

Využití počítačové simulace ve výuce předmětu Řízení a logistika výroby

Use of Computer Simulations in Teaching the Subject
of Management and Logistics of Production

Bc. Tomáš Malota

Diplomová práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Malota**
Osobní číslo: **A17290**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Využití počítačové simulace ve výuce předmětu Řízení a logistika výroby**

Téma anglicky: **The Use of Computer Simulations in Teaching the Management and Logistics of Production Subject**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Seznamte se s náplní předmětu "Řízení a logistika výroby" a navrhňte vhodné oblasti pro vytvoření simulačních experimentů objasňujících základní principy řízení a logistiky výroby.
3. Sestavte modely vybraných výrobních a logistických systémů v prostředí Witness.
4. Navrhňte simulační experimenty pro jednotlivé modely ve formě využitelné pro výukové účely. Specifikujte vstupní a výstupní veličiny.
5. Připravte dokumentaci popisující jednotlivé modely, experimenty, vstupní a výstupní veličiny. Dokumentaci doplňte o názorné řešené příklady.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **ŘEPA, Václav. Podnikové procesy: procesní řízení a modelování. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2007. 281 s. ISBN 978-80-247-2252-8.**
2. **KŘIVÝ, Ivan; KINDLER, Evžen. Simulace a modelování. Ostrava: Ostravská univerzita, 2001. 146 s.**
3. **JANÍČEK, Jiří; Návrh optimalizace skladového provozu. Brno: Vysoké učení technické, 2012. 61 s.**
4. **MULCAHY, David E; Joachim, SYDOW; A supply chain logistics program for warehouse management. Boca Raton: CRC Press, 2008. 514 p. ISBN 0849305756.**
5. **LENORT, Radim. Průmyslová logistika. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012. 98 s. ISBN 978-80-248-2584-7.**
6. **GROS, Ivan. Velká kniha logistiky. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. 507 s. ISBN 978-80-7080-952-5.**

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Bc. Bronislav Chramcov, Ph.D.

Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání diplomové práce:

3. prosince 2018

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2019

Ve Zlíně dne 7. prosince 2018

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.

děkan



prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D.

garant oboru

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne 15. května 2019

Tomáš Malota, v. r.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá využitím počítačové simulace ve výuce předmětu Řízení a logistika výroby. Počítačové simulace jsou založeny na simulaci reálných jevů. V tomto specifickém případě se oblast zájmu týká vzdělávání, v němž simulace může být definována jako počítačový program, který reprodukuje skutečný výrobní systém, ale ve zjednodušené formě navržené pro výuková témata. Jednotlivé modely byly sestaveny v software Witness. Počítačové simulace poskytují schopnost reprodukovat jevy s různou mírou složitosti k dosažení určitého daného vzdělávacího cíle. Důraz je kladen na praktickou formu výuky. Počítačové simulace, které umožňují interakci ze strany studenta, mohou v procesu učení představovat efektivní virtuální prostředí. Studenti mohou model studovat a zkoumat jeho chování v reakci na změny v některých jeho parametrech.

Klíčová slova: Witness, simulace, model, modelování, výuka, výrobní proces

ABSTRACT

This thesis deals with the use of computer simulations in teaching the subject of management and logistics of production. Computer simulations are based on the simulation of real phenomena. In this specific case, the area of interest is in the field of education, in which such simulation can be defined as a computer program that reproduces a real manufacturing system, but in a simplified form designed to provide learning themes. Particular models were constructed in Witness software. The computer simulations provide their ability to reproduce phenomena with varying degrees of complexity to obtaining some given educational objective. It emphasizes the practical form of the teaching. Computer simulations that allow interaction on the part of the student, can constitute effective virtual environments in their process of learning. The students can study the actual model and investigate its behavior in response to changes in some of its parameters.

Keywords: Witness, simulation, model, modeling, teaching, manufacturing process

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval lidem, bez nichž by tato diplomová práce nikdy nevznikla.

Nejprve bych chtěl poděkovat doc. Ing. Bc. Bronislavu Chramcovovi, Ph.D. za to, že od úvodní volby tématu zkušenostmi a odbornými radami formou konzultací průběžně přispíval k vývoji této práce v čase.

Současně bych chtěl poděkovat své manželce Ireně Malotové, která mi byla společně s dcerou Natálií během celého studia oporou.

Motto:

„CO SLYŠÍM, TO ZAPOMENU. CO VIDÍM, SI PAMATUJI. ALE CO SI VYZKOUŠÍM, TOMU ROZUMÍM.“

Konfucius

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 MODELOVÁNÍ A SIMULACE SYSTÉMŮ	11
1.1 KLASIFIKACE SYSTÉMŮ A MODELŮ.....	11
1.2 SIMULAČNÍ MODEL A JEHO NÁVRH	12
1.3 VÝHODY A NEVÝHODY SIMULACE.....	12
1.4 VYUŽITÍ POČÍTAČOVÉ SIMULACE VE VÝUCE.....	13
1.4.1 Využití počítačové simulace ve výuce předmětu Řízení a logistika výroby	13
1.4.2 Simulace výrobních a logistických systémů	14
1.4.2.1 Oblast návrhu a stavby výrobních systémů	14
1.4.2.2 Oblast plánování výroby.....	14
1.4.2.3 Oblast řízení výroby.....	14
2 SIMULAČNÍ SOFTWARE	15
2.1 PROGRAMOVÉ PROSTŘEDKY UMOŽŇUJÍCÍ SIMULACI	15
2.1.1 Programovací jazyky.....	15
2.1.2 Simulační programovací jazyky.....	15
2.1.3 Ostatní jazyky a programy	16
2.2 PRODUKTY PRO OBLAST DISKRÉTNÍ SIMULACE.....	16
2.3 PRODUKTY PRO OBLAST SPOJITÉ A KOMBINOVANÉ SIMULACE.....	16
3 SOFTWARE WITNESS	17
3.1 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ.....	17
3.2 ZÁKLADNÍ POUŽITÉ DISKRÉTNÍ ELEMENTY	19
3.2.1 Části (Parts).....	19
3.2.2 Zásobníky (Buffers)	19
3.2.3 Stroje (Machines)	19
3.3 VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ PRAVIDLA.....	20
3.4 DALŠÍ PRVKY SIMULAČNÍHO MODELU	20
3.5 TEORIE PRAVDĚPODOBNOTI.....	21
3.6 GENEROVÁNÍ NÁHODNÝCH ČÍSEL.....	21
II PRAKTICKÁ ČÁST	23
4 ŘÍZENÍ A LOGISTIKA VÝROBY	24
4.1 POSTAVENÍ VÝROBY V SYSTÉMU ŘÍZENÍ PODNIKU.....	25
4.2 OPERATIVNÍ PLÁNOVÁNÍ.....	25
5 STANOVENÍ POŘADÍ ZAKÁZEK	26
5.1 MODEL S JEDNÍM STROJEM.....	26
5.1.1 Popis modelu.....	26
5.1.2 Simulační experimenty.....	27
5.1.3 Řešený příklad.....	27
5.2 MODEL SE DVĚMA STROJI – PRIORITYNÍ PRAVIDLA	31
5.2.1 Popis modelu.....	32
5.2.2 Simulační experimenty.....	32

5.2.3	Řešený příklad.....	33
5.3	MODEL SE DVĚMA STROJI – ROZVRHOVÁNÍ PODLE JOHNSONOVÝCH PRAVIDEL	36
5.3.1	Popis modelu.....	37
5.3.2	Simulační experiment.....	38
5.3.3	Řešený příklad.....	38
5.4	MODEL SE DVĚMA STROJI – NÁHODNÉ POŘADÍ	43
5.4.1	Popis modelu.....	44
5.4.2	Simulační experimenty.....	45
5.4.3	Řešený příklad.....	45
5.5	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ	46
6	OBJASNĚNÍ ROZDÍLU MEZI SYSTÉMY TLAKU A TAHU (PUSH VS. PULL SYSTÉM).....	46
6.1	MODEL DEMONSTRUJÍCÍ JEJICH PŮSOBNÍ	48
6.1.1	Popis modelu.....	49
6.1.2	Simulační experimenty.....	50
6.1.3	Řešený příklad.....	51
6.2	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ.....	54
	ZÁVĚR	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	59
	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
	SEZNAM TABULEK.....	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	62

ÚVOD

Podíváme-li se na současný svět, který nás obklopuje a položíme-li si otázku, zda je to systém jednoduchý nebo složitý, pak budeme-li chtít odpovědět pravdivě, musíme konstatovat, že se jedná o velmi složitý systém.

Bylo by jednodušší, kdyby všechno kolem nás bylo nějak přesně, deterministicky určené (kdo ví, možná, že je) a my to dovedli s naprostou přesností popsat, zakreslit, spočítat, naprogramovat... Jenže v reálném okolním světě hrají poměrně velkou roli těžko popsatelné prvky náhody. Asi je tomu tak dobře – kdybychom všechno s bezchybnou přesností nepočítající s ničím neznámým ovládali, různorodost okolního světa by se dávno vytratila (všechno by bylo jaksi dané, nic by nás nepřekvapilo, ničemu bychom se nepodivovali). Právě ona různorodost vždy vytváří prostor k objevování nějakých nových, dosud skrytých zákonitostí, kterých jsme si možná dosud nevšimli.

V dnešním složitém (a rychle se měnícím) světě velmi záleží na inovativním přístupu k řešení problémů, na pohledu, jakým se na zkoumaný (sub)systém díváme. Jedním z takovýchto inovativních pohledů na řešení reálných problémů tohoto světa, jsou i počítačové simulace, jejichž využití je dnes poměrně široké. V oblasti výuky je jejich využití již v dnešní době zastoupeno a osobně se domnívám, že v budoucnosti budou v této oblasti nalézat ještě větší uplatnění.

Student se nejvíce naučí, pokud má možnost si na problém tak říkajíc „sáhnout.“ To často v reálném prostředí úplně jednoduše uskutečnit nelze, ale právě využití počítačových simulací ve výuce může být jakýmsi pomyslným „nástrojem-dalekohledem,“ který nám původně vzdálenou problematiku více „přiblíží“ a my ji můžeme „zblízka“ lépe pochopit.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MODELOVÁNÍ A SIMULACE SYSTÉMŮ

Simulace patří do souboru relativně samostatných, vědecko-výzkumných disciplín zaměřených na analýzu rozhodovacích problémů v rámci nějakého systému. Soubor těchto disciplín označujeme jako operační výzkum (operational research). Slovo simulace pochází z latinského slova *simulo* a znamená napodobit. Princip spočívá v tom, že originální systém, který hodláme analyzovat, nahradíme jeho napodobeninou – modelem.

Teorie této vědecko-výzkumné metody vznikla historicky dříve, ale protože jsou simulace vysoce výpočetně náročné, nedostatečný rozvoj výpočetní techniky dlouho bránil většímu praktickému užití, k jehož rozmachu došlo v dnešní době. Zásadní je i skutečnost, že používáním současných sofistikovaných softwarových prostředků významně klesá spotřeba času na tvorbu simulačních modelů. Podle zkušeností odborníka, který se podílel na aplikacích simulací už v 70. letech 20. století, došlo k poklesu pracnosti minimálně o jeden řád. [1]

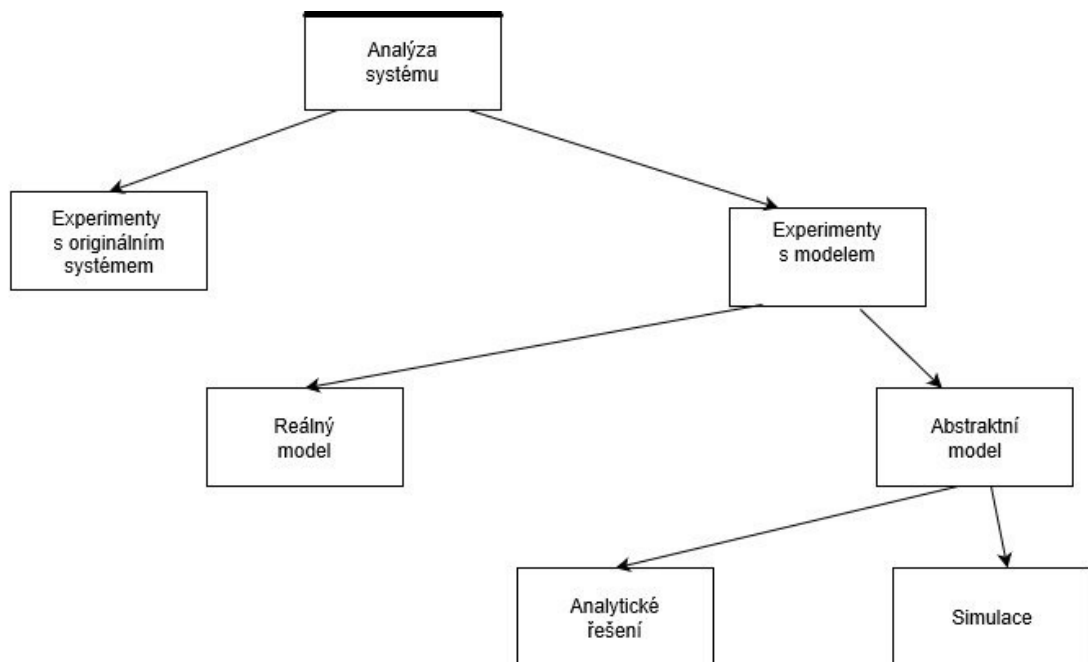
1.1 Klasifikace systémů a modelů

Rozlišujeme 3 významná kritéria pro třídění systémů (a modelů) důležité pro analýzu systémů a to:

- a) Podle závislosti na čase – zda se v čase něco mění; u dynamických systémů se v čase něco mění (okolní svět je vysoce dynamický, klíčová je proto analýza dynamických systémů) nebo u statických systémů ke změnám v čase nedochází. (Statický systém ale můžeme považovat za aktuální snímek dynamického systému, analýza statického systému je jednodušší.)
- b) Podle typů procesů probíhajících v systému – zda jevy můžeme popsat funkcemi spojitými (kontinuálními) nebo nespojitými (diskrétními).
- c) Podle rozsahu a hloubky znalostí o systému a procesů v něm probíhajících rozlišujeme systémy deterministické a stochastické. U deterministických systémů je jejich průběh přesně jednoznačně určený, dokážeme jednoznačně určit, jak se stav systému změní, což ale vyžaduje úplnou, dokonalou znalost, kterou prakticky nikdy nemáme; většina systémů je stochastických (popisujeme je přibližně, důležitou roli zde hraje pravděpodobnost).

1.2 Simulační model a jeho návrh

Pro účely analýzy uvažujeme o nějakém systému z reálného světa. Tento analyzovaný systém označíme jako originální - původní systém. Pod pojmem model systému rozumíme jiný systém, který je zpravidla zjednodušením původního systému. Zjednodušování ale s sebou nese vždy určitá nebezpečí – musíme vědět, které prvky (elementy) nebo které vztahy (vazby) mezi nimi můžeme zanedbat. Z analýzy modelu usuzujeme zpět na chování původního systému.



Obrázek 1 - Začlenění simulace (vlastní zpracování)

1.3 Výhody a nevýhody simulace

Výhody – velmi komplikované systémy nemohou být popsány matematickým modelem, který by mohl být evaluován analyticky; pomocí simulace lze analyzovat i dosud nerealizované systémy; simulace zpravidla trvá kratší čas než experiment s reálným originálním systémem; simulací lze „střetnout“ i velmi specifické požadavky; lze použít limitní podmínky bez hazardování s reálným poškozením; při simulaci máme lepší kontrolu nad experimentálními podmínkami.

Nevýhody – u stochastických systémů musíme provést vysoký počet pokusů pro statistické vyloučení neúspěchu; pokud problém umíme vyřešit analyticky, simulace je naprosto zbytečná; výsledek pěkně graficky zpracovaný svádí k tomu, abychom mu věřili, ale výsledek pouze jednoho experimentu věrohodně nevypovídá; nutnost validovat simulační model,

protože chybný model může mít fatální vliv na průběh simulace a výsledky simulačních experimentů [2]; náklady na simulační programy a jejich kvalifikovanou obsluhu jsou poměrně vysoké.

1.4 Využití počítačové simulace ve výuce

Počítačové simulace jsou využívány pro výuku různých předmětů, na různých typech a stupních škol. Jejich nespornou výhodou je, že praktická výuka s využitím reálných systémů je omezená z hlediska prostorového i časového, naproti tomu počítačové modely jsou alternativou blízkou reálným systémům, která tato omezení eliminuje. [3]

Při kritickém pohledu je ale třeba mít vždy na paměti, že se jedná o určitá zjednodušení, která sice mohou přispět k objasnění konkrétního problému, ale nepostihují realitu v úplnosti, což může v některých situacích žáky a studenty svádět k přehlížení i důležitých, nezanedbatelných aspektů.

1.4.1 Využití počítačové simulace ve výuce předmětu Řízení a logistika výroby

Na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, v bakalářském studijním programu Inženýrská informatika, v oboru Inteligentní systémy s roboty, je realizována výuka předmětu Řízení a logistika výroby. V systému STAG, v sylabu předmětu je mj. uvedeno: „Teoretické znalosti jsou doplněny praktickými poznatky, které studenti získají ve cvičení při řešení vybraných úloh přímo s využitím simulačního programového systému.“ Mimo zmíněného předmětu bakalářského studijního programu je na stejné fakultě realizován v magisterském studiu v oboru Informační technologie i předmět Simulace systémů. V rámci Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně je kromě Fakulty aplikované informatiky, využití počítačové simulace v oblasti řízení a organizace výroby podporováno také na Fakultě managementu a ekonomiky. Při pohledu na jiné veřejné vysoké školy v České republice, se z důvodu aktuálnosti problematiky počítačová simulace ve výuce obdobných předmětů uplatňuje hned na několika dalších, technicky zaměřených vysokých školách. Jedná se zejména o Technickou univerzitu v Liberci, České vysoké učení technické v Praze, Vysoké učení technické v Brně a Vysokou školu báňskou – Technickou univerzitu v Ostravě; čímž pravděpodobně jejich výčet nekončí, ale uvedené dostatečně deklarují, že zájem technických vysokých škol na podpoře výuky výrobních předmětů formou počítačových simulací, je v současné době značný.

Využití počítačové simulace ve výuce na výrobu zaměřených předmětů je zcela přirozené, protože i naprosto elementární, jednoduché modely, pomáhají objasňovat základní principy, závislosti a vazby. Pro správné pochopení je velmi přínosné studium již hotových modelů s možností měnit jejich různá nastavení a parametry.

Další pokročilou možností může být tvorba modelů studenty a nezanedbatelným využitím počítačových simulací ve výuce, je také možnost sestavování počítačových modelů studenty v rámci jejich diplomových, případně dizertačních prací.

1.4.2 Simulace výrobních a logistických systémů

Z důvodu rostoucí složitosti systémů, roste z hlediska sledování efektivnosti výroby i potřeba na zvyšování reakční schopnosti na různé, neočekávané výkyvy. Je potřeba pružně reagovat, ale každá změna s sebou vždy nese i riziko. Jednou z možností, jak se tomuto riziku vyhnout, je použití počítačové simulace (změnu a její důsledky je možné předem simulovat-vyzkoušet a teprve poté provést změnu reálnou). Často také dochází k rozhodování nikoli, zda změnu provést či ne, ale pokud je změna nevyhnutelná, je možné se například rozhodovat mezi různými variantami potřebné změny a simulace poskytne zdůvodnění pro rozhodnutí výběru konkrétní varianty dané změny.

Do povědomí vedoucích technických pracovníků ve výrobních závodech se dostává i termín digitální továrna (digital factory), který obecně pokrývá širokou oblast virtuální přípravy výroby, do ní je zahrnována i simulace výroby. [4]

1.4.2.1 Oblast návrhu a stavby výrobních systémů

Jedná se o simulace, jaká zařízení (výrobní, manipulační, dopravní) použít a jak je prostоровě rozmístit.

1.4.2.2 Oblast plánování výroby

Jedná se o simulace, jak výrobu v prostoru a především v čase realizovat, oblastí zájmu bude dlouhodobější dosah.

1.4.2.3 Oblast řízení výroby

Velmi podobné a související s předchozí oblastí, s tím rozdílem, že je to chápáno jako v reálném čase, oblastí zájmu je krátkodobější dosah.

2 SIMULAČNÍ SOFTWARE

Jako simulační software jsou zpravidla označovány speciální produkty určené výhradně pro oblast simulací. U složitějších simulačních modelů z reálného světa, je v případě potřeby řešení nějakého problému pomocí počítačové simulace, jejich použití nutností. Pouze v případě těch nejjednodušších simulačních modelů lze tyto simulace realizovat i pomocí nesespecializovaného software, který není k tomu výhradně určen a to s určitou znalostí jeho pokročilejšího využití; pak lze typicky pro tento účel použít i běžně používaný tabulkový procesor Excel. Většinou je ale nezbytné použít nějaký (v současnosti již běžně dostupný) specializovaný simulační software. Nicméně tabulkový procesor Excel (případně nějaká jeho alternativa) může i v případě použití speciálního simulačního produktu dobře posloužit jako doplňkový nástroj k tomuto produktu, jak bude uvedeno v praktické části této práce.

2.1 Programové prostředky umožňující simulaci

Prostředky pro simulační modelování budou popsány v podkapitolách níže. Na tomto místě je vhodné zmínit, že v případě současných moderních simulačních systémů došlo k velké změně v chápání náplně práce toho, kdo simulaci prostřednictvím simulačního systému provádí. Zatímco dříve byla středobodem práce často zdoluhavá tvorba modelu a uživatel byl spíše programátorem „programujícím“ řešenou úlohu, dnes se těžiště práce přesouvá do oblasti analýzy problému a stanovení strategie řešení; uživatel je tak dnes spíše analytikem než programátorem. [5]

2.1.1 Programovací jazyky

Volba tohoto prostředku je v současné době záležitostí spíše ojedinělou. Avšak i dnes simulační model může vytvářet programátor v některém z obecných programovacích jazyků (například v jazyce C++), ale je to pro programátora práce velmi náročná při tvorbě složitých modelů.

2.1.2 Simulační programovací jazyky

Speciální požadavky směřovaly ke vzniku přímo na simulace určených programovacích jazyků. Aby nedošlo k záměně – striktně vzato by se zde měly zařadit pouze obecné simulační jazyky (kde by byl vstupem zdrojový kód), toto rozčlenění produktů je však koncipováno poněkud volněji (týká se to i kapitol 2.2 a 2.3) z důvodu určitého stírání rozdílů a

obtížného definování přesných hranic mezi danými produkty. Ve volnějším pojetí jsou zde tedy (záměrně) zařazeny i nástroje používající grafické uživatelské rozhraní. Snahou je umožnit uživateli jednodušší a rychlejší vytváření často znovu-použitelných modelů. Většina prostředí pro simulaci je totiž v současnosti ve formě tzv. vizuálního interaktivního modelovacího systému (VIMS, anglicky Visual Interactive Modelling System). Do maximální míry bylo programování nahrazeno operacemi v uživatelsky přívětivém grafickém prostředí s předem definovanými objekty. [6]

2.1.3 Ostatní jazyky a programy

Pro některé typy simulačních modelů může být prospěšné použití i některých dalších programových prostředků jako je matematicko-technický výpočetní systém MATLAB od společnosti MathWorks, který je navíc integrován s dalšími nadstavbami (typicky pro tuto oblast se jedná o nadstavbu SIMULINK).

2.2 Produkty pro oblast diskrétní simulace

Zde je uveden stručný přehled, některých vybraných produktů: ARENA (jak bude zmíněno dále, tak produkt ARENA umožňuje i kombinovanou simulaci), GPSS/H, MedModel (simulace ve zdravotnictví), ProModel, SIMPROCESS, SIMSCRIPT, SIMUL8, Witness.

2.3 Produkty pro oblast spojitě a kombinované simulace

Zde je opět uveden pouze stručný přehled produktů: STELLA, Vensim, Powersim pro oblast spojitě simulace a již zmíněná ARENA a produkt ExtendSim pro oblast kombinované diskrétní-spojitě simulace. [6]

3 SOFTWARE WITNESS

Software Witness je vyvíjen britskou společností Lanner Group. Jedná se o špičkový produkt, který se postupně vyvíjel do současné podoby. Witness byl první z průmyslových 4GL simulátorů. [7]

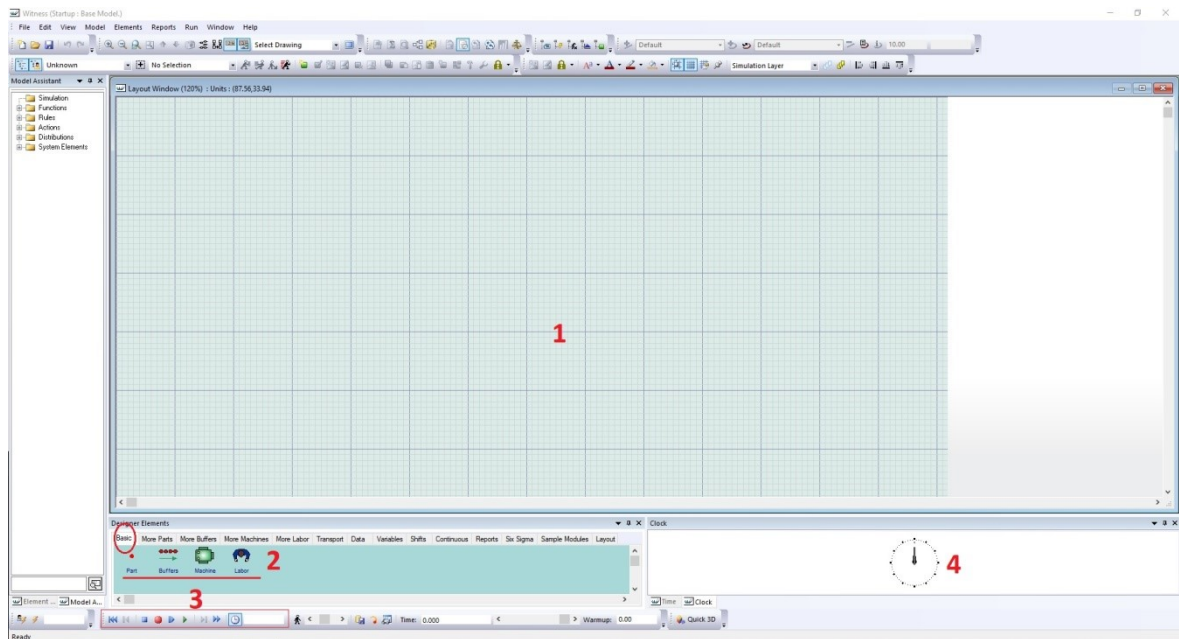
Aktuálně poslední verze vydaná společností Lanner Group nese označení Witness Horizon. Pro tvorbu simulačních modelů, které jsou nedílnou součástí této diplomové práce, byla použita verze Witness 14, která existuje ve dvou edicích: Service and Process Performance Edition a Manufacturing Performance Edition (v diplomové práci byla pro sestavení simulačních modelů použita druhá zmíněná edice).

3.1 Uživatelské prostředí

Uživatelské prostředí je pro obsluhu velmi příjemné a práce s programem je do značné míry intuitivní. Níže je uveden popis vybraných částí:

- 1 Pracovní plocha (Layout Window) – na této ploše jsou zobrazeny sestavené simulační modely; při jejich tvorbě se zde technikou drag and drop (táhni a pusť) běžně známou z mnoha grafických programů, vkládají jednotlivé elementy (prvky) modelu.
- 2 Designer elementů (Designer Elements) – pod jednotlivými záložkami jsou sady konkrétních elementů, které budou podrobněji popsány v následující podkapitole. Zvolená záložka na obrázku (Basic) je zdůrazněna červeným kroužkem, základní (Basic) elementy jsou zvýrazněny podtržením.
- 3 Lišta pro ovládání běhu simulace – část této lišty (ne celá) je na obrázku zvýrazněna tenkým červeným obdélníkem a tlačítka v této zvýrazněné části budou samostatně popsány.
- 4 Hodiny – slouží pro zobrazení časového chodu simulace a mohou být buď „ručičkové,“ jak je vidět na ilustračním obrázku níže nebo je lze přepnout na číselné vyjádření (Time/Clock).

Záměrně není podrobněji popsán Model Assistant na levé straně obrazovky (velký význam spíše u velmi rozsáhlých modelů) a hlavní menu na horní straně obrazovky, protože je velice podobné jako v běžných okenních aplikacích.



Obrázek 2 - Uživatelské prostředí programu Witness

Na obrázku níže je v detailu zobrazena část lišty pro ovládání běhu simulace. Význam použití tlačítek na uvedené části lišty bude důležitý při řešení příkladu v podkapitole 6.1.3 této práce.



Obrázek 3 - Vybrané ovládání simulace

Popis vybraných tlačítek na liště pro ovládání běhu simulace:

- 1 Tlačítko Begin – vrací simulaci na začátek, tj. resetuje simulační čas na nulu (jedno z nejdůležitějších tlačítek, pro opakované spuštění simulace).
- 2 Tlačítko Autostep Back – posun pozpátku na poslední uložený stav (nebude použito).
- 3 Tlačítko Stop – zastaví běžící model (často používané).
- 4 Tlačítko Auto Save – zapne nebo zastaví automatické ukládání (nebude použito).
- 5 Tlačítko Step – umožňuje, aby model pokračoval po krocích („krokování“ by někdy mohlo být použito pro pomalejší zachycení a pochopení toho, co jinak probíhá rychle).
- 6 Tlačítko Run – spustí simulaci (použití při každém spuštění).
- 7 Tlačítko Autostep Forward – posun dopředu na poslední uložený stav (nebude použito).

- 8 Tlačítko Batch – simulace poběží bez displeje na stanovený čas; důležité je, aby tlačítko napravo od tohoto tlačítka bylo „zakliknuto“ a další tlačítko napravo obsahovalo zadaný časový údaj, na kterém se má simulace zastavit, viz popis následujících tlačítek (tlačítko Batch bude v příkladu použito).
- 9 Tlačítko Stop Run At – pokud se stiskem tlačítka Batch chceme přesunout na určitý časový údaj, je důležité, aby toto tlačítko bylo „zakliknuto,“ tj. byl kolem něj modrý rámeček, jako na ilustračním obrázku (tlačítko Stop Run At bude v příkladu použito).
- 10 Políčko Time Expression/Element Name slouží k zapsání časového údaje, na který je žádoucí se v běhu simulace dostat; souvisí s předešlými dvěma popisovanými tlačítky (simulačními časy vyplňované políčko Time Expression/Element Name bude v příkladu používáno).

3.2 Základní použité diskrétní elementy

Základními diskrétními elementy určenými pro použití v simulačním prostředí Witness jsou části (parts), zásobníky (buffers), stroje (machines) a pracovní síla (labor). Pracovní síla (labor) není použita v sestavených modelech, proto ani není v dalším textu popisována.

3.2.1 Části (Parts)

Jedná se o části, díly, které daným modelem procházejí. Mohou být zpracovávány jednotlivě, ale také je možné je smontovat dohromady. Mohou být děleny nebo se může měnit jedna na druhou (materiál na výrobek). Mohou také nést určitou informaci prostřednictvím tzv. atributů (budou zmíněny v podkapitole 3.4). Mohou být aktivní, pasivní (jsou vtahovány do modelu z vnějšího světa) nebo aktivní s profilem (podle předem definovaného profilu vstupují do modelu).

3.2.2 Zásobníky (Buffers)

Jedná se o zásobníky, skladovací prostory, fronty a další místa, určené ke skladování nebo udržování částí. Lze stanovit jejich maximální kapacitu (capacity).

3.2.3 Stroje (Machines)

Jedná se o stroje nebo činnosti, které tvoří funkční prvky v simulačním modelu. Tyto elementy mohou reprezentovat všechno, co někde může odebírat části, nějakým způsobem je zpracovávat a pak předávat dál.

V simulačním prostředí Witness existuje několik typů strojů, níže popsány jsou typy v sestavených simulačních modelech použité:

- stroj typu Single – vstupuje do něj, i vystupuje z něj jeden díl
- stroj typu Production – vstupuje do něj jeden díl, ale vystupuje z něj více dílů
- stroj typu Assembly – vstupuje do něj více dílů, ale vystupuje z něj jen jeden

3.3 Vstupní a výstupní pravidla

Po definování základních prvků simulačního modelu, přichází na řadu nastavení pravidel pro pohyb částí v modelu a pro lokalizaci dostupných zdrojů. K tomu slouží soubor pravidel, která lze dělit na vstupní a výstupní.

V sestavených modelech jsou použita následující pravidla:

Pull – tah, vstupní pravidlo; v obecném tvaru PULL from „zdrojový prvek“

Push – tlak, výstupní pravidlo; v obecném tvaru PUSH to „cílový prvek“

Match – přiřazení, vstupní pravidlo; podle něj přiřazujeme různé kombinace prvků z dostupného zdroje dle vlastností (attribute) nebo výčtem (any), případně dle zadaných podmínek (condition)

If – jestliže, vstupně-výstupní pravidlo; převzetí z (odeslání do) elementu, pro který byla splněna podmínka

Percent – procento, vstupně-výstupní pravidlo; části jsou přebírány z (odesílány do) několika elementů na základě procentuálního rozdělení

Sequence – sekvence, vstupně-výstupní pravidlo; části jsou přebírány z (odesílány do) několika elementů v cyklech – čeká na splnění podmínky a pak jde na další v pořadí

Wait – čekání, vstupně-výstupní pravidlo; na vstupu prvek pasivně čeká na „tlak“ části, na výstupu čeká na „tah“ z navazujícího prvku

3.4 Další prvky simulačního modelu

S nastavením pravidel souvisí použití ostatních prvků, nejvýznamnější z nich jsou zejména atributy (attributes) a proměnné (variables). Atributy umožňují přiřazení potřebných vlastností částem (případně by bylo možné je použít i u pracovní síly); mohou být různého typu, ať už číselného (celá nebo reálná čísla) nebo textového. Proměnné také mohou být různého typu, reálná i celá čísla nebo text a mohou být reprezentovány i vícerozměrně (matice).

Nejčastěji se proměnné používají, když potřebujeme uložit data, která se mohou v průběhu simulace měnit nebo když je nelze přímo přiřadit jednotlivým prvkům.

3.5 Teorie pravděpodobnosti

V simulacích má značný význam modelování variability procesů, ke kterému se vztahuje tato a následující podkapitola. V této podkapitole budou uvedeny obecně základní pojmy z teorie pravděpodobnosti, v následující podkapitole bude popsáno generování náhodných čísel použité v rámci sestavených simulačních modelů v simulačním prostředí Witness.

Základní pojmy z teorie pravděpodobnosti:

Náhodný pokus = pokus, který může být opakován a jehož výsledek není znám předem.

Náhodná veličina = veličina, jejíž hodnota je dána výsledkem náhodného pokusu.

Rozdělení = pravidlo, jež každé hodnotě nebo intervalu hodnot, přiřadí pravděpodobnost, že náhodná veličina nabude této hodnoty nebo hodnoty z tohoto intervalu.

Distribuční funkce náhodné veličiny $F(x)$ přiřazuje každému reálnému číslu pravděpodobnost, že náhodná veličina nabude hodnoty menší nebo rovné x . Pro každé reálné x je distribuční funkce neklesající a pro každé reálné x platí $0 \leq F(x) \leq 1$.

Hustota pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny je funkce, pro níž platí

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}. \text{ Pro všechna reálná } x \text{ je } f(x) \geq 0 \text{ a } \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$$

Diskrétní náhodnou veličinu lze popsat pravděpodobnostní funkcí

$F(x_i) = P(X = x_i)$. Pro všechna x_i platí $f(x_i) \geq 0$ a celkový součet $f(x_i)$ je roven jedné.

Střední hodnota $E(x)$ je charakteristikou polohy.

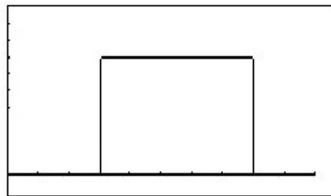
Rozptyl $D(x)$ je střední hodnota čtverců odchylek hodnot náhodné veličiny od její střední hodnoty $E(x)$. Rozptyl charakterizuje variabilitu hodnot náhodné veličiny. Odmocninu z rozptylu nazýváme směrodatnou odchylkou. [6]

3.6 Generování náhodných čísel

V sestavených modelech budou pro generování náhodných hodnot zvolena tato rozdělení:

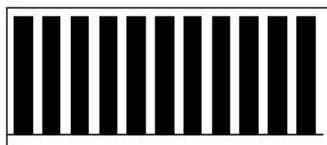
Rozdělení Uniform – jedná se o rovnoměrné rozdělení, které může být použito pro generování náhodných hodnot reálných čísel tehdy, pokud existuje stejná pravděpodobnost získá-

ní kterékoliv reálné hodnoty v daném rozsahu. Tato funkce může mít 2 až 4 parametry; použity budou 2 povinné parametry (minimální a maximální hodnota) a nepovinný parametr stream (seed). Níže je zobrazen graf rovnoměrného rozdělení reálných čísel.



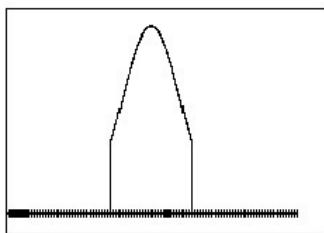
Obrázek 4 - Rozdělení Uniform

Rozdělení IUniform – jedná se o celočíselné rovnoměrné rozdělení, které může být použito pro generování celočíselných náhodných hodnot tehdy, pokud existuje stejná pravděpodobnost získání kterékoliv celočíselné hodnoty v daném rozsahu. Tato funkce může mít 2 až 4 parametry; použity budou 2 povinné parametry (minimální a maximální hodnota) a nepovinný parametr stream (seed). Níže je zobrazen graf rovnoměrného rozdělení celých čísel pro minimální hodnotu 0 a maximální hodnotu 10.



Obrázek 5 - Rozdělení IUniform

Rozdělení TNormal – jedná se o „ořezané“ normální rozdělení, které může být použito pro generování náhodných hodnot reálných čísel. Je podobné normálnímu rozdělení užitečnému pro modelování situací, kdy jsou hodnoty rozloženy kolem střední hodnoty, s tím rozdílem, že jsou specifikovány minimální a maximální hodnoty vzorků. Tato funkce může mít 4 až 6 parametrů; použity budou 4 povinné parametry (střední hodnota, směrodatná odchylka, minimální hodnota, maximální hodnota) a nepovinný parametr stream (seed). Níže je zobrazen graf rozdělení pro minimální hodnotu -4,0; maximální hodnotu +4,0; střední hodnotu 0,0 a směrodatnou odchylku 5,6568542494924.



Obrázek 6 - Rozdělení TNormal

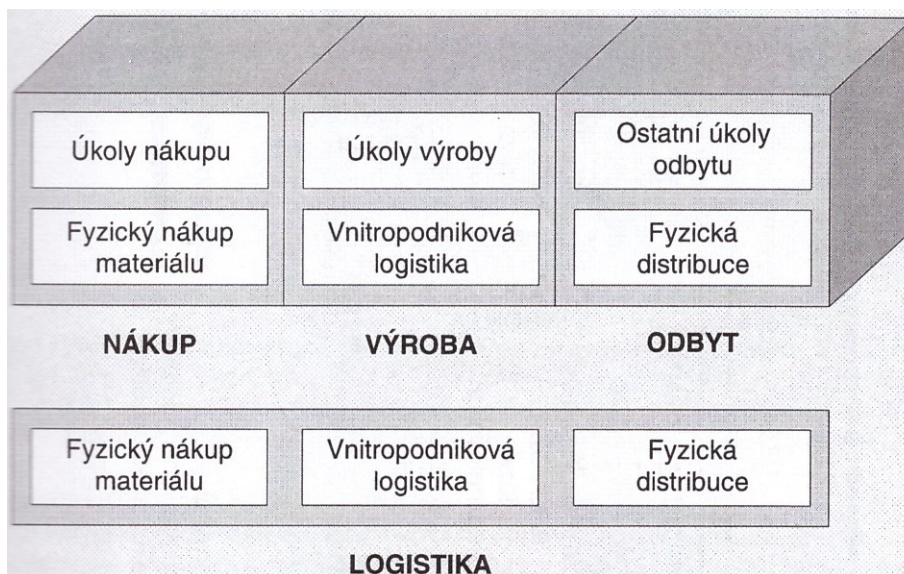
II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ŘÍZENÍ A LOGISTIKA VÝROBY

Řízení výroby je interdisciplinární, zahrnuje mimo informatiky především systémové inženýrství, ekonomii, personalistiku, operační výzkum, matematiku, statistiku, psychologii, sociologii, pracovní právo a další.

Velmi zjednodušeně řečeno lze proces výroby chápat jako transformační proces, při kterém se vstupy (materiál) transformují na výstupy (výrobky). Předmět řízení výroby však nelze chápat pouze úzce jako fyzický produkční systém, ale jako systém nástrojů výrobního managementu. Dané úkoly se rozpracovávají a předkládají se fyzickému systému tvorby výkonů řídicí veličiny týkající se zejména vyráběného množství, termínů zadávání a odvádění jednotlivých dávek či operací. Dále jsou zajišťována zpětná hlášení z fyzického výrobního procesu, je možné pojmenovat to řídicím okruhem umožňujícím porovnání plánu a skutečnosti; jsou činěna příslušná rozhodnutí.

Řízení výroby a řízení logistiky nelze pevně oddělit, dochází ke vzájemné konfrontaci. Funkce logistiky se prolíná celou výrobou, ať už se jedná o nákupní logistiku, kde typickým úkolem je fyzicky opatřit – zajistit materiál od dodavatelů, následně jej dodat do nákupního skladu nebo do výroby, vnitropodnikovou logistiku (přeprava mezi výrobními úseky) nebo odbytovou logistiku – fyzickou distribuci (dodávání zákazníkům). Podnik může využívat mimo vlastních logistických prostředků i služeb externích společností zabývajících se logistikou. Vztah řízení výroby a logistiky ukazuje následující obrázek. [8]



Obrázek 7 - Vztah řízení výroby a logistiky [8]

4.1 Postavení výroby v systému řízení podniku

Cíle výroby jsou podřízeny souhrnným cílům podniku. Výroba plní jednu ze základních hodnototvorných funkcí podniku, propojuje odbytový a nákupní trh.

Výroba propojuje podnik na jedné straně s odběratelem a na druhé straně s dodavatelem. Vazba je těsnější v nižších hladinách managementu. Jakmile se dostane hladina managementu na úroveň operativního managementu výroby, pak je tvořena až přímými, neoddělitelnými souvislostmi. [8]

4.2 Operativní plánování

Vytvoření plánu zadávané výroby je podstatou operativního plánování výroby. Vychází z rámcového výrobního programu a jednotlivé úkoly jsou do konkrétního plánu výroby zařazovány s určením jejich detailního průběhu.

Obecně jsou úkoly operativního plánování následující:

- určení zakázek, které jsou ekonomicky vhodné pro výrobu,
- stanovení potřeby kapacit pro určené zakázky,
- soulad kapacitní nabídky a poptávky,
- určení pořadí prováděných operací,
- zahájení, kontrola a zajištění zpracování zakázky.

Východiskem pro rozhodování jsou tyto cíle:

1. Minimalizace relevantních nákladů:
 - náklady na přípravu produktivní jednotky,
 - náklady prostožů produktivní jednotky,
 - náklady na skladování výrobků (mezisklad a sklad hotových výrobků),
 - náklady na překročení nebo nedodržení dodacích termínů.
2. Minimalizace průběžných dob.
3. Maximalizace využití kapacit.
4. Minimalizace odchylek v termínech předávání ve výrobě a dodržení dodacích lhůt.

[8]

5 STANOVENÍ POŘADÍ ZAKÁZEK

Konečná fáze operativního - lhůtového plánování je tvořena určením pořadí jednotlivých výrobních zakázek. [8] Pro stanovení pořadí zakázek byly připraveny celkem 4 modely. Model s jedním strojem (podkapitola 5.1) slouží k samostatnému vyhodnocení (u modelu s jedním strojem budou cílové funkce jiné, než u modelů s více stroji). Ostatní modely se dvěma stroji byly sestaveny pro vyhodnocení společné tak, aby výsledky experimentů s nimi mohly být vzájemně porovnatelné.

Příklady jsou často koncipovány tak jednoduše, aby bylo možné je řešit i „ručně.“ Nicméně vždy je uvedeno řešení v prostředí Witness a daného modelu. (Pokud by student řešil některou úlohu „ručně“ papírovou formou, může použít popsání řešení pro kontrolu.)

5.1 Model s jedním strojem

Jednoduchý model s jedním strojem je navržen následovně: 6 zakázek prochází jedním strojem-pracovištěm. Hledáme vhodné pořadí zakázek, ale je zřejmé, že celkový čas pro obsluhu zakázek je na pořadí zakázek nezávislý (bude vždy stejný); budeme tedy uvažovat o jiných cílových funkcích. Uživatel-student si může zvolit ze dvou možností, zda operační časy, priority a časy dodání, hodlá generovat náhodně nebo bude zadávat vlastní hodnoty. Při zadávání náhodných operačních časů, priorit a časů dodání, je dotázán na rozsah, v jakém se mají náhodně vygenerované vstupní parametry pohybovat. Smyslem tohoto modelu je především v kontrastu k modelům v následujících podkapitolách ukázat, o jakých charakteristikách hodnocení je v případě plánování operací na jednom stroji vhodné uvažovat.

5.1.1 Popis modelu

Tento úvodní, nejjednodušší model byl sestaven tak, že zakázky přes zásobník centrala prochází pracovištěm M1 a po jeho opuštění odchází dokončené do virtuálního elementu SHIP.

Základní prvky modelu tedy jsou:

- zakazka (element Part)
- centrala (element Buffer)
- M1 (element Machine typu Single)

Po zahájení simulace jsou zakázky (buď náhodně vygenerované, nebo s použitím parametrů nastavených uživatelem, jak již bylo zmíněno), odesílány do zásobníku centrala, odkud odcházejí v pořadí podle zvolených nadefinovaných pravidel na pracoviště M1. Po dokončení opracování se zakázka přesouvá do virtuálního elementu SHIP a uvolňuje své místo na stroji další zakázce. Takto projde strojem všech 6 zakázek.

Náhodné generování vstupních parametrů:

V případě volby náhodně generovaných parametrů zakázek byla použita vestavěná funkce IUniform. Funkce IUniform znamená rovnoměrné rozdělení vracející celé číslo (odtud I v názvu jako Integer) a v modelu přijímá celkem 3 parametry. První dva zadává uživatel k definování intervalu, v němž se má daný parametr pohybovat, jedná se o minimální a maximální hodnotu. Třetím parametrem je tzv. stream (seed), zaručující opakovatelnost náhodného vygenerování, aby s daty mohlo být snadno pracováno pro výukové účely.

5.1.2 Simulační experimenty

Pro tento simulační model bylo navrženo několik simulačních experimentů, které reflektují zvolená řazení pro zpracování jednotlivých zakázek. V modelu lze použít tato seřazení:

- seřazení zakázek podle nejmenšího času operace
- seřazení zakázek podle nejvyšší priority
- seřazení zakázek podle nejnižší doby dodání
- seřazení zakázek podle nejnižšího podílu operační čas / priorit
- FIFO – zakázka evidovaná jako první, je první obsloužena
- LIFO – zakázka evidovaná jako poslední, je první obsloužena
- seřazení zakázek podle nejnižší hodnoty čas dodání - operační čas

Jednotlivá seřazení pro simulační experimenty uživatel nastavuje v Detailu elementu centrala, v části Output.

5.1.3 Řešený příklad

Zadání:

Uvažujte 6 procesů (zakázek), které mají být vykonány (obslouženy) na jediném stroji. Najděte vhodné pořadí zakázek. Je zřejmé, že celkový čas pro obsloužení zakázek je nezávislý na pořadí zakázek. Je třeba uvažovat jiné charakteristiky pro vyhodnocení. Například:

Čas odbavení resp. průměrnou dobu odbavení zakázky – jedná se o čas, kdy bude daná zakázka dokončena nebo čas prodlení resp. průměrné prodlení.

Údaje potřebné pro zpracování jsou následující:

Číslo zakázky	Operační čas	Priorita	Požadovaný čas dodání
1	3	5	4
2	5	10	7
3	4	5	13
4	7	1	10
5	9	3	15
6	2	5	5

Tabulka 1 – Údaje potřebné pro zpracování zakázek (1 stroj)

Při hledání nejvhodnějšího pořadí zakázek, řadte zakázky dle následujících kritérií:

- Nejmenšího času operace
- Nejvyšší priority
- Nejnižší doby dodání
- Nejnižšího podílu operační čas / priorita
- FIFO
- LIFO
- Nejnižší hodnoty (čas dodání – operační čas)

Jako cílové funkce uvažujte:

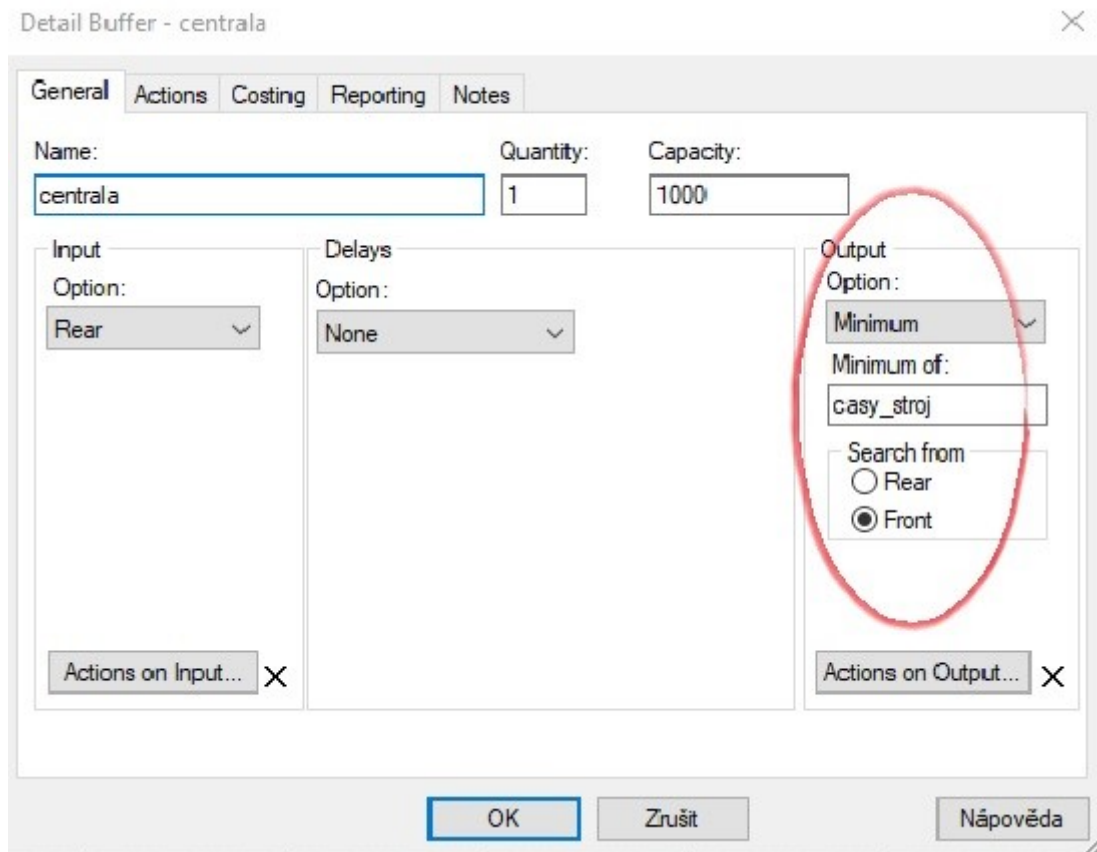
- Čas odbavení, průměrný čas odbavení
- Čas prodlení, průměrný čas prodlení

Výsledky porovnejte.

Řešení:

V prvním kroku studenti otevrou odpovídající model v simulačním prostředí Witness.

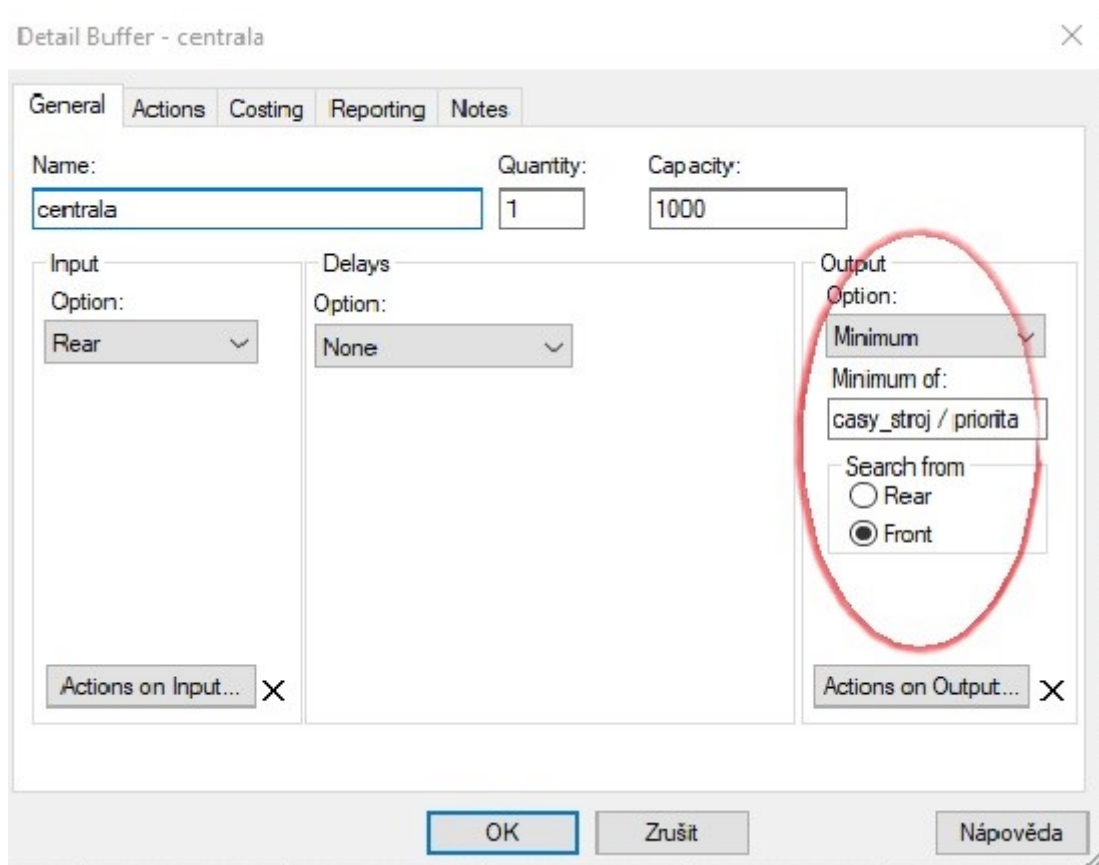
Ve druhém kroku studenti po kliknutí pravým tlačítkem myši na element centrala, vyberou volbu Detail. Nyní mohou studenti přistoupit ke konkrétním experimentům se změnou nastavení pořadí zadávání zakázek a to v části Output. Obrázek níže ukazuje, že pokud v části Output je zvoleno nastavení Option: Minimum a do pole Minimum of: zapsáno casy_stroj, pak je definováno nastavení pro nejmenší čas operace.



Obrázek 8 - Nastavení řazení zakázek podle nejmenšího času operace

Obdobným způsobem se budou nastavovat varianty řazení zakázek podle nejvyšší priority (zvolí se ale pochopitelně Maximum a priorita) a nejnižší doby dodání (zvolí se Minimum a cas_dodani). U FIFO se volí nastavení First a Front, u LIFO First a Rear (viz obrázek 3 v následující části Model se dvěma stroji – prioritní pravidla; nastavení FIFO a LIFO je u modelů pro jeden i dva stroje identické).

U varianty řazení zakázek podle nejnižšího podílu operační čas / priorita se použije nastavení zobrazené na následujícím obrázku.



Obrázek 9 - Nastavení řazení zakázek podle podílu operační čas / priorita

Obdobným způsobem se bude nastavovat varianta řazení zakázek podle nejnižší hodnoty čas dodání – operační čas (s tím rozdílem, že zde nebude podíl, ale rozdíl; tedy cas_dodani – casy_stroj).

Ve třetím kroku studenti spustí model kliknutím na zelenou šipku (Run).

Po spuštění modelu se nabízí studentům možnost buď vkládat údaje z tabulky zadání ručně, nebo mohou použít data náhodná. Pro zadání tohoto příkladu budou vkládat údaje z tabulky ručně. Studenti tedy stisknou volbu 1 – zadávat vlastní hodnoty a po potvrzení této volby nastavují dle tabulky zadání požadované vstupní parametry, na které jsou postupně dotazováni.

Výsledky cílových funkcí lze v prostředí zobrazeného modelu vidět jako hodnoty proměnných Celkovy_cas_odbaveni, Prum_cas_odbaveni, Celk_prodleni a Prum_prodleni. Stanovené pořadí zakázek se zobrazuje ve sloupečku proměnné vystup.

Pořadí zakázek pro jednotlivá seřazení v příkladu:

Zvolené seřazení	Pořadí zakázek
------------------	----------------

Pořadí zakázek podle nejmenšího času operace:	6, 1, 3, 2, 4, 5
Pořadí zakázek podle nejvyšší priority:	2, 1, 3, 6, 5, 4
Pořadí zakázek podle nejnižší doby dodání:	1, 6, 2, 4, 3, 5
Pořadí zakázek podle nejnižšího podílu operační čas / priorita:	6, 2, 1, 3, 5, 4
Pořadí zakázek FIFO:	1, 2, 3, 4, 5, 6
Pořadí zakázek LIFO:	6, 5, 4, 3, 2, 1
Pořadí zakázek podle nejnižší hodnoty času dodání – operačního času:	1, 2, 4, 6, 5, 3

Tabulka 2 – Pořadí zakázek pro jednotlivá seřazení v příkladu

Nejnižší čas odbavení (průměrný 13,5) zjištěn u řazení podle nejmenšího času operace; nejnižší čas prodlení (průměrný 5,5) zjištěn u řazení podle nejnižší doby dodání.

5.2 Model se dvěma stroji – prioritní pravidla

Všechny modely se dvěma stroji popisované v této kapitole (konkrétně jsou popsány v podkapitolách 5.2, 5.3 a 5.4) byly sestaveny tak, aby byly jednoduché, pochopitelné a výsledky mohly být vzájemně porovnatelné. To znamená, že model v každé z těchto podkapitol je navržen následovně: 7 zakázek prochází dvěma stroji-pracovišti, přičemž všechny zakázky procházejí ve stejném pořadí, tj. nejprve prvním pracovištěm a poté druhým. Operační čas není závislý na pořadí úkolů a všechny úkoly mají stejnou prioritu.

Uživatel-student si může zvolit ze dvou možností, zda operační časy hodlá generovat náhodně nebo zadávat vlastní hodnoty. Při zadávání operačního času náhodně, je dotázán na rozsah, v jakém se mají náhodně vygenerované operační časy pohybovat.

Smyslem těchto modelů je na jednoduchém příkladu ukázat, jak je možné minimalizovat dobu potřebnou k provedení všech úloh, tj. celkovou průběžnou dobu výroby (resp. termín dokončení poslední úlohy, anglicky označovaný jako *makespan*). [odk. A] Při různě volném pořadí zadávání zakázek, pak dosahujeme různých výsledků. Dosažené výsledky simulacích experimentů jsou v závěru kapitoly (podkapitola 5.5) porovnávány.

5.2.1 Popis modelu

Model byl sestaven co nejpřehledněji tak, aby zakázky postupně procházely oběma pracovišti, před nimiž jsou umístěny zásobníky. Po opuštění druhého z pracovišť, odchází dokončené zakázky do virtuálního elementu SHIP.

Základní prvky modelu tedy jsou:

- zakazka (element Part)
- centrala (element Buffer)
- P1 (element Machine typu Single)
- zasobnik (element Buffer)
- P2 (element Machine typu Single)

Po zahájení simulace jsou zakázky (buď náhodně vygenerované, nebo s použitím operačních časů nastavených uživatelem), odesílány do zásobníku centrala, odkud odcházejí v pořadí pravidly nadefinovaném na pracoviště P1. Po dokončení zpracování zakázky na 1. pracovišti, je pracoviště uvolněno další zakázce v pořadí. Již zpracovaná zakázka přechází přes zásobník na pracoviště P2, kde dochází k jejímu finálnímu zpracování; poté se přesouvá do virtuálního elementu SHIP. Takto projde oběma pracovišti všech 7 zakázek.

Náhodné generování operačních časů:

V případě volby náhodně generovaných zakázek byla použita vestavěná funkce IUniform. (Tato volba je doporučena v první fázi spuštění modelu vždy používat, aby bylo dosaženo porovnatelnosti výsledků uvedených řešených příkladů.) Funkce IUniform znamená rovnoměrné rozdělení vracející celé číslo a v modelu přijímá celkem 3 parametry. První dva zadává uživatel k definování intervalu operačních časů jednotlivých náhodně vygenerovaných zakázek od - do (ukládány jsou do proměnných `opc_od` a `opc_do` pro další zpracování v programu). Třetím parametrem je tzv. stream (seed), zaručující opakovatelnost náhodného vygenerování, aby s daty mohlo být snadno pracováno pro výukové účely.

5.2.2 Simulační experimenty

Pro tento simulační model bylo navrženo několik simulačních experimentů, které reflektují zvolená prioritní pravidla pro zpracování jednotlivých zakázek. V modelu lze použít tato pravidla:

- seřazení zakázek podle nejmenšího času na 1. pracovišti

- seřazení zakázek podle největšího času na 2. pracovišti
- seřazení zakázek podle rozdílu časů na 1. a 2. pracovišti
- FIFO – zakázka evidovaná jako první, je první obsloužena
- LIFO – zakázka evidovaná jako poslední, je první obsloužena

Jednotlivá prioritní pravidla pro simulační experimenty uživatel nastavuje v Detailu elementu centrala, v části Output.

5.2.3 Řešený příklad

Zadání:

Uvažujte 7 procesů (zakázek), které mají být zpracovány (obslouženy) na dvou strojích. Najděte vhodné pořadí zakázek. Je třeba respektovat pořadí operací; nejdříve zpracování na prvním stroji, až poté na druhém stroji. Je zřejmé, že celkový čas pro obsloužení zakázek, je závislý na pořadí zakázek.

Časy nutné pro zpracování jsou následující:

Zakázka	Stroj I	Stroj II
A	2	5
B	7	6
C	2	4
D	4	3
E	6	4
F	2	1
G	7	7

Tabulka 3 – Časy nutné pro zpracování zakázek (2 stroje)

Při hledání nejvhodnějšího pořadí zakázek, použijte následující prioritní pravidla:

- Nejmenší čas na 1. pracovišti
- Největší čas na 2. pracovišti
- Rozdíl časů na 1. a na 2. pracovišti
- FIFO

- LIFO

Jako cílovou funkci uvažujte:

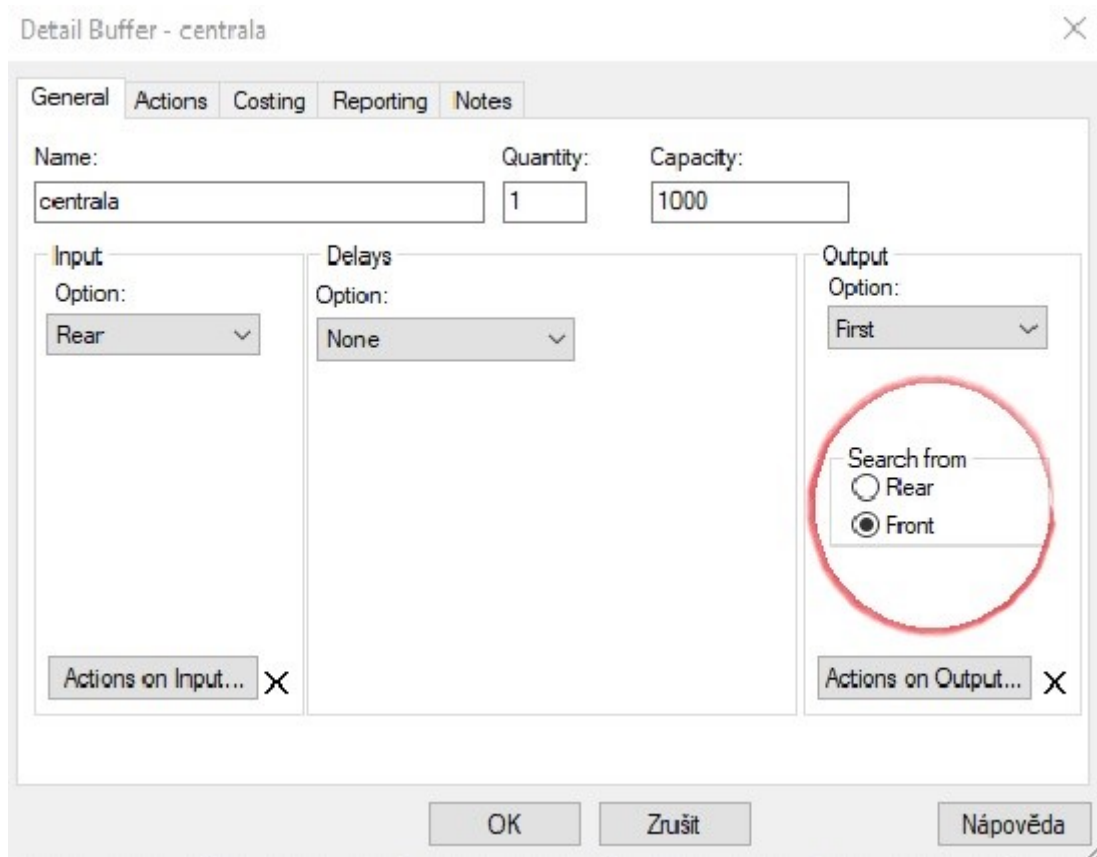
- Celkovou průběžnou dobu výroby

Výsledky porovnejte.

Řešení:

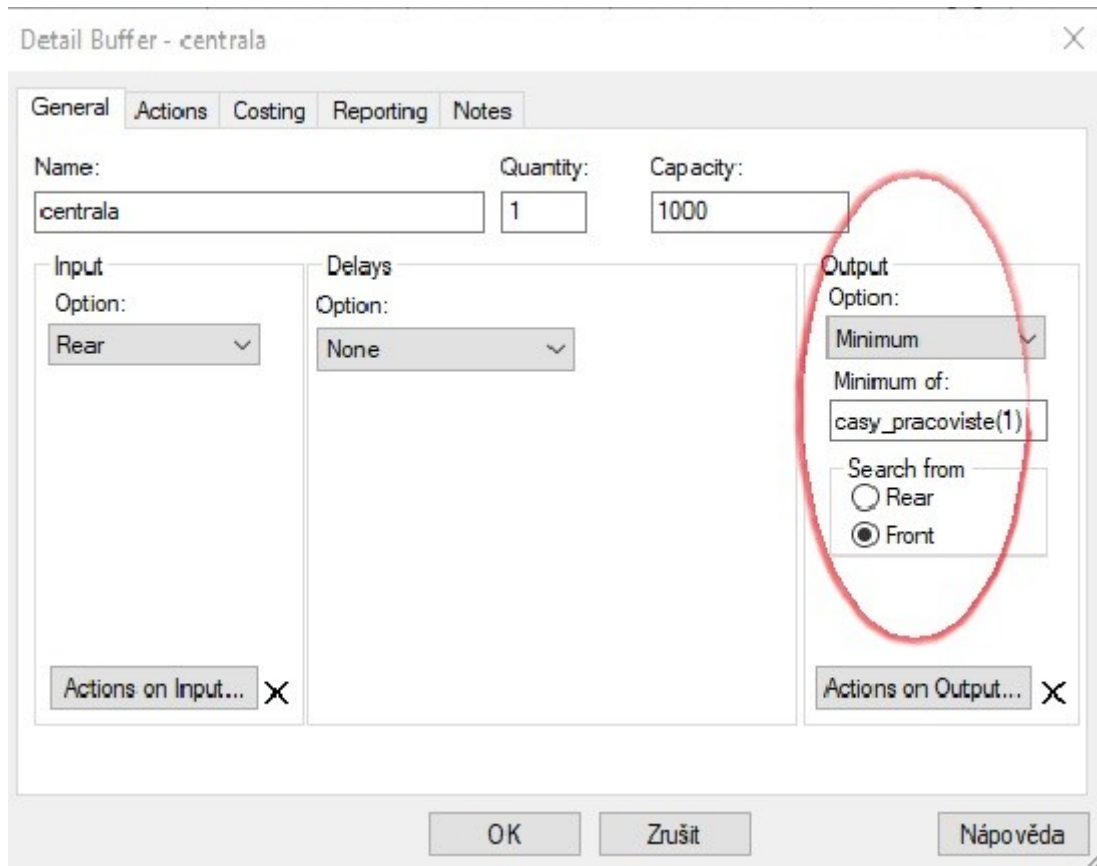
V prvním kroku studenti otevřou odpovídající model v simulačním prostředí Witness.

Ve druhém kroku studenti po kliknutí pravým tlačítkem myši na element centrala, vyberou volbu Detail. Nyní mohou studenti přistoupit ke konkrétním experimentům se změnou nastavení prioritních pravidel v modelu a to v části Output. Obrázek níže ukazuje, že pokud v části Output zůstane ponechána volba Option: First, pak nastavení Search from, volba Front definuje prioritní pravidlo FIFO (při volbě Rear bychom definovali prioritní pravidlo LIFO).



Obrázek 10 - Nastavení prioritního pravidla FIFO

Pokud na místo Option: First bude nastavena volba Maximum nebo Minimum, objeví se políčko pro uvedení podle maxima nebo minima čeho hodláme zakázku řadit. Další obrázek níže ukazuje nastavení řazení zakázek podle nejmenšího času na 1. pracovišti.



Obrázek 11 - Nastavení prioritního pravidla Nejmenší čas na 1. pracovišti

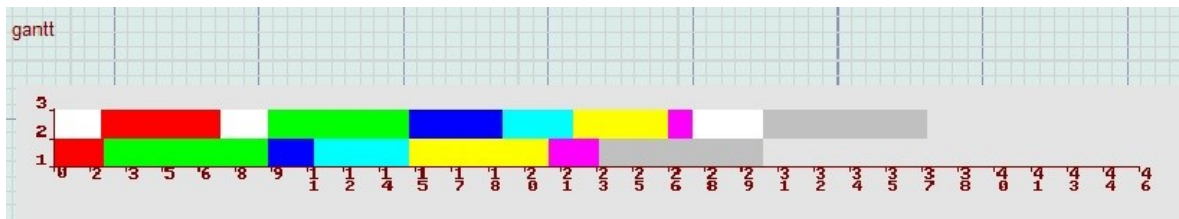
Ve třetím kroku studenti spustí model kliknutím na zelenou šipku (Run).

Po spuštění modelu mají studenti možnost buď vkládat údaje z tabulky zadání ručně, nebo mohou použít „náhodné“ operační časy při stanovení rozsahu 1 až 8 časových jednotek. Příklad je totiž sestaven tak, aby studenti nemuseli ručně při každém experimentu vkládat 14 operačních časů sedmi výrobků na dvou pracovištích, ale mohli použít náhodné generování operačních časů s přednastaveným streamem, který při stanovení rozsahu 1 až 8 časových jednotek vygeneruje vždy stejná data, uvedená v zadání příkladu.

Z výše popsaného důvodu je tedy rychlejší po spuštění modelu zadat volbu 0 – náhodně generovat operační časy a po potvrzení této volby nastavit rozmezí náhodně generovaných operačních časů od 1 do 8 časových jednotek.

Výsledky experimentů z příkladu pro jednotlivá prioritní pravidla (cílovou funkcí je nejmenší celková průběžná doba výroby) lze v prostředí zobrazeného modelu graficky sledovat

pomocí Ganttova diagramu a v číselném vyjádření ve sloupečku proměnné konec (číslo na 1. řádce značí čas, kdy poslední zakázka opustila 1. stroj, pro tento příklad je však klíčové číslo na 2. řádce, které je cílovou funkcí – celkovou průběžnou dobou výroby, hledá se co nejnižší; v tento čas opustila 2. stroj poslední zakázka). Dále ve sloupci poradi, lze vidět seřazené pořadí zakázek.



Obrázek 12 - Ukázka Ganttova diagramu při použití prioritního pravidla FIFO

Výsledky pro jednotlivá prioritní pravidla v příkladu:

Zvolené prioritní pravidlo	Celková průběžná doba	Pořadí zakázek
Nejmenší čas na 1. pracovišti	37 časových jednotek	1, 3, 6, 4, 5, 2, 7
Největší čas na 2. pracovišti	37 časových jednotek	7, 2, 1, 3, 5, 4, 6
<u>Rozdíl časů na 1. a na 2. pracovišti</u>	<u>34 časových jednotek</u>	<u>1, 3, 7, 2, 4, 6, 5</u>
FIFO	37 časových jednotek	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
LIFO	39 časových jednotek	7, 6, 5, 4, 3, 2, 1

Tabulka 4 – Výsledky pro jednotlivá prioritní pravidla v příkladu

Nejlepší výsledek byl dosažen v případě pravidla Rozdíl časů na 1. a na 2. pracovišti.

5.3 Model se dvěma stroji – rozvrhování podle Johnsonových pravidel

Rozvrhování podle Johnsonových pravidel náleží do problematiky rozvrhování proudové výroby, anglicky označované jako flow shop scheduling, kdy je pořadí opracování na strojích pro všechny výrobky stejné. (Rozlišujeme ještě také rozvrhování zakázkové výroby, anglicky job shop scheduling, kdy pořadí opracování na strojích smí být pro každý výrobek různé.) [9] Flow shop obecně znamená sekvenční zpracování n-úloh na m-strojích za podmínky dodržení pořadí. [10]

Johnsonova pravidla:

- 1) Vyberte nejmenší operační čas.
- 2) Nachází-li se tento čas na prvním pracovišti, zařaďte příslušný výrobek jako první v pořadí. Nachází-li se tento čas na druhém pracovišti, zařaďte příslušný výrobek jako poslední.
- 3) Časy u výrobků, které jsou již zařazeny, se dále neberou v úvahu.
- 4) Postup opakujte tak, že v dalších krocích výrobky zařazujete jako druhý, resp. předposlední atd.
- 5) Má-li některý výrobek na obou pracovištích stejné časy, zařazuje se na dřívější místo v pořadí, až na něj přijde řada.
- 6) Mají-li dva nebo více výrobků stejně velké časy na témže pracovišti, přičemž tyto časy jsou rozhodující pro jejich zařazení, existuje více řešení. [11]

Omezení – základní postup se dá uplatnit jen u úlohy pro 2 pracoviště a n-úkolů. Existují také modifikované postupy pro 3, resp. i n-pracovišť. Operační čas nesmí být závislý na pořadí úkolů. Všechny úkoly mají stejnou prioritu. Všechny úkoly procházejí ve stejném pořadí, tj. nejprve prvním pracovištěm a poté druhým.

Poměrně důležitým bodem při stanovování pořadí zakázek pomocí Johnsonových pravidel je bod 6), může totiž existovat více variant řešení. V následujících podkapitolách bude tato komplikace ještě zmíněna, existuje několik přístupů k jejímu řešení, v této práci bude řešena pomocí doplňku Řešitel (Solver) aplikace Excel s využitím evolučního algoritmu.

5.3.1 Popis modelu

Model byl sestaven stejně jako předchozí model. Zakázky postupně procházejí oběma pracovišti, před nimiž jsou umístěny zásobníky. Po opuštění druhého z pracovišť, odchází dokončené zakázky do virtuálního elementu SHIP.

Základní prvky modelu tedy jsou:

- zakazka (element Part)
- centrala (element Buffer)
- P1 (element Machine typu Single)
- zásobník (element Buffer)
- P2 (element Machine typu Single)

Po zahájení simulace jsou zakázky buď náhodně generované (tato volba je určena pro řešený příklad, aby bylo možné porovnat výsledek s výsledky souvisejících řešených příkla-

dů v jiných podkapitolách) nebo s použitím operačních časů nastavených uživatelem, odesílány ve stanoveném pořadí do zásobníku centrala, odkud odcházejí na pracoviště P1. Po dokončení opravy zakázky na 1. pracovišti, je pracoviště uvolněno další zakázce v pořadí. Již opravená zakázka přechází přes zásobník na pracoviště P2, kde dochází k jejímu finálnímu zpracování; poté se přesouvá do virtuálního elementu SHIP. Takto projde oběma pracovišti všech 7 zakázek.

Náhodné generování operačních časů:

V případě volby náhodně generovaných zakázek byla použita vestavěná funkce IUniform. V tomto modelu, jak bude podrobně vysvětleno v části 5.3.3 Řešený příklad, dochází k sestavování pořadí zakázek dle Johnsonových pravidel v aplikaci Excel. Protože ukázková varianta sestavení pro řešený příklad pomocí náhodného generování je již nastavena v této externí aplikaci, není zde umožněno uživateli v případě náhodně generovaných zakázek nastavovat rozsah od – do.

Funkce IUniform znamená rovnoměrné rozdělení vracející celé číslo a všechny 3 parametry zde přijímá přímo v kódu, kde je nadefinována minimální hodnota, maximální hodnota a stream (seed).

5.3.2 Simulační experiment

Podstata simulačního experimentu spočívá v seřazení a zpracování zakázek dle Johnsonových pravidel. K tomu je využito také aplikace Excel.

5.3.3 Řešený příklad

Zadání:

Pomocí Johnsonových pravidel sestavte rozvrh sedmi výrobků A až G, z nichž každý prochází stroji I a II. Přitom je vaším cílem dosažení minimální celkové průběžné doby. Je třeba respektovat pořadí operací; nejdříve zpracování na prvním stroji, až poté na druhém stroji.

Čas potřebný na zpracování:

Zakázka	Stroj I	Stroj II
A	2	5
B	7	6

C	2	4
D	4	3
E	6	4
F	2	1
G	7	7

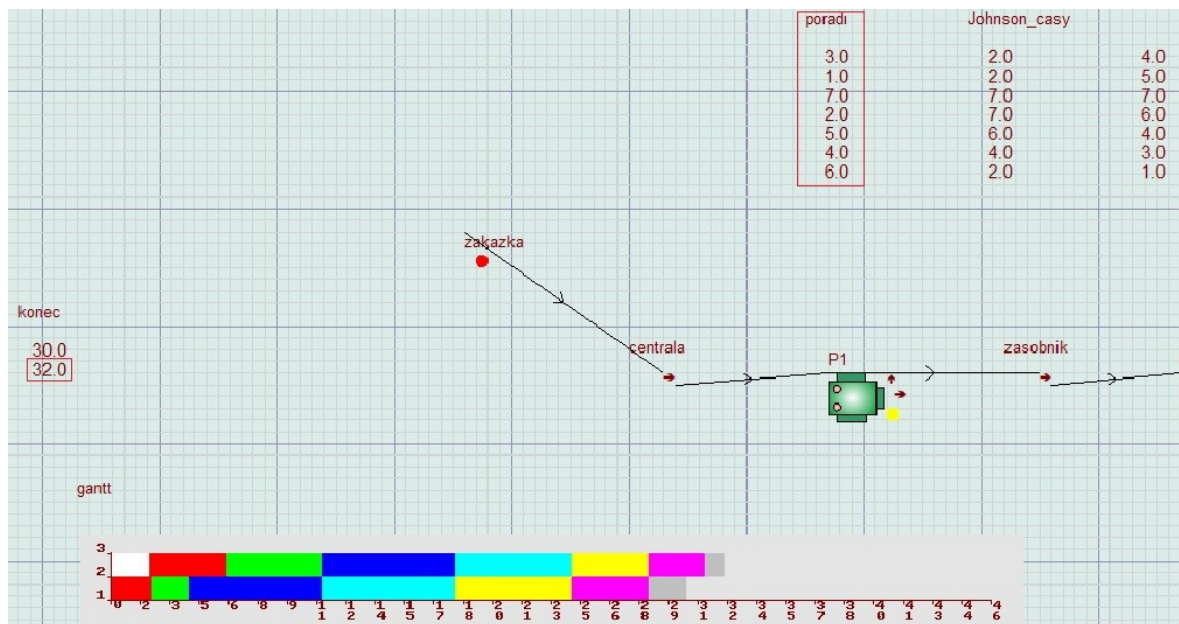
Tabulka 5 – Časy nutné pro zpracování zakázek (2 stroje)

Řešení:

V prvním kroku studenti otevřou odpovídající model v simulačním prostředí Witness.

Ve druhém kroku studenti spustí model kliknutím na zelenou šipku (Run). Po spuštění modelu zadají studenti volbu 0 – náhodně generovat operační časy. Po potvrzení této volby, zadají následnou volbu 2 pro zpracování a opět potvrdí.

Výsledek experimentu lze v prostředí zobrazeného modelu vidět graficky zpracován prostřednictvím Ganttova diagramu a v číselném vyjádření ve sloupečku proměnné konec (číslo na 1. řádce značí čas, kdy poslední zakázka opustila 1. stroj, pro tento příklad je však klíčové číslo na 2. řádce, které je cílovou funkcí – celkovou průběžnou dobou výroby; v tento čas opustila 2. stroj poslední zakázka). Dále ve sloupci poradi, lze vidět seřazené pořadí zakázek.



Obrázek 13 - Výsledek řešení příkladu (Johnsonova pravidla)

Pořadí zakázek je: 3, 1, 7, 2, 5, 4, 6. Celková průběžná doba v příkladu dle rozvržení Johnsonovými pravidly činí 32 časových jednotek.

Z důvodu bodu 6) již předešle uvedených Johnsonových pravidel, je vhodné používat přístup, který by problém více řešení rozhodl nalezením lepšího řešení. Proto byl použit modul Řešitel běžně dostupného tabulkového kalkulátoru Excel. Je tedy na místě, podrobněji vysvětlit použitý přístup, který může posloužit jako návod, jak použít data vlastních zadaných operačních časů a sestavit pořadí zakázek dle Johnsonových pravidel pomocí Excelu.

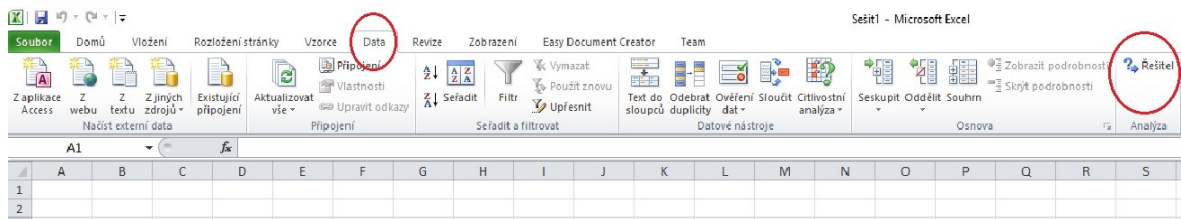
Uváděné řešení pomocí Řešitele poskytuje dobré výsledky. Přesto je třeba řešení kontrolovat, protože v některých případech může dojít k porušení pravidla a je potřeba přidat nějaké omezení, aby byl Excel schopen problém řešit automaticky. Je proto doporučeno sekvenci vždy kontrolovat a případně doplnit další omezení, jak je vysvětleno v řešených příkladech na webových stránkách www.exceldeemy.com. (Motivací těchto stránek je sdílení znalostí ke vzdělávacím účelům.) [12]

K objasnění bude vhodné vyzkoušet si zadat vlastní operační časy; pro první vyzkoušení lze použít například v tabulce níže uvedené:

Zakázka	Stroj I	Stroj II
A	6	3
B	5	3
C	4	3
D	4	6
E	2	6
F	1	6
G	2	1

Tabulka 6 - Časy nutné pro zpracování zakázek (2 stroje)

Nezbytnou prerekvizitou je mít v aplikaci Excel nainstalovaný doplněk Řešitel (Solver). Zda nainstalován v minulosti byl, lze ověřit podle následujícího obrázku (v červených kroužcích zvýrazněna záložka Data a modul Řešitel).



Obrázek 14 - Nalezení modulu Řešitel v Excelu

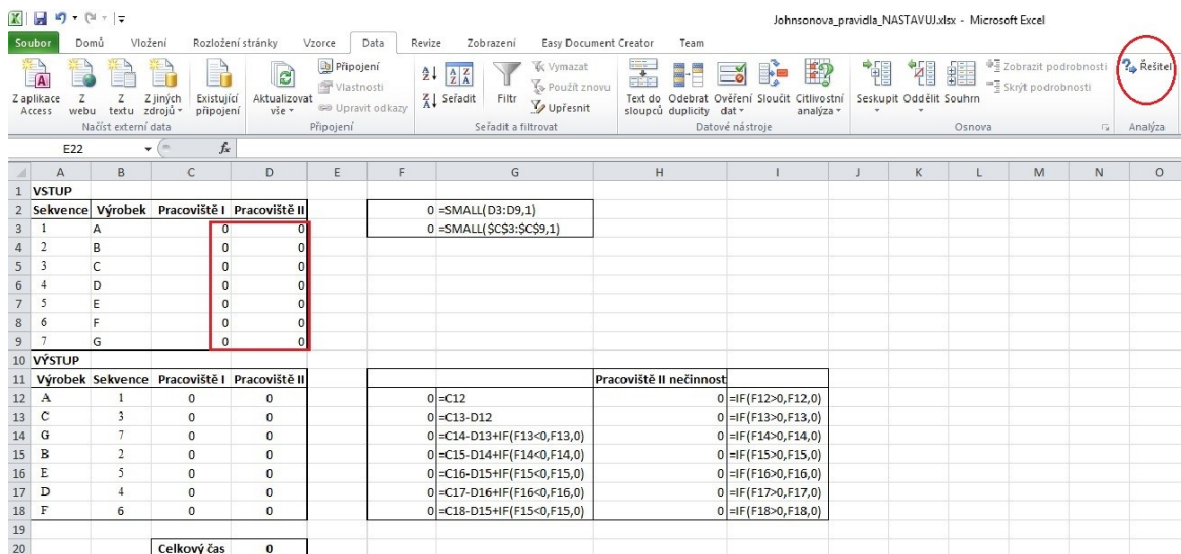
Pokud dosud Řešitel nainstalován nebyl, je třeba jej doinstalovat.

Postup pro stanovení pořadí zakázek podle Johnsonových pravidel:

V prvním kroku otevřít odpovídající model v simulačním prostředí Witness.

Ve druhém kroku spustit model kliknutím na zelenou šipku (Run) a po spuštění modelu zadat volbu 1 – zadavat vlastní hodnoty. Potvrdit tuto volbu.

Ve třetím kroku otevřít odpovídající soubor v Excelu (uživatel je k tomu instruován v prostředí Witness zobrazenou textovou zprávou v Interact Boxu). Otevřený soubor v Excelu vypadá jako na následujícím obrázku.



Obrázek 15 - Otevřený nastavovací soubor v Excelu s Řešitelem

Dále do tabulky v Excelu, v části VSTUP, zadat operační časy pro obě pracoviště (kde zadávat operační časy je v obrázku zvýrazněno červeným obdélníkem). Soubor lze průběžně uložit kliknutím na ikonu diskety. Poté kliknout na modul Řešitele (zvýrazněno červeným kruhem). Zde nastavit parametry jako na následujícím obrázku (bude použit Evoluční algoritmus).

Parametry Řešitele

Nastavit cíl:

Na: Max Min Hodnota:

Na základě změny proměnných buněk:

Omezující podmínky:

-
-
-
-
-
-

Nastavit proměnné bez omezujících podmínek jako nezáporné

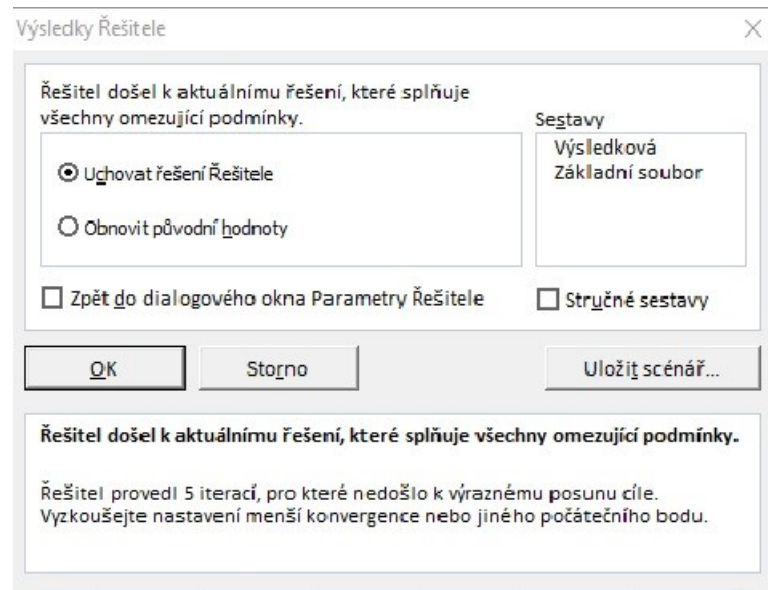
Vyberte metodu řešení:

Metoda řešení

Modul GRG Nonlinear vyberte pro hladké nelineární problémy Řešitele. Modul LP Simplex zvolte pro lineární problémy Řešitele a modul Evolutionary pro nehladké problémy Řešitele.

Obrázek 16 - Parametry Řešitele

Po kliknutí na tlačítko Řešit, bude nějakou dobu Řešitelem hledáno řešení. Při nalezení řešení nebo dosažení maximálního časového limitu, si lze prohlédnout nabízené řešení (seřazené v části VÝSTUP). Pokud by řešení odporovalo podmínkám, lze to eliminovat přidáním vhodné omezující podmínky v Řešiteli. Pokud řešení podmínkám neodporuje, kliknout (pokud bylo nalezeno dobré řešení při dosažení maximálního časového limitu, vybrat předtím volbu Zastavit) na tlačítko OK s označenou volbou Uchovat řešení Řešitele. Viz obrázek níže.



Obrázek 17 - Výsledky Řešitele

Poté soubor v Excelu uložit kliknutím na ikonu diskety.

Ve čtvrtém kroku se vrátit zpět do simulačního prostředí Witness. Zadat volbu 3 pro zpracování a potvrdit.

Ve výsledku bude vidět, že pořadí zakázek je: 6, 5, 4, 3, 2, 1, 7 a celková průběžná doba činí 29 časových jednotek.

5.4 Model se dvěma stroji – náhodné pořadí

V případě různých možností seřazení jednotlivých zakázek se vlastně jedná o speciální případ variace – permutaci. Kdo by chtěl vyzkoušet všechny permutace, musel by v příkladu se dvěma stroji uvedeném v této práci, pro sedm zakázek vyzkoušet $7! = 5040$ permutací! Výpočetně se jedná o N faktoriál; počet permutací výrazným způsobem narůstá, jak roste počet zakázek. Protože z uvedeného důvodu zkoumání všech permutací není příliš reálné, snažení v této podkapitole povede k jinému přístupu – k vyzkoušení heuristického řešení, kdy nebudou oblastí zájmu všechny permutace, ale jen náhodně vybrané.

Logicky při více pokusech (tj. více náhodně vygenerovaných pořadích), lze očekávat, že by měla být větší pravděpodobnost nalezení lepšího řešení. Může se ale stát, že i při méně pokusech, takové řešení nalezneme právě z důvodu, že se jedná o náhodně vybrané permutace.

5.4.1 Popis modelu

Model byl sestaven podobně jako předchozí model. Z hlediska koncepce je rozdíl v tom, že před zásobník centrala, přibyl ještě pomocný zásobník buff_pom. Jinak je model stejný. Zakázky postupně procházejí oběma pracovišti, před nimiž jsou umístěny zásobníky. Po opuštění druhého z pracovišť, odchází dokončené zakázky do virtuálního elementu SHIP.

Základní prvky modelu tedy jsou:

- zakazka (element Part)
- buff_pom (element Buffer)
- centrala (element Buffer)
- P1 (element Machine typu Single)
- zasobnik (element Buffer)
- P2 (element Machine typu Single)

Po zahájení simulace jsou zakázky (náhodně vygenerované, s hodnotami stejnými jako v souvisejících příkladech) odesílány do zásobníku buff_pom, odkud odcházejí ve stanoveném pořadí do zásobníku centrala a odtud odcházejí na pracoviště P1. Po dokončení opravy zakázky na 1. pracovišti, je pracoviště uvolněno další zakázce v pořadí. Již opracovaná zakázka přechází přes zasobnik na pracoviště P2, kde dochází k jejímu finálnímu zpracování; poté se přesouvá do virtuálního elementu SHIP. Takto projde oběma pracovišti všech 7 zakázek.

Náhodné generování operačních časů:

Pro vygenerování zakázek byla použita vestavěná funkce IUniform znamenající rovnoměrné rozdělení vracející celé číslo a všechny 3 parametry zde přijímá přímo v kódu, kde je nadefinována minimální hodnota, maximální hodnota a stream (seed).

Simulační prostředí Witness od své verze 13 obsahuje modul Experimenter. Tento modul obsahuje také algoritmus pro náhodná řešení (Random solutions). Bylo jej využito ke generování náhodně vybraných permutací. V případě použití modulu Experimenter však není možné tento používat v kombinaci s Interact Boxem, proto v tomto modelu samotné náhodné generování nelze spustit (v případě počtu 1000 pokusů náhodně vybraných permutací by dlouhé čekání asi ani nebylo vhodné). Náhodné generování bylo provedeno na jiné, k diplomové práci rovněž přiložené, pomocné verzi obdobného modelu bez Interact Boxu. Uložený soubor vytvořený modulem Experimenter byl také přiložen (zkracuje čas genero-

vání, které netrvá tak dlouho jako při prvním spuštění generování náhodně vybraných permutací).

5.4.2 Simulační experimenty

Pro tento simulační model bylo navrženo několik simulačních experimentů, které reflektují skutečnost, že při více pokusech náhodně vygenerovaných pořadí, by se s každým následujícím pokusem, měla zvětšovat šance na nalezení lepšího řešení. Varianty:

- 10 náhodně vybraných permutací
- 20 náhodně vybraných permutací
- 100 náhodně vybraných permutací
- 250 náhodně vybraných permutací
- 1000 náhodně vybraných permutací

Jednotlivé volby jsou uživateli nabídnuty po spuštění simulace.

5.4.3 Řešený příklad

Zadání:

Sestavte rozvrh sedmi výrobků A až G, z nichž každý prochází stroji I a II. Přitom je vaším cílem dosažení minimální celkové průběžné doby. Je třeba respektovat pořadí operací; nejdříve zpracování na prvním stroji, až poté na druhém stroji. Použijte heuristické řešení pomocí náhodně vygenerovaných pořadí zakázek. Čas potřebný na opracování:

Zakázka	Stroj I	Stroj II
A	2	5
B	7	6
C	2	4
D	4	3
E	6	4
F	2	1
G	7	7

Tabulka 7 - Časy nutné pro zpracování zakázek (2 stroje)

Řešení:

V prvním kroku studenti otevřou odpovídající model v simulačním prostředí Witness.

Ve druhém kroku studenti spustí model kliknutím na zelenou šipku (Run). Po spuštění modelu zadají studenti volbu, z kolika vygenerovaných pořadí chtějí hledat nejlepší řešení. Postupně zadají volby 0 – z 10 nahodne vygenerovaných pořadí, 1 – z 20 nahodne vygenerovaných pořadí, 2 – ze 100 nahodne vygenerovaných pořadí, 3 – z 250 nahodne vygenerovaných pořadí nebo 4 – z 1000 nahodne vygenerovaných pořadí. Po potvrzení volby je zobrazen výsledek experimentu.

Výsledek každého experimentu lze v prostředí zobrazeného modelu vidět graficky zpracován prostřednictvím Ganttova diagramu a v číselném vyjádření ve sloupečku proměnné konec (číslo na 1. řádce značí čas, kdy poslední zakázka opustila 1. stroj, pro tento příklad je však klíčové číslo na 2. řádce, které je cílovou funkcí – celkovou průběžnou dobou výroby, hledá se co nejnižší; v tento čas opustila 2. stroj poslední zakázka). Dále ve sloupci pořadí, lze vidět seřazené pořadí zakázek.

Z výsledků je zřejmé, že s větším počtem pokusů náhodně vygenerovaných pořadí, se skutečně šance na nalezení lepšího řešení postupně zvětšovala. Při 10 pokusech mělo nejlepší řešení hodnotu 35 časových jednotek, stejně jako při 20 pokusech. Při 100 pokusech, stejně jako při 250 pokusech, mělo nejlepší řešení hodnotu 34 časových jednotek. A konečně, **při 1000 pokusech mělo nejlepší řešení hodnotu 33 časových jednotek při sekvenci: 3, 1, 7, 6, 2, 5, 4.**

5.5 Porovnání výsledků experimentů

Tři nejlepší varianty rozvrhu shrnuje tabulka níže.

Umístění	Použité řazení	Sekvence	Celk. průb. doba
1.	Johnsonova pravidla	3, 1, 7, 2, 5, 4, 6	32 čas. jednotek
2.	Náhodné pořadí	3, 1, 7, 6, 2, 5, 4	33 čas. jednotek
3.	Rozdíl časů na 1. a na 2. prac.	1, 3, 7, 2, 4, 6, 5	34 čas. jednotek

Tabulka 8 - Tři nejlepší varianty rozvrhu

6 OBJASNĚNÍ ROZDÍLU MEZI SYSTÉMY TLAKU A TAHU (PUSH VS. PULL SYSTÉM)

Naprosto klíčový vliv na výkonnost výrobního podniku má množství zásob. Negativně působí, pokud je zásob nedostatek, ale i pokud je jich přebytek. Při nedostatku zásob nelze dostát závazkům vůči zákazníkům z hlediska dodacích termínů. Dále při nízkém stavu zásob dochází k nízkému využití systému, je mnoho nevyužitých zdrojů a náklady za nevyužité zdroje pak mohou být mnohem nákladnější než samotná zásoba. Při přebytku zásob dochází k plýtvání prostředků vázaných v zásobách a také prostředků potřebných k provozu skladů a pomocných prostředků k manipulaci. Nalezení optimálního množství zásob je samostatnou vědní disciplínou označovanou jako teorie zásob, která je také odvětvím operačního výzkumu; její podrobnější rozbor však není předmětem této práce. (Zjednodušeně řečeno, hledáme odpovědi na dvě základní otázky: Kdy nebo jak často stav zásob doplňovat? A v jak velkých objemech stav zásob doplňovat?)

Objasnění rozdílu mezi systémy tlaku a tahu úzce souvisí s problematikou zásob.

Hlavním rozdílem mezi oběma systémy je skutečnost, že tažný výrobní systém je ten, který výslovně omezuje množství rozpracované (nedokončené) výroby, které může být uvnitř systému. Naproti tomu tlačný výrobní systém toto množství neomezuje. [13]

Pro tlačný systém jsou charakteristické centrální řízení výroby, vysoké vstupní zásoby, větší výrobní dávky, kratší termíny dodání a nízká reakční schopnost na neočekávané výkyvy.

Naproti tomu pro tažný systém jsou typické decentralizované řízení výroby, minimalizace skladových zásob (zejména rozpracované výroby), zmenšení ploch a nákladů na skladování, menší výrobní dávky, zpravidla delší termíny dodání a riziko při poklesu poptávky zákazníků je nižší. [14]

Z historického hlediska je používání systému tlaku starší. Systém tahu se začal používat později, dnes především v souvislosti s tzv. štíhlou výrobou (Lean manufacturing), jejíž zavedení pomáhá omezovat plýtvání zdroji a snižuje náklady. Původ systému je v Japonsku.

Použití výkonnějšího tažného principu je u většiny systémů vhodnější, ale existují i příklady, kde není použitelný a je nutné volit tlačný koncept. Mohou to být například procesy slévárenského lití kovů, nebo procesy v chemickém průmyslu – i přes pokles poptávky se

preferuje jejich pokračování, neboť nárůst zásob je v tomto případě vždy levnější než ukončení procesu. Dalším příkladem, kdy bývá zvolen jednoznačně tlačný koncept, je jeho použití při výrobě integrovaných obvodů, při kterém jednotlivé díly procházejí několikrát opakovaně danými procesy a v těchto procesech se nacházejí tak nepatrné rozdíly, že je tlačná koncepce s narůstajícími zásobami vhodnější než koncepce tažná. [15]

Přístupy k vytvoření tažného systému jsou v zásadě tyto: Kanban a jeho varianty, CONWIP, jejich vzájemná kombinace, systém DBR, systém doplnění dle zásoby, systém doplnění dle intervalu, FIFO fronty. [16] [17] Z důvodu snahy o objasnění principů tlačného a tažného systému, potažmo řízení zásob, byl vytvořen model, který je popsán v dalším textu. K vytvoření varianty tažného systému byl zvolen přístup doplnění dle zásoby.

6.1 Model demonstrující jejich působení

Pro tuto kapitolu byl sestaven jeden model, představující rozsáhlejší systém (oproti modelům v předchozí kapitole). Umožňuje pouze náhodné generování vstupních veličin, nikoli zadávané uživatelem, nicméně i tento model je do značné míry interaktivní; nabízí totiž uživateli volbu mezi třemi možnostmi:

První alternativa objasňuje podstatu tažného systému postaveného na systému doplnění dle zásoby, systém je tak schopen řídit objem nových položek vstupujících do systému - materiál přichází pouze tehdy, když je požadavek na jeho doplnění. Bez požadavku na jeho doplnění, žádný další není dodáván.

Druhá alternativa má rysy obou konceptů. Do určité míry se zde také řídí přísun nového materiálu (doplňuje se pouze při určitém počtu objednávek), nefunguje však tak dobře jako předchozí. Důvodem je skutečnost, že všechny tři alternativy jsou demonstrovány na jediném modelu a řízení zásob pro tento model by mohlo být z hlediska časového intervalu, po jakém se doplňuje zásoba a také z hlediska velikosti doplňované zásoby, parametrizováno odlišně. Přesto si osobně myslím, že i tato varianta má význam v objasnění toho, jak aktuální deficit materiálu prodlužuje dobu skutečné expedice.

Třetí varianta je tlačným konceptem, protože množství rozpracované výroby uvnitř systému neomezuje.

6.1.1 Popis modelu

Úvodem je třeba říci, že k vyhodnocení, jak vhodná je která varianta, podpůrně slouží i soubor v Excelu, nacházející se ve složce s modelem. Do něj jsou programem Witness v průběhu simulace zapisovány expediční časy, tj. uplynulé doby od přijetí objednávky až po její vyexpedování (zde předání přepravci).

Samotný model je koncipován tak, že aktualizace stavu zásob ve skladech nebo stavu došlých objednávek probíhá každých 60 časových jednotek. Objem nové dodávky zásob je stále stejný (25 jednotek), její rozdělení podle druhu materiálu do skladů materiálu (a také jako vstupní pravidlo na pracoviště rezání), určuje pravidlo PERCENT. Na pracoviště rezání vstupuje ze skladů materiálu vždy jen jedna součást, ale vystupuje jich z něj (po rozřezání) 10 ks, plus odpad (SCRAP). Na výstupu z tohoto pracoviště se využívá pravidla SEQUENCE/Wait. Rozřezané díly se přesouvají do skladů nedokončených výrobků, kde je výstupní volba nastavena nikoli na First (první), ale na Any (jakýkoli). Odtud na základě pravidla MATCH/ATTRIBUTE vstupují díly v počtu 5 ks na pracoviště montáž, které opouští vždy smontovaný jeden hotový výrobek a ten se přesune do sklad_hotovych_vyrobku. Na základě objednávek se hotové výrobky přesouvají na pracoviště expedice, kde se „balí“ výrobky v počtu kusů odpovídajícím počtům uvedených v jednotlivých objednávkách, což ošetřuje pravidlo SEQUENCE/Wait na vstupu pracoviště expedice. Vyexpedované objednávky se na výstupu z pracoviště přesouvají k přepravci (přepravce by dále rozvážel výrobky k zákazníkům, ale to již dále v modelu není řešeno).

Základními prvky modelu tedy jsou:

- material (element Part)
- sklady materiálu, tj. sklad_1 až sklad_5 (element Buffer)
- rezání (element Machine typu Production)
- sklady nedokončené výroby, tj. sklad_A až sklad_D (element Buffer)
- montáž (element Machine typu Assembly)
- sklad_hotovych_vyrobku (element Buffer)
- expedice (element Machine typu Assembly)
- objednávka (element Part)
- objednávky_v_poradi (element Buffer)
- přepravce (element Buffer)

V případě stanovení doby trvání pracovních operací na pracovišti rezání byla použita vestavěná funkce TNormal. Jedná se o „ořezané“ normální rozdělení a parametry této funkce jsou střední hodnota, směrodatná odchylka, minimální hodnota, maximální hodnota a stream (seed). Stejná funkce byla použita také pro stanovení náhodného času příchodu nové objednávky. V případě dob trvání pracovních operací na pracovištích montáž a expedice, byla použita vestavěná funkce pro normální rozdělení Uniform, která má parametry minimální hodnota, maximální hodnota a stream (seed).

6.1.2 Simulační experimenty

Pro tento simulační model byly navrženy simulační experimenty, které odrážejí problematiku řízení množství zásob (především nedokončené výroby) uvnitř systému. V tomto modelu lze zvolit tyto varianty:

- rozpracovaná výroba je omezoována doplňováním při poklesu zásoby pod limit
- zásoby materiálu jsou doplňovány, pokud nejméně 10 ks objednávek čeká na vyřízení
- rozpracovaná výroba na základě stavu zásob nebo objednávek není omezoována

K výběru simulačního experimentu je uživatel interaktivně vyzván po spuštění modelu.

Jak již bylo zmíněno, první varianta (volba s číslem 0) představuje tažný systém a k jeho realizaci bylo použito přístupu doplnění dle zásoby. Konkrétně byl za oblast zájmu zvolen sklad nedokončené výroby označený jako sklad_D (z důvodu, že příjem a výdej v tomto skladu je pravidly realizován odlišně od ostatních skladů nedokončené výroby, pravidlo pro doplnění materiálu bylo tedy vztaženo právě k tomuto skladu). Zásoba materiálu je doplněna, pokud je ve skladu nedokončené výroby sklad_D méně než 10 ks nedokončených výrobků.

Druhá varianta (volba s číslem 1) neindikuje stav zásoby ve skladu, ale sleduje došlé objednávky. Pokud v okamžiku aktualizace čeká na vyřízení alespoň 10 objednávek, je zásoba materiálu doplněna. Provádět doplňování materiálu při každé jednotlivé objednávce by nebylo ekonomické, čeká se tedy na uvedený počet objednávek. Tato strategie je uplatněna od začátku simulačního experimentu, tzn. dokud nepřijde 10 (resp. 11) objednávek, sklad je prázdný a až při uvedeném počtu objednávek, je materiál doplňován.

Třetí varianta (volba s číslem 2) nesleduje aktuální stav zásob ani aktuální stav objednávek a v časech aktualizací stále objednává materiál, až do naplnění poměrově nejobsazovaněj-

ších skladů (v případě skladů nedokončené výroby je to sklad_D, v případě skladů materiálu pak sklad_1).

6.1.3 Řešený příklad

Zadání:

Výrobní společnost produkuje výrobky, pro jejichž výrobu nakupuje materiál, který je druhově rozlišený a podle druhu materiálu je skladován v pěti skladech (označených 1 až 5). Z těchto skladů přechází materiál na pracoviště řezání, odkud po rozřezání na díly, přechází tyto do skladů nedokončené výroby (označených A až D). Ze skladů nedokončené výroby jsou díly dle požadavků na montáž přesouvány na pracoviště montáže, kde jsou z dílů výrobky kompletovány do své finální podoby a umístovány do skladu hotových výrobků. 1 objednávka (zakázka) může na základě poptávky zákazníků obsahovat od 1 do 10 ks výrobků. Dle zákaznickových požadavků na počet kusů, jsou výrobky přesunuty a baleny na pracovišti expedice, odkud jsou předávány přepravci k rozvozu zákazníkům.

Vaším úkolem je prozkoumat a porovnat 3 varianty simulačním modelem nabízených řešení. Oblastmi vašeho zájmu bude doba expedice objednávek (snaha o její minimalizaci) a především pak získání základního náhledu do problematiky skladového hospodaření, kde v oblasti zájmu jsou 3 typy skladů – sklady zásob materiálu, sklady zásob nedokončené výroby a sklady zásob hotových výrobků.

Na závěr vše vyhodnoťte - kolektivně diskutujte, která z nabízených tří variant se vám jeví jako nejlepší a proč.

Řešení:

V prvním kroku studenti otevřou odpovídající model v simulačním prostředí Witness.

Ve druhém kroku studenti spustí model kliknutím na zelenou šipku (Run). Pokračovat se může následujícím (doporučeným) postupem:

- 1) Studenti zadají volbu 2 – rozpracovanou výrobu neomezovat a po potvrzení této volby nechají simulaci chvíli běžet, než se v exp_cas_akt začnou objevovat časy prvních expedic (zároveň se u přepravce navyšují počty vyexpedovaných zakázek). Poté je model pozastaven tlačítkem Stop.
- 2) Studenti otevřou podpůrný soubor v Excelu.

- 3) Tlačítkem Begin v simulačním prostředí Witness vrátí simulaci zpět na začátek, znova ji spustí tlačítkem Run a zvolí jinou variantu – tentokrát č. 0. Běžící simulace je ve vhodnou dobu opět pozastavena tlačítkem Stop.
- 4) Stejným, již popisovaným způsobem, je běh simulace nastaven zpět na začátek, ale tentokrát nespouštěn. Do pole Time Expression/Element Name zapíše studenti časový údaj 2300 časových jednotek a po kliknutí na tlačítko Batch a volbě varianty č. 1, se dostanou na požadovaný čas simulace, kdy „ve frontě“ čeká 9 zakázek a sklady jsou prázdné. Po spuštění pokračování běhu simulace (tlačítko Run) studenti vidí, jak tato varianta funguje (po dodání materiálu na sklad, se začne vyrábět). Jakmile se začnou objevovat časy prvních expedicí (a u přepravce navyšovat čísla vyexpedovaných zakázek), studenti sledují v podpůrném souboru v Excelu, jak dlouhé jsou při této volbě počáteční expediční časy. Oproti předešlým dvěma variantám dochází k prodloužení expedičních časů prvních vyexpedovaných zakázek řádově desetinásobně. U předešlých dvou variant vycházely nejlépe expediční časy při neomezování rozpracované výroby, ale i v případě jejího omezení při poklesu zásoby pod limit (omezení naplňující znaky pull systému), byly expediční časy přijatelné. Z porovnání expedičních časů u všech tří variant (0, 1 a 2) můžeme vyvodit závěr, že čím více jsou zásoby omezovány, tím delší jsou expediční časy, které ale nejsou jediným klíčovým kritériem, protože držení velkého množství zásob může být stejně nevyhovující, jako jejich nedostatek.
- 5) Nyní bude oblast zájmu přesměrována na jiný ukazatel a to ke sledování stavu zásob v systému. Nejprve se zaměříme na stavy zásob nedokončené výroby a materiálu, později také na stav zásob hotových výrobků. Simulace se pozastaví (pokud běžela) a již několikrát popsaným způsobem je vrácena na start (tlačítko Begin). Do pole Time Expression/Element Name zapíše studenti časový údaj 6000 časových jednotek. Po stisku tlačítka Batch a volbě požadované varianty, uvidí výsledky. Budou postupně zkoušet všechny tři varianty v tomto časovém bodě návratem na start simulace tlačítkem Begin, opětovným stiskem tlačítka Batch a volbou další varianty. U varianty, kde rozpracovaná výroba není omezována (volba č. 2), je zřejmé, že sklad nedokončené výroby sklad_D je přeplněný a stejně tak je přeplněný sklad materiálu sklad_1. V případě varianty omezení na základě počtu kusů objednávek (volba č. 1) je zřejmé, že sklad nedokončené výroby sklad_D je také přepl-

něný. Varianta omezení rozpracované výroby doplněním při poklesu zásoby pod limit (volba č. 0, tažný systém), žádné přeplnění skladů nevykazuje.

- 6) Následně bude poukázáno ještě na jeden aspekt: Provede-li se totéž při nastavení simulačního času místo 6000 časových jednotek, na 60 000 časových jednotek, vykazují u těchto variant sklady nedokončené výroby a materiálu stejné charakteristiky – u volby č. 2 přeplněné sklady sklad_D a sklad_1, u volby č. 1 přeplněný sklad_D, u volby č. 0 tyto sklady přeplněny nejsou. Co je však zajímavé, je stav skladu hotových výrobků v uvedeném simulačním čase. U volby č. 2 vykazuje sklad hotových výrobků stav 155 ks, u volby č. 1 se objeví 115 ks a u volby č. 0 bude „skladem“ dokonce 183 ks výrobků, tedy nejvíce.

Teď nastává ten správný čas diskutovat, která z variant je nejlepší a proč. Varianta omezení rozpracované výroby doplněním při poklesu zásoby pod limit (volba č. 0, tažný systém) se jeví jako nejvhodnější, ale bylo by potřeba s touto variantou ještě dále pracovat – tzn. sledovat nejen stav zásoby nedokončené výroby, ale i hotových výrobků a objednávat další materiál pro výrobu, až poklesne na určitou hranici i stav hotových výrobků na skladě. Pokud je hodně „nadvyroběno“ ve skladu hotových výrobků, není třeba doplňovat materiál. Velké množství hotových výrobků se může stát (při nižší poptávce) neprodejným a i u hotových výrobků jsou velké náklady spojené s jejich skladováním.

Dalším aspektem, který by mohl být v příkladu zkoumán, jsou statistiky využití strojů. Například při zastavení běhu simulace v simulačním čase 60 000 časových jednotek, který byl proveden v bodě 6), lze pro každou variantu (0, 1 a 2) po kliknutí pravým tlačítkem myši postupně na každé ze tří pracovišť (řezání, montáž, expedice) a volbě Statistics, zobrazit statistiky využití pracovišť. I když procentuální využití je přibližně podobné, určité rozdíly zde jsou. Konkrétně na prvním pracovišti je nejvyšší využití u volby 2 (18,55 %), následované volbou 1 (17,84 %) a nejnižší je u volby 0 (14,67 %). V případě nevyužitého času prvního pracoviště jsou u variant 2 a 1 pracoviště blokována, zatímco u varianty 0 je pracoviště v případě nevyužitého času nečinné (není blokováno). Druhé pracoviště je u všech tří variant velmi zaneprázdněné, přičemž u varianty 1 je vytíženo o trochu méně (96,08 %), než ostatních dvou variant (99,98 %). V případě vytíženosti třetího pracoviště, jsou statistiky opět velmi podobné, přičemž o trochu méně je vytíženo u varianty 2 (7,97 %), než u ostatních dvou variant (8,51 % u varianty 1 resp. 8,52 % u varianty 0). Nicméně u všech variant se nacházejí vytíženosti pracovišť v přibližně podobných číslech, rozdíly nejsou markantní.

6.2 Vyhodnocení experimentů

Všechny tři provedené experimenty vnáší do problematiky osvětu v oblasti základních principů - ať už vztahů mezi omezováním stavu zásob a dobou expedice, kdy při nízkých nebo žádných zásobách se výrazně prodlužuje doba expedice nebo naopak při vysokých zásobách - přestože v příkladu ve finančním vyjádření náklady spojené s neustále narůstajícím objemem zásob nejsou nijak přímo zohledňovány, je z podstaty věci jasné, že by se stávaly neúnosnými; nehledě na to, jak velké by musely být skladovací prostory. Tažný systém, který nějakým způsobem stav zásob uvnitř systému omezuje, je velmi výkonný, protože náklady spojené se zásobami eliminuje a to při zachování přijatelných expedičních časů. Není však vhodný v každé výrobě. Z hlediska řízení zásob by se v modelu mohlo uvažovat o dalších úpravách, konkrétně o sledování stavu zásob hotových výrobků a reakcí na tento stav (případně o jinak řešeném intervalu doplňování dávky materiálu, eventuálně o optimalizování velikosti této doplňované dávky materiálu). Dále by se v detailnější verzi modelu mohly ve finančním vyjádření, přímo zohledňovat i náklady spojené se skladováním.

Závěrem je třeba zdůraznit, že v reálném světě neexistují žádné čistě tlačné nebo čistě tažné systémy. [13]

ZÁVĚR

Dle zadání diplomové práce byla postupně zpracována literární rešerše na dané téma. Po seznámení se s náplní předmětu „Řízení a logistika výroby,“ byly navrženy vhodné oblasti pro vytvoření simulačních experimentů objasňujících základní principy řízení a logistiky výroby. Byly sestaveny modely vybraných výrobních a logistických systémů v prostředí Witness a navrženy simulační experimenty pro jednotlivé modely ve formě využitelné pro výukové účely. Byla také připravena dokumentace popisující jednotlivé modely, experimenty, vstupní a výstupní veličiny a tato dokumentace byla doplněna o názorné řešené příklady.

Teoretická část byla nejprve orientována na modelování a simulaci systémů se zohledněním specifické potřeby počítačových simulací pro výuku. Poté byly v teoretické části shrnuty současné softwarové možnosti simulace. Závěr teoretické části byl zaměřen na konkrétní simulační prostředí Witness, použité pro sestavení simulačních modelů popisovaných v následující praktické části.

Úvod praktické části byl koncipován možná trochu teoretičtěji, ale pro další kapitoly bylo potřebné i vhodné uvést, čím se řízení a logistika výroby zabývají, jak jsou spolu propojené, jaké postavení má výroba v celkovém řízení podniku a co je náplní operativního plánování. V další fázi praktické části došlo na tematiku rozvrhování zakázek, jejich pořadí zadávání do výroby při použití jednoho nebo dvou strojů. V případě dvou strojů byly výsledky různých přístupů porovnány. Závěrečná kapitola praktické části se zabývala tlačným a tažným systémem. Oproti předešlým modelům, pro tuto kapitolu sestavený model je již větším systémem a disponuje prvky daleko větší návaznosti na okolní prostředí. Zatímco ostatní modely lze chápat jako modely systémů, stojící relativně samostatně uvnitř nějakého systému, poslední model již podobné mikro-subsystemy v sobě zahrnuje a sám může být vnímán jako součást mnohem většího celku, přičemž tento celek není homogenní. Na jedné straně modelovaného systému může stát jeden cizorodý systém (dodavatel), vlastní výrobně-logistický systém stojí pomyslně uprostřed a na druhé straně stojí další cizí systém (odběratel).

Zpracování této diplomové práce vyžadovalo k řešenému problému komplexní přístup a v rámci času na jeho řešení, který byl pochopitelně omezený, bylo postupováno tak, aby bylo ve stanoveném termínu dosaženo cíle – dokončení práce v co možná nejlepší kvalitě.

Byly také vytvořeny ukázkové materiály (Metodický list učitele a Pracovní list studenta) k podpoře výuky. Tvoří přílohy této diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GROS, Ivan. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. Praha: Grada, 2003. Expert (Grada). ISBN 80-247-0421-8.
- [2] CHRAMCOV, Bronislav. Využití počítačové simulace v oblasti zefektivňování výrobních procesů. *Automa* [online]. 2012, (8-9) [cit. 2019-05-11].
- [3] Computer simulations: ICT tools to facilitate meaningful learning. *Open Textbook Project* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.opentextbooks.org.hk/ditatopic/25206>
- [4] MAREČEK, Petr. Virtuální simulace výroby aneb Digitální továrna. *IT SYSTEMS* [online]. 2006, (9) [cit. 2019-05-07].
- [5] MANLIG, František. *Pracovní texty předmětu LOGISTIKA: Část 5*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007.
- [6] DLOUHÝ, Martin. *Simulace podnikových procesů*. Brno: Computer Press, c2007. ISBN 978-80-251-1649-4.
- [7] L. J., Enstone a Clark M. F. *BPMN and Simulation* [online]. 2006 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://docplayer.net/12157675-Bpmn-and-simulation-1-j-enstone-m-f-clark-the-lanner-group-april-2006.html>
- [8] TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. *Řízení výroby*. 2., rozš. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2000. Expert (Grada). ISBN 80-7169-955-1.
- [9] MAJER, Petr. *Moderní metody rozvrhování výroby: Modern methods of manufacturing scheduling : zkrácená verze Ph.D. Thesis*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky, c2003. ISBN 80-214-2530-x.
- [10] DAVENDRA, Donald David a Godfrey ONWUBOLU. Flow shop scheduling using enhanced differential evolution algorithm. In: *21st European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2007: Simulations in United Europe* [online]. Prague: European Council for Modelling and Simulation (ECMS), 2007, s. 259-264. [cit. 2019-05-10].
- [11] TVRDOŇ, Leo a Jaroslav BAZALA. *Johnsonova metoda* [online]. Verlag Dashöfer, 2018 [cit. 2019-05-10].

- [12] ZHIPING, Yan. *Sequencing problem using Johnson's algorithm of scheduling n-jobs on 2-machines* [online]. 2016 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.exceldemy.com/sequencing-problem-processing-n-jobs-through-2-machines/>
- [13] HOPP, Wallace J. a Mark L. SPEARMAN. To Pull or Not to Pull: What Is the Question?. *Manufacturing & Service Operations Management* [online]. 2004, (6) [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://pubsonline.informs.org/doi/pdf/10.1287/msom.1030.0028>
- [14] TRUHLÍKOVÁ, Martina. *Porovnání konceptů tažný - tlačný systém řízení*. Ostrava, 2016. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Vladimíra Schindlerová, Ph.D.
- [15] ROSER, Christoph. Why Pull Is So Great!. *AllAboutLean.com* [online]. 2015 [cit. 2019-04-27].
- [16] ROSER, Christoph. Different Ways to Establish a Pull System – Part 1. *AllAboutLean.com* [online]. 2017 [cit. 2019-04-27].
- [17] ROSER, Christoph. Different Ways to Establish a Pull System – Part 2. *AllAboutLean.com* [online]. 2017 [cit. 2019-04-27].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

VIMS	Visual Interactive Modelling System, vizuální interaktivní modelovací systém
4GL	Fourth-generation programming language, 4. generace programovacích jazyků
FIFO	First In, First Out, typ fronty (zásobníku) – první dovnitř, první ven
LIFO	Last In, First Out, typ fronty (zásobníku) – poslední dovnitř, první ven
CONWIP	Constant Work in Progress, systém stálé rozpracované výroby
DBR	Drum Buffer Rope, buben zásobník lano – výrobní systém vycházející z principů úzkého místa

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Začlenění simulace (vlastní zpracování).....	12
Obrázek 2 - Uživatelské prostředí programu Witness	18
Obrázek 3 - Vybrané ovládání simulace	18
Obrázek 4 - Rozdělení Uniform.....	22
Obrázek 5 - Rozdělení IUniform	22
Obrázek 6 - Rozdělení TNormal.....	22
Obrázek 7 - Vztah řízení výroby a logistiky [8]	24
Obrázek 8 - Nastavení řazení zakázek podle nejmenšího času operace	29
Obrázek 9 - Nastavení řazení zakázek podle podílu operační čas / priorita	30
Obrázek 10 - Nastavení prioritního pravidla FIFO.....	34
Obrázek 11 - Nastavení prioritního pravidla Nejmenší čas na 1. pracovišti	35
Obrázek 12 - Ukázka Ganttova diagramu při použití prioritního pravidla FIFO	36
Obrázek 13 - Výsledek řešení příkladu (Johnsonova pravidla)	39
Obrázek 14 - Nalezení modulu Řešitel v Excelu	41
Obrázek 15 - Otevřený nastavovací soubor v Excelu s Řešitelem	41
Obrázek 16 - Parametry Řešitele	42
Obrázek 17 - Výsledky Řešitele	43

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Údaje potřebné pro zpracování zakázek (1 stroj)	28
Tabulka 2 – Pořadí zakázek pro jednotlivá seřazení v příkladu	31
Tabulka 3 – Časy nutné pro zpracování zakázek (2 stroje)	33
Tabulka 4 – Výsledky pro jednotlivá prioritní pravidla v příkladu	36
Tabulka 5 – Časy nutné pro zpracování zakázek (2 stroje)	39
Tabulka 6 - Časy nutné pro zpracování zakázek (2 stroje).....	40
Tabulka 7 - Časy nutné pro zpracování zakázek (2 stroje).....	45
Tabulka 8 - Tři nejlepší varianty rozvrhu	46

SEZNAM PŘÍLOH

P I *Metodický list učitele*

P II *Pracovní list studenta*

PŘÍLOHA P I: METODICKÝ LIST UČITELE

METODICKÝ LIST 1	
Název aktivity: OBJASNĚNÍ ROZDÍLU MEZI SYSTÉMY TLAKU A TAHU (PUSH VS. PULL SYSTÉM)	
Cílová skupina: VŠ studenti předmětu Řízení a logistika výroby	Časová náročnost: 2 hodiny
Použité metody a formy: samostatná práce / práce ve skupinách	Prostředí výuky: počítačová učebna
Zařazení: Řízení a logistika výroby – PUSH systém, PULL systém, řízení zásob	

Cíle aktivity:	Studenti rozumí rozdílu mezi systémy tlaku a tahu, chápou vliv množství zásob na výkonnost výrobního podniku
Pomůcky:	Přístup k PC s nainstalovaným sw Witness a MS Excel, propiska, papír
Motivační text:	Tažný koncept (Pull) je v současné době velmi populární v souvislosti s tzv. štíhou výrobou (Lean manufacturing). Objasnění rozdílů mezi systémy tlaku (Push) a tahu (Pull) úzce souvisí s problematikou zásob. Bohužel popis rozdílů těchto systémů je v různých zdrojích značně nepřesný a někdy až matoucí.

ZADÁNÍ ÚKOLŮ:

Výrobní společnost produkuje výrobky, pro jejichž výrobu nakupuje materiál, který je druhově rozlišený a podle druhu materiálu je skladován v pěti skladech (označených 1 až 5). Z těchto skladů přechází materiál na pracoviště řezání, odkud po rozřezání na díly, přechází tyto do skladů nedokončené výroby (označených A až D). Ze skladů nedokončené výroby jsou díly dle požadavků na montáž přesouvány na pracoviště montáže, kde jsou z dílů výrobky kompletovány do své finální podoby a umísťovány do skladu hotových výrobků. 1 objednávka (zakázka) může na základě poptávky zákazníků obsahovat od 1 do 10 ks výrobků. Dle zákaznických požadavků na počet kusů, jsou výrobky přesunuty a baleny na pracovišti expedice, odkud jsou předávány přepravci k rozvozu zákazníkům.

Vaším úkolem je prozkoumat a porovnat 3 varianty simulačním modelem nabízených řešení. Oblastmi vašeho zájmu bude doba expedice objednávek (snaha o její minimalizaci) a především pak získání základního náhledu do problematiky skladového hospodaření, kde v oblasti zájmu jsou 3 typy skladů – sklady zásob materiálu, sklady zásob nedokončené výroby a sklady zásob hotových výrobků.

Na závěr vše vyhodnoťte - kolektivně diskutujte, která z nabízených tří variant se vám jeví jako nejlepší a proč.

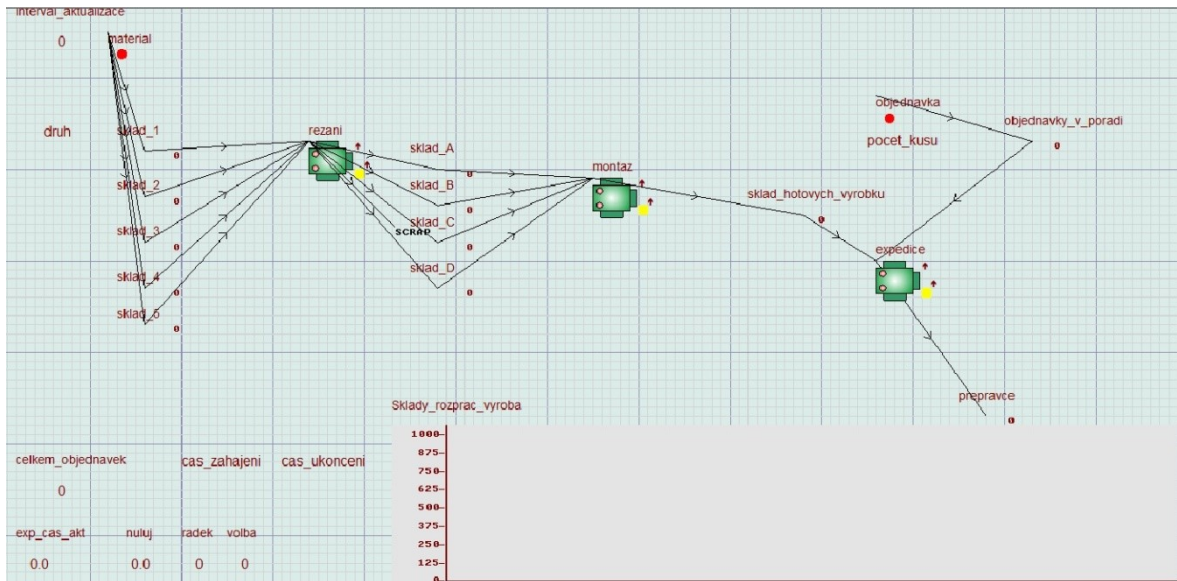
PŘÍPRAVA:

V teoretickém úvodu učitel přednese, jak velký vliv má zásobování na výkonnost podniku. Zdůrazní, že výkonnost podniku negativně ovlivňují pro danou výrobu nedostačující zásoby, ale také přebytek zásob a že nalezení „zlaté střední cesty“ v dynamicky měnících se podmínkách, není vůbec jednoduché. Dále učitel teoreticky objasní principy tlačného a tažného systému; **zdůrazní hlavní rozdíl, který je v omezování množství zásob rozpracované výroby uvnitř systému.**

Učitel může obecné výrobky ze zadání, připodobnit například k výrobě stolů v dřevovýrobě nebo použít jiný vhodný příklad. Použije-li pro lepší představu studentů výrobu stolů v dřevovýrobě, může mluvit o materiálu jako o pěti různých dýchách, o nedokončené výrobě jako o nařezaných dílech-hranolech a o hotových výrobcích jako o stolech.

Poté studenty instruuje k otevření modelu push_pull.mod v simulačním prostředí Witness.

Model je učitelem v základních rysech popsán, je vysvětlen způsob náhodného generování intervalu mezi objednávkami a náhodného generování počtu kusů na objednávce.



Obrázek - model push_pull.mod

POSTUP PRÁCE:

Studenti spustí model kliknutím na zelenou šipku (Run). Pokračovat se může následujícím (doporučeným) postupem:

- 1) Studenti zadají volbu 2 – rozpracovanou výrobu neomezovat a po potvrzení této volby nechají simulaci chvíli běžet, než se v exp_cas_akt začnou objevovat časy prvních expedicí (zároveň se u přepravce navyšují počty vyexpedovaných zakázek). Poté je model pozastaven tlačítkem Stop.
- 2) Studenti otevřou podpůrný soubor v Excelu.
- 3) Tlačítkem Begin v simulačním prostředí Witness vrátí simulaci zpět na začátek, znova ji spustí tlačítkem Run a zvolí jinou variantu – tentokrát č. 0. Běžící simulace je ve vhodnou dobu opět pozastavena tlačítkem Stop.
- 4) Stejným, již popisovaným způsobem, je běh simulace nastaven zpět na začátek, ale tentokrát nespouštěn. Do pole Time Expression/Element Name zapíše studenti časový údaj 2300 časových jednotek a po kliknutí na tlačítko Batch a volbě varianty č. 1, se dostanou na požadovaný čas simulace, kdy „ve frontě“ čeká 9 zakázek a sklady jsou prázdné. Po spuštění pokračování běhu simulace (tlačítko Run) studenti vidí, jak tato varianta funguje (po dodání materiálu na sklad, se začne vyrábět). Jakmile se začnou objevovat časy prvních expedicí (a u přepravce navyšovat čísla vyexpedovaných zakázek), studenti sledují v podpůrném souboru v Excelu, jak dlouhé jsou při této volbě počáteční expediční časy. Oproti předešlým dvěma vari-

antám dochází k prodloužení expedičních časů prvních vyexpedovaných zakázek řádově desetinásobně. U předešlých dvou variant vycházely nejlépe expediční časy při neomezování rozpracované výroby, ale i v případě jejího omezení při poklesu zásoby pod limit (omezení naplňující znaky pull systému), byly expediční časy přijatelné. Z porovnání expedičních časů u všech tří variant (0, 1 a 2) můžeme vyvodit závěr, že čím více jsou zásoby omezovány, tím delší jsou expediční časy, které ale nejsou jediným klíčovým kritériem, protože držení velkého množství zásob může být stejně nevyhovující, jako jejich nedostatek.

- 5) Nyní bude oblast zájmu přesměrována na jiný ukazatel a to ke sledování stavu zásob v systému. Nejprve se zaměříme na stavy zásob nedokončené výroby a materiálu, později také na stav zásob hotových výrobků. Simulace se pozastaví (pokud běžela) a již několikrát popsaným způsobem je vrácena na start (tlačítko Begin). Do pole Time Expression/Element Name zapíší studenti časový údaj 6000 časových jednotek. Po stisku tlačítka Batch a volbě požadované varianty, uvidí výsledky. Budou postupně zkoušet všechny tři varianty v tomto časovém bodě návratem na start simulace tlačítkem Begin, opětovným stiskem tlačítka Batch a volbou další varianty. U varianty, kde rozpracovaná výroba není omezována (volba č. 2), je zřejmé, že sklad nedokončené výroby sklad_D je přeplněný a stejně tak je přeplněný sklad materiálu sklad_1. V případě varianty omezení na základě počtu kusů objednávek (volba č. 1) je zřejmé, že sklad nedokončené výroby sklad_D je také přeplněný. Varianta omezení rozpracované výroby doplněním při poklesu zásoby pod limit (volba č. 0, tažný systém), žádné přeplnění skladů nevykazuje.
- 6) Následně bude poukázáno ještě na jeden aspekt: Provede-li se totéž při nastavení simulačního času místo 6000 časových jednotek, na 60 000 časových jednotek, vykazují u těchto variant sklady nedokončené výroby a materiálu stejné charakteristiky – u volby č. 2 přeplněné sklady sklad_D a sklad_1, u volby č. 1 přeplněný sklad_D, u volby č. 0 tyto sklady přeplněny nejsou. Co je však zajímavé, je stav skladu hotových výrobků v uvedeném simulačním čase. U volby č. 2 vykazuje sklad hotových výrobků stav 155 ks, u volby č. 1 se objeví 115 ks a u volby č. 0 bude „skladem“ dokonce 183 ks výrobků, tedy nejvíce.
- 7) Dalším aspektem, který by mohl být v příkladu zkoumán, jsou statistiky využití strojů. Například při zastavení běhu simulace v simulačním čase 60 000 časových jednotek, který byl proveden v bodě 6), lze pro každou variantu (0, 1 a 2) po klik-

nutí pravým tlačítkem myši postupně na každé ze tří pracovišť (řezání, montáž, expedice) a volbě Statistics, zobrazit statistiky využití pracovišť. I když procentuální využití je přibližně podobné, určité rozdíly zde jsou. Konkrétně na prvním pracovišti je nejvyšší využití u volby 2 (18,55 %), následované volbou 1 (17,84 %) a nejnižší je u volby 0 (14,67 %). V případě nevyužitého času prvního pracoviště jsou u variant 2 a 1 pracoviště blokována, zatímco u varianty 0 je pracoviště v případě nevyužitého času nečinné (není blokováno). Druhé pracoviště je u všech tří variant velmi zaneprázdněné, přičemž u varianty 1 je vytíženo o trochu méně (96,08 %), než ostatních dvou variant (99,98 %). V případě vytíženosti třetího pracoviště, jsou statistiky opět velmi podobné, přičemž o trochu méně je vytíženo u varianty 2 (7,97 %), než u ostatních dvou variant (8,51 % u varianty 1 resp. 8,52 % u varianty 0). Nicméně u všech variant se nacházejí vytíženosti pracovišť v přibližně podobných číslech, rozdíly nejsou markantní.

Ted' nastává ten správný čas diskutovat, která z variant je nejlepší a proč. Varianta omezení rozpracované výroby doplněním při poklesu zásoby pod limit (volba č. 0, tažný systém) se jeví jako nejvhodnější, ale bylo by potřeba s touto variantou ještě dále pracovat – tzn. sledovat nejen stav zásoby nedokončené výroby, ale i hotových výrobků a objednávat další materiál pro výrobu, až poklesne na určitou hranici i stav hotových výrobků na skladě. Pokud je hodně „nadvyroběno“ ve skladu hotových výrobků, není třeba doplňovat materiál. Velké množství hotových výrobků se může stát (při nižší poptávce) neprodejným a i u hotových výrobků jsou velké náklady spojené s jejich skladováním.

ZÁVĚR:

Závěrem je třeba zdůraznit, že v reálném světě neexistují žádné čistě tlačné nebo čistě tažné systémy. Provedené experimenty vnášejí do problematiky osvětlu v oblasti základních principů: Při nízkých nebo žádných zásobách se výrazně prodlužuje doba expedice nebo naopak při vysokých zásobách - přestože v příkladu ve finančním vyjádření náklady spojené s neustále narůstajícím objemem zásob nejsou nijak přímo zohledňovány, je z podstaty věci jasné, že by se stávaly neúnosnými; nehledě na to, jak velké by musely být skladovací prostory. Je třeba také zmínit, že tažný systém není vhodný v každé výrobě: Procesy slévárenského lití kovů, nebo procesy v chemickém průmyslu – i přes pokles poptávky se preferuje jejich pokračování, neboť nárůst zásob je v tomto případě vždy levnější než ukončení procesu. Dalším příkladem, kdy bývá zvolen jednoznačně tlačný koncept, je jeho použití při výrobě integrovaných obvodů, při kterém jednotlivé díly procházejí několikrát opako-

vaně danými procesy a v těchto procesech se nacházejí tak nepatrné rozdíly, že je tlačná koncepce s narůstajícími zásobami vhodnější než koncepce tažná.

PŘÍLOHA P II: PRACOVNÍ LIST STUDENTA

PRACOVNÍ LIST 1

PRO OBJASNĚNÍ ROZDÍLU MEZI SYSTÉMY TLAKU A TAHU (PUSH VS. PULL SYSTÉM)

Cíl tématu

Cílem tématu je seznámit studenty se systémy tlaku a tahu (Push a Pull systém) a vysvětlit jim základní rozdíly mezi nimi. Studenti porozumí vlivu množství zásob na výkonnost výrobního podniku.

Po absolvování cvičení budete rozumět:

- **Základům práce s připraveným modelem v rámci simulačního prostředí Witness.**
- **Základnímu rozdílu mezi tlačným a tažným systémem.**
- **Základnímu vlivu množství zásob na výkonnost podniku.**

Čas potřebný ke studiu:

2 hodiny.

TEORETICKÝ VÝKLAD:

Zásoby

Naprostě klíčový vliv na výkonnost výrobního podniku má množství zásob. Negativně působí, pokud je zásob nedostatek, ale i pokud je jich přebytek. Při nedostatku zásob nelze dostát závazkům vůči zákazníkům z hlediska dodacích termínů. Dále při nízkém stavu zásob dochází k nízkému využití systému, je mnoho nevyužitých zdrojů a náklady za nevyužitý zdroj pak mohou být mnohem nákladnější než samotná zásoba. Při přebytku zásob dochází k plýtvání prostředků vázaných v zásobách a také prostředků potřebných k provozu skladů a pomocných prostředků k manipulaci. Nalezení optimálního množství

zásob je samostatnou vědní disciplínou označovanou jako teorie zásob, která je odvětvím operačního výzkumu; její podrobnější rozbor však není předmětem tohoto cvičení. (Zjednodušeně řečeno, hledáme odpovědi na dvě základní otázky: Kdy nebo jak často stav zásob doplňovat? A v jak velkých objemech stav zásob doplňovat?)

Tlačný a tažný systém (Push a Pull systém)

Objasnění rozdílu mezi systémy tlaku a tahu úzce souvisí s problematikou zásob. **Hlavním rozdílem mezi oběma systémy je skutečnost, že tažný výrobní systém je ten, který výslovně omezuje množství rozpracované (nedokončené) výroby, které může být uvnitř systému. Naproti tomu tlačný výrobní systém toto množství neomezuje.**

Pro tlačný systém jsou charakteristické centrální řízení výroby, vysoké vstupní zásoby, větší výrobní dávky, kratší termíny dodání a nízká reakční schopnost na neočekávané výkyvy.

Naproti tomu pro tažný systém jsou typické decentralizované řízení výroby, minimalizace skladových zásob (zejména rozpracované výroby), zmenšení ploch a nákladů na skladování, menší výrobní dávky, zpravidla delší termíny dodání a riziko při poklesu poptávky zákazníků je nižší.

Přístupy k vytvoření tažného systému jsou tyto: Kanban a jeho varianty, CONWIP, jejich vzájemná kombinace, systém DBR, systém doplnění dle zásoby, systém doplnění dle intervalu, FIFO fronty.

Použití výkonnějšího tažného principu je u většiny systémů vhodnější, ale existují i příklady, kde není použitelný a je nutné volit tlačný koncept. Mohou to být například procesy slévárenského lití kovů, nebo procesy v chemickém průmyslu – i přes pokles poptávky se preferuje jejich pokračování, neboť nárůst zásob je v tomto případě vždy levnější než ukončení procesu. Dalším příkladem, kdy bývá zvolen jednoznačně tlačný koncept, je jeho použití při výrobě integrovaných obvodů, při kterém jednotlivé díly procházejí několikrát opakovaně danými procesy a v těchto procesech se nacházejí tak nepatrné rozdíly, že je tlačná koncepce s narůstajícími zásobami vhodnější než koncepce tažná.

ZADÁNÍ ÚKOLŮ – PRAKTICKÝ PŘÍKLAD V SIMULAČNÍM PROSTŘEDÍ WITNESS:

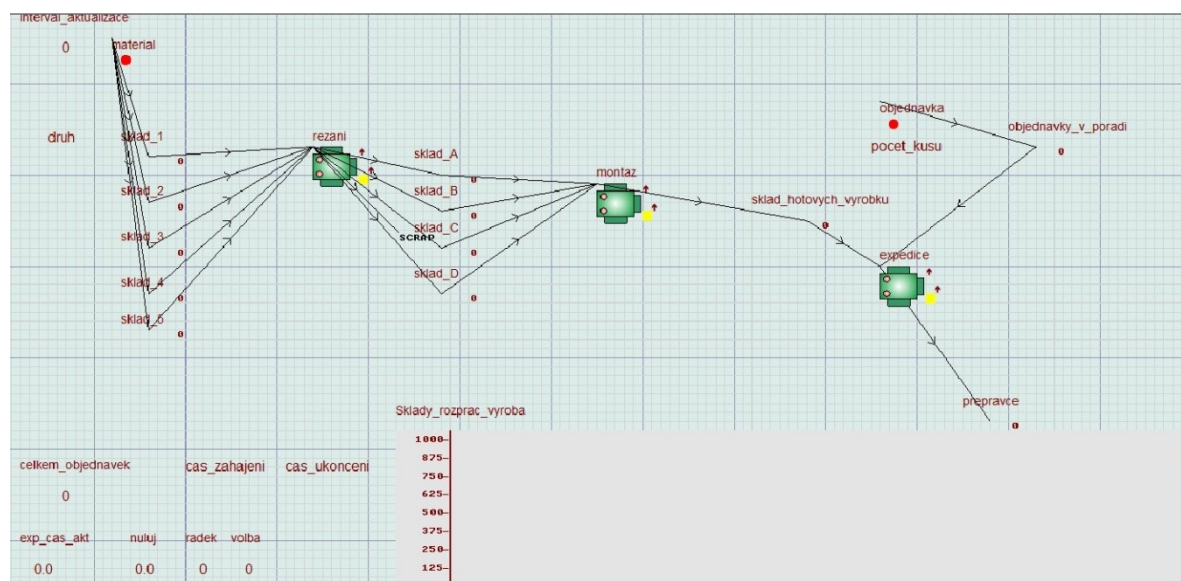
Výrobní společnost produkuje výrobky, pro jejichž výrobu nakupuje materiál, který je druhotově rozlišený a podle druhu materiálu je skladován v pěti skladech (označených 1 až 5). Z těchto skladů přechází materiál na pracoviště řezání, odkud po rozřezání na díly, přechází tyto do skladů nedokončené výroby (označených A až D). Ze skladů nedokončené výroby jsou díly dle požadavků na montáž přesouvány na pracoviště montáže, kde jsou z dílů výrobky kompletovány do své finální podoby a umísťovány do skladu hotových výrobků. 1 objednávka (zakázka) může na základě poptávky zákazníků obsahovat od 1 do 10 ks výrobků. Dle zákaznických požadavků na počet kusů, jsou výrobky přesunuty a baleny na pracovišti expedice, odkud jsou předávány přepravci k rozvozu zákazníkům.

Vaším úkolem je prozkoumat a porovnat 3 varianty simulačním modelem nabízených řešení. Oblastmi vašeho zájmu bude doba expedice objednávek (snaha o její minimalizaci) a především pak získání základního náhledu do problematiky skladového hospodaření, kde v oblasti zájmu jsou 3 typy skladů – sklady zásob materiálu, sklady zásob nedokončené výroby a sklady zásob hotových výrobků.

Na závěr vše vyhodnoťte - kolektivně diskutujte, která z nabízených tří variant se vám jeví jako nejlepší a proč.

SEZNÁMENÍ S MODELEM:

- 1) Otevřete model push_pull.mod v simulačním prostředí Witness



Obrázek - model push_pull.mod

2) Popis modelu:

Úvodem je třeba říci, že k vyhodnocení, jak vhodná je která varianta, podpůrně slouží i soubor v Excelu, nacházející se ve složce s modelem. Do něj jsou programem Witness v průběhu simulace zapisovány expediční časy, tj. uplynulé doby od přijetí objednávky až po její vyexpedování (zde předání přepravci).

Samotný model je koncipován tak, že aktualizace stavu zásob ve skladech nebo stavu došlých objednávek probíhá každých 60 časových jednotek. Objem nové dodávky zásob je stále stejný (25 jednotek), její rozdělení podle druhu materiálu do skladů materiálu (a také jako vstupní pravidlo na pracoviště rezání), určuje pravidlo PERCENT. Na pracoviště rezání vstupuje ze skladů materiálu vždy jen jedna součást, ale vystupuje jich z něj (po rozřezání) 10 ks, plus odpad (SCRAP). Na výstupu z tohoto pracoviště se využívá pravidla SEQUENCE/Wait. Rozřezané díly se přesouvají do skladů nedokončených výrobků, kde je výstupní volba nastavena nikoli na First (první), ale na Any (jakýkoli). Odtud na základě pravidla MATCH/ATTRIBUTE vstupují díly v počtu 5 ks na pracoviště montáž, které opouští vždy smontovaný jeden hotový výrobek a ten se přesune do sklad_hotovych_vyrobku. Na základě objednávek se hotové výrobky přesouvají na pracoviště expedice, kde se „balí“ výrobky v počtu kusů odpovídajícím počtům uvedených v jednotlivých objednávkách, což ošetřuje pravidlo SEQUENCE/Wait na vstupu pracoviště expedice. Vyexpedované objednávky se na výstupu z pracoviště přesouvají k přepravci (přepravce by dále rozvážel výrobky k zákazníkům, ale to již dále v modelu není řešeno).

Základními prvky modelu tedy jsou:

- material (element Part)
- sklady materiálu, tj. sklad_1 až sklad_5 (element Buffer)
- rezání (element Machine typu Production)
- sklady nedokončené výroby, tj. sklad_A až sklad_D (element Buffer)
- montáž (element Machine typu Assembly)
- sklad_hotovych_vyrobku (element Buffer)
- expedice (element Machine typu Assembly)
- objednávka (element Part)
- objednávky_v_poradi (element Buffer)
- přepravce (element Buffer)

V případě stanovení doby trvání pracovních operací na pracovišti rezání byla použita vestavěná funkce TNormal. Jedná se o „ořezané“ normální rozdělení. Stejná funkce byla použita také pro stanovení náhodného času příchodu nové objednávky. V případě dob trvání pracovních operací na pracovištích montáže a expedice, byla použita vestavěná funkce pro normální rozdělení Uniform.

POSTUP PRÁCE:

Spustíte model kliknutím na zelenou šipku (Run). Pokračovat se může následujícím (doporučeným) postupem:

- 1) Zadejte volbu 2 – rozpracovanou výrobu neomezovat a po potvrzení této volby nechte simulaci chvíli běžet, než se v exp_cas_akt začnou objevovat časy prvních expedicí (zároveň se u přepravce navyšují počty vyexpedovaných zakázek). Poté je model pozastaven tlačítkem Stop.
- 2) Otevřete podpůrný soubor v Excelu. *Prohlédněte si hodnoty expedičních časů.*
- 3) Tlačítkem Begin v simulačním prostředí Witness vraťte simulaci zpět na začátek, znovu ji spusťte tlačítkem Run a zvolte jinou variantu – tentokrát č. 0. Běžící simulaci ve vhodnou dobu opět pozastavte tlačítkem Stop. *Prohlédněte si hodnoty expedičních časů.*
- 4) Stejným, již popisovaným způsobem, běh simulace nastavte zpět na začátek, ale tentokrát nespouštějte. Do pole Time Expression/Element Name zapište časový údaj 2300 časových jednotek a po kliknutí na tlačítko Batch a volbě varianty č. 1, se dostanete na požadovaný čas simulace, kdy „ve frontě“ čeká 9 zakázek a sklady jsou prázdné. Po spuštění pokračování běhu simulace (tlačítko Run) vidíte, jak tato varianta funguje (po dodání materiálu na sklad, se začne vyrábět). Jakmile se začnou objevovat časy prvních expedicí (a u přepravce navyšovat čísla vyexpedovaných zakázek), sledujte v podpůrném souboru v Excelu, jak dlouhé jsou při této volbě počáteční expediční časy. Oproti předešlým dvěma variantám dochází k prodloužení expedičních časů prvních vyexpedovaných zakázek řádově desetinásobně. U předešlých dvou variant vycházely nejlépe expediční časy při neomezení rozpracované výroby, ale i v případě jejího omezení při poklesu zásoby pod limit (omezení naplňující znaky pull systému), byly expediční časy přijatelné.

Z porovnání expedičních časů u všech tří variant (0, 1 a 2) můžeme vyvodit závěr, že čím více jsou zásoby omezovány, tím delší jsou expediční časy, které ale nejsou jediným klíčovým kritériem, protože držení velkého množství zásob může být stejně nevyhovující, jako jejich nedostatek, jak bylo vysvětleno v teoretickém výkladu.

- 5) Nyní bude oblast zájmu přesměrována na jiný ukazatel a to ke sledování stavu zásob v systému. Nejprve se zaměříme na stavy zásob nedokončené výroby a materiálu, později také na stav zásob hotových výrobků. Simulaci pozastavte (pokud běžela) a již několikrát popsaným způsobem ji vraťte na start (tlačítko Begin). Do pole Time Expression/Element Name zapíšte časový údaj 6000 časových jednotek. Po stisku tlačítka Batch a volbě požadované varianty, uvidíte výsledky. Zkoušejte postupně všechny tři varianty v tomto časovém bodě návratem na start simulace tlačítkem Begin, opětovným stiskem tlačítka Batch a volbou další varianty.

U varianty, kde rozpracovaná výroba není omezována (volba č. 2), je zřejmé, že sklad nedokončené výroby sklad_D je přeplněný a stejně tak je přeplněný sklad materiálu sklad_1. V případě varianty omezení na základě počtu kusů objednávek (volba č. 1) je zřejmé, že sklad nedokončené výroby sklad_D je také přeplněný. Varianta omezení rozpracované výroby doplněním při poklesu zásoby pod limit (volba č. 0, tažný systém), žádné přeplnění skladů nevykazuje.

- 6) Provedete-li totéž při nastavení simulačního času místo 6000 časových jednotek, na 60 000 časových jednotek, vykazují u těchto variant sklady nedokončené výroby a materiálu stejné charakteristiky – u volby č. 2 přeplněné sklady sklad_D a sklad_1, u volby č. 1 přeplněný sklad_D, u volby č. 0 tyto sklady přeplněny nejsou. Co je však zajímavé, je stav skladu hotových výrobků v uvedeném simulačním čase. U volby č. 2 vykazuje sklad hotových výrobků stav 155 ks, u volby č. 1 se objeví 115 ks a u volby č. 0 bude „skladem“ dokonce 183 ks výrobků, tedy nejvíce.
- 7) Dalším aspektem, který by mohl být v příkladu zkoumán, jsou statistiky využití strojů. Například při zastavení běhu simulace v simulačním čase 60 000 časových jednotek, který byl proveden v bodě 6), lze pro každou variantu (0, 1 a 2) po klik-

nutí pravým tlačítkem myši postupně na každé ze tří pracovišť (řezání, montáž, expedice) a volbě Statistics, zobrazit statistiky využití pracovišť.

I když procentuální využití je přibližně podobné, určité rozdíly zde jsou. Konkrétně na prvním pracovišti je nejvyšší využití u volby 2 (18,55 %), následované volbou 1 (17,84 %) a nejnižší je u volby 0 (14,67 %). V případě nevyužitého času prvního pracoviště jsou u variant 2 a 1 pracoviště blokována, zatímco u varianty 0 je pracoviště v případě nevyužitého času nečinné (není blokováno). Druhé pracoviště je u všech tří variant velmi zaneprázdněné, přičemž u varianty 1 je vytíženo o trochu méně (96,08 %), než ostatních dvou variant (99,98 %). V případě vytíženosti třetího pracoviště, jsou statistiky opět velmi podobné, přičemž o trochu méně je vytíženo u varianty 2 (7,97 %), než u ostatních dvou variant (8,51 % u varianty 1 resp. 8,52 % u varianty 0). Nicméně u všech variant se nacházejí vytíženosti pracovišť v přibližně podobných číslech, rozdíly nejsou markantní.

DISKUZE - otázky k diskuzi:

- 1) Která z variant se jeví jako nejlepší a proč?
- 2) Jak byste model ještě vylepšili – stav čeho byste ještě kromě stavu zásob nedokonené výroby (potažmo materiálu) sledovali a případně na to nějak reagovali?
- 3) Myslíte si, že v reálném světě existují čistě tlačné nebo čistě tažné systémy?