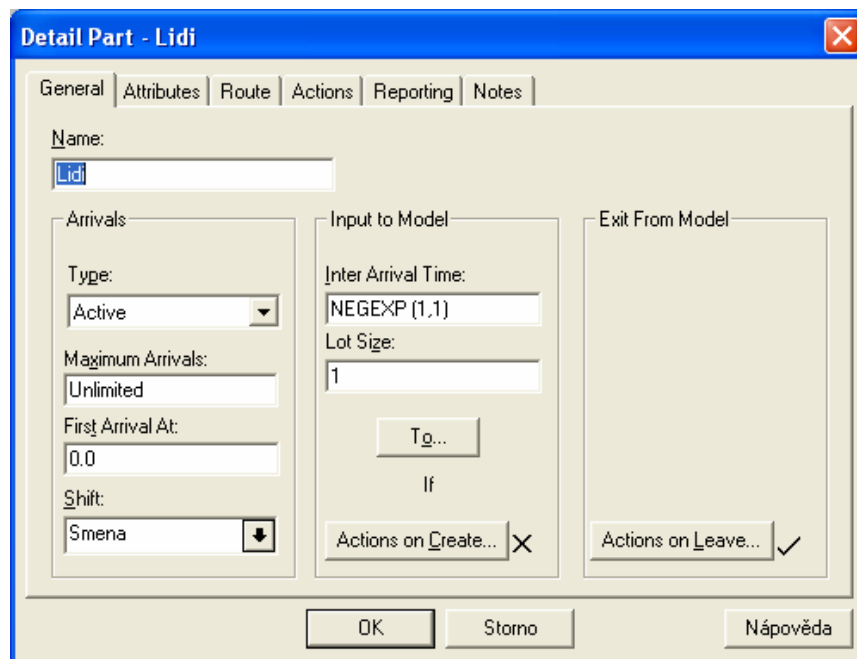
Obr. 9 Menza - Knihovna prvků

Nastavení prvku „Lidé“

Nejdříve se vyplňuje u každého nového elementu jméno vytvořeného prvku. Pomocí tohoto jména je prvek jednoznačně identifikován v modelu a dále se odkazuje na prvek jen pomocí jeho jména.

Lidé přicházejí do menzy samy a nejsou pouze odebírání jako materiál. Musí být tedy vytvořeny jako aktivní součásti. Proto je vlastnost *Typ součásti* nastavena na *Aktivní*. To ale znamená, že musí být vyplněn interval mezi příchody a počet součástí. Zde přicházejí lidé nezávisle na sobě se střední dobou mezi příchody 1 minuta (rozdělení NEGEXP) v počtu jeden prvek (obr. 10).

Součásti jsou posílány do fronty pomocí příkazu *Push to Fronta* zapsaného do příkazového okna otevřeného po kliknutí na tlačítko *To*. Lidé přicházejí do menzy jen v čase otevírací doby, která je realizována pomocí funkce *Smena*.



Obr. 10 Menza – Prvek Lidi

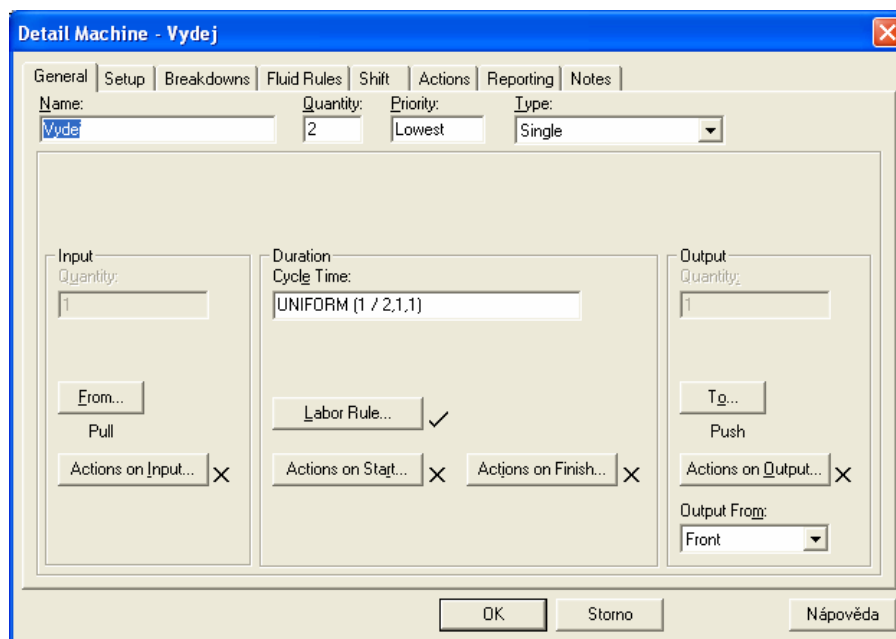
Nastavení prvků typu „Machine“

Pomocí prvku typu *Machine* jsou v úloze modelovány položky *Vydej*, *Pokladna* a *Stoly*.

Mezi nejdůležitější vlastnost patří typ stroje. Zde nastaven jako jednoduchý stroj. Popis jednotlivých typů najdete v kapitole 2.4.2. Další vlastností je počet těchto identických strojů. U položky *Stoly* je to např. 50. Další vlastností je operační čas, tedy čas který stroj po-

třebuje na zpracování jedné součásti. V případě výdeje se např. operační čas pohybuje náhodně mezi polovinou minuty a jednou minutou s rovnoměrným rozdělením UNIFORM (obr. 11).

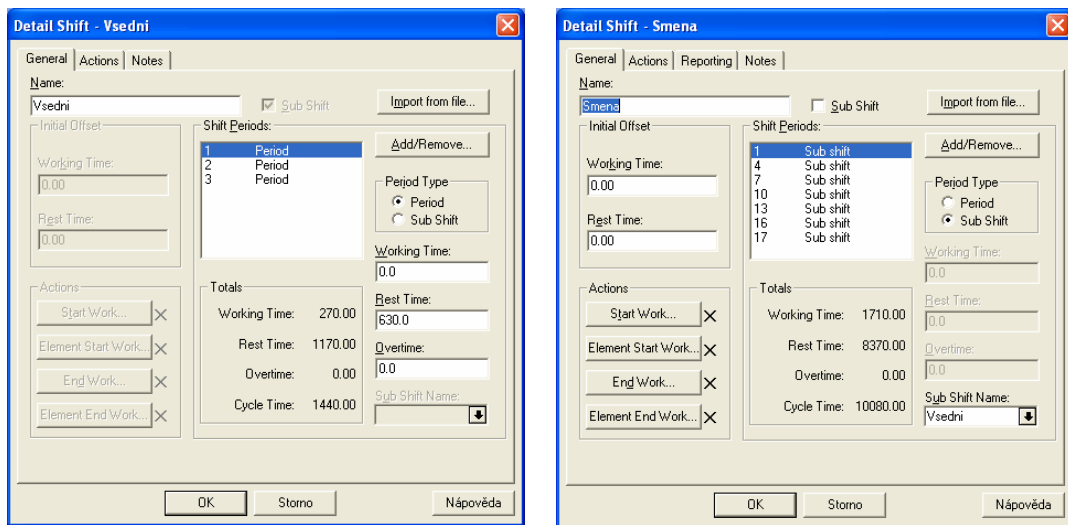
Dalšími důležitými vlastnostmi jsou vstupní a výstupní pravidla, pomocí kterých se definuje odkud bude stroj odebírat součásti a kam je bude po zpracování odesílat. Tyto parametry definujeme pomocí příkazů zapsaných do oken otevřených po kliknutí na tlačítka *From* a *To*. U prvku *Stoly* například odebíráme *Lidi* z pokladny příkazem *PULL from Pokladna* a odesíláme je do odbavených součástí příkazem *PUSH to SHIP*.



Obr. 11 Menza – Prvek Pokladna

Definování směn a podsměn

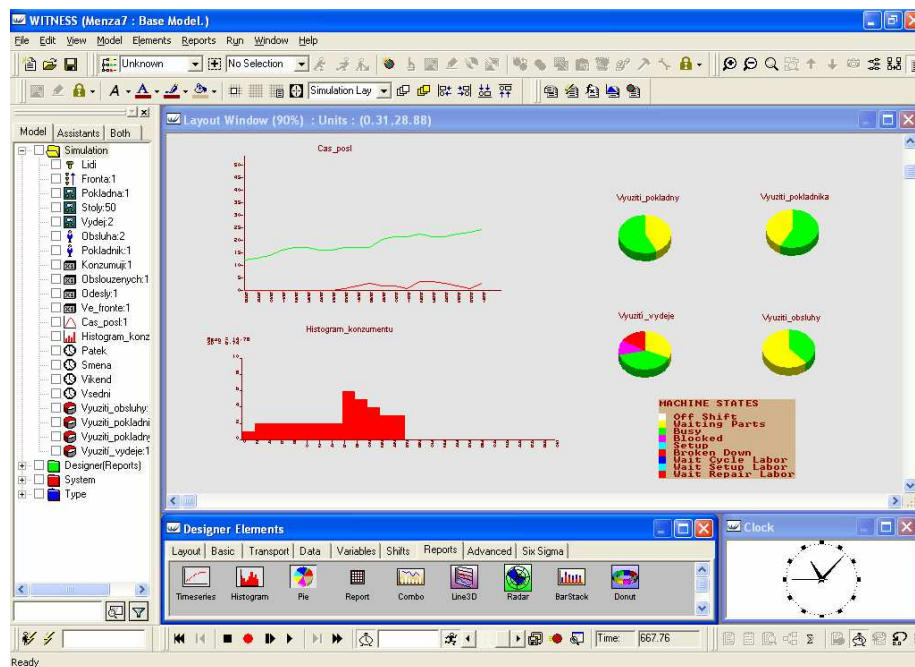
Tvorba podsměny je založena na postupném definování jednotlivých period ve stejném časovém sledu, v jakém směna probíhá v reálu. Menza je otevřená např. od pondělí do čtvrtka v době od 10.30 do 15.00. V programu Witness se definuje jako posloupnost tří period. První perioda má nastavený pracovní čas na nulu a odpočinkový čas na 630 minut (dobu od půlnoci do 10.30). Druhá perioda má pak nastaven pracovní čas na 270 minut a třetí perioda odpočinkový čas na 540 minut. Obdobně je vytvořena podsměna *Patek* a *Vikend*. Hlavní směna je pak vytvořena z těchto tří podsměn. Opakuje se zde čtyřikrát směna *Vsedni*, poté následuje směna *Patek* a následně dvakrát směna *Vikend*. Tím je definováno 7 dní v týdnu (obr. 12).



Obr. 12 Menza – Definování směn

Grafická prezentace výsledků

Program Witness má mnoho způsobů jak ve srozumitelné grafické formě zobrazit výsledky.



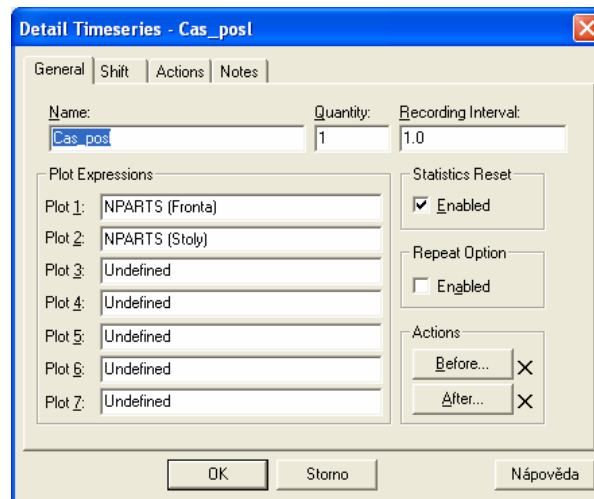
Obr. 13 Menza – Grafická prezentace výsledků

V řešeném příkladu *Menza* (obr. 13) je využit například *Histogram* znázorňující počet strávníků, kteří právě konzumují jídlo. Data do histogramu jsou zasílána pomocí příkazu

RECORD NPARTS (Stoly) in Histogram_konzumentu

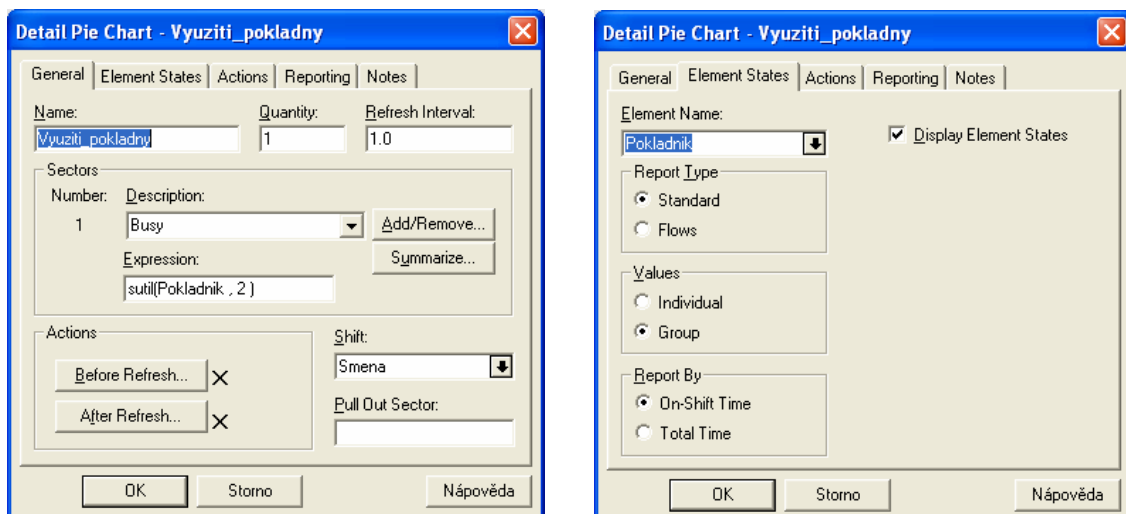
použitého v parametru *Akce na vstupu* v podokně pro definování vlastností prvku *Stoly*.

Dalším použitým způsobem zobrazení výsledku v úloze Menza je *Časová posloupnost* zobrazující počet strážníků čekajících ve frontě a počet strážníků obědvajících v menze. Nastavení parametrů časové posloupnosti je zobrazeno na obr. 14.



Obr. 14 Menza – Časová posloupnost

Posledním použitým typem zobrazení výsledků v úloze Menza je *Kruhový diagram* znázorňující využití pokladny a výdejního místa, resp. využití jednotlivých pracovníků. Je zde sledováno např. využití pokladníka v době nadefinované směny s aktualizacím intervalem 1 minuta modelovaného času (obr. 15).

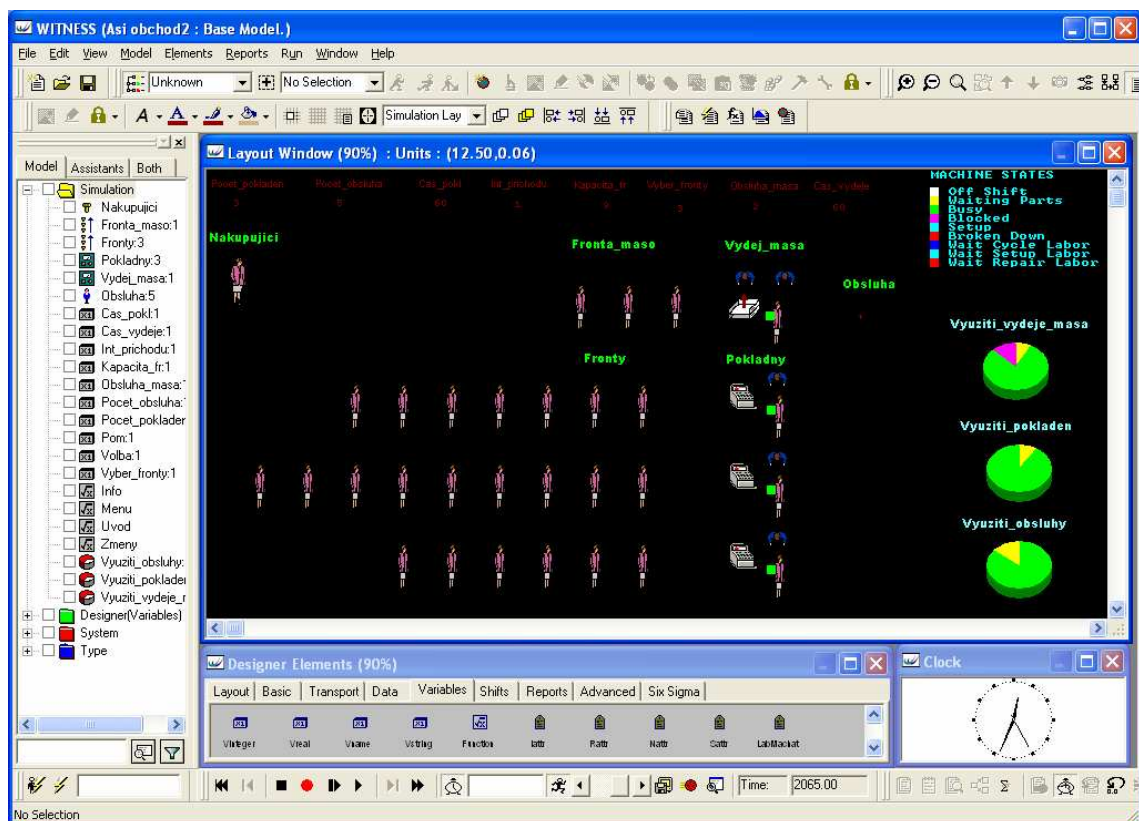


Obr. 15 Menza – Kruhový diagram

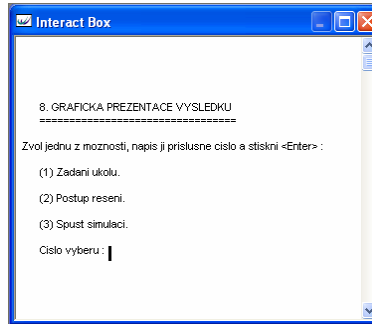
4 INTERAKTIVNÍ ÚLOHY

Součástí programu Witness je interaktivní okno, které se otevírá příkazem OPENBOX použitým ve funkci typu *void*. Pomocí tohoto okna lze sdělovat důležité informace, případně zadávat hodnoty do proměnných pomocí příkazu INPUT.

Jako studijní pomůcka pro předmět *Simulace systémů* byly vytvořeny tři interaktivní úlohy *Mycí linka*, *Prodejna* a *Výroba ventilů ACME*. V úloze *Mycí linka* je interaktivních možností programu Witness využito k informování uživatele o zadání úkolu a možnostech jeho řešení. Úloha *Prodejna* (obr. 16) již využívá interaktivních prvků i k zadávání důležitých vstupních hodnot od uživatele. Uživatel může zadávat např. počet pokladen, počet zaměstnanců prodejny, průměrnou dobu platby u pokladny apod. Poslední jmenovaná úloha je popsána podrobněji v další kapitole.

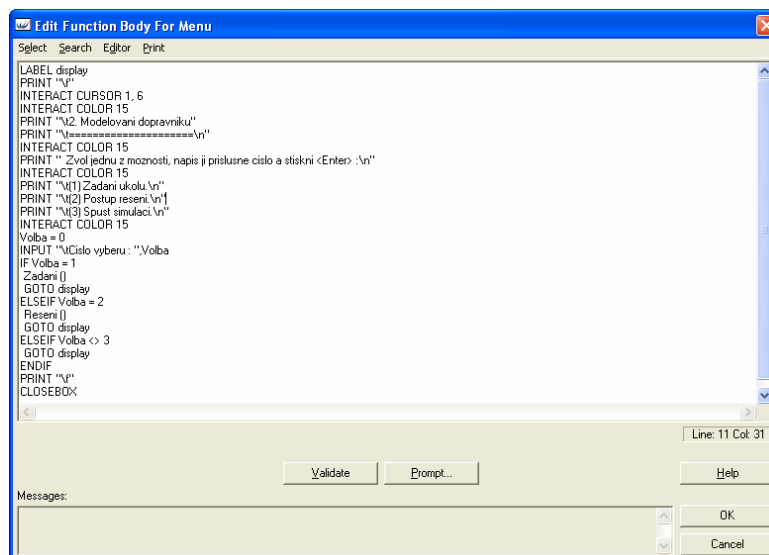


Obr. 16 Interaktivní úloha - Prodejna



Obr. 17 Menu

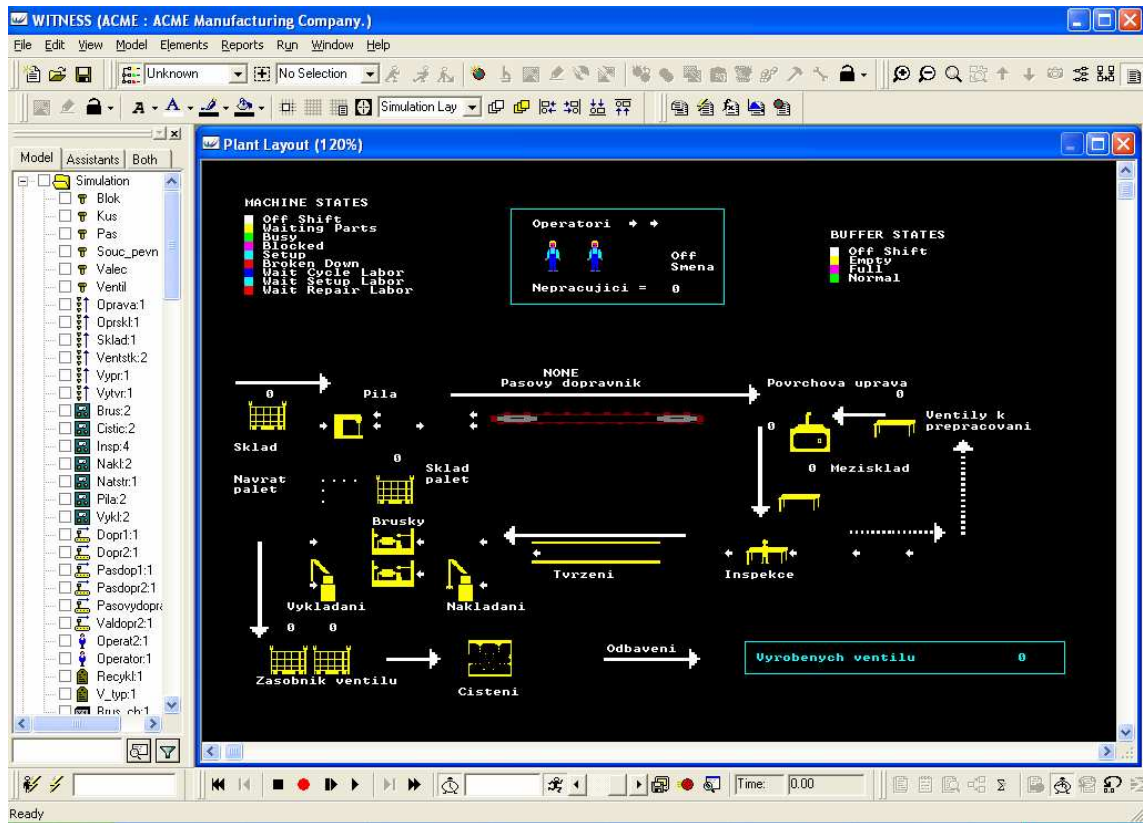
Na obrázku *Menu* (obr. 17) je příklad jednoduchého nabídkového menu a na obrázku *Menu – Použitý kód* (obr. 18) je zobrazen kód potřebný k jeho vytvoření. Tento kód byl použit k vytvoření menu použitého v interaktivní úloze *Mycí linka*.



Obr. 18 Menu – Použitý kód

4.1 Interaktivní úloha ACME

Součástí programu Witness je souhrn vzorových příkladů, mezi kterými je i interaktivní úloha ACME. Tato úloha je ideální pro představení interaktivních možností programu Witness. Jedním z úkolů této bakalářské práce bylo pochopit tuto úlohu a vytvořit ji v české podobě (obr. 19). Detailní popis této úlohy je připojen jako příloha 1.



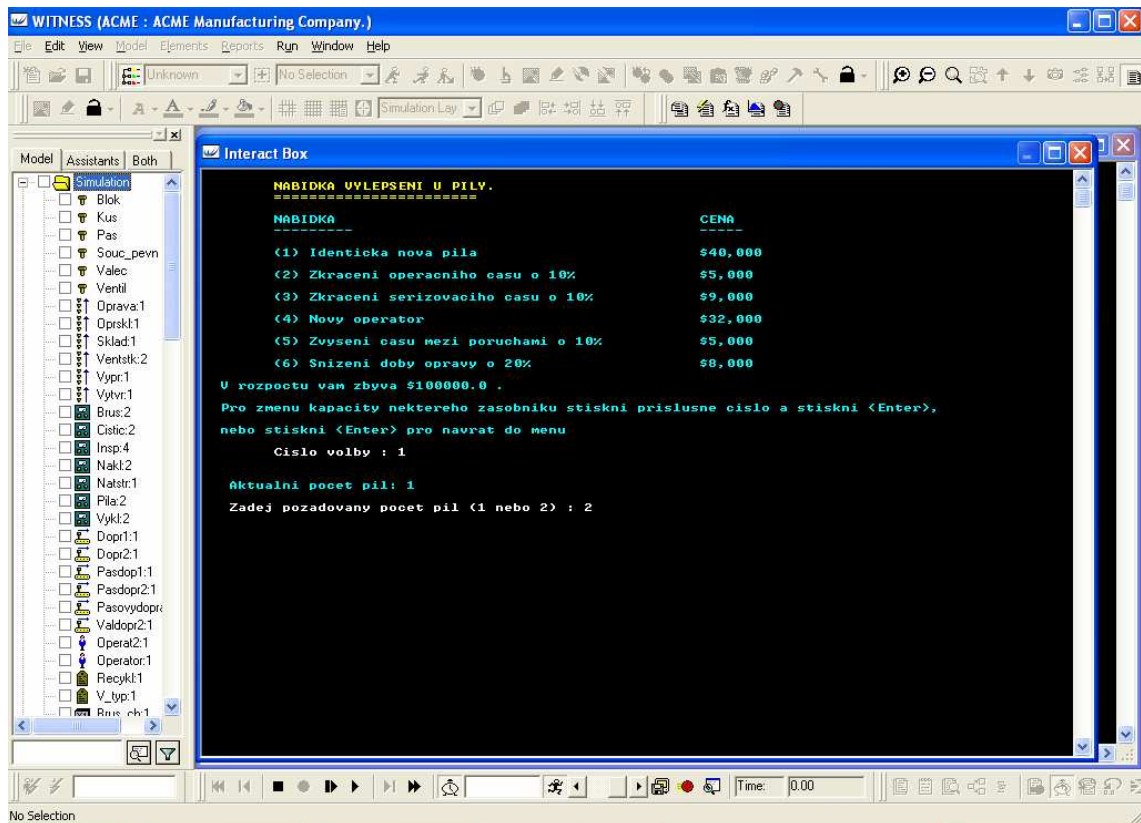
Obr. 19 Interaktivní úloha – ACME

Podstatou této úlohy je optimalizovat výrobu ventilů ve společnosti ACME. S rozpočtem 100000 dolarů máte provést takové změny, aby počet vyrobených ventilů za 38 hodin byl maximální. Nynější produktivita závodu je 60 až 80 vyrobených ventilů za uvedených 38 hodin. Změny se dají provést v oblastech Zásobníky, Pásový dopravník, Pila, Nanášení povrchové vrstvy, Inspekce, Nakládání a vykládání, Vytvrzování, Broušení a Čištění. Změnami je zde myšleno především změna počtu strojů, snížení jejich operačních časů, navýšení času mezi poruchami, nebo zvýšení kapacit strojů či velikosti dávek. Příklad zdrojového kódu pro změnu počtu pil je uveden na obrázku *ACME-Příklad kódu* (obr. 20) a výsledný efekt tohoto kódu je vyobrazen na obrázku *ACME – Vylepšení pily* (obr. 21).

```

Edit Function Body For Pila_zmena
Select Search Editor Print
LABEL display
Volba = 0
PRINT "y"
INTERACT COLOR Naddis
PRINT "NABIDKA VYLEPSENI U PILY."
PRINT "=====n"
INTERACT COLOR Text
PRINT "NABIDKAWWWWWCENA"
PRINT "N-----NWWN-----N"
PRINT "N(1) Identicka nova pilaWWW$40,000n"
PRINT "N(2) Zkraceni operacniho casu o 10%WWW$5,000n"
PRINT "N(3) Zkraceni serizovaciho casu o 10%WWW$9,000n"
PRINT "N(4) Novy operatorWWW$32,000n"
PRINT "N(5) Zvyseni casu mezi poruchami o 10%WWW$5,000n"
PRINT "N(6) Snizeni doby opravy o 20%WWW$8,000n"
PRINT " V rozpoctu vam zbyva $"FLOAT (Rozpocet) * 100;"n"
PRINT " Pro zmenu kapacity nektereho zasobniku stiskni prislusne cislo a stiskni <Enter>.n"
PRINT " nebo stiskni <Enter> pro navrat do menu.n"
INTERACT COLOR Txt_pouz
INPUT "Cislo volby : ".Volba
IF Volba = 1
LABEL display1
INTERACT CURSOR 1, 29
INTERACT COLOR Text
PRINT " Aktualni pocet pil: ".Pila_ks;"n"
INTERACT COLOR Txt_pouz
INPUT " Zadej pozadovany pocet pil (1 nebo 2) : ".Pom
IF Pom = 1 OR Pom = 2
Rozpocet = Rozpocet + 400 * (Pila_ks - Pom)
IF Rozpocet < 0
Rozpocet = Rozpocet - 400 * (Pila_ks - Pom)
INTERACT CURSOR 1, 34
Rozp_ks ()
GOTO display
ENDIF
Pila_ks = Pom
SET ICON of Pila(2) to 26
IF Pila_ks < 2
SET ICON of Pila(2) to 100
ENDIF
    
```

Obr. 20 ACME – Příklad kódu



Obr. 21 ACME – Vylepšení pily

ZÁVĚR

Úkolem této bakalářské práce bylo vytvořit řešené příklady a interaktivní úlohy do simulačního programu Witness, které budou sloužit půl semestru jako učební pomůcka pro výuku předmětu *Simulace systémů*.

Jako řešené příklady byly vytvořeny příklady *Čerpací stanice*, *Menza* a *Výrobní linka*. Příklady *Čerpací stanice* a *Menza* jsou rozděleny do sedmi dílčích kroků (sedmi souborů) vytvářejících postupně finální úlohu. Každý dílčí krok vysvětluje jeden z důležitých postupů při tvorbě simulačního modelu. Dílčími kroky jsou tvorba základního modelu se součástmi, stroji a zásobníky, modelování náhodných jevů, modelování pracovní síly a zdrojů, vstupní a výstupní pravidla, akce, modelování směn a grafická prezentace výsledků. Třetím příkladem je komplexnější příklad *Výrobní linka* zabývající se výrobou dřevěných hraček.

Dále byly vytvořeny tři interaktivní úlohy *Mycí linka*, *Prodejna* a *Výroba ventilů ACME*. V úloze *Mycí linka* je interaktivních možností programu Witness využito k informování uživatele o zadání úkolu a možnostech jeho řešení. Úloha *Prodejna* již využívá interaktivních prvků i k zadávání důležitých vstupních hodnot od uživatele. Uživatel v této úloze může zadávat např. počet pokladen, počet zaměstnanců prodejny, průměrnou dobu platby u pokladny apod. A třetí úloha *Výroba ventilů ACME* předvádí maximální schopnosti programu Witness a jeho široké uplatnění při řešení optimalizace výrobních, obslužných a logistických problémů.

V praktické části je popsána jedna z řešených úloh. Konkrétně úloha *Menza*. A je zde i zmíněna úloha *Výroba ventilů ACME* a část kódu použita pro vytvoření interaktivního menu této úlohy.

V první polovině teoretické části pak byla zpracována literární rešerše na téma diskrétní simulace a simulační prostředí Witness. Jsou zde definovány důležité pojmy jako systém, model nebo simulace. Dále je zde zmíněno něco o důvodech proč počítačovou simulaci využívat, o jejich přínosech a nákladech a možnostech jak počítačovou simulaci využít.

V druhé polovině teoretické části je uveden souhrn informací o simulačním prostředí Witness. Zabývá se zejména popisem základních prvků, ze kterých se skládá každý simulační model, stavbou modelu v prostředí Witness, nebo například pojmem generování pseudonáhodných čísel.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] HUŠEK, Roman, LAUBER, Josef. Simulační modely. 1. vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987. 343 s. ISBN: 99-00-00251-X
- [2] VAŠEK, Vladimír, VAŠEK, Lubomír. Simulace systémů. 1. vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1991. 136 s. ISBN: 80-214-0262-8
- [3] KŘIVÝ, Ivan, KINDLER, Evžen. Simulace a modelování. 1.vydání. Ostrava: Ostravská univerzita, 2001. 146 s. ISBN: 80-704-2809-0

Internetové zdroje:

- [4] *Katedra oděvnictví* [online]. 2005. 18.1.2006 [cit. 2006-01-25]. Dostupný z WWW: <http://www.kod.vslib.cz/ucebni_materialy/PSI/default.html>
- [5] *Počítačová simulace diskrétních událostí* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.humusoft.cz/pub/witness/9910/manlig.htm>>
- [6] *Sada nástrojů Witness HUMUSOFT* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.humusoft.cz/witness/witnescz.htm>>

Příručky:

- [7] Witness - Úvod do použití. HUMUSOFT s.r.o. 2006
- [8] Witness – manuál. HUMUSOFT s.r.o. 2003

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SHO Systém hromadné obsluhy

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Princip simulace	10
Obr. 2 Fáze simulačního projektu.....	15
Obr. 3 Pracovní plocha programu Witness.....	19
Obr. 4 Stavba modelu	21
Obr. 5 Knihovna prvků	22
Obr. 6 Výrobní linka.....	31
Obr. 7 Obrázek k zadání úlohy Menza	32
Obr. 8 Řešená úloha - Menza.....	34
Obr. 9 Menza - Knihovna prvků.....	34
Obr. 10 Menza – Prvek Lidi	35
Obr. 11 Menza – Prvek Pokladna	36
Obr. 12 Menza – Definování směn.....	37
Obr. 13 Menza – Grafická prezentace výsledků.....	37
Obr. 14 Menza – Časová posloupnost	38
Obr. 15 Menza – Kruhový diagram.....	38
Obr. 16 Interaktivní úloha - Prodejna	39
Obr. 17 Menu.....	40
Obr. 18 Menu – Použitý kód.....	40
Obr. 19 Interaktivní úloha – ACME	41
Obr. 20 ACME – Příklad kódu	42
Obr. 21 ACME – Vylepšení pily	42

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Řídící akce	28
Tab. 2 Akce pro vstup a výstup textu	28
Tab. 3 Nezařazené akce programu Witness.....	29

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Popis úlohy ACME

Příloha P II: Disk CD-ROM

U pily je přítomen operátor, který stroj seřizuje, opravuje a obsluhuje. Proces běží ve třísměnném provozu 7 dní v týdnu. Na každé směně je přítomen pouze jeden operátor. Během směny pracuje operátor 4 hodiny nepřetržitě a po 30. minutové přestávce pracuje další 3,5 hodiny.

Po rozřezání jsou bloky odesílány po pásovém dopravníku, který je přepravuje k nanášení povrchové vrstvy.

Tyče přicházejí v dávkách po 3, každou půl hodinu (první příchod v čase 0.00). Zásobník tyčí má kapacitu 10 tyčí.

Pila

Čas na rozřezání tyče na 3 kusy - 6 min

Seřizování :

- stroj je osazen dvěma typy čepelí, A a B
- čepel A potřebuje výměnu každých 30 operací
- čepel B potřebuje výměnu každých 40 operací

Doba seřízení je rovnoměrně rozložena mezi 10. a 15. minutami.

Operátor odchází na oběd, pokud mu zbývá více než 5 minut práce.

Poruchy: čas mezi poruchami má negativní exponenciální rozdělení se střední hodnotou 100.

Čas na opravu má trojúhelníkové rozložení s parametry: min=10, střed=25, max=30

Pásový dopravník

Délka - 2m

Rychlost - 2,5 min/metr

Nanášení povrchové vrstvy

Pro zvýšení odolnosti musí být rozřezaný materiál pokryt povrchovou vrstvou. Stroj zpracovává 6 bloků zároveň. Jakmile jsou bloky opatřeny vrstvou, jsou umístěny v zásobníku vedle inspekčního stanoviště. Inspektor vybírá ze svého zásobníku bloky jeden po druhém a určuje kvalitu vrstvy. Pokud není dostatečná, blok je umístěn do zásobníku součástí k přepracování. Stroj musí přednostně zpracovat součásti z tohoto zásobníku. Pokud blok projde inspekcí, inspektor jej předá k vytvrzení.

Stroj pro nanášení povrchové vrstvy

Trvání operace - 60 min

Seřízení - 5 min po každých 10 operacích

Inspektor

1 inspektor

Pravděpodobnost odmítnutí - 20%

Trvání inspekce - 20 min

Seřízení - 1 min/součást

Inspektor pracuje v týchž směnách jako operátor. Nepřerušuje práci, pokud pro dokončení operace potřebuje méně než 5 minut.

Mezisklad

Kapacita - 1 součást

Zásobník součástí k přepracování

Kapacita - 10 součástí

Vytvrzování

Součásti jsou zpracovávány individuálně - projíždějí otevřenou pecí (tj. delay bufferem - frontou s minimální dobou pobytu). Součásti jsou zušlechťovány nejméně jednu hodinu v peci, která obsahuje nejvýše 10 bloků. Součásti jsou z pece odebírány podle pravidla první dovnitř - první ven.

Parametry pece:

Čas zušlechťování - 60 minut.

Kapacita - 10 součástí.

Broušení

Aby vytvrzené bloky vyhověly zákaznickým požadavkům, musí se zabrušovat. K dispozici jsou dvě brusky - při přidělování práce není žádné z nich dávana přednost. Broušení vyžaduje speciální přípravek takže 4 bloky vstupují do stroje najednou. V systému je k dispozici 10 přípravků. Pokud nejsou v užívání, jsou skladovány v zásobníku přípravků. Bloky jsou na přípravky upevňovány v nakládací stanici a potom jsou odeslány k brusům. Jakmile je operace ukončena, brusky automaticky umístí přípravek se čtyřmi bloky do vykládací stanice. Vykládací stanice pošle vybroušené bloky (ventily) do skladů hotových produktů (mezi jednotlivými sklady se rozhoduje náhodně s pravděpodobností 50/50) a umístí přípravky na dopravník. Dopravník přemísťuje přípravky zpět do skladu přípravků pro opětovné použití.

Parametry přípravku

Počet přípravků k dispozici - 10

Délka - 0,5 m

Parametry nakládací stanice

Operační čas 4 minuty.

Parametry brusky

Operační čas 35 minut pro brusku 1.

Operační čas 40 minut pro brusku 2.

Čas mezi poruchami - normální rozdělení, střední hodnota 75 min, směrodatná odchylka 15 minut.

Doba opravy - negativně exponenciální rozložení se střední hodnotou 15 minut.

Za opravu brusky je odpovědný operátor pily.

Dopravník pro návrat přípravků

Délka - 3 m, (dva kusy 1,5 m dlouhé v pravém úhlu)

Rychlost - 0,5 m/min.

Parametry vykládací stanice

Operační čas 4 minuty.

Parametry zásobníků ventilů

Počet zásobníků - 2

Kapacita - 10 součástí/zásobník.

Čištění

Ventily jsou odebírány ze skladu ventilů a před odesláním jsou čištěny. Čistící stroj je typu vícestupňový stroj (Multistation Machine) s 5 jednotlivými stupni přes které ventil prochází. Další ventil na čištění se vybírá z toho zásobníku, který je nejplnější. Čistící hlava vyžaduje výměnu po každých 100 cyklech.

Parametry čistícího stroje

Operační čas - 15 minut/stupeň.

Počet stupňů - 5.

Čas mezi poruchami - Negativně exponenciální rozložení se střední hodnotou 120 minut

Doba opravy - Erlangovo rozdělení, střední hodnota 20 minut, parametr $k = 3$.

Za opravy čistícího stroje je odpovědný operátor pily.

Seřízení - každých 100 operací.

Doba seřízení - 5 minut.

Cíle

Cíl

Zvýšit celkovou produkci.

Rozpočet

100 000\$

Časování

Výroba: 38 hod (tj. 2280 min)

Zahřívací perioda: 8 hodin (tj. 480 minut)

Celková doba simulace 38+8 hodin (t.j. 2280+480 min) = 46 hodin (tj. 2760 min)

Ceny změn (\$)

Zásobníky

Zvýšení kapacity libovolného zásobníku o jednotku	100
---	-----

Pila

Identická nová pila	40000
---------------------	-------

Zkrácení operačního času o 10%	5000
--------------------------------	------

Zkrácení seřizovacího času o 10%	8,500
----------------------------------	-------

Nový operátor	32000
---------------	-------

Zvýšení času mezi poruchami o 10%	5000
-----------------------------------	------

Snížení doby opravy o 20%	7500
---------------------------	------

Pásový dopravník

Změna pásu na válečky	10000
-----------------------	-------

Nový dopravník jakéhokoliv typu	20000
---------------------------------	-------

Zkrácení operačního času o 10%	5000
--------------------------------	------

Povrchová úprava

Zvýšení velikosti dávky o 1 kus	10000
---------------------------------	-------

Zkrácení operačního času o 10 %	6500
---------------------------------	------

Zdvojnásobení počtu operací mezi seřizenými	5000
---	------

Inspekce

Nový inspektor a stroj	30000
------------------------	-------

Zkrácení operačního času o 10%	10000
--------------------------------	-------

Zkrácení seřizovacího času o 10%	5000
----------------------------------	------

Snížení zmetkovitosti o 50%	20000
-----------------------------	-------

Vytvrzování

Snížení operačního času o 10 minut	20000
------------------------------------	-------

Zvýšení kapacity o 1 součást	10000
------------------------------	-------

Nakládání/vykládání

Nový nakladač/vykladač	25000
------------------------	-------

Zkrácení operačního času o 10%	15000
--------------------------------	-------

Nový přípravek	5000
----------------	------

Bruska

Zkrácení operačního času o 10%	13000
--------------------------------	-------

Zdvojnásobení doby mezi poruchami	30000
-----------------------------------	-------

Čistící stroj

Další stroj	17500
-------------	-------

Zkrácení operačního času o 10%	10000
--------------------------------	-------

Zvětšit velikost dávky o 1 ventil	1000
-----------------------------------	------