

**Simulace výrobního procesu hlavného oddělení spol.
Česká Zbrojovka a.s., pomocí programu Witness**
Simulation of production process of barrel department, company
by using of program Witness

Bc. Ladislav Daníček

Diplomová práce
2008

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav aplikované informatiky
akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ladislav DANÍČEK**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Simulace výrobního procesu hlavního oddělení spol. Česká Zbrojovka a.s., pomocí simulačního programu Witness**

Zásady pro vypracování:

- 1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.**
- 2. Seznamte se s principem a popište technologii (pracovní postup), který se využívá při výrobě hlavní ve spol. Česká zbrojovka a.s., z reálného provozu sesbírejte, popřípadě experimentálně získejte data pro sestavení modelu tohoto pracoviště.**
- 3. Na základě získaných dat sestavte model stávajícího pracoviště hlavního oddělení a proveďte simulaci provozu tohoto pracoviště. Vyhodnoťte veličiny (parametry), které jsou rozhodující pro sledování a vyhodnocení celého simulačního experimentu. Porovnejte tyto hodnoty s reálnými daty. Pro modelování a simulaci bude využito programového softwaru Witness.**
- 4. Na základě konzultace s pracovníky firmy navrhnete vhodné cílové funkce a plán simulačních experimentů. Tyto experimenty pak realizujte na navrženém modelu. Popište jednotlivé simulační experimenty a proveďte analýzu a vyhodnocení výsledků těchto experimentů.**
- 5. Na základě výsledků navrhnete optimální řešení popřípadě upozorníte na úzká (kritická) místa systému.**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Katedra oděvnictví [online]. 2005 , 18.1.2006 [cit. 2006-01-25]. Dostupný z WWW: http://www.kod.vslib.cz/ucebni_materialy/PSI/default.html.
2. Lanner Group | WITNESS simulation and optimization software and consulting solutions [online]. 2001 [cit. 2006-01-25]. Dostupný z WWW: http://www.lanner.com/home/the_value_of_knowing.php.
3. Hušek, R., Lauber, J.: Simulační modely. SNTL-Nakladatelství technické literatury, Praha, 1987.
4. Vašek, V., Vašek, L.: Simulace systémů. Skriptum VUT Brno, Fakulta technologická, Brno, 1991.
5. Šťastný, J.: Počítačová simulace a informační systémy. Skriptum VUT Brno, Brno, ISBN 8021404604.
6. Firemní dokumentace.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Bronislav Chramcov, Ph.D.

Ústav aplikované informatiky

Datum zadání diplomové práce:

20. února 2008

Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2008

Ve Zlíně dne 20. února 2008

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



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

ABSTRAKT

Práce pojednává o simulaci výrobního procesu hlavného oddělení ve společnosti Česká zbrojovka a.s. Cílem je vytvořit model stávajícího výrobního procesu a pokusit se o nalezení rezerv v tomto systému a následně navrhnout řešení nastavení výroby tak, aby bylo dosaženo vyšší průchodnosti a zároveň výkonnosti tohoto výrobního systému. Modelování a simulace daného problému jsou řešeny v simulačním prostředí programu Witness. Toto prostředí je stručně popsáno v teoretické části práce.

Hlavním přínosem práce je nalezení rezerv v procesu výroby krátkých a dlouhých hlavních na základě předem definovaných požadavků zadavatele (společnost Česká zbrojovka a.s.). Výstupem jsou tedy dva modely, na kterých byla provedena řada simulačních pokusů. Na základě těchto experimentů bylo navrženo nastavení jednotlivých parametrů obou výrobních procesů zejména z pohledu maximální produktivity.

Je nutné zdůraznit, že v sestavených modelech jsou zahrnuty téměř všechny reálné situace, ke kterým při výrobním procesu může dojít (poruchy, směny). Řešení těchto situací je nastíněno v praktické části práce.

Klíčová slova: simulace, Witness

ABSTRACT

The work handles about simulation of industrial process of the barrel department in company Česká Zbrojovka a.s. The aim of this work is to develop the present model of industrial process and to attempt to find the reserves in this system and consequently project solution for adjusting of production to reach higher clearness and same efficiency of this industrial system.

Moulding and simulation of this problem are solved in simulation environment program Witness. This environment is shortly described in theoretic part of this work.

The main benefit of this work is to find the reserves in process of production of short and long barrels on the basis of advanced defined requirements of submitter (Česká zbrojovka a.s. company).

Two models are the outputs on which the serie of simulation process was used on. On the basis of these experiments was proposed adjusting of particular parameters of both industrial processes, especially from the sights of maximum productivity.

It is important to point out, that in the built-up models are included almost all the real situations, which can happen in industrial process (troubles, shifts). Solution of this situation is outlined in practical part of this work.

Keywords:Simulation, Witness

Chtěl bych poděkovat Ing. Bronislavu Chramcovovi, Ph.D. za vedení a odborné poradenství při řešení problémů. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Mojmíru Šťastnému za odborné vedení a konzultační činnost při zpracovávání mé diplomové práce.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 CO JE TO SIMULACE?	10
1.1 POUŽITÍ SIMULAČNÍCH METOD	10
1.2 TYPY SIMULAČNÍCH MODELŮ	11
1.3 STRUKTURA SIMULAČNÍCH MODELŮ	12
1.4 SPECIFICKÉ RYSY PROGRAMOVÁNÍ SIMULAČNÍCH MODELŮ	13
1.5 TVORBA A VYUŽITÍ SIMULAČNÍCH MODELŮ	13
2 SIMULAČNÍ SOFTWARE WITNESS	14
2.1 POPIS PROSTŘEDÍ SIMULAČNÍHO PROGRAMU	14
2.2 PRVKY POUŽITÉ PŘI TVORBĚ SIMULAČNÍHO MODELU	16
2.2.1 Stroj (Machine)	16
2.2.2 Součást (Part)	17
2.2.3 Zásobník (Buffer)	18
2.2.4 Dráha (Track)	18
2.2.5 Vozík (Vehicle)	19
2.3 PRAVIDLA POUŽITÁ V MODELU	19
2.3.1 Vstupně/výstupní pravidla	19
II PRAKTICKÁ ČÁST	22
3 POPIS VÝROBNÍHO SYSTÉMU A MODELOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ TOHOTO SYSTÉMU	23
3.1 STROJE V SYSTÉMU	23
3.2 OPERACE NA JEDNOTLIVÝCH STROJÍCH	24
3.3 PŘESUN VÝROBKŮ V SYSTÉMU	28
3.4 PRACOVNÍ SMĚNY	28
3.5 PORUCHY STROJŮ	29
3.6 ČASOVÉ INTERVALY OPRACOVÁNÍ VÝROBKŮ	29
4 POPIS SESTAVENÍ MODELU	33
4.1 SIMULAČNÍ MODEL VÝROBY KRÁTKÝCH HLAVNÍ	33
4.1.1 Základní model	33
4.1.2 Směny	39
4.1.3 Systém poruch	40
4.1.4 Reporty a grafy	42
4.2 TVORBA SIMULAČNÍHO MODELU VÝROBY DLOUHÝCH HLAVNÍ	46
4.2.1 Základní model	46
4.2.2 Směny	49
4.2.3 Systém poruch	49

4.2.4	Reporty a grafy.....	49
5	SIMULAČNÍ POKUSY A HLEDÁNÍ VHODNÝCH PARAMETRŮ SYSTÉMU.....	50
5.1	OMEZUJÍCÍ PARAMETRY	50
5.2	WARM-UP PERIOD – ZAVÁDĚNÍ VÝROBY (DOBA NÁBĚHU MODELU).....	50
5.3	VÝSLEDKY SIMULAČNÍHO POKUSU S MODELEM STÁVAJÍCÍ VÝROBY KRÁTKÝCH HLAVNÍ	51
5.4	SIMULAČNÍ POKUSY S MODELEM VÝROBY KRÁTKÝCH HLAVNÍ.....	53
5.5	VÝSLEDKY SIMULAČNÍHO POKUSU S MODELEM STÁVAJÍCÍ VÝROBY DLOUHÝCH HLAVNÍ	56
5.6	SIMULAČNÍ POKUSY S MODELEM VÝROBY DLOUHÝCH HLAVNÍ.....	58
5.7	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ SIMULAČNÍCH POKUSŮ	61
	ZÁVĚR.....	62
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	64
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	66
	SEZNAM TABULEK.....	67
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Počítačová simulace je v dnešní moderní době nezbytnou součástí každého většího výrobního procesu. S její pomocí můžeme provádět simulace reálného prostředí. Při správném namodelování procesu je možno provést simulaci výroby na několik dnů či týdnů dopředu. Tento nástroj poskytl firmám množnost operativního plánování při minimalizaci energií, zásob a pracovních sil. V dnešní době existuje mnoho nástrojů a softwaru pro tvorbu modelů a simulací. Pro simulaci výrobního procesu hlavního oddělení ve společnosti Česká zbrojovka a.s. jsem si vybral software WITNESS. Program slouží pro simulaci a optimalizaci výrobních, obslužných a logických systémů. V softwaru WITNESS jsem provedl simulaci procesu výroby hlavní. Požadavek ze strany zadavatele byl takový, aby byly vytvořeny dva modely, ve kterých bude simulována výroba krátký a dlouhých hlavní. Po vytvoření modelu následovalo hledání nejlepšího nastavení jednotlivých částí systému tak, aby výstupem ze systému byl co největší počet vyrobených výrobků.

Cílem práce bylo tedy provést simulaci hlavního oddělení a ukázat možné rezervy ve výrobě. Po provedení simulačních pokusů byly zřejmé rozdíly v systému před jeho přednastavením a po změně jednotlivých parametrů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CO JE TO SIMULACE?

Jednotná definice simulace nebyla stanovena, a proto existuje několik ustálených definic pojmu simulace:

Simulace je proces tvorby modelu reálného systému a provádění experimentů s tímto modelem za účelem dosažení lepšího pochopení chování studovaného systému či za účelem posouzení různých variant činnosti systému.

Simulace je technika, která nahrazuje dynamický systém modelem s cílem získat informace o systému pomocí experimentů s modelem.

1.1 Použití simulačních metod

Tvorba modelu je nedílnou součástí metodologie počítačové simulace. Modely libovolného charakteru se používají pro jeden či více z následujících cílů:

- systematizace myšlenkových pochodů
- usnadnění komunikace mezi lidmi
- **predikce chování modelovaného systému**
- experimenty (jako náhrada za experimenty s modelovaným systémem)

Simulace se z pravidla používá k dosažení některého z následujících cílů:

- pochopení reálného (modelovaného) systému
- náhrada za experimenty s reálným systémem

Další hlediska, která mohou pomoci v rozhodování, zda je v dané situaci vhodné použít simulace:

- simulace může pomoci ověřit řešení získané jinou nezávislou cestou
- analytické řešení modelu sice existuje, ale přesahuje matematické schopnosti řešitele
- simulace obvykle umožňuje komplexnější pohled na studovaný systém

Negativní stránky použití simulačních metod:

- simulace je poměrně velmi nákladný prostředek studia systému
- řešení určitého problému neřeší problém „podobný“

1.2 Typy simulačních modelů

Simulační modely lze přesněji klasifikovat podle řady hledisek. Jedním z nejdůležitějších hledisek je rozlišení podle způsobu zachycení časového faktoru v modelu, a to na:

- modely se spojitým časem, kde časová proměnná může nabývat všech hodnot z určitého intervalu.
- Modely s diskrétním časem, kde časová proměnná může nabývat pouze hodnot, které jsou prvky předem vymezené.

Podobně lze modely rozdělit podle charakteru množin hodnot stavových veličin na:

- modely se spojitými změnami stavu,
- modely s diskrétními změnami stavu.

Na základě uvedených hledisek lze modely rozdělit do čtyř hlavních kategorií, jimž odpovídá specifický matematický aparát.

Tabulka I. Tabulka klasifikace modelů

		Čas	
		spojitý	diskrétní
Stavy	spojité	diferenciální rovnice	diferenční rovnice
	diskrétní	diskrétní události	Markovy řetězce, diskrétní automaty

1.3 Struktura simulačních modelů

V simulačním modelu lze identifikovat následující základní prvky:

- komponenty
- proměnné
- parametry
- funkční vztahy

Komponentami modelu rozumíme modelové zobrazení jednotlivých částí modelovaného systému. Tyto části spolu s vazbami tvoří dohromady uvažovaný systém. Volba komponent modelu většinou vyplývá z povahy modelovaného systému a z cíle, který modelem sledujeme, neboť tím je určena vhodná rozlišovací úroveň modelu.

Proměnné zprostředkovávají vazby mezi komponentami navzájem a vazby komponent s okolím.

Parametry modelu jsou pevně dány a jejich změna je podmíněna experimentováním, za účelem nalezení optimální hodnoty parametru systému.

Funkční vztahy určují způsob vzájemného ovlivňování proměnných a jejich pomocí se zachycují pravidla vývoje modelu v čase.

1.4 Specifické rysy programování simulačních modelů

Při programování simulačních modelů lze hlavní dílčí problémy shrnout do následujících bodů:

1. zachycení statických vlastností (struktury)
2. zachycení dynamických vlastností
3. zachycení pravděpodobnostních stránek (generování hodnot náhodných veličin)
4. realizace sběru údajů z činnosti programu ()
5. návrh a vyhodnocení experimentů s modelem
6. zpracování a výstup výsledků

1.5 Tvorba a využití simulačních modelů

Problematika tvorby simulačních modelů je zhruba ve stejné míře vědou jako uměním. Je to způsobeno hlavně tím, že v dané oblasti nenalezneme tolik unifikovaných, obecněji použitelných modelů, jako v jiných oblastech. **Dá se říci, že pro simulační metody je typické vytváření jedinečných modelů konkrétních systémů vzhledem ke specifickým cílům.**

Simulace je třeba chápat jako pragmaticky orientovaný nástroj studia systému, tj. simulace systému musí vždy sloužit jasně definovanému cíli. Cíl simulační studie by asi neměl být „modelovati...“, **neboť modelování nemůže být cílem, ale prostředkem k dosažení cíle.** Stanovení tohoto cíle by mělo být vždy prvním krokem, který předchází výstavbě modelu a experimentování s modelem.

2 SIMULAČNÍ SOFTWARE WITNESS

Software WITNESS byl vyvinut britskou společností Lanner Group. Tento produkt je světově nejúspěšnější nástroj pro simulaci výrobních, obslužných a logistických procesů. Používá se pro podporu rozhodování vedoucích pracovníků při řešení organizačních, technických a provozních problémů souvisejících zejména s restrukturalizací a zlepšováním podnikových procesů.

WITNESS napomáhá omezit rizika při realizaci změn v organizacích tím, že umožňuje vytvářet interaktivním způsobem vizuálně srozumitelné simulační modely složitých podnikových procesů, tyto analyzovat a optimalizovat. WITNESS umožňuje testování různých variant změn systému a vyhodnocení jejich dopadu na chování procesu. Je možné identifikovat úzká místa ve výrobě, vyhodnotit náklady a přínosy změn ještě před tím, než je zakoupeno potřebné zařízení, zvýšit výkonnost organizace bez nutnosti rozšíření zdrojů a podobně.

Jádro systému WITNESS doplňují moduly pro optimalizaci procesů, zobrazení v prostředí virtuální reality, pro snadnou oboustrannou výměnu informací mezi nástroji WITNESS a Microsoft VISIO, propojení s CAD/CAM systémy, dokumentaci modelů a získávání znalostí z rozsáhlých souborů dat.

2.1 Popis prostředí simulačního programu

Simulační program WITNESS se skládá z několika hlavních částí. První částí je pracovní plocha, Layout Window, na kterou se vkládají jednotlivé komponenty modelovaného systému. Dalo by se říci, že je to prostředí, ve kterém se model nachází. Na obrázku číslo 1. je toto „prostředí“ označeno číslem 1.

Další důležitou součástí programu je Design Elements. V tomto podokně se nachází všechny prvky systému, které se mohou přenést na pracovní plochu. Obsahuje základní skupiny prvků: Layout, Basic, Transport, Data, Variables, Shift, Reports, Advanced a Six Sigma. Tyto prvky se dále spojují a vytvářejí se mezi nimi funkční vazby. Prvky jsou

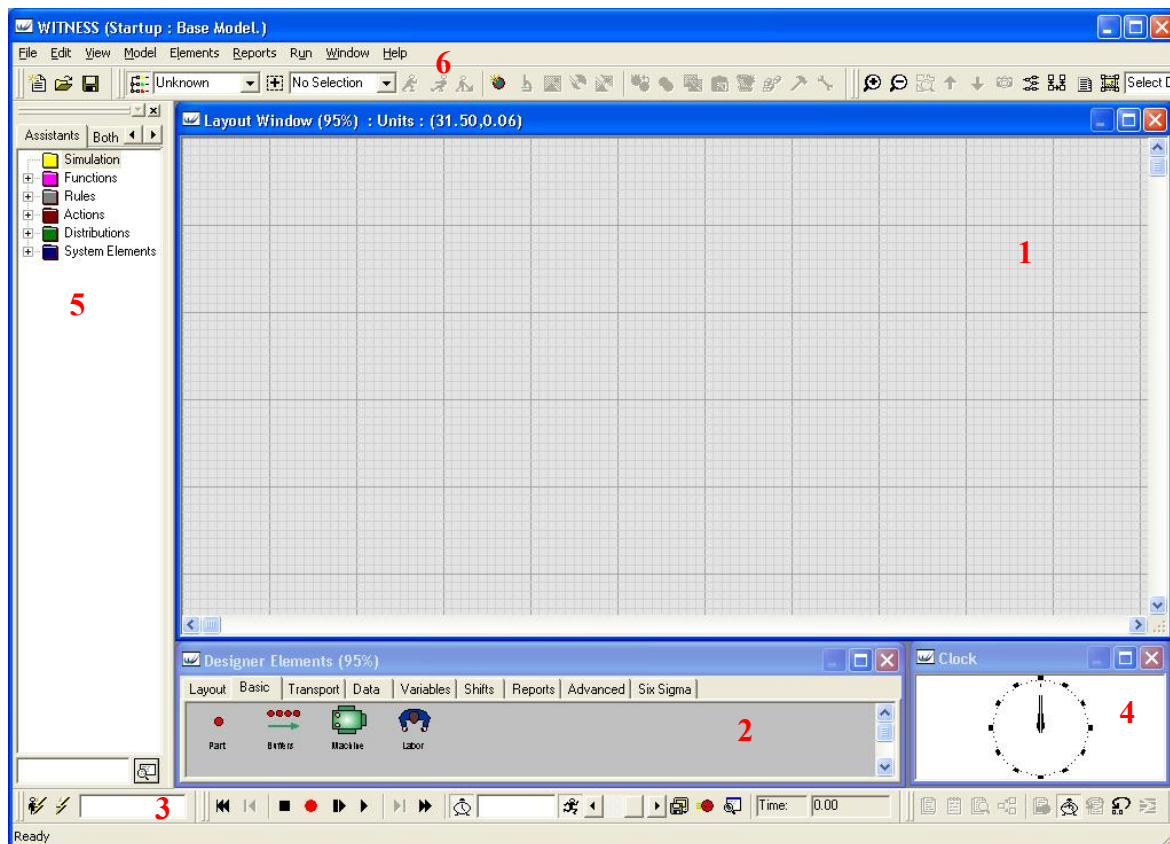
základními „stavebními kameny“ modelovaného systému. Panel je na obrázku číslo 1. označen jako 2.

Pod číslem 3. se ukrývá lišta, která ovládá časovou osu modelovaného systému. S její pomocí můžeme ovládat rychlost systému. Můžeme model spustit po jednotlivých operacích nebo jej můžeme spustit jako „urychlenou“ časovou posloupnost. Můžeme jej také v jakékoli chvíli zastavit a opět spustit.

Další součástí systému jsou hodiny, které nám ukazují, jak dlouho simulace běží. Jsou na obrázku pod číslem 4.

Předposlední důležitou komponentou systému je Element Selector. V tomto nástroji vidíme všechny komponenty umístěné na ploše. Je vhodný pro větší a rozsáhlejší modely. V této komponentě jsou zobrazeny také pravidla, systémové proměnné, funkce a akce, které je možné použít při práci s modelem. Dalo by se říci, že je to ucelený a přehledný obsah modelu. Nalezneme jej na našem obrázku pod číslem 5.

Poslední komponentou je hlavní menu, ve kterém najdeme známé funkce, jako jsou: view, edit, file, help a window. Jsou zde ještě funkce Model (slouží pro definici parametrů prostředí, modelu), Elements (slouží pro definici elementu (části)) a Reports (slouží pro zobrazení výsledků modelu). Hlavní panel je na obrázku číslo 1. umístěn pod číslem 6.



Obrázek 1. Ukázka prostředí programu WITNESS

2.2 Prvky použité při tvorbě simulačního modelu

Při tvorbě simulačního modelu jsem použil následující prvky, které reprezentují jednotlivé stroje v reálném prostředí.

2.2.1 Stroj (Machine)

Stroj je element, který dostává součásti, obrobí je a pošle je na další operaci. Stroj mění stav součásti z jednoho na druhý. Jako např.

- soustruh (se stavy upnutí, obrobení, uvolnění součásti, čas kdy nepracuje a údržbu)
- odbavení na letišti (odděluje cestující a zavazadla a předává cestujícím palubní lístky) se stavy pracuje, nepracuje a zavřeno
- svařecí robot se stavy svařuje, nepracuje a údržba
- pokladna v obchodním domě se stavy obsluhuje, nepracuje a zavřeno

Lze definovat 6 typů strojů podle toho kolik součástí stroj najednou zpracovává:

1. Single – *Jednoduchý stroj* – jedna součást dovnitř jedna ven
2. Batch – *Dávkový stroj* - mnoho součástí dovnitř, stejný počet ven
3. Assembly - *Montážní stroj* – mnoho součástí dovnitř, jedna ven
4. Production – *Produkční stroj* – jedna součást dovnitř, jedna nebo více ven. Je nutno specifikovat, kolik součástí a jakého typu se vyprodukuje z jedné součásti na vstupu.
5. General – *Obecný stroj* – jiný počet součástí vstupuje a jiný vystupuje. Může pracovat s vícenásobným cyklem
6. Multiple cycle – *Stroj s vícenásobným cyklem* – vícenásobný operační cyklus. např. obráběcí centrum
7. Multiple station – *Několikastupňový stroj* – několik součástí s pohybuje strojem společně. Do dalšího stupně postoupí pouze, když jsou na vstupu další součásti, tedy se strojem pohybují bez mezer

Při řešení našeho modelu budou stroje vystupovat jako *Single*. Budou zde zastoupeny stroje jako vrtačky, honovačky, kovačky, ale především soustruhy.

2.2.2 Součást (Part)

Součásti reprezentují vše, co se pohybuje mezi fyzickými elementy. Např.

- výrobky (auta, motory, atd..)
- projekty postupující po celé firmě
- hovory v telefonní ústředně
- pacienti v nemocnici

Mohou být zpracovány různými způsoby např. (montovány dohromady, po jedné nebo může být jedna součást rozdělena na více).

Součásti mohou být charakterizovány množinou atributů (jako váha, délka a barva), které mohou být:

- a) fixní (stejně pro každou součást daného typu)
- b) variabilní (pro jednotlivé součásti daného typu)

Můžeme také specifikovat, jak součásti vstupují do systému

- **pasivní** – jsou „tahány“ do systému z vnějšího světa (např. za pomoci stroje na jeho vstupu)
- **aktivní** – do systému vstupují o vlastní vůli (je definováno za jakých podmínek součást vstoupí do modelu)

2.2.3 Zásobník (Buffer)

Zásobníky jsou místa, kde se skladují součásti. Jsou možné různé způsoby vybírání součástí ze zásobníku, např. FIFO (first-in first-out), LIFO (last-in first-out) apod.

Zásobníky mohou reprezentovat:

- osoby čekající na odlet, na operaci v nemocnici
- frontu v obchodním domě
- součásti čekající na další operaci
- sklad součástek v dílně

2.2.4 Dráha (Track)

Dráha nám v systému reprezentuje trasu, po které probíhá přesun vozíku s materiálem (součástmi). U dráhy můžeme určit několik parametrů např. (délku dráhy, rychlost s jakou se může vozík po dráze pohybovat, počet vozíků na dráze, zda na dráze probíhá nakládka či vykládka elementů atd..)

2.2.5 Vozík (Vehicle)

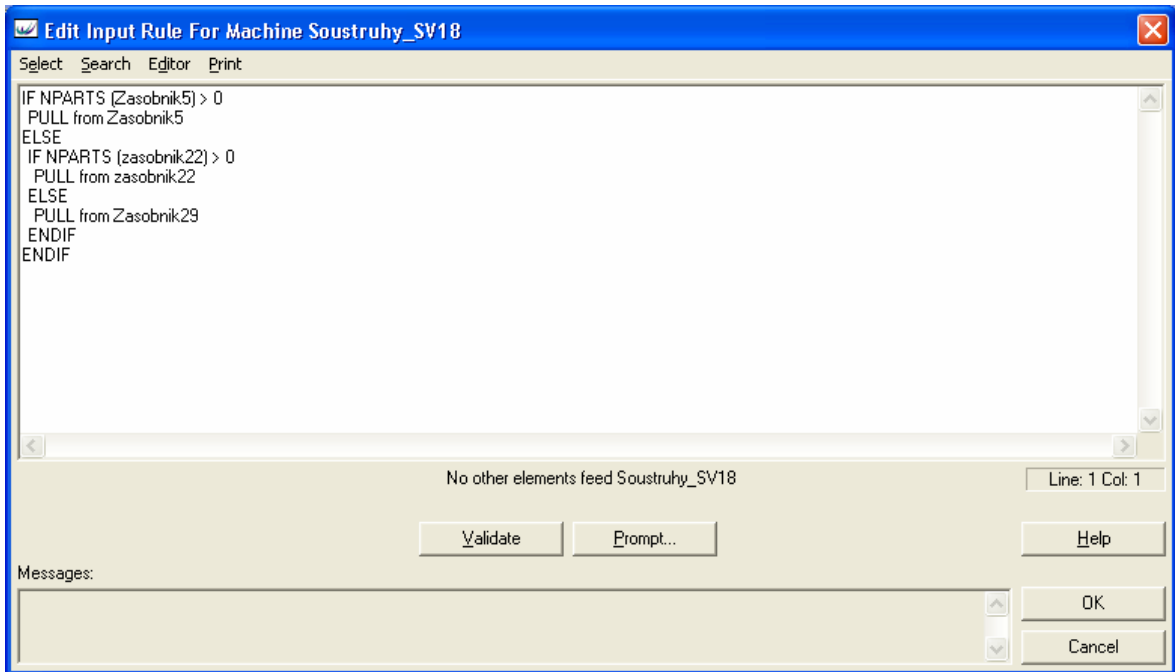
Vozík nám v systému obstarává přepravu elementů z jednoho zásobníku do druhého po definované dráze. Důležitými parametry vozíku jsou např. (doba nakládky a vykládky elementů, kapacita vozíku atd..)

2.3 Pravidla použitá v modelu

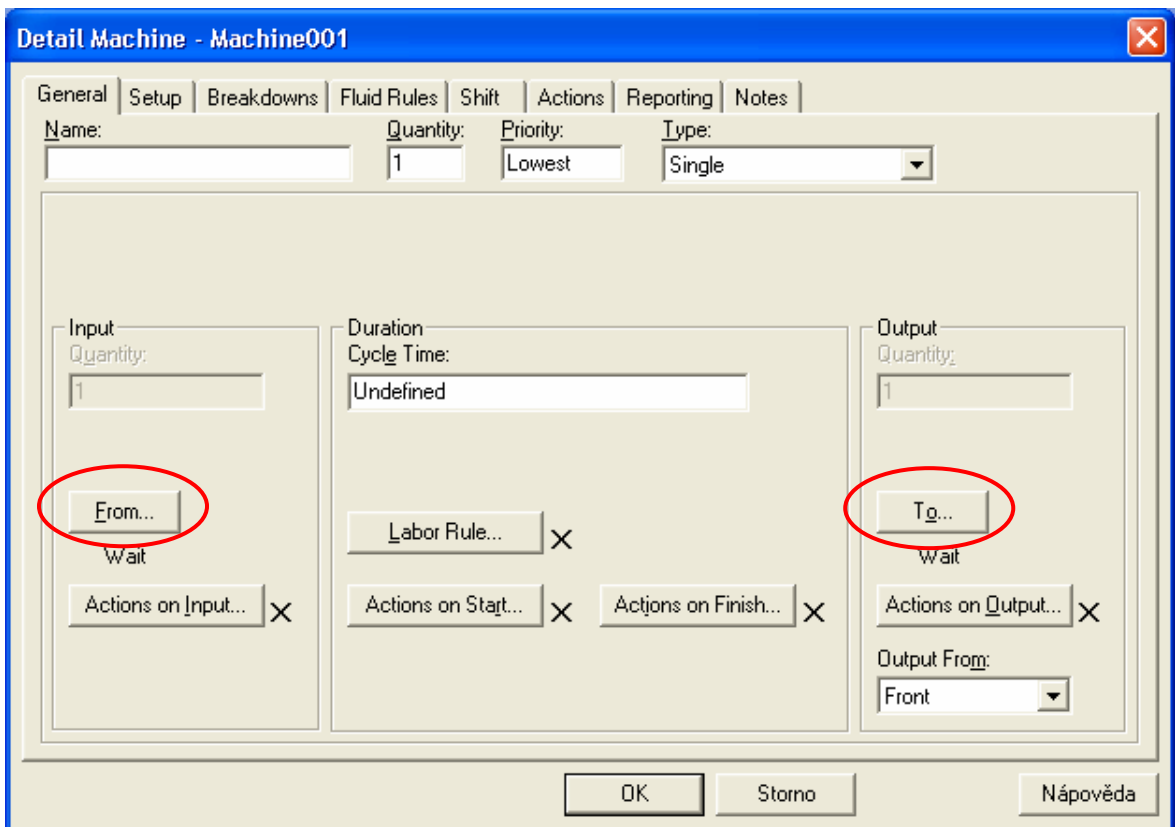
V modelu se používají dva druhy pravidel. Jedna pravidla jsou vstupní a druhá jsou výstupní. Pravidla slouží pro určování posloupnosti prováděných operací. To znamená, že pokud nejsou pravidla správně nadefinována, model se v místě, kde není správná definice vstupně/výstupních pravidel, zastaví a nebude fungovat. Dalo by se říci, že správná definice pravidel je základem pro správně fungující model odrážející skutečný reálný proces.

2.3.1 Vstupně/výstupní pravidla

Pravidla se přiřazují jednotlivým elementům v modelu. Jejich definice probíhá na položkách FROM a TO. Položka FROM definuje odkud a za jakých podmínek (definovaných pravidly) bude probíhat vstup prvků do stroje, vozíku nebo jiné části modelu. Položka TO nám říká, co se děje s prvkem, který prošel strojem nebo jiným zařízením. Položka FROM a TO je na každém zařízení, které je schopno vykonávat nějakou operaci s prvkem, který je v modelu. Ukázku položek FROM a TO je možno vidět na obrázku číslo 2. a 3. Na obrázku číslo 2. je také vidět část kódu pro vstup prvků do stroje.



Obrázek 2. Ukázka vstupního pravidla FROM



Obrázek 3. Ukázka definice stroje a je ho pravidel FROM a TO

Tabulka II. Tabulka vstupně/výstupních pravidel

Tabulka vstupně/výstupních pravidel	
Vstupně/výstupní pravidlo	Popis pravidla
PULL	Součásti jsou odebírány z prvního dostupného elementu ze seznamu, který je schopen je poskytnout.
WAIT	Součásti nebo tekutiny budou čekat, dokud nebudou vytaženy z nebo vytlačeny do jiného elementu.
PUSH	Součásti nebo vozidla jsou odeslány do prvního dostupného elementu ze seznamu, který je schopen je přijmout.
MOST	Součásti jsou odesílány do (přebírány z) elementu s nejvyšším počtem součástí nebo volné kapacity.
LEAST	Součásti jsou odesílány do (přebírány z) elementu s nejnižším počtem součástí nebo volné kapacity.
PERCENT	Součásti nebo vozidla jsou odesílány do (přebírány) z několika elementů na základě procentuálního rozdělení pravděpodobnosti.
SEQUENCE	Součásti nebo vozidla jsou odesílány do (přebírány) z několika elementů cyklicky.
IF	Součásti jsou odesílány do (přebírány z) elementu, pro který byla splněna určitá podmínka.
SELECT	Součásti nebo vozidla jsou odesílány do (přebírány) z několika elementů podle hodnoty celočíselné proměnné.
BUFFER (jen u strojů)	Na vstupu nebo výstupu stroje přidá buffer o určité kapacitě.
DESTINATION (jen u vozíků)	Součásti jsou odesílány po jejich definované trajektorii.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 POPIS VÝROBNÍHO SYSTÉMU A MODELOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ TOHOTO SYSTÉMU

3.1 Stroje v systému

Stroje, použité ve výrobě, slouží k opracovávání výrobků v různých fázích výroby. Jedná se především o soustruhy, brusky a vrtačky. Všechny tyto stroje jsou modelovány v prostředí programu Witness pomocí elementu *Machine* typu *Single*. Je to dáno skutečností, že do stroje vstupuje pouze jedna součást, na které se provádí specifická operace a vystupuje také jedna součást. Stroje jsou uspořádány do „skupin“, které jsou vždy pojmenovány podle operace, která se na něm provádí.

Každý stroj (až na jednu výjimku) obsluhuje jeden pracovník. (Pracovní síly nejsou v modelu uvažovány)

V tabulce III. jsou uvedeny počty jednotlivých strojů, které se v systému používají pro opracování výrobku a také počet směn, po který je stroj v provozu.

Tabulka III. Tabulka počtu strojů používaných při výrobě a jejich směnnost

Skupina zdrojů	Popis operací	Počet strojů	Směnnost
3320R-09421G-SZ-07	Ruční úprava	9	1
3320R-09913Q-SZ-17	Balení	1	1
3320S-03487A-SZ-01	Kování	2	3
3320S-04124D-SZ-04	Soustružení - SV 18	9	2
3320S-04125F-SZ-06	Soustružení - SU 40	3	2
3320S-04174C-SZ-03	Soustružení - Liberty	6	2
3320S-04326B-SZ-02	Soustružení - ústí hlavně	2	2
3320S-04371C-SZ-03	Soustružení - Fischery	3	2
3320S-04388A-SZ-01	Soustružení - komory	3	2
3320S-04614C-SZ-03	Leštění - komory	2	2
3320S-04626B-SZ-02	Vrtání - zahl. vzduchovky	3	2
3320S-04856A-SZ-01	Vrtání hlavní - SIG, TBT	3	2
3320S-04875A-SZ-01	Vystružování	5	1
3320S-05226D-SZ-04	Frézování	1	1
3320S-05522A-SZ-01	Broušení	6	2
3320S-05778A-SZ-01	Honování	5	2
3320S-05791B-SZ-02	Leštění - broková	1	0
3320S-05985C-SZ-03	Zarovňávání	1	0
3320S-05991B-SZ-02	Frézování závitů - soustruh	1	1
3320S-13354A-SZ-01	Protlačování	1	1
3320S-18351A-SZ-01	Regulace závitů - svěrák	2	1
3320S-44418A-SZ-01	Soustružení - Traub	1	3
3320S-65951A-SZ-01	Stružení komor	1	2

3.2 Operace na jednotlivých strojích

Každému stroji přísluší nějaká operace. V modelu se nacházejí stroje, které vykonávají i více různých operací. To znamená, že výrobek se na stroj dostane i 3x než opouští výrobu. Nyní si popíšeme jednotlivé operace podle pořadí, jak jdou za sebou výrobou.

Postup pro výrobu dlouhé hlavně.

1. Nejdříve dochází k řezání polotovaru na potřebnou délku, jeho zarovnání a kontrole jeho tvrdosti. (Tato operace se děje ještě mimo model.)

2. Vrtání díry pro přípravu vývrtu. K této operaci dochází na stroji s označením 04856. Jedná se o vrtačky. V případě tohoto stroje je zde jedna výjimka. Jeden pracovník obsluhuje 2 stroje.
3. Zahloubení konců u vyvrtané díry. To se děje na stroji s označením 04627. Provádí se tzv. zahloubení.
4. Soustružení osazení na jedné straně přířezu pro upnutí na kopírovací stroj. Další operací je soustružení povrchu a to do kužele či válce dle provedení výkovku respektive konečného tvaru hlavně. Zhotovení konců se provádí pro upnutí na operaci kování a honování, které následují. Tyto operace se provádí na soustruzích s označením 04371 a 04174.
5. Výše zmíněné honování. Jedná se o konečnou úpravu díry před vlastním kováním. Honování se provádí pro dosažení potřebného rozměru díry a drsnosti. Je realizováno na stroji s označením 05782.
6. Kování je zhotovení konečných rozměrů vývrtu a povrchu výkovku dle potřebné ráže a provedení hlavně. Operace kování se děje na stroji s označením 03487.
7. Rovnání výkovku po kování. Jedná se o vyrovnání vývrtu průhledem hlavně na rovnacím stojanu. Tato operace se provádí na pracovišti 18435.
8. Upíchnutí a zarovnání čela hlavně na potřebnou délku dle provedení – tzv. první čelo. To se děje na stanovišti 04125.
9. Operace soustružení průměru pro ustavení hlavně v soustruhu pro upíchnutí se provádí rovněž na pracovišti 04125.
10. Upíchnutí a zarovnání čela hlavně na potřebnou délku dle provedení – tzv. druhé čelo. Rovněž stanoviště 04125.
11. Zahloubení a soustružení pro upnutí do hrotu na vytvoření osazení a pro upnutí na CNC soustruh. Provádí se na pracovišti 04174.
12. Broušení pod lunetou pro podepření kusu na CNC soustruhu. Broušení se provádí na bruskách s označením 05522.
13. Soustružení hlavy. Toto se děje na CNC soustruhu s označením 44418.

14. Soustružení kuželu. Operace je umístěna na stanovišti 04371.
15. vracíme se na rovnání hlavně, které je na pracovišti 18435.
16. Opět brousíme pod lunetou na stanovišti 05522.
17. Soustružení zápichu. Je to operace nutná pro nastavení délky pro usazení na montáž s lůžkem. Tato operace se realizuje na pracovišti 04371.
18. Vracíme se na rovnání hlavně, které je na pracovišti 18435.
19. Broušení pod lunetou, která se provádí za účelem podepření na broušení povrchu. Stanoviště 05522.
20. Následuje série brusných operací, které se odehrávají na výše zmíněném stanovišti 05522.
21. Frézování závitu pro montáž s lůžkem. To se odehrává na pracovišti 04125.
22. Úprava a regulace závitu prováděna na stanovišti 09421.
23. Zhotovení nábojové komory pomocí vyhrubování a vysoustružení. To se děje na pracovišti 04388.
24. Zhotovení nábojové komory za pomoci leštění, které upravuje rozměry a tvar nábojové komory. Tato činnost se provozuje na pracovišti 04621.
25. Soustružení ústí, které zhotovuje potřebné konečné délky hlavně a tvar ústí. To se děje na stanovišti 04125.
26. Poslední operací jsou kontrolní a přípravné činnosti pro další práci s výrobkem. Patří sem: rozměrové kontroly, čištění konzervace, odmašťování atd.

Postup pro výrobu krátké hlavně:

1. Vrtání díry pro přípravu vývrtu. K této operaci dochází na stroji s označením 04856. Jedná se o vrtačky.
2. Zahloubení konců u vyvrtané díry. To se děje na stroji s označením 04627. Provádí se tzv. zahloubení.

3. Soustružení osazení na jedné straně přířezu pro upnutí na kopírovací stroj. Další operací je soustružení povrchu a to do kužele či válce dle provedení výkovku respektive konečného tvaru hlavně. Zhotovení konců se provádí pro upnutí na operaci kování a honování, které následují. Tyto operace se provádí na soustruzích s označením 04371, 04174 a 04125.
4. Výše zmíněné honování. Jedná se o konečnou úpravu díry před vlastním kováním. Honování se provádí pro dosažení potřebného rozměru díry a drsnosti. Je realizováno na stroji s označením 05782.
5. Kování je zhotovení konečných rozměrů vývrtu a povrchu výkovku dle potřebné ráže a provedení hlavně. Operace kování se děje na stroji s označením 03487.
6. Upíchnutí a zarovnání čela hlavně na potřebnou délku dle provedení – tzv. první čelo.
7. Operace soustružení čel a osazení se provádí na pracovišti 04371
8. Opět upíchnutí. To se děje na stanovišti 04124.
9. Zahloubení. To se děje na stroji s označením 04124.
10. Frézování tvaru v oblasti nábojové komory. Toto se provádí na stanovišti 4124.
11. Soustružení průměru hlavně s přídatkem pod brus. Stanoviště číslo 04124.
12. Broušení průměru hlavně na konečný rozměr, tvar a opracování. Tato operace se provádí na stanovišti 05531.
13. Soustružení s napojením na podozubí a samotné soustružení ozubí. Tato akce se provádí na pracovišti 04174.
14. Soustružení nábojové komory a soustružení ústí, kde se stanoví jeho konečná délka podle jednotlivých provedení. Stanoviště číslo 04388.
15. Předposlední operací je leštění skluzavky a leštění nábojové komory. Tyto operace jsou na pracovišti 04614.
16. Poslední operací jsou kontrolní a přípravné činnosti pro další práci s výrobkem. Patří sem: rozměrové kontroly, čištění konzervace, odmašťování atd.. Ty se provádí na stanovišti 09421.

3.3 Přesun výrobků v systému

Přesun výrobků ve výrobě se děje po mocí vozíků (v modelu element *Vehicle*) po definovaných drahách (v modelu element *Track*). Přesun materiálu není v reálné výrobě řízen žádným nařízením. V simulačním modelu je tato aktivita realizována pokaždé, když dojde k poklesu množství prvků v zásobníku na hodnotu 3 nebo menší. Poté je zavolán vozík, aby provedl převoz materiálu z daného zásobníku.

Doba přesunu materiálu od jednoho stroje k druhému je v modelu nastavena na minimální hodnoty. Je to z toho důvodu, že přesun probíhá na krátké vzdálenosti. Proto můžeme říci, že doba přesunu materiálu je zanedbatelná. Vozíky se v modelu pohybují po vytyčených trasách. Trasy mezi stroji jsou nadefinovány podle posloupnosti navazujících operací. Pro lepší představu je v příloze číslo 1. plán výroby, kde jsou tyto trasy zakresleny.

3.4 Pracovní směny

Pracovní směny na hlavněovém oddělení jsou přehledně uspořádány do tabulky IV. Zde je popsána doba, kdy stroje jedou a kdy je přestávka a konec směny.

Tabulka IV. Tabulka směnnosti hlavněového oddělení

Směna	Začátek směny	Přestávka	Konec směny
Ranní směna	5:45	10:30-11:00	14:15
Odpolední směna	14:00	17:30-18:00	22:00
Noční směna	22:00	2:00-2:30	5:30

Podle této tabulky a tabulky III. byly v modelu vytvořeny 3 směny. Každý stroj má nadefinovanu směnu, podle které se řídí, to znamená, že když je 10:30-11:00 stroj se na půl hodiny zastaví, protože je v tuto dobu, podle tabulky IV, polední přestávka.

3.5 Poruchy strojů

K poruchám v reálné výrobě dochází pouze výjimečně. Poruchám je předcházeno pravidelnou údržbou, která spolu s poruchami zabere 3% strojového času. Poruchy na strojích jsou v modelu realizovány velmi zajímavým způsobem. Je zde pro to použito speciálních strojů, které posílají na stroje, které pracují v systému tzv. poruchové prvky a tyto prvky z něj také odstraňují. Generování těchto poruchových prvků probíhá na základě normálního rozdělení a to pro hodnoty, které odpovídají 3% strojového času. Tento systém je použit z toho důvodu, že při nastavení poruchy přímo na stroji, který obrábí výrobek, dojde k tomu, že se zastaví celá skupina strojů. A to mi nechceme. Při použitím systému dochází k tomu, že se během dne zastaví všechny stroje v každé skupině, ale podle normálního rozdělení nadefinovaného na poruchovém prvku. Při výsledném reportu je pak nutné výsledný čas vynásobit počtem strojů v dané skupině. Tyto výsledky nám tedy řeknou který stroj je vytížen na maximum a naopak které stroje můžeme ze systému odstranit, a při tom neohrozit výsledný počet hotových výrobků.

3.6 Časové intervaly opracování výrobků

Před samotnou tvorbou modelu bylo třeba získat data, která budou důležitá pro tvorbu simulačního modelu. V našem případě jsou nejdůležitějšími daty doby operací na jednotlivých strojích a pracovní směny. Doba operace na stroji nám říká, jaký čas daná součást na stroji stráví. Pracovní směna je doba po kterou je stroj v provozu.

Všechny tyto údaje poskytla společnost Česká zbrojovka a.s. ze svého systému plánování, kde jsou tyto údaje pro všechny stroje uloženy. Sběr těchto dat probíhal dlouhou dobu, a proto můžeme tato data považovat za velmi přesná. Bylo by tedy ztrátou času provádět další měření přímo v provozu.

Dalším důležitým údajem pro správnou funkčnost modelu je poruchovost strojů. Ta je vypočtena na 3% ze strojového času daného zařízení.

Přesun součástí od jednotlivých strojů probíhá okamžitě po jejich zpracování v závislosti na vytížení stroje následujícího.

Tabulka V. Tabulka hodnot pro definici modelu krátkých hlavní

Tabulka hodnot pro definici modelu krátkých hlavní č. 0340-0941-03				
Operace	Popis operace	Pracoviště	Počet operátorů	Doba zpracování jedné součásti [s]
075	VRTAT	04856	1	17,4
090	ZAHLOUBIT	04627	1	7,8
110	SOUSTRUŽIT	04371	1	14,4
113	SOUSTRUŽIT	04125	1	13,8
116	SOUSTRUŽIT	04174	1	10,2
130	HONOVAT	05778	1	40,2
150	KOVAT	03487	1	49,2
170	UPICHNOUT	04124	1	10,2
175	SOUSTRUŽIT	04371	1	22,8
190	UPICHNOUT	04124	1	61,2
200	ZAHLOUBIT	04124	1	9
220	SOUSTRUŽIT	04124	1	72,6
221	SOUSTRUŽIT	04124	1	12,6
240	BROUSIT	05531	1	49,2
250	BROUSIT	05531	1	45,6
255	SOUSTRUŽIT	04174	1	84
260	VYSTRUŽIT NÁB.KOMO.	04388	1	91,2
284	LEŠTIT NAB.KOMORU	04614	1	28,2
310	UPRAVIT VÝVRT	09421	1	1,8

Tabulka VI. Tabulka hodnot pro definici modelu dlouhých hlavni

Tabulka hodnot pro definici modelu dlouhých hlavni č. 5270-0124-0201				
Operace	Popis operace	Pracovišt ě	Počet op.	Doba zpracování jedné součásti [s]
070	RAZIT	09421	1	20,4
080	VRTAT	04856	2	346,6
090	ZAHLOUBIT	04627	1	25,8
110	SOUSTRUŽIT	04371	1	175,2
120	SOUSTRUŽIT	04174	1	85,8
130	SOUSTRUŽIT	04174	1	61,2
140	HONOVAT	05782	1	294
150	KOVAT	03487	1	286,2
155	ČISTIT ROVNAT DLE STÍN.	18435	1	35,4
160	SOUSTRUŽIT, ZAHLOUBIT	04125	1	92,4
175	SOUSTRUŽIT	04125	1	58,2
185	SOUSTRUŽIT,ZAHLOUBIT	04124	1	69,6
190	SOUSTRUŽIT	04174	1	74,4
210	BROUSIT	05522	1	52,2
215	OBRÁBĚT NA CNC	44418	1	211,2
220	SOUSTRUŽIT	04371	1	87,6
230	ČISTIT,ROVNAT DLE STÍN.	18435	1	37,2
240	BROUSIT	05522	1	52,2
250	SOUSTRUŽIT	04371	1	88,2
260	ČISTIT,ROVNAT DLE STÍN.	18435	1	36
280	BROUSIT POD LUNETU	05522	1	52,2
290	BROUSIT	05522	1	142,2
295	BROUSIT	05522	1	46,2
305	BROUSIT	05522	1	52,8
310	BROUSIT	05522	1	106,2
320	UPRAVIT	04125	1	24
360	REGULOVAT ZÁVIT	09421	1	93,6

365	VYHRUBOVAT,VYSTRUŽIT	04388	1	219
370	VYSTRUŽIT	65951	1	125,4
375	LEŠTIT	04621	1	115,2
380	NÁB. KOMORU VYLEŠTIT	09421	1	33
385	UPÍCHNOUT,SOUSTR.US.	04125	1	96,6
429	ODMASTIT	09614	1	36,6
431	KONTROLOVAT TRHLINY	28682	1	29,4
432	OČISTIT	09614	1	31,8
438	ČISTIT,ROVNAT DLE STÍN.	18435	1	49,8
460	ČISTIT VÝVRT,KONZERV.	09626	1	12,6

V modelu jsou časové intervaly opracování výrobku nadefinovány hodnotou *CycleTime*. Je to časová proměnná, která nám říká, jakou dobu je daná součást opracována. Časy jednotlivých operací jsou uvedeny v tabulce číslo IV. a V.

4 POPIS SESTAVENÍ MODELU

K sestavení modelu jsem použil tabulek číslo III., IV, V a VI. V těchto tabulkách jsou všechna potřebná data pro sestavení simulačního modelu. Dále bylo nutné projít celý výrobní proces ve společnosti Česká zbrojovka a.s., abych pochopil, jak celá výroba hlavní funguje a to za odborné asistence procesního inženýra pana Mojmíra Šťastného. Model hlavního oddělení je přiložen v příloze číslo 1. Jak je z přílohy patrné, výroba je dosti rozsáhlá a komplikovaná. Z toho důvodu a také v závislosti na požadavcích ze strany České zbrojovky a.s. bylo dohodnuto, že simulační modely budou dva. V prvním modelu bude simulována výroba krátkých hlavní. V druhém modelu bude namodelována výroba dlouhých hlavní. Oba dva modely jsou rozdílné. A to z toho důvodu, že výrobní proces a jednotlivé operace v něm mají různý sled událostí a posloupností.

4.1 Simulační model výroby krátkých hlavní

4.1.1 Základní model

Na počátku tvorby modelu jsem si shrnul, zda mám všechna potřebná data pro sestavení simulačního modelu.

Jako první jsem vložil stroj s označením 04856, což je stroj pro operaci vrtání. Z tabulky III. je patrné, že tyto stroje jsou tři. Umístil jsem tedy stroj (machine) na plochu a do jeho parametrů zadal *Quantity 3, Cycle Time 17,4*. Tento údaj je z tabulky V.

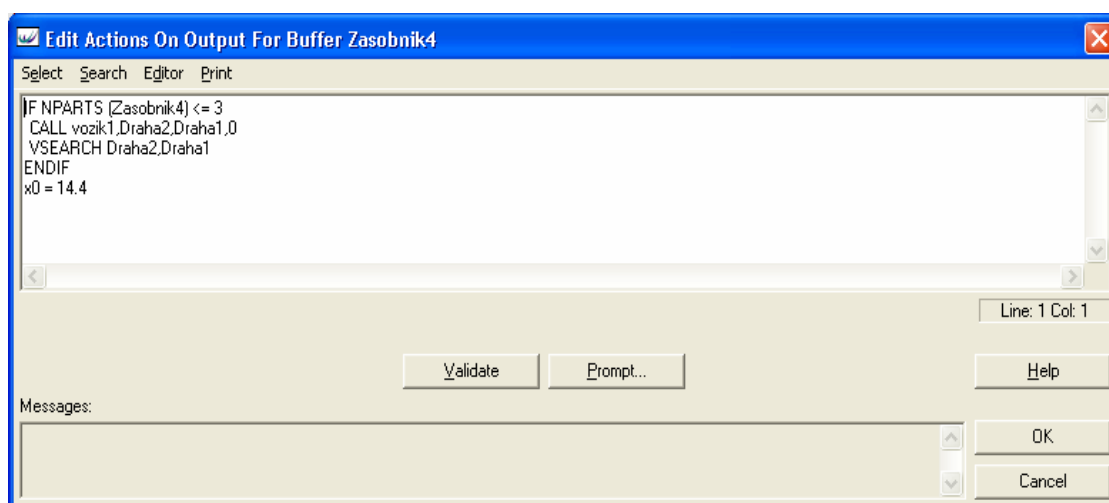
Jako další jsem vložil na plochu prvek pojmenovaný Kulatina. Tento prvek reprezentuje výrobek, který vstupuje do systému. Prvek je pasivní což znamená, že do systému je volán strojem v tomto případě Vrtačkou. Volání se provádí na Vrtačce v položce *From* příkazem: *PULL from Kulatina out of WORLD*.

Dalším prvkem, který následoval po elementu Kulatina, byl Zásobník2. Do toho zásobníku jsou umísťovány prvky, které jsou již opracovány strojem Vrtačka. Zásobník má svoji kapacitu nastavenou na 5000 kusů. Tento parametr se zadává do položky *Kapacity*.

Po Zásobníku2 jsem vložil do systému zařízení s označením 04627, což je stroj provádějící operaci Zahloubení. Stroj si bere prvky ze Zásobníku2 a po jejich opracování je ukládá do

dalšího vloženého prvku a tím je Zásobník3. Příkaz pro vstup prvků ze zásobníku do stroje je: *PULL from Zásobnik2*. Příkaz pro umístění opracovaného výrobku do výstupního zásobníku je: *PUSH to Zásobnik3*.

Další vloženou částí do systému byla dráha a vozík, které se starají o přesun výrobků od jednoho stroje k druhému. V systému mají dráhy označení Draha1, Draha2 a Vozik1. Dvě dráhy jsou zde z toho důvodu, že jedna dráha slouží pro naložení nákladu a druhá pro návrat vozíku a vyložení nákladu. Draha1 je dráhou vykládací má tedy nastaveno pravidlo *Unloading*. Výstupní pravidlo je nastaveno tak, aby vozík vyložil náklad do Zásobníku4, který byl vytvořen pro skladování částí přivezených vozíkem Vozik1 a rovněž aby z něj mohl stroj Soustruh1_Fischer brát součásti pro opracování. Draha2 je zde pro nakládku výrobků ze Zásobniku3. Má nastaveno pravidlo *Loading*. Počet výrobků k naložení nám reprezentuje příkaz v kolonce *Quantity to Load*, který nám říká, kolik výrobků se bude nakládat. V tomto případě to budou všechny výrobky, které dovolí kapacita vozíku. Příkaz je: *NPARTS (Zásobnik3)*. Vozik1 se po dráze pohybuje pomocí příkazu *CALL*, který je nadefinován přímo na zásobnicích 3 a 4. Příkaz nám zavolá vozík při splnění daných podmínek. Více na obrázku č. 4.

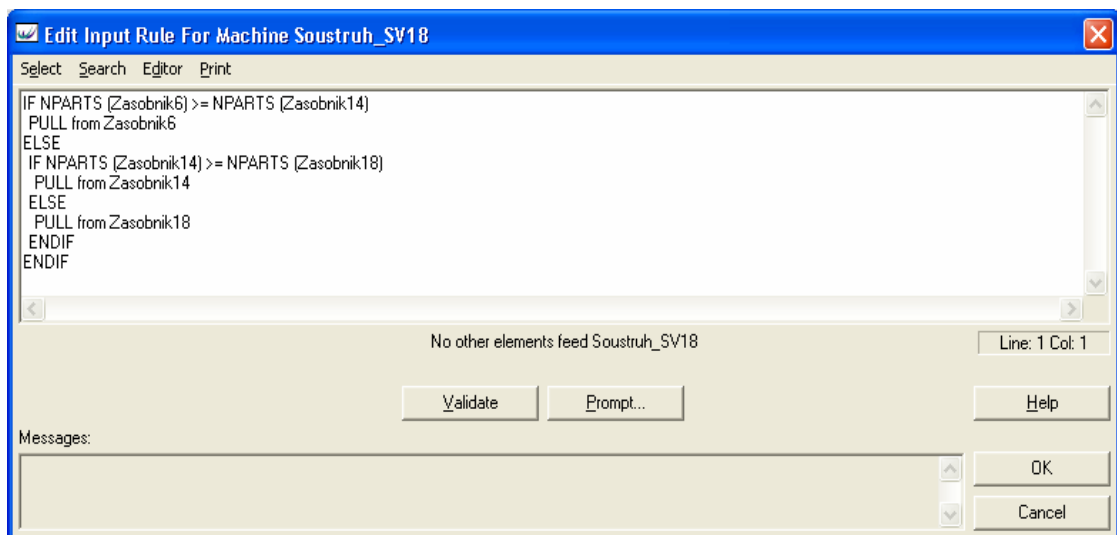


Obrázek 4. Ukázka příkazu *CALL* pro přesun materiálu mezi stroji

Dalším již výše zmíněným prvek, který jsem do systému vložil, byl stroj s označením 04371 a názvem Soustruh1_Fischer. Jedná se o skupinu tří strojů, které provádí

soustružení. Prvky do něj vstupují ze Zasobnik4 a po zpracování jsou odesílány do Zasobnik5, který plní dva účely. Jeho první úlohou je přijímat opracované výrobky ze Soustruh1_Fischer. Druhou rolí Zasobnik5 je plnit Vozik2 součástmi pro převoz po Draha3,Draha4. A umísťovat je do Zasobnik6.

Dalším byla definována skupina strojů Soustruh_SV18. Jedná se o skupinu šesti soustruhů provádějících soustružení výrobku. Tato skupina strojů provádí tři operace na výrobku. Tyto operace však nejdou za sebou. Z toho důvodu se na skupinu strojů vracejí ještě dvakrát. Podmínka pro vstup prvků na stroje je vidět na obrázku číslo 5.



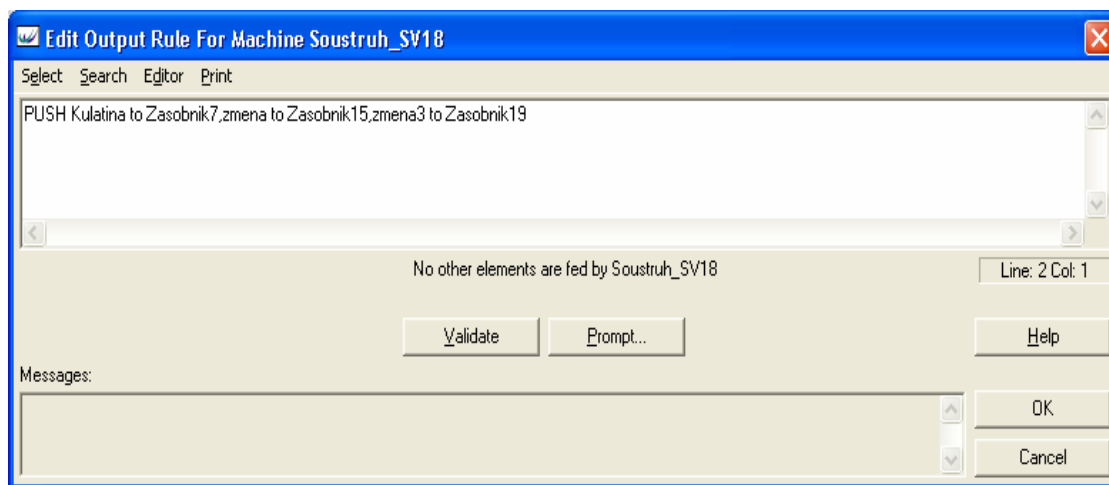
Obrázek 5. Podmínka pro vstup výrobků na skupinu strojů Soustruh_SV18

Po obrobení součásti dochází k jejímu uložení do dalšího zásobníku nyní již s označením Zasobnik7.Zasobnik7 slouží zároveň jako vstup na další zařízení.

Dále jsem do modelu vložil zařízení s označením 04174, což jsou Soustruhy_Liberty. Jedná se o další typ soustruhů na nichž se provádí soustružení součásti. Na tento stroj se také obrobek ještě jednou vrátí. Výstup z těchto soustruhů je do Zasobnik8. Tento zásobník slouží jako vstup pro Vozik3 a Draha5,Draha6. Na Draha5 probíhá nakládka materiálu, který je vyzvednut v Zasobnik8 a po Draha5 převezen do Zasobnik9. Po vyprázdnění se Vozik3 vrací po Draha6 na své stanoviště.

Následující zařízení vložené do systému byly stroje s označením 05778. Na těchto strojích se provádí honování hlavní. Jejich vstupem je Zasobnik9 a po opracování jsou hlavně umístěny do Zasobník10. Z tohoto zásobníku probíhá přesun materiálu pomocí Vozik4 a Draha7,Draha8 do Zasobnik12. Zasobnik12 je také vstupním zásobníkem pro další stroj s označením 03487. Jedná se o tzv. Kovačky. Na těchto strojích se provádí kování hlavní. Po provedení operace na stroji se hlaveň odešle do Zasobnik13. Ze Zasobnik13, který je vstupem pro Vozik5, který se pohybuje po Draha9, Draha10, jsou hlavně přesunuty do Zasobnik14.

Zasobnik14 má jednu důležitou funkci a to tu že jakmile přijde hlaveň na jeho vstup dochází ke změně názvu součásti (výrobku) a to z toho důvodu, abychom mohli nastavit správnou dobu operace na strojích, protože dochází k prvnímu návratu výrobku na stroj, na kterém již jednou byl. Znamená to, že Part *Kulatina* se mění na *zmena*. Ve chvíli, kdy tedy odejde první součást ze Zasobnik14 na stroj Soustruh_SV18 dochází k přenastavení doby opracování na tomto stroji a ke změně názvu této součásti. Nastavení se provádí na Zasobnik14 a to ve vstupním a výstupním pravidle. Změna názvu se provádí na vstupu, tedy *Actions on Input: CHANGE ALL to zmena*. Doba pro opracování výrobku je nastavena na výstupu ze Zasobnik14, tedy *Actions on Output: X1=10,2*. Na stroji Soustruh_SV18 je poté nastavena proměnná X1, kterou jsem nyní vložil do systému jako proměnnou za účelem uchování hodnoty doby opracování výrobku. Nyní bylo ještě třeba nastavit výstupní pravidlo na stroji, aby věděl kam který výrobek odeslat, do kterého zásobníku jej má uložit. Toto pravidlo je nastaveno na stroji Soustruh_SV18 v položce *TO*. Více je vidět na obrázku číslo 6.



Obrázek 6. Ukázka výstupního pravidla pro skupinu strojů Soustruh_SV18

Nyní jsem tedy vložil Zasobnik15, do kterého se budou ukládat výrobky označené jako *zmena*. Tento zásobník je tedy výstupním zásobníkem pro stroje Soustruh_SV18 a zároveň vstupem pro Vozik6 a Draha11, Draha12.

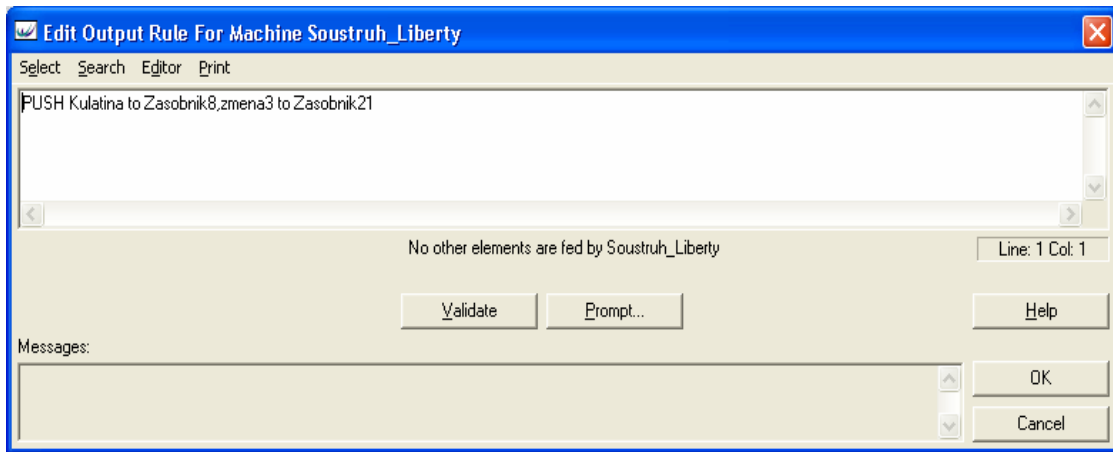
Dále jsem do systému vložil Zasobnik16, který je výstupem pro Vozik6 a zároveň vstupem pro již vložené Soustruh1_Fischer, na které se výrobek také ještě jednou vrací. To znamená, že na Zasobnik16 je nastavena *zmena2* opět proto, aby bylo jasné že se změnil výrobek, který bude opracováván a mi jej poté mohli zařadit do správného zásobníku. V tomto případě je výstupním zásobníkem Zasobnik17. Do systému jsem také vložil novou proměnnou X0, která nám definuje čas, který se bude výrobek opracovávat na Soustruh1_Fischer.

Zasobnik17 je výstupním zásobníkem ze Soustruh1_Fischer a zároveň vstupním zásobníkem pro Vozik7 a Draha13, Draha14. Vozik7 zajišťuje přepravu mezi Zasobnik17 a Zasobnik18. Kdy Zasobnik18 je dalším vstupním zásobníkem pro Soustruh_SV18. Na tomto zásobníku dochází k další změně stavu materiálu a to na *zmena3*. Je to opět z důvodu rozlišovací schopnosti stroje, aby správně ukládal materiál do správných zásobníků.

Zasobnik18 je tedy výstupním zásobníkem pro Vozik7 a také vstupním zásobníkem pro Soustruh_SV18. Na tomto zásobníku také probíhá další změna stavu materiálu.

Po opracování na stroji Soustruh_SV18 dochází k přesunu materiálu do Zasobnik19.

Tento zásobník je vstupním zásobníkem pro další stroje s označením 05522, Na těchto strojích se provádí broušení. Skupina strojů se skládá z šesti strojů jak je vidět v tabulce III. Tyto stroje po provedení operace odesílají materiál do Zasobnik20, který je výstupním zásobníkem stroje Broušení a vstupním zásobníkem stroje Soustruh_Liberty. Nyní vložíme proměnnou X2, která nám říká, jak dlouho bude výrobek na Soustruh_Liberty. Ze Soustruh_Liberty se obrobek *zmena3* ukládá do Zasobnik21. Ukládání se provádí podle kritéria na obrázku 7.



Obrázek 7. Ukázka rozřazení materiálu ze strojů Soustruh_Liberty

Nyní jsem vložil do modelu stroje s označením 04388, což jsou stroje provádějící operaci Soustružení_komory. Skupina se skládá ze tří strojů, což je patrné z tabulky III. Po dokončení operace soustružení komory se obrobky ukládají do Zasobnik22. Odtud se berou do dalšího stroje s označením 04614, což je leštění komory. Pro Leštění je Zasobnik22 vstupem. Po dokončení operace je součást odesílána do Zasobnik24.

Dalším nadefinovaným strojem je stroj s označením 09421, což je Rucni_Uprava. Na těchto strojích se provádí ruční úprava výrobků. Z těchto strojů už jdou výrobky na konzervaci a do balícího procesu. Tyto operace jsou pro náš model už nepodstatné, a proto byly zanedbány. Po dokončení operace na Rucni_Uprava dochází k odesílání hotových výrobků pryč s modelu a to za pomoci příkazu PUSH to SHIP. Při každém odeslání výrobku pryč z modelu se do přidané proměnné Konecne_mnozstvi přičte jednička. Tzn. v modelu se nám nehromadí hotové výrobky, sledujeme pouze jejich počet.

4.1.2 Směny

Dále byly do grafu přidány pracovní směny. Pracovní směny jsou vidět v tabulce IV. Z této tabulky jsem také vycházel při sestavování *Detail Shift* směny. Nadefinoval jsem tři pracovní směny.

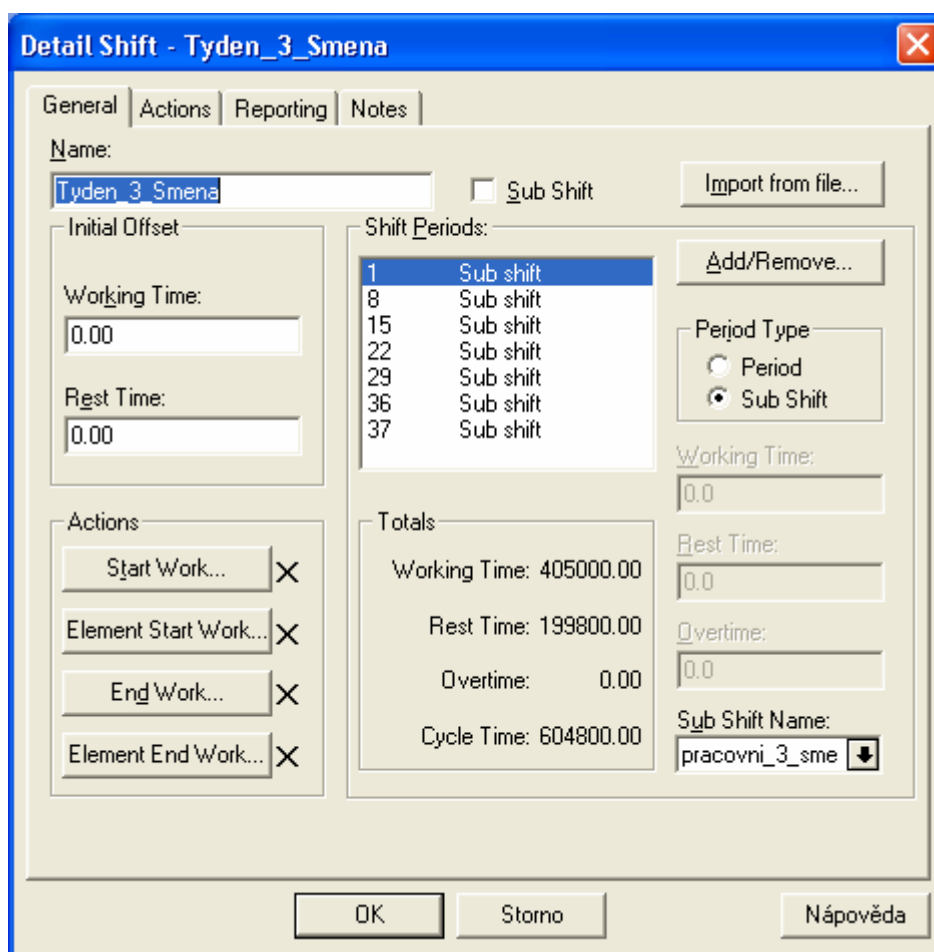
První pracovní směna má označení *Tyden_1_smena*. Je to proměnná typu *Detail Shift*, která se skládá z pěti proměnných *Time Shift*, v tomto případě s označením *pracovni_1_smena*, které reprezentují pracovní dny a dvou proměnných *vikend_1*. Dohromady nám tyto směny dávají celý pracovní týden, kdy je v provozu pouze jedna směna.

Druhá pracovní směna je nadefinována pomocí proměnné *Tyden_2_smena*, která se skládá z pěti pracovních dnů s označením *pracovni_2_smena* a dvou proměnných *vikend_1*. Dohromady dostáváme časový úsek, který nám definuje pracovní týden, ve kterém běží stroje po dobu dvou pracovních směny tedy od 5:45 do 22:00.

Třetí pracovní směna s názvem *Tyden_3_smena* se skládá z pěti proměnných typu *Time Shift* s názvem *pracovni_3_smena* a dvou proměnných *vikend_1*. *Tyden_3_smena* tvoří pracovní dobu, ve které běží stroje ve třisměnném provozu.

Každému stroji byla určena směna, ve které pracuje. To znamená, že podle tabulky III. jsem přiřadil každému stroji jeho pracovní týden.

Ukázka nastavení směny je na obrázku číslo 8. Je zde vidět, kolik vteřin se v týdnu pracuje a kolik vteřin model stojí.



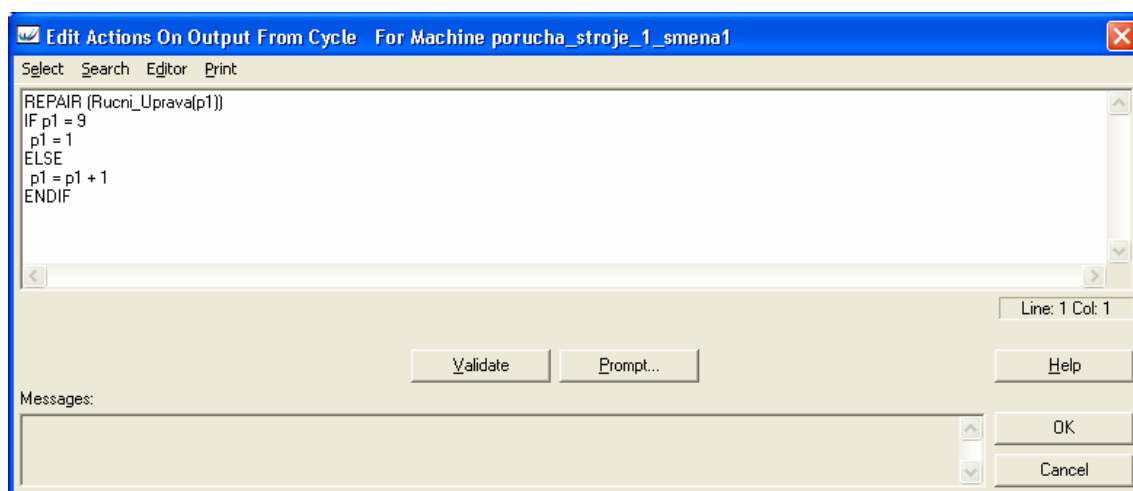
Obrázek 8. Ukázka nastavení třisměnného provozu pomocí *Detail Shift*

4.1.3 Systém poruch

Další součástí, kterou jsem do modelu vkládal je systém poruch na jednotlivých strojích. Tato činnost je realizována pomocnými stroji, vstupním elementem a proměnnou. Tato

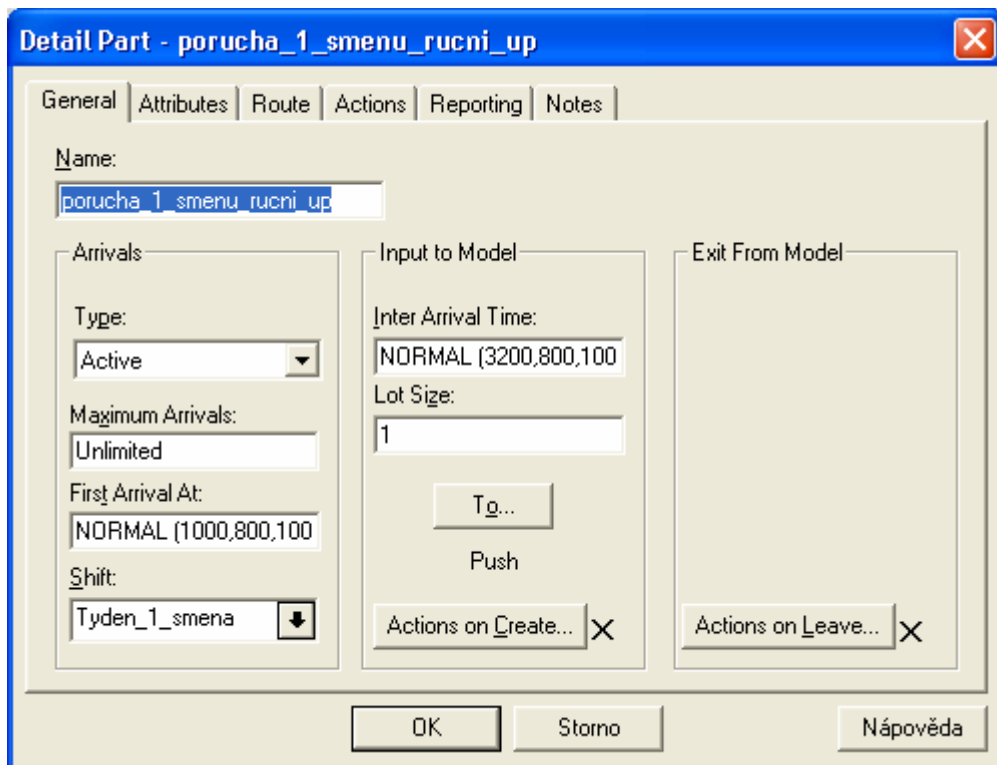
skupina součástí je nadefinována pro každý stroj. To znamená, že každá skupina strojů v modelu má svůj pomocný stroj, který obstarává obsluhu poruchy na této skupině strojů.

Poruchy jsou generovány následujícím způsobem. Na stroj obstarávající poruchu přichází prvek, který je odeslán na daný stroj ze skupiny strojů jemu přiřazený. Tento prvek vyvolá poruchu na stroji. Porucha trvá určitou dobu, která je vypočtena jako 3% z doby, po kterou jsou stroje ve stavu opravy. Tento čas je vydělen počtem strojů ve skupině, aby se porucha dostala na všechny stroje ze skupiny. Při sečtení doby poruchy za celý den dostaneme tížená 3% z tohoto času. Opravu strojů obstarává pomocný stroj a to za podmínky nadefinované ve kolonce *Actions on Output*. Více je vidět na obrázku číslo 9. kde vidíme Opravu stroje Rucni_uprava. Proměnná p1 nám definuje, který ze skupiny strojů Rucni_uprava bude ve stavu rozbitý. Po provedení opravy se do proměnné přičte 1, aby mohlo dojít při příštím průběhu cyklu na další stroj z dané skupiny.



Obrázek 9. Ukázka opravy stroje ze skupiny Rucni_uprava

Takto jsou nadefinovány veškeré poruchy na strojích. Intervaly, ve kterých poruchy přicházejí na stroje jsou spočteny z pracovní doby a jsou zasílány na pomocné stroje. Vše je lépe patrné z obrázku číslo 10. Kde je vidět s jakým rozdělením a podle jakých parametrů jsou poruchy zasílány na jednotlivé stroje. Doba opravy je spočtena jako 3% doby, po kterou stroje pracují a vyděleno počtem strojů v dané skupině. Při sečtení doby po kterou jsou stroje ve stavu poruchy dostaneme 3% doby po kterou pracují.



Obrázek 10. Ukázka definice generování poruchy na jednotlivých strojích

4.1.4 Reporty a grafy

Výsledky jednotlivých stojů jsou zde realizovány pomocí koláčových grafů podle stavu, v jakém se stroj nachází. Tento graf může pojmut až 8 stavů.

Tyto stavy jsou:

Waiting Parts – Čekání na součást, která se má opracovávat

Busy – Stroj je zaneprázdněn, pracuje

Blocked – Stroj je blokový, nemůže podle nadefinovaného pravidlo provést operaci například pro vypuštění opracovaného prvku ze stroje.

Setup – Stroj čeká na nastavení.

Broken Down – Stroj je ve stavu rozbitý.

Wait Cycle Labor – Stroj čeká na svoji obsluhu, která provádí i jiné operace.

Wait Setup Labor – Stroj čeká na pracovníka, který provede jeho nastavení.

Wait Repair Labor – Stroj čeká na pracovníka, který jej opraví.

Tyto grafy mají za úkol sledovat vytížení jednotlivých skupin strojů. Pomocí těchto grafů můžeme provádět následující úpravy nastavení modelu podle požadovaných parametrů.

Pomocí grafů budeme sledovat několik základních parametrů:

1. **Vytížení stroje** – kolik procent s doby, po kterou je model spuštěn stroj pracoval
2. **Čekání stroje na výrobek**- kolik procent s doby, po kterou je model spuštěn stroj čekal na výrobek
3. **Doba po kterou byl stroj v poruše**- kolik procent s doby, po kterou je model spuštěn byl stroj v poruše
4. **Blokování stroje** - kolik procent s doby, po kterou je model spuštěn byl stroj zablokovaný (nemohl uložit výrobek do zásobníku)

Ukázka výsledku grafu je vidět na obrázku číslo 11. Je také možno zobrazit přímo hodnoty, ze kterých je graf sestaven. To je vidět na obrázku číslo 12.

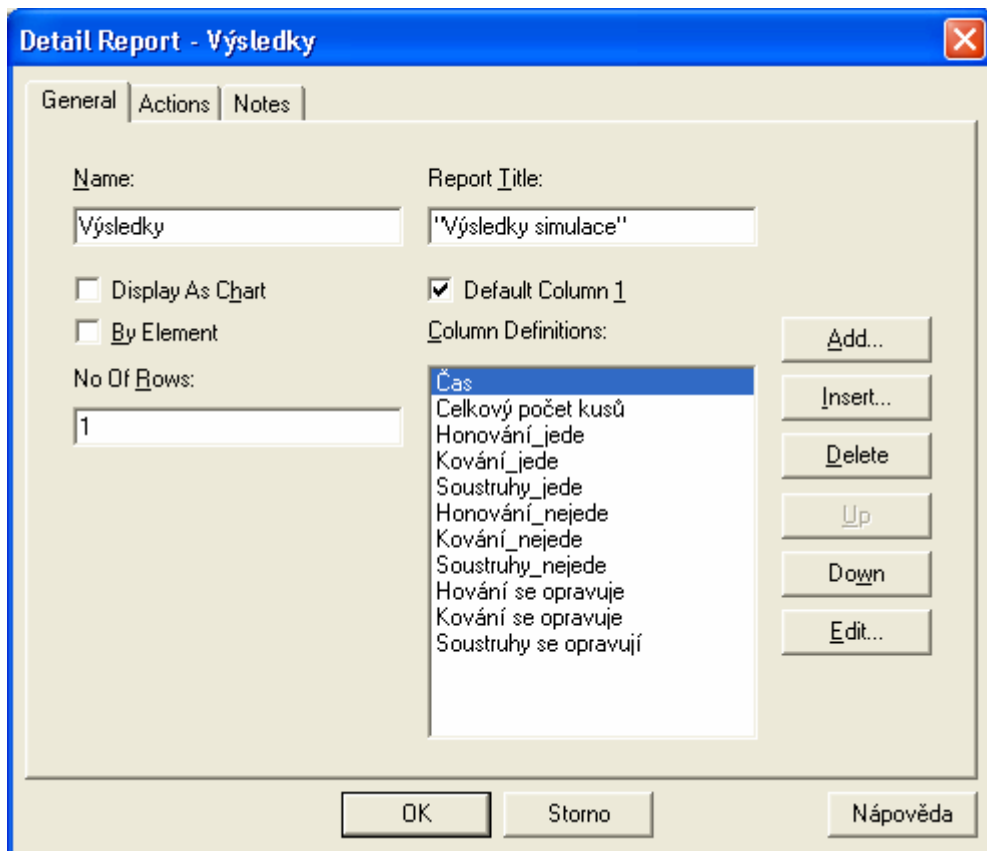


Obrázek 11. Ukázka vytížení stroje Kovacky v grafu

Name	Sector	Value	Percentage
Kovacky	Waiting Parts	35.06	35.07
	Busy	63.28	63.29
	Blocked	0.000	0.00
	Setup	0.000	0.00
	Broken Down	1.648	1.65
	Wait Cycle Labor	0.000	0.00
	Wait Setup Labor	0.000	0.00
	Wait Repair Labor	0.000	0.00

Obrázek 12. Ukázka vytížení stroje Kovacky v tabulce

Další data, která můžeme s modelu získat jsou uvedena v položce Report, pojmenované v systému jako Výsledky. Zde jsou souhrnné výsledky jednotlivých důležitých zařízení v modelu. Sleduje se zde celkový čas simulace, celkový počet kusů a stavy důležitých zařízení modelu. Bližší ukázka je na obrázku číslo 13. Jak vypadá výsledek reportu v číslech se můžete podívat na obrázku číslo 14. Připomínám jednu důležitou věc, že procento poruch je třeba vynásobit počtem strojů ve skupině. Po vynásobení této hodnoty dostaneme kýžená 3% procenta strojového času. Hodnoty se mohou nepatrně lišit, z toho důvodu, že dochází ke generování poruch pomocí normálního rozdělení.



Obrázek 13. Ukázka nastavení Reportu Výsledky

Výsledky simulace

Row	1
Celkový čas simulace [s]	369630.00
Celkový počet kusů [ks]	3425
Honování - Procento času, ve kterém stroj pracoval	98.55
Kování - Procento času, ve které stroj pracuje	63.29
Soustruhy - Procento času, ve kterém stroj pracoval	99.56
Honování - Procento času, které stroj čeká na výrobek	0.00
Kování - Procento času, které stroj čeká na výrobek	35.07
Soustruhy - Procento času, které stroj čeká na výrobek	0.00
Honování - Procento času, které stroj se opravuje	1.45
Kování - Procento času, které stroj se opravuje	1.65
Soustruhy - Procento času, které se stroj opravuje	0.44

Obrázek 14. Ukázka výsledků simulace pomocí komponenty Report

4.2 Tvorba simulačního modelu výroby dlouhých hlavních

4.2.1 Základní model

Při tvorbě simulačního modelu jsem postupoval stejným způsobem jako při tvorbě modelu výroby krátkých hlavních. Z toho důvodu popis tvorby tohoto modelu bude podobný, ale zjednodušený.

Při tvorbě modelu jsme opět vycházeli z příložených tabulek III., IV. a VI. Celý proces je ve zkratce popsán v tabulce VI.

Jako první jsem vložil do prostoru plochy stroj s označením 09421, stroj Rucni_uprava. Jsou to soustruhy, které provádí soustružení výrobku. Čas strávený opracováním výrobku je uložen v proměnné X4. Tyto soustruhy berou výrobky ze Zas1, do kterého přicházejí z pasivního elementu s názvem Kulatina. Po opracování se výrobek uloží do Zas2, což je první zásobník, který je výstupním zásobníkem skupiny strojů Rucni_uprava a vstupním zásobníkem pro skupinu, kterou jsem vložil jako další, a to skupinu Vrtani. Po dokončení práce na Vrtani je výrobek přesunut do dalšího zásobníku s označením Zas3. Nyní jsem na plochu umístil stroj s označením Zabloubit. Tento stroj opracovává výrobky ze Zas3 a umísťuje je do Zas4. Po umístění prvku do Zas4 dochází na *Actions on Input* ke změně názvu výrobku na Kulatina3. Je to opět z důvodu identifikace výrobku: Děje se tak aby stroj věděl v jakém stavu výrobek je a jak dlouho na něm bude provádět následující operaci. Změna je také důležitá pro roztřídění výrobků do jednotlivých zásobníků systému.

Další částí uloženou do modelu byly Soustruhy_Fischer. Jejich vstupním zásobníkem je Zas4 a výstupním je Zas5. Dochází také na Zas5 ke změně názvu na Kulatina4. Čas výrobku strávený na stroji je definován proměnnou X2, která je nastavena na vstupním zásobníku Zas4.

Ze Zas5 je výrobek brán na Soustruhy_Liberty, které jsem do systému následně vložil a na jejich *Cycle Time* nastavil proměnnou X5, která opět říká jaký čas stráví stroj opracováním výrobku v daném stádiu. Po dokončení operace na výrobku je součástka uložena v Zas6

odkud putuje na zařízení s označením 05782, což je zařízení určené k honování hlavní. Po ukončení procesu honování jsou hlavně uloženy do zásobníku označeného Zas7.

Odtud jsou hlavně zpracovávány zařízením označeným 03487, což je kovačka. Zařízení si bere výrobky ze Zas7 a po dokončení operace je ukládá do Zasobnik2.

Nyní jsem do systému vložil Vozik1 a Draha1,Draha3. Ty slouží pro přepravu materiálu na delší vzdálenosti. Provádí přepravu materiálu mezi Zasobnik2 a Zasobnik3. Zasobnik3 je vstupním zásobníkem pro další důležitou součást celé výroby a tou je Rovnani_dle_stinu. Je to skupina dvou strojů, které provádí rovnání hlavní dle stínů. Čas strávený na těchto strojích je nastavena pomocí proměnné X0. Po ukončení operace rovnání dle stínů jsou výrobky přesunuty do Zasobnik4.

Ze Zasobnik4 jsou pomocí komponenty Vozik2 a Draha4,Draha5 dopraveny do dalšího vytvořeného zásobníku označeného jako Zasobnik5.

Zasobnik5 je výstupním zásobníkem pro Vozik2 a vstupním zásobníkem pro stroje označené jako 04125, což jsou Soustruhy_SV18. Tyto soustruhy využívají vytvořenou proměnnou X3 pro identifikaci doby, kterou má výrobek na soustruhu strávit. Po dokončení operace na Soustruhy_SV18 se výrobky ukládají do Zasobnik6.

Dále je výrobek opracováván na již vložením stroji Soustruhy_Liberty. Vstupuje sem ze Zasobnik6 a je ukládán dále do Zasobnik7.

Nyní jsem do modelu vložil stroj s označením 05522, což jsou brusky. Vytvořil jsem také proměnnou X1, která říká, jak dlouho se bude výrobek brousit. Po ukončení operace broušení je hlaveň vložena do Zasobnik8.

Ze Zasobnik8 je materiál převezen za pomoci Vozik3 aDraha6,Draha7 do Zasobnik9, kde čeká na opracování dalším vloženým zařízením s označením 44418, což je Obrabeni_CNC. Z tohoto stroje je po dokončení obrábění hlaveň uložena do Zasobnik10.

Zasobnik10 je výstupním zásobníkem pro Obrabeni_CNC a zároveň vstupem pro již přidané zařízení Soustruh_Fischer. Po dokončení operace na Soustruh_Fischer je hlaveň uložena v Zasobnik11. Odtud jsou hlavně po vloženém Vozik4 a Draha8,Draha9 přesunuty do Zasobnik12, který je vstupním zásobníkem pro již vložené Rovnani_dle_stinu. Po dokončení operace Rovnani_dle_stinu je materiál odeslán do

Zasobník13 odkud pomocí Vozik5 a Draha10,Draha11 putuje do dalšího zásobníku a to s označením Zasobník14, na již vložené zařízení s názvem Broušení, kde probíhá jeho další broušení. Dochází zde také k další změně názvu opracovávané části. Nyní je opracovávaná část nazvána Zmena2. Po dokončení operace Broušení je hlaveň odeslána do výstupního zásobníku s označením Zasobník15.Odtud hlaveň míří pomocí Vozik6 a Draha12,Draha13 do dalšího zásobníku.

Zásobník v něm se nyní hlavně nachází má označení Zasobník16. Na tomto zásobníku také dochází k další změně názvu opracovávané části a to na Zmena3. Po dokončení operace na soustruhu je výrobek poslán do Zasobník17. Vozik8 a Draha16,Draha17 se postarají o převoz hlavní na stroj s názvem Rovnani_dle_stinu. Tyto převezené výrobky se uloží do Zasobník19, odkud si je stroj vyzvedne pro opracování. Na Zasobník19 se také provede další změna názvu opracovávaného výrobku na Zmena4. Po ukončení operace stroj uloží výrobky do Zasobník20, odkud budou přemístěny pomocí Vozik7 a Draha14,Draha15 do dalšího zásobníku s označením Zasobník21.Z toho zásobníku probíhá další přesun materiálu pomocí Vozik9 a Draha18,Draha19 do Zasobník22.

Ze Zasobník22 si stroj s označením Soustruhy_SV18 bere výrobky pro jejich další opracování. Po dokončení operace je ukládá do Zasobník23. Z tohoto zásobníku odebírá součásti další stroj s názvem Rucni_uprava. Po dokončení operace se hlavně ukládají do Zasobník24.

Nyní jsem do modelu vložil další stroje s označením 04388, což je Soustruzeni_Komor. Tento stroj si bere výrobky ze Zasobník24 a ukládá je do Zasobník25.

Dalším strojem vloženým do modelu byl stroj s označením 65951, je to Struzeni. Tento stroj má vstupní zásobník s označením Zasobník25 a výstupní s označením Zasobník26.

Posledním strojem vloženým do modelu, který ovlivňuje proces je stroj s označením 04614. Jedná se o Lesteni. Vstupem pro tento stroj je Zasobník26 a výstupem Zasobník27.

Dále jsem do modelu vložil Vozik10 a Draha20,Draha21, které převáží hlavně ze Zasobník27 do Zasobník28. Zasobník 28 je výstupem pro Vozik10 a vstupem pro stroj Rucni_uprava. Na Zasobník28 se také provádí další změna názvu výrobku na Zmena6. Po dokončení operace na Rucni_Uprava se hlavně uloží do Zasobník29.

Jako poslední jdou hlavně ze Zasobnik29 na stroj Soustruhy_SV18, kde po jejich opracování dochází k tomu, že se hlavně vypouštějí z modelu. Příkaz pro opuštění hlavní ze systému je: *PUSH to SHIP*.

4.2.2 Směny

Směny jsou v tomto modelu nastaveny stejným způsobem jak u modelování výroby krátkých hlavní.

4.2.3 Systém poruch

Dále jsem do systému vložil stejnou metodou jako u předchozího modelu systém poruch a oprav.

4.2.4 Reporty a grafy

Dalšími prvky, které jsou zde použity jsou kruhové grafy a výsledný report. Tyto prvky jsou blíže popsány u předchozího modelu a tak nepovažuji za nutné je zde opětovně do podrobností popisovat.

5 SIMULAČNÍ POKUSY A HLEDÁNÍ VHODNÝCH PARAMETRŮ SYSTÉMU

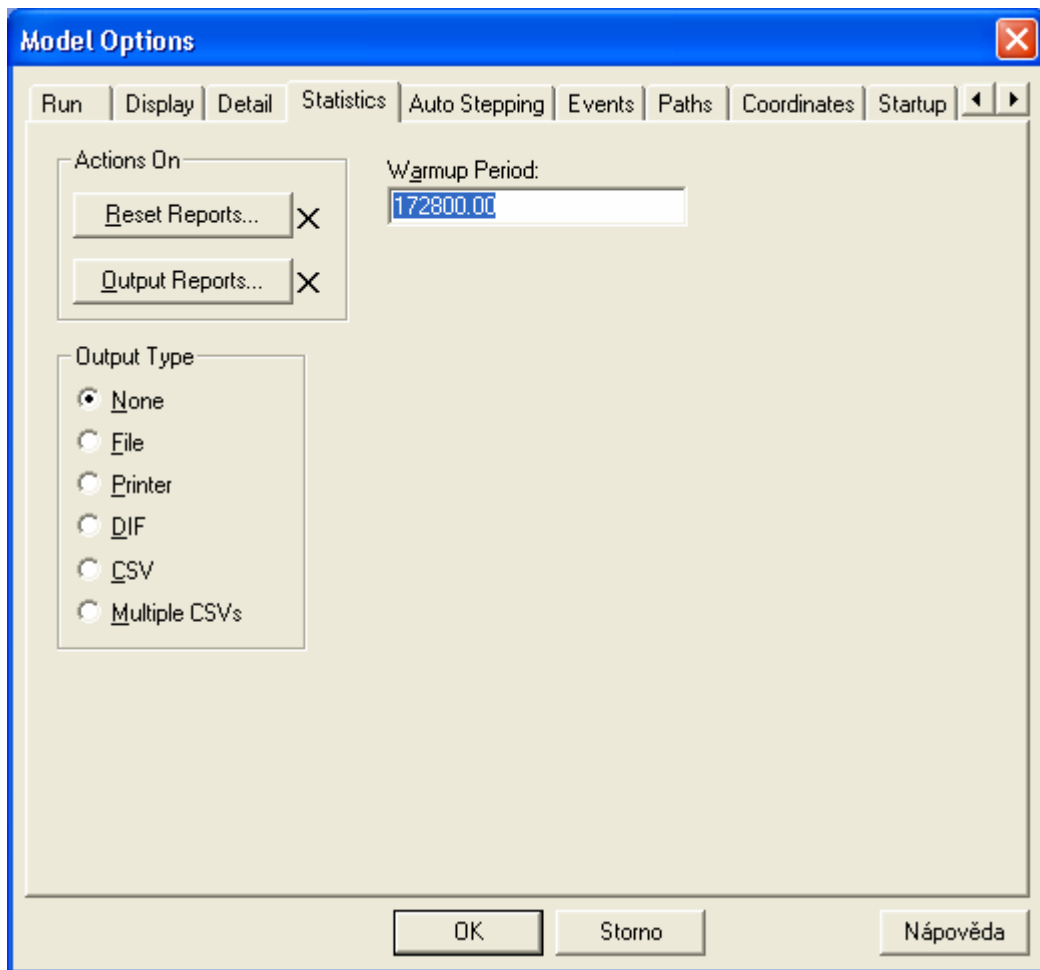
5.1 Omezující parametry

Nyní, když jsou namodelovány oba dva stávající procesy výroby hlavní, mohu začít provádět různé simulační pokusy, které povedou k nalezení rezerv výrobních procesů a zároveň k určení vhodných parametrů systému, tak aby byl zajištěn požadavek vyrobit maximální počet hlavní. Omezení, která jsem dostal zadána ze strany České zbrojovky a.s. byla následující:

- Můžete ubírat jednotlivé stroje ze systému, v rámci snižování nákladů na výrobu.
- Nesmí docházet k navyšování počtu strojů.
- Můžete přidávat a ubírat (měnit) pracovní směny u jednotlivých strojů.

5.2 Warm-up period – zavádění výroby (doba náběhu modelu)

Po spuštění procesu výroby krátkých hlavní jsem zjistil, že vytížení některých strojů nekoresponduje s realitou. Tento problém se vyskytl i u druhého modelu. Bylo to způsobeno tím, že systém byl po spuštění prázdný a než došlo k jeho zaplnění byly některé stroje delší dobu ve stavu čekajícím na výrobek. Provedl jsem tedy nastavení tzv. *WarmUp Period*. Jedná se o hodnotu, která nám říká, jakou dobu bude model běžet, než dojde k vynulování grafů a proměnných. Hodnotu *WarmUp Period* jsem nastavil na číslo 172800 sekund, což odpovídá době dvou dnů. Tato doba je dostačující pro zaplnění celého modelu výrobky. Pro lepší představu je nastavení na obrázku číslo 15.

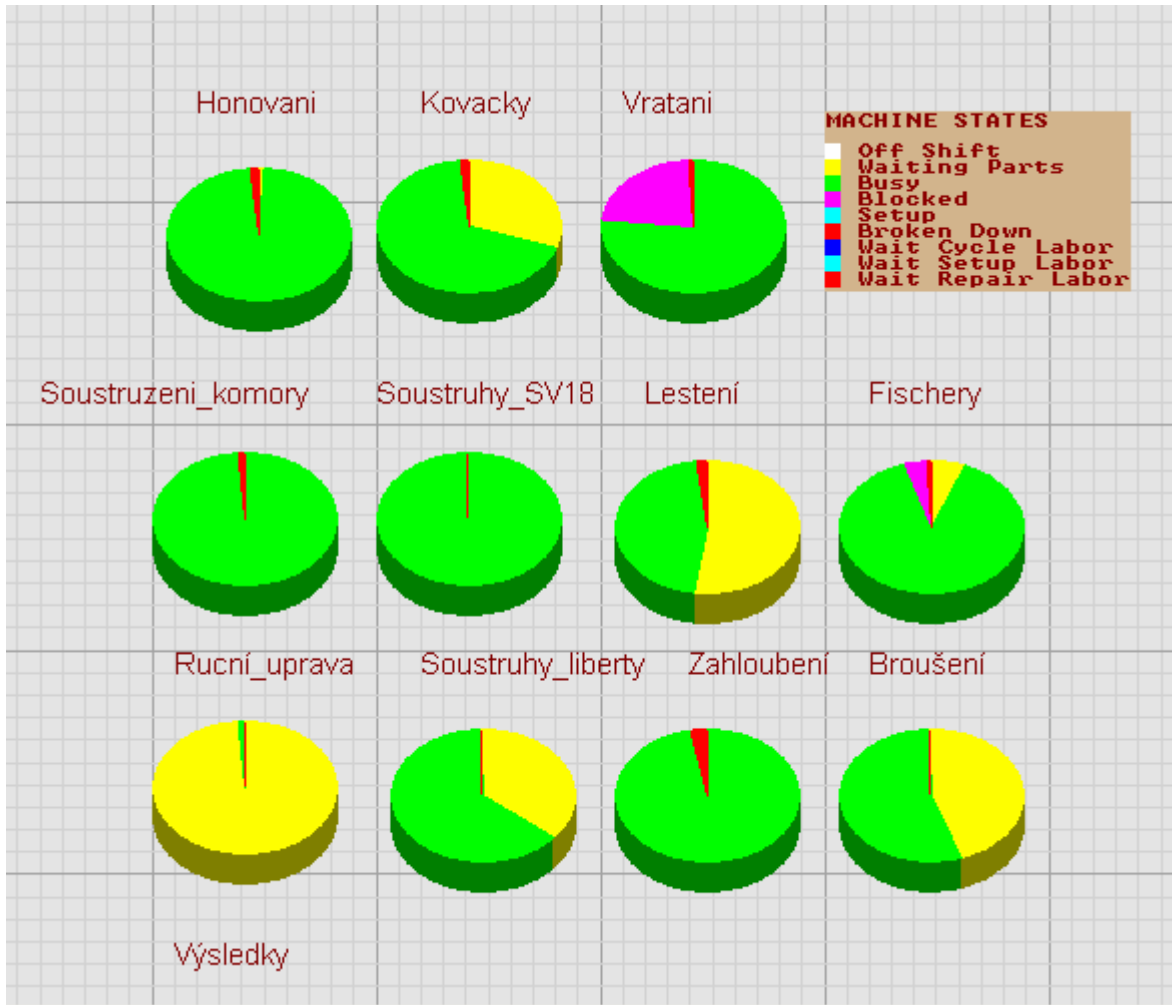


Obrázek 15. Ukázka nastavení parametru WarmUp Period pro celý model

5.3 Výsledky simulačního pokusu s modelem stávající výroby krátkých hlavních

System byl nastaven na dvou denní WarmUp Period, což je hodnota 172800 vteřin. Já jsem testoval systém na třídenní provoz. To znamená, že jsem při zadávání parametru TIME nastavil hodnotu 432000 vteřin. Tato hodnota odpovídá pěti dnům (dva dny náběh, tři dny testovací perioda).

Na obrázku číslo 16. je vidět vytížení jednotlivých pracovišť. Na obrázku číslo 17. je poté vidět procentuální vytížení hlavních strojů.



Obrázek 16. Výsledky simulačního pokusu krátkých hlavní bez úprav I.

Výsledky simulace	
Row	1
Celkový čas simulace [s]	432000.00
Celkový počet kusů [ks]	4253
Honování - Procento času, ve kterém stroj pracoval	97.41
Kování - Procento času, ve které stroj pracuje	67.83
Soustruhy - Procento času, ve kterém stroj pracoval	99.57
Honování - Procento času, které stroj čeká na výrobek	1.09
Kování - Procento času, které stroj čeká na výrobek	30.67
Soustruhy - Procento času, které stroj čeká na výrobek	0.00
Honování - Procento času, které stroj se opravuje	1.50
Kování - Procento času, které stroj se opravuje	1.50
Soustruhy - Procento času, které se stroj opravuje	0.43

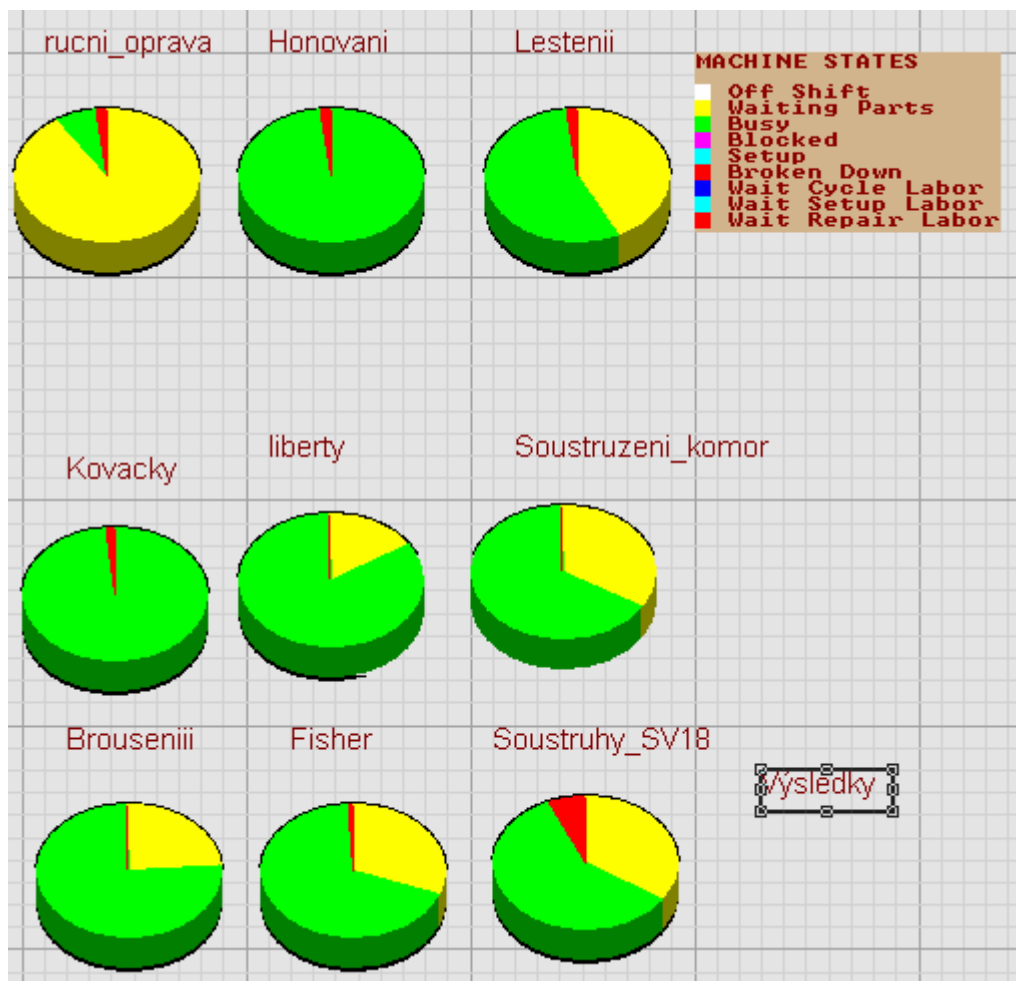
Obrázek 17. Výsledek simulačního pokusu krátkých hlavní bez úprav II.

Tato hodnota je také patrná z Reportu Výsledky. Toto číslo přibližně odpovídá výrobě.

Jak je vidět po provedení simulačního pokusu, tak některé stroje jsou vytíženy na 100% a jiné čekají na výrobky. Z toho vyplývá, že u strojů, které čekají, můžeme provést zásahy, podle stanovených podmínek. Ukázka modelu stávající výroby krátkých hlavní je přiložena v příloze číslo 2.

5.4 Simulační pokusy s modelem výroby krátkých hlavní

System byl nastaven na dvou denní WarmUp Period, což je hodnota 172800 vteřin. Já jsem testoval systém na tří denní provoz. Model bude opět běžet po dobu pěti pracovních dnů přičemž první dva dny bude probíhat zavádění výroby. Výsledky získané po provedení úprav popsaných v tabulce VII. jsou vidět na obrázku číslo 18.



Obrázek 18. Ukázka výsledků simul. pokusu po provedení úprav v modelu

Zde je tabulka provedených úprav v modelu výroby krátkých hlavní. Je zde jednoduše popsáno, které parametry jsem změnil, abych dosáhl co nejvyššího počtu hotových výrobků. Více v tabulce VII.

Tabulka VII. Tabulka změn v simul. modelu výroby krátkých hlavní

Číslo změny	Popis provedené změny	Počet vyrobených výrobku	Komentář	Ponechání změny v systému ANO/NE
1	Odstranění osmy strojů ze skupiny Rucni_uprava.	4253	Změna se nijak neprojevila na konečném množství výrobků, ale uspořili jsem 8 strojů.	ANO
2	Odebrání jednoho soustruhu ze skupiny Soustruh_Liberty.	4253	Změna se nijak neprojevila na konečném množství výrobků, ale uspořili jsem jeden stroj.	ANO

3	Odebrání jednoho soustruhu ze skupiny Broušení.	4253	Změna se nijak neprojevila na konečném množství výrobků, ale uspořili jsem jeden stroj.	ANO
4	Změna pracovní směny na stroji Kovacky z třísměnného provozu na dvousměnný.	4235	Změna se nijak neprojevila na konečném množství výrobků, ale uspořili jsem jednu celou směnu.	ANO
5	Změna pracovní směny u skupiny Soustruhy_SV18 a Soustružení_komor z dvousměnného na třísměnný.	4371	Změna se projevila na konečném množství výrobků, došlo k nepatrnému nárůstu výroby.	ANO
6	Zahloubení bylo nastaveno na jednosměnný provoz místo dvou směnného.	4828	Změna se projevila na konečném množství výrobků, došlo k navýšení výroby.	ANO
7	Vrtačky byly nastaveny na jednosměnný provoz místo dvou směnného.	4828	Změna se nijak neprojevila na konečném množství výrobků, ale uspořili jsem jednu celou směnu.	ANO
8	Rucni_uprava byla nastavena na dvousměnný provoz místo jednosměnného.	5155	Změna se projevila na konečném množství výrobků, došlo k navýšení výroby.	ANO

Když si pozorně přečteme tabulku provedených změn zjistíme, že jsem ušetřili několik strojů a také několik pracovních směn. Došlo také ke zvýšení produktivity celého systému a to přibližně o 300 kusů za jediný den provozu.

Na obrázku číslo 19. ještě vidíme výstup z Reportu Výsledky.

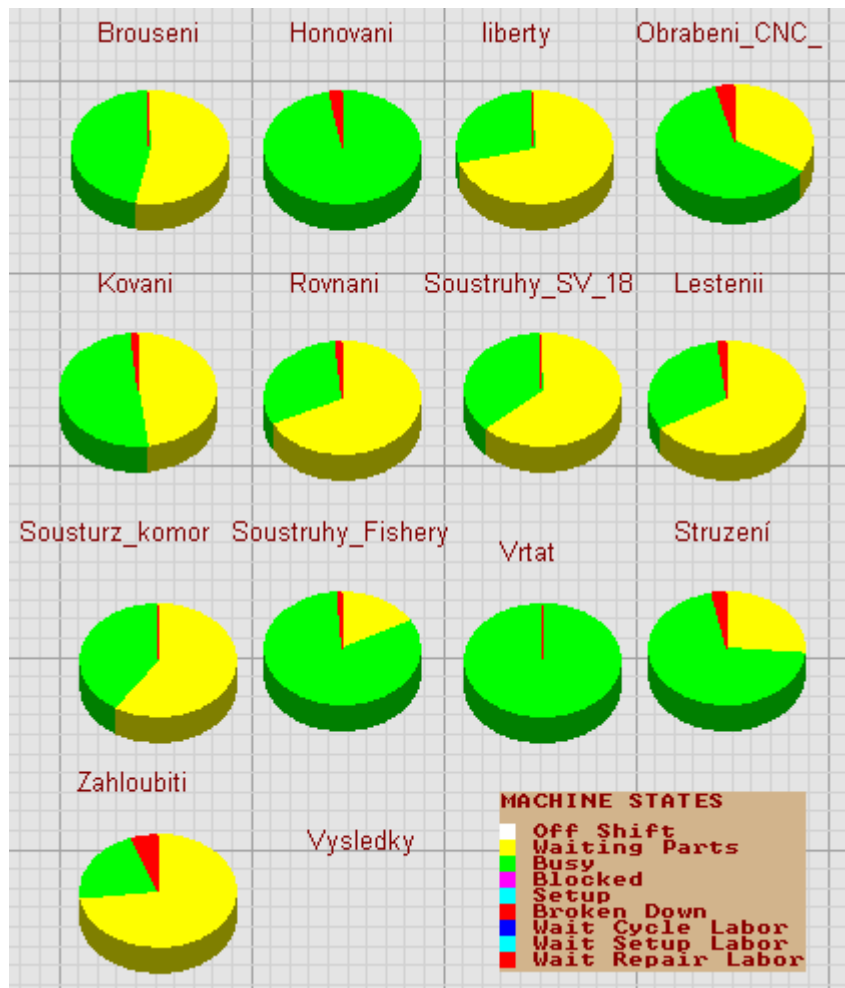
Výsledky simulace

Row	1
Celkový čas simulace [s]	432000.00
Celkový počet kusů [ks]	5155
Honování - Procento času, ve kterém stroj pracoval	98.25
Kování - Procento času, ve které stroj pracuje	98.61
Soustruhy - Procento času, ve kterém stroj pracoval	58.79
Honování - Procento času, které stroj čeká na výrobek	0.00
Kování - Procento času, které stroj čeká na výrobek	0.00
Soustruhy - Procento času, které stroj čeká na výrobek	34.61
Honování - Procento času, které stroj se opravuje	1.75
Kování - Procento času, které stroj se opravuje	1.39
Soustruhy - Procento času, které se stroj opravuje	6.60

Obrázek 19. Ukázka Reportu Výsledky z upraveného modelu

5.5 Výsledky simulačního pokusu s modelem stávající výroby dlouhých hlavních

Já jsem testoval systém na třídenní provoz. To znamená, že jsem při zadávání parametru TIME nastavil hodnotu 432000 vteřin. Tato hodnota odpovídá pěti dnům, při čemž první dva dny probíhá zavádění výroby pomocí parametru WarmUp Period. Na obrázku číslo 20. je vidět vytížení jednotlivých pracovišť. Na obrázku číslo 21. je poté vidět procentuální vytížení hlavních strojů.



Obrázek 20. Výsledky simulačního pokusu dlouhých hlavní bez úprav I.

Row	1
Celkový čas simulace [s]	432000.00
Celkový počet vyrobených výrobků [ks]	790.00
Kování jede	51.17
Obrábění CNC jede	61.62
Broušení jede	46.57
Soustruhy SV 18 jede	36.91
Rovnání hlavní dle stínů	31.41
Kování čeká	47.58
Obrábění CNC čeká	34.38
Broušení čeká	52.96
Soustruhy SV 18 čeká	62.68
Rovnání hlavní dle stínů čeká	67.09
Kovačky - Procento času, které se stroj opravuje	1.25
Obrábění CNC - Procento času, které se stroj opravuje	4.00
Broušení - Procento času, které se stroj opravuje	0.47
Soustruhy - Procento času, které se stroj opravuje	0.41

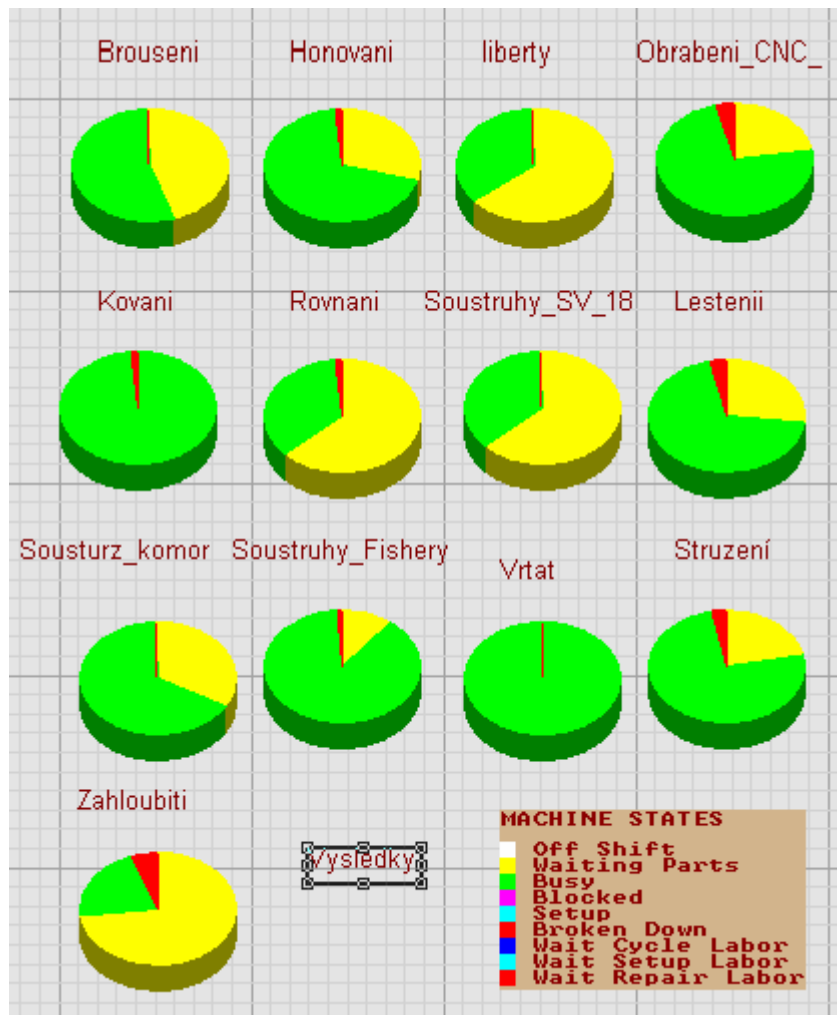
Obrázek 21. Výsledek simulačního pokusu dlouhých hlavní bez úprav II.

Množství vyrobených výrobků přibližně odpovídá výrobě. Jak je vidět po provedení simulačního pokusu, tak některé stroje jsou vytíženy na 100% a jiné čekají na výrobky. Z toho vyplývá, že u strojů, které čekají můžeme provést zásahy, podle stanovených podmínek. Ukázka modelu bez úprav je v příloze číslo 2.

5.6 Simulační pokusy s modelem výroby dlouhých hlavní

Model bude opět běžet po dobu pěti pracovních dnů přičemž první dva dny bude probíhat zavádění výroby. Výsledky získané po provedení úprav popsanych v tabulce VIII. jsou vidět na obrázku číslo 18.

Hodnota vyrobených dlouhých hlavní je nižší, než u krátkých hlavní. Je to dáno tím, že proces výroby krátkých hlavní je rychlejší a není tak složitý jako proces výroby hlavní dlouhých. To je patrné již z tabulky, ve které jsou popsány doby trvání jednotlivých úkonů a jejich počet.



Obrázek 22. Ukázka výsledků simul. pokusu po provedení úprav v modelu

Zde je tabulka provedených úprav v modelu výroby dlouhých hlavních. Je zde jednoduše popsáno, které parametry jsem změnil, abych dosáhl co nejvyššího počtu hotových výrobků. Více v tabulce VIII.

Tabulka VIII. Tabulka změn v simul. modelu výroby dlouhých hlavní

Číslo změny	Popis provedené změny	Počet vyrobených výrobku	Komentář	Ponechání změny v systému ANO/NE
1	Odstranění jednoho stroje ze skupiny Soustruh_Liberty	788	Změna se projevila na konečném množství výrobků a to snížením o dva kusy	ANO
2	Honování bylo nastaveno na třísměnný provoz místo dvousměnného.	819	Změna se projevila na konečném množství výrobků, a to mírným zvýšením výroby.	ANO
3	Odebrání jednoho soustruhu ze skupiny Soustruh_SV18.	694	Změna se projevila na konečném množství výrobků, a to snížením výroby	NE
4	Změna pracovní směny na stroji Kovacky z třísměnného provozu na dvousměnný.	824	Změna se projevila na konečném množství výrobků, a ještě jsem ušetřili jednu směnu	ANO
5	Odebral jsem jeden stroj ze skupiny Stružení_komor	824	Změna se nijak neprojevila na konečném množství výrobků, ale uspořili jsem jednu celou směnu.	ANO
6	Odebral jsem tři stroje ze skupiny Ruční_úprava	821	Změna se nijak neprojevila na konečném množství výrobků, ale uspořili jsem tři stroje.	ANO
7	Odebral jsem jeden stroje ze skupiny Leštění	802	Změna se projevila na konečném množství výrobků, a uspořili jsem jeden stroj.	ANO

Když si pozorně přečteme tabulku provedených změn zjistíme, že jsem ušetřil několik strojů a také několik pracovních směn. Ke zvýšení produktivity systému nedošlo.

Na obrázku číslo 23. ještě vidíme výstup z Reportu Výsledky.

Row	1
Celkový čas simulace [s]	432000.00
Celkový počet vyrobených výrobků [ks]	802.00
Kování jede	98.61
Obrábění CNC jede	73.31
Broušení jede	54.63
Soustruhy SV 18 jede	37.00
Rovnění hlavní dle stínů	35.77
Kování čeká	0.00
Obrábění CNC čeká	22.69
Broušení čeká	44.90
Soustruhy SV 18 čeká	62.59
Rovnění hlavní dle stínů čeká	62.73
Kovačky - Procento času, které se stroj opravuje	1.39
Obrábění CNC - Procento času, které se stroj opravuje	4.00
Broušení - Procento času, které se stroj opravuje	0.47
Soustruhy - Procento času, které se stroj opravuje	0.41

Obrázek 23. Ukázka Reportu Výsledky z upraveného modelu

5.7 Vyhodnocení výsledků simulačních pokusů

Když zhodnotíme oba simulační pokusy zjistíme, že je ve výrobě dosti úzkých míst. Kdybych nebyl omezen podmínkami, které společnost Česká zbrojovka a.s. zadala dalo by se ze systému dostat mnohem více hotových výrobků, než je vidět v simulačních modelech. Při zadaných podmínkách se povedlo uspořít několik strojů a také několik směn. To vše dohromady znamená velké finanční úspory, které je možné aplikovat přímo ve výrobě. Bude záležet pouze na zadavateli, zda využije získané poznatky.

V rámci simulačních pokusů jsem provedl několik desítek simulací při nastavení různých parametrů. V tabulkách VII. a VIII. je pouze zlomek pokusů provedených v modelu. Ostatní pokusy neměli tak velkou váhu, abych je zahrnoval do tabulek.

Za zmínku snad stojí ještě jeden kdy jsem se domníval, že nastavením třisměnného provozu na většině strojů musí zákonitě dojít ke zvýšení výroby. Opak byl pravdou. Došlo k zahlcení systému a výsledek byl poloviční oproti upravenému modelu. Také proto bylo dosti obtížné najít řešení, které by splňovalo požadavky zadavatele a zároveň nalézt uspokojivé řešení problému.

ZÁVĚR

Zadáním mé diplomové práce bylo vytvořit literární rešerši na simulaci výrobního procesu hlavného oddělení ve společnosti Česká zbrojovka a.s. To se dle mého názoru povedlo. Dalším bodem zadání bylo seznámit se s výrobou hlavní a získat data pro vytvoření modelu. Data jsem získal ze softwaru České zbrojovky. Měření na pracovišti jsem neprováděl z důvodu časové náročnosti. Data, která mi byla poskytnuta panem Ing. Mojmírem Šťastným byla shromažďována dlouhou dobu přímo v provozu a proto tedy nebylo nutné provádět měření přímo ve výrobě. Dále jsme také byl seznámen s výrobou hlavní přímo v provozu.

Na základě získaných dat jsem sestavil simulační model hlavného oddělení. Byly vytvořeny dva modely jeden pro výrobu krátkých hlavní a druhý pro výrobu hlavní dlouhých. Nejdůležitějším parametrem pro sledování výroby ze strany České zbrojovky a.s bylo zjistit rezervy ve stávajícím systému a nalézt vhodné parametry obou výrobních procesů zejména z pohledu maximální produktivity.. Při návrhu modelu stávajícího procesu výroby jsem srovnával výstupní hodnoty jednotlivých elementů modelu se skutečným stavem. Na základě mnoha simulačních pokusů bylo na některých pracovištích odstranit některé stroje. U jiných pracovišť bylo doporučeno snížit počet směn. V systému byly také nalezeny rezervy pro navýšení směnnosti na strojích. To mělo za následek zvýšení výroby především u krátkých hlavní.

Úzká místa systému jsou vidět na obrázcích modelů, které jsou uvedeny v jednotlivých přílohách, kdy jsou daná zařízení vytížena skoro na 100%. Tato místa by měla být rozšířena a měl by se provést nový simulační pokus. V systému jsem nehledal optimální nastavení z toho důvodu, že při hledání optima je nutné popsat systém matematickým aparátem. V tomto případě by to bylo velmi složité. I proto jsou vytvořeny dva modely na místo jednoho. Také nebylo požadavkem České zbrojovky nalézt optimální řešení, ale pokud možno rezervy a to si myslím, že se určitě povedlo.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Setting of my thesis was to make a literary search for simulation of industrial process of barrel department in Česká zbrojovka a.s. company. According to my opinion I was successful. Next point of the setting was to take up with production on barrels and get the datas for making a model. I got these datas in software of Česká zbrojovka. I did not make the measurement on the workplace because of the time severity. The datas, which were provided by Ing. Mojmír Šťastný were gathered for long time and during the production and this is the reason why the measurement was not needed directly in production. I was also introduced with production of barrels directly during operation.

I made a simulation model of barrel department according to gathered datas. There were made two models, one for production of short barrels and second one for production of long barrels. The most important part of the monitoring of production from Česká zbrojovka a.s. side was to find out the reserves in current system and to find a suitable parameters of both production processes, especially from the view of maximal productivity. At the project of model of current process of production I was comparing output calibres of each element of the model with the real status. At the base of most simulation tests was in some of the workplaces need to remove some of the machines. In the other workplaces was need to lower the number of shifts. There were found in the system also reserves for increasing of shifting on the machines. The consequence was increasing of production of short barrels.

The strait places of system can be seen on the pictures of models, which are mentioned in annexes. The provision is workloaded almost for 100%. These places should be extended and the simulation process should be made. I was not looking for an optimal setting because the looking for the optimum is necessary to describe the system by mathematical machinery. It was very complicated in this situation. That is the reason for two models also instead of one. The requirement of Česká zbrojovka a.s. was not to find optimal solution, but to find a reserves and I do think that this was made.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HUŠEK, R., LAUBER, J.: Simulační modely. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1987.
- [2] Katedra oděvnictví [online]. 2005, 18.1.2006 [cit. 2006-01-25]. Dostupný z WWW: http://www.kod.vslib.cz/ucebni_materialy/PS/default.htm
- [3] Vašek V., Vašek L.: Simulace systémů. Skriptum VUT Brno, Fakulta technologická, Brno, 1991.
- [4] Šťastný, J.: Počítačová simulace a informační systémy. Skriptum VUT Brno, Brno, ISBN 8021404604.
- [5]<http://www.humusoft.cz/witness/indexcz.htm>
- [6] Firemní dokumentace.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

WarmUp Period	Jedná se o nastavení doby, pro zaplnění modelu výrobky.
Cycle Time	Doba opracování výrobku
Quantity	Množství
Capacity	Počet výrobků k převozu na vozíku
Actions on Output	Akce na výstupu ze stroje
Actions on Input	Akce na vstupu do stroje
To	Do (někam) Kam se budou prvky ukládat
From	Z(odkud) Odkud se budou prvky brát
Simul.	Simulační

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Ukázka prostředí programu WITNESS.....	16
Obrázek 2. Ukázka vstupního pravidla FROM	20
Obrázek 3. Ukázka definice stroje a je ho pravidel FROM a TO.....	20
Obrázek 4. Ukázka příkazu <i>CALL</i> pro přesun materiálu mezi stroji	34
Obrázek 5. Podmínka pro vstup výrobků na skupinu strojů Soustruh_SV18	35
Obrázek 6. Ukázka výstupního pravidla pro skupinu strojů Soustruh_SV18	37
Obrázek 7. Ukázka rozřazení materiálu ze strojů Soustruh_Liberty	38
Obrázek 8. Ukázka nastavení třísměnného provozu pomocí <i>Detail Shift</i>	40
Obrázek 9. Ukázka opravy stroje ze skupiny Rucni_uprava.....	41
Obrázek 10. Ukázka definice generování poruchy na jednotlivých strojích	42
Obrázek 11. Ukázka vytížení stroje Kovacky v grafu	43
Obrázek 12. Ukázka vytížení stroje Kovacky v tabulce.....	44
Obrázek 13. Ukázka nastavení Reportu Výsledky	45
Obrázek 14. Ukázka výsledků simulace pomocí komponenty Report	45
Obrázek 15. Ukázka nastavení parametru WarmUp Period pro celý model	51
Obrázek 16. Výsledky simulačního pokusu krátkých hlavní bez úprav I.	52
Obrázek 17. Výsledek simulačního pokusu krátkých hlavní bez úprav II.	53
Obrázek 18. Ukázka výsledků simul. pokusu po provedení úprav v modelu.....	54
Obrázek 19. Ukázka Reportu Výsledky z upraveného modelu	56
Obrázek 20. Výsledky simulačního pokusu dlouhých hlavní bez úprav I.	57
Obrázek 21. Výsledek simulačního pokusu dlouhých hlavní bez úprav II.	58
Obrázek 22. Ukázka výsledků simul. pokusu po provedení úprav v modelu.....	59
Obrázek 23. Ukázka Reportu Výsledky z upraveného modelu	61

SEZNAM TABULEK

Tabulka I. Tabulka klasifikace modelů.....	12
Tabulka II. Tabulka vstupně/výstupních pravidel	21
Tabulka III. Tabulka počtu strojů používaných při výrobě a jejich směnnost	24
Tabulka IV. Tabulka směnnosti hlavného oddělení	28
Tabulka V. Tabulka hodnot pro definici modelu krátkých hlavní.....	30
Tabulka VI. Tabulka hodnot pro definici modelu dlouhých hlavní	31
Tabulka VII. Tabulka změn v simul. modelu výroby krátkých hlavní.....	54
Tabulka VIII. Tabulka změn v simul. modelu výroby dlouhých hlavní.....	60

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: PLÁN HLAVŇOVÉHO ODDĚLENÍ – KRÁTKÉ HLAVNĚ

PŘÍLOHA P II: PLÁN HLAVŇOVÉHO ODDĚLENÍ –DLOUHÉ HLAVNĚ

PŘÍLOHA P III: MODEL VÝROBY KRÁTKÝCH HLAVNÍ PŮVODNÍ STAV

PŘÍLOHA P IV: MODEL VÝROBY KRÁTKÝCH HLAVNÍ PO ÚPRAVÁCH

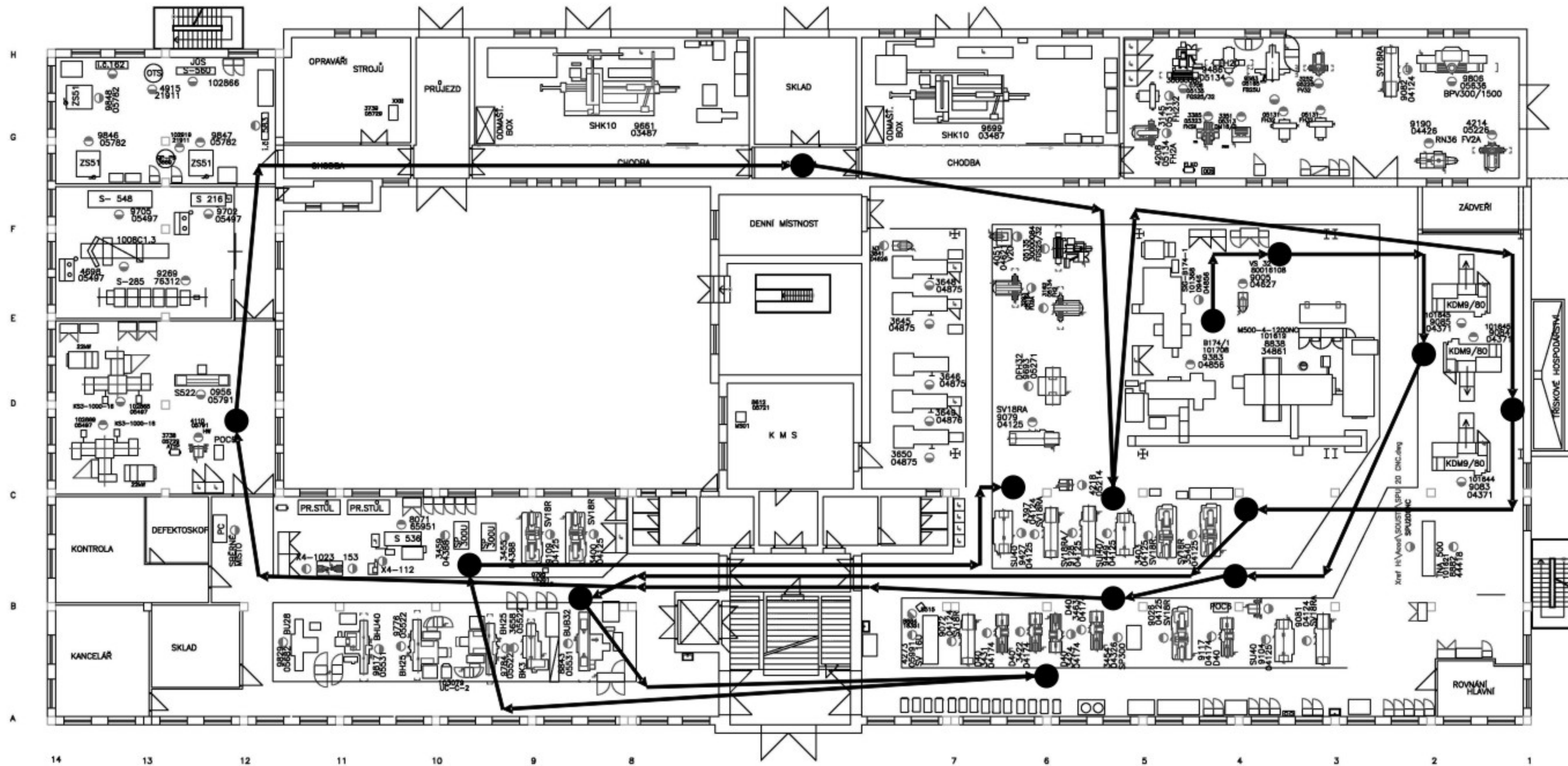
PŘÍLOHA P V: MODEL VÝROBY DLOUHÝCH HLAVNÍ PŮVODNÍ STAV

PŘÍLOHA P VI: MODEL VÝROBY DLOUHÝCH HLAVNÍ PO ÚPRAVÁCH

PŘÍLOHA P I: PLÁN HLAVŇOVÉHO ODDĚLENÍ KRÁTKÉ HLAVNĚ

1.N.P. BUDOVY HLAVŇOVÉHO ODD. – STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÁ DISPOZICE

1.N.P.

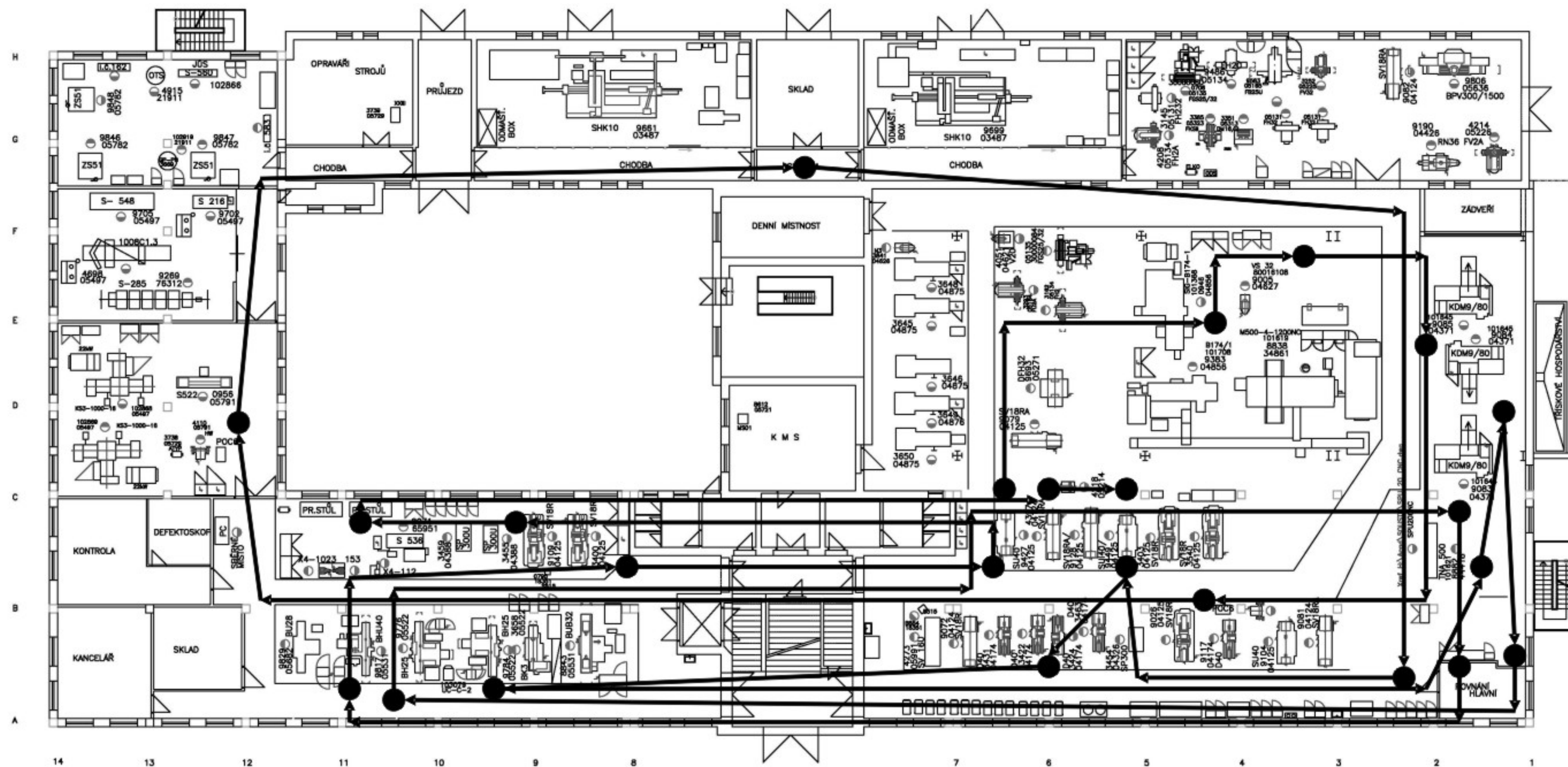


OBECNÉ KONTROLNÍ LISTY	TECHNICKÁ KONTROLNÍ LISTY	SEK. PRELÉTOVÝ	VEL. PRELÉTOVÝ	ČESKÁ ZBRŮJOVKA UHERSKÝ BROD
PROJEKTANT	PROJEKTANT	PROJEKTANT	PROJEKTANT	PROJEKTANT
INVESTOR	INVESTOR	INVESTOR	INVESTOR	INVESTOR
PROJEKT	PROJEKT	PROJEKT	PROJEKT	PROJEKT
HLAVŇOVÉ ODD.				06/2007
1.N.P.				PROJEKT
STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÁ DISPOZICE				1:100

PŘÍLOHA P II: PLÁN HLAVŇOVÉHO ODDĚLENÍ DLOUHÉ HLAVNĚ

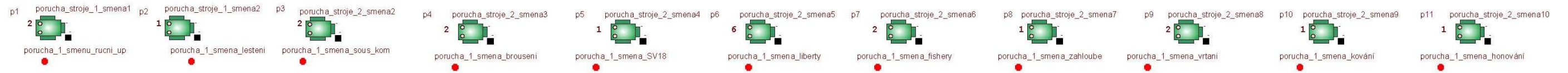
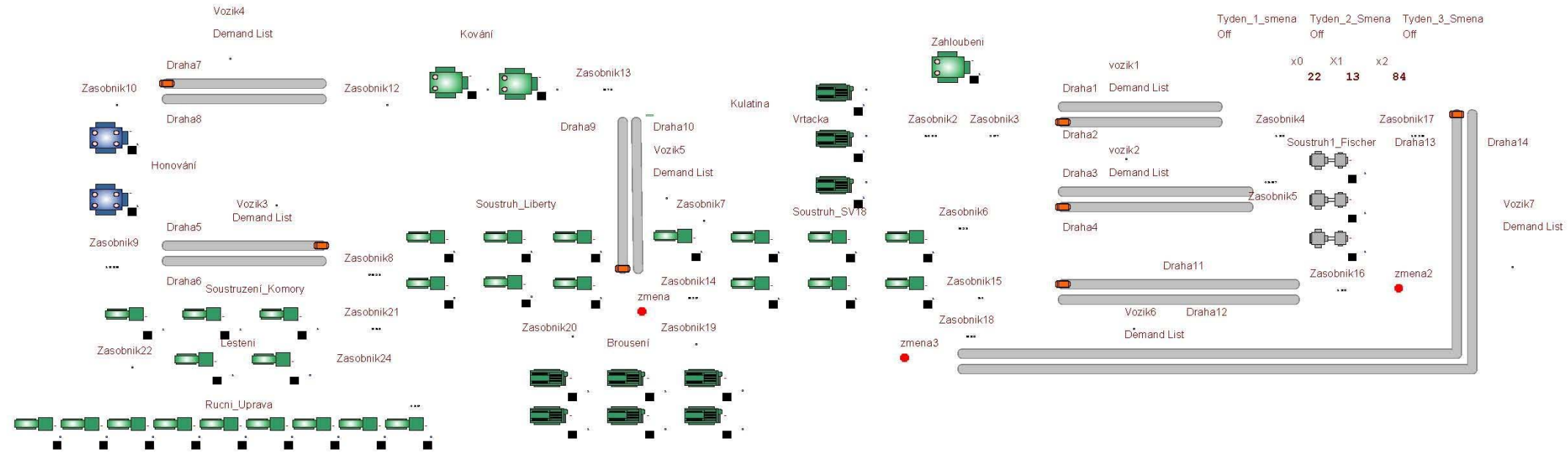
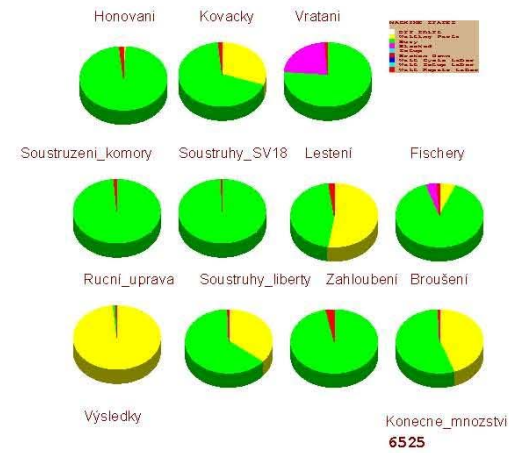
1.N.P. BUDOVY HLAVŇOVÉHO ODD. – STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÁ DISPOZICE

1.N.P.

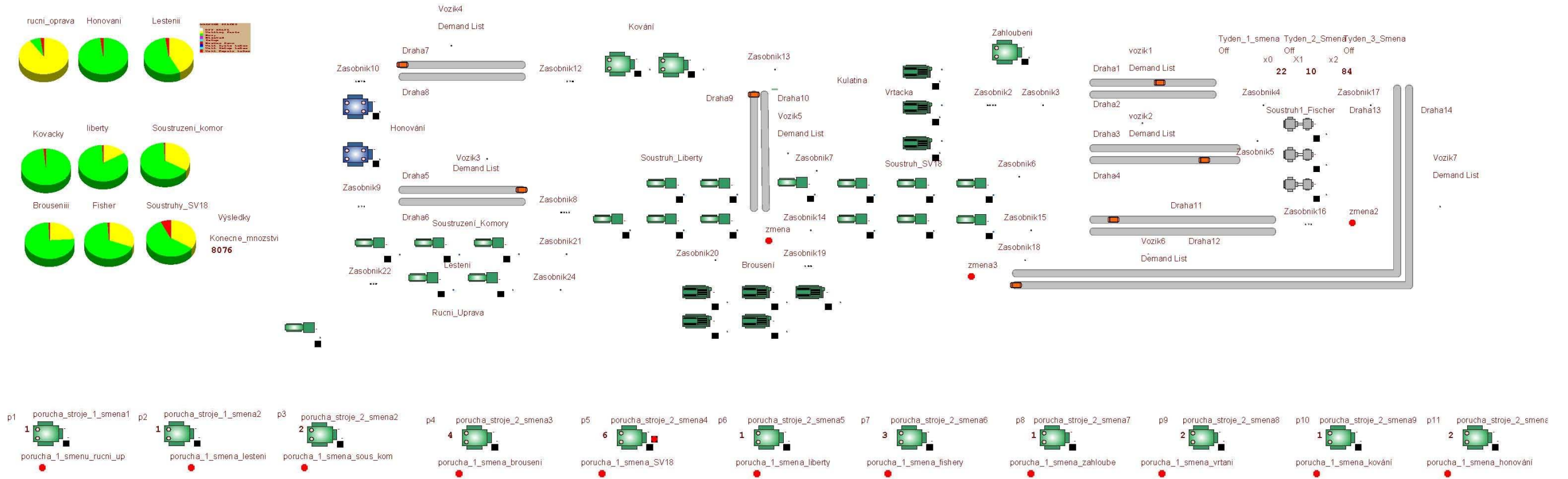


SEKČÍŠ Kvalifikace L	TYPOMĚŘNÁ Kvalifikace	200% PRÁKELNÍK	VEL. PRÁKELNÍK	ČESKÁ ZBRŮJOVKA UHERSKÝ BROD
PRŮVĚRČI				
PRŮVĚRČI				06/2007
PRŮVĚRČI				
HLAVŇOVÉ ODD.				
1.N.P.				
STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÁ DISPOZICE				1:100

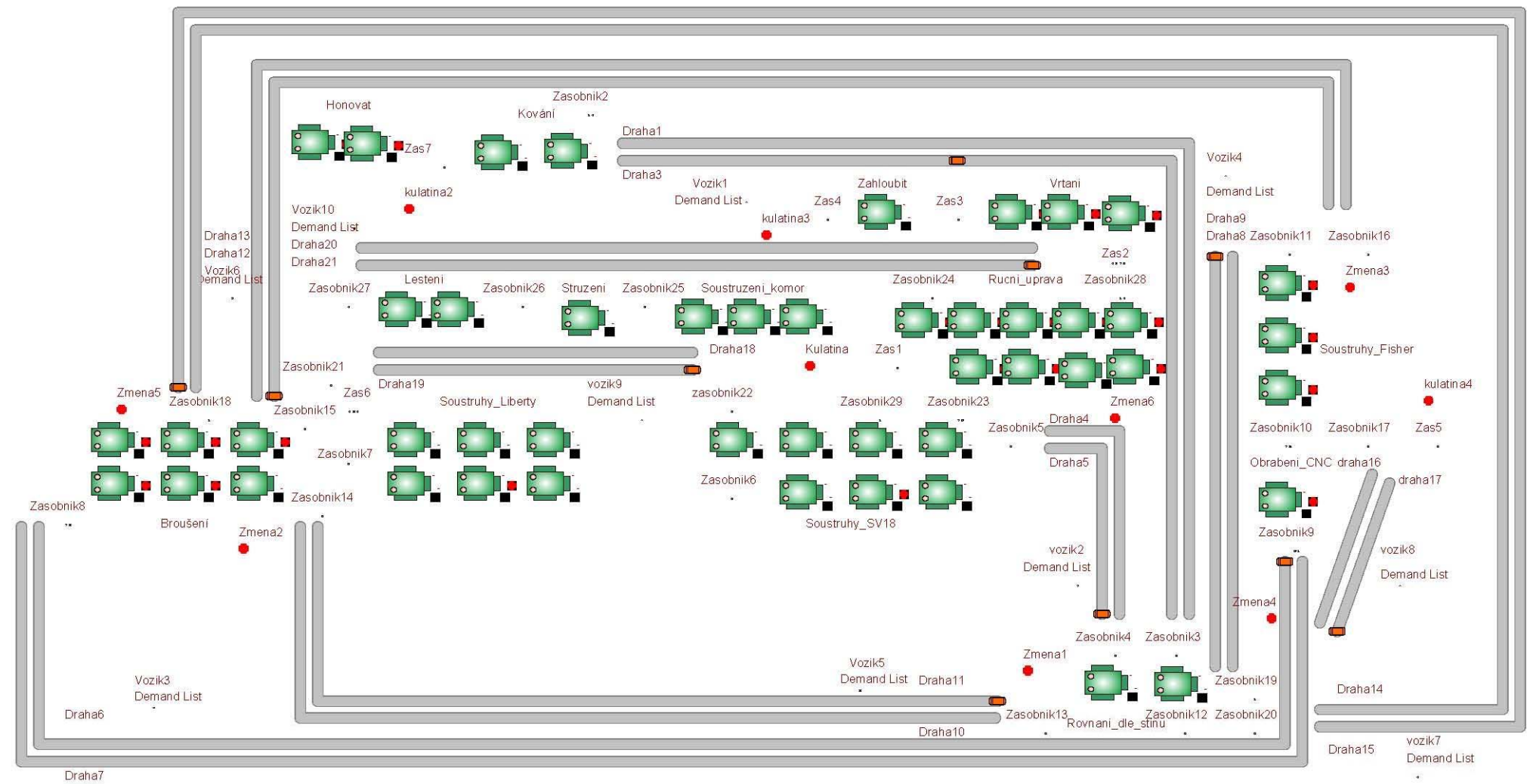
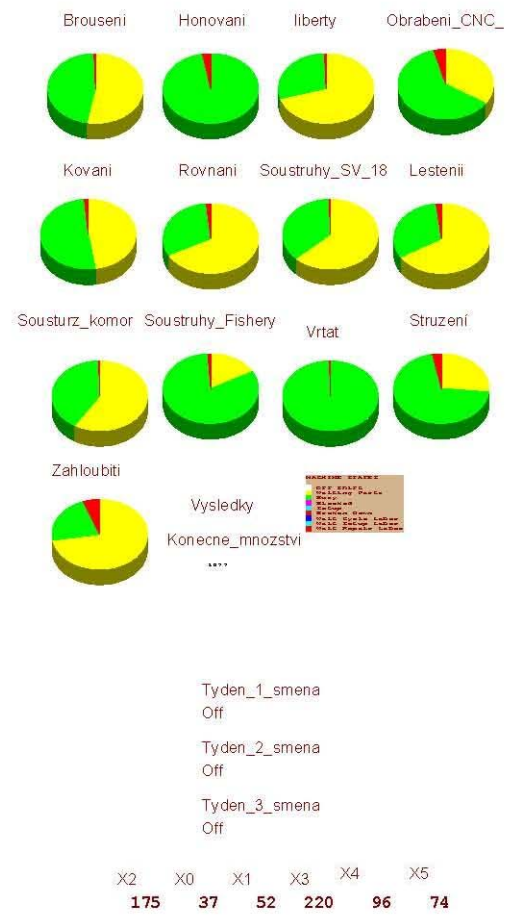
PŘÍLOHA P III: MODEL VÝROBY KRÁTKÝCH HLAVNÍ PŮVODNÍ STAV



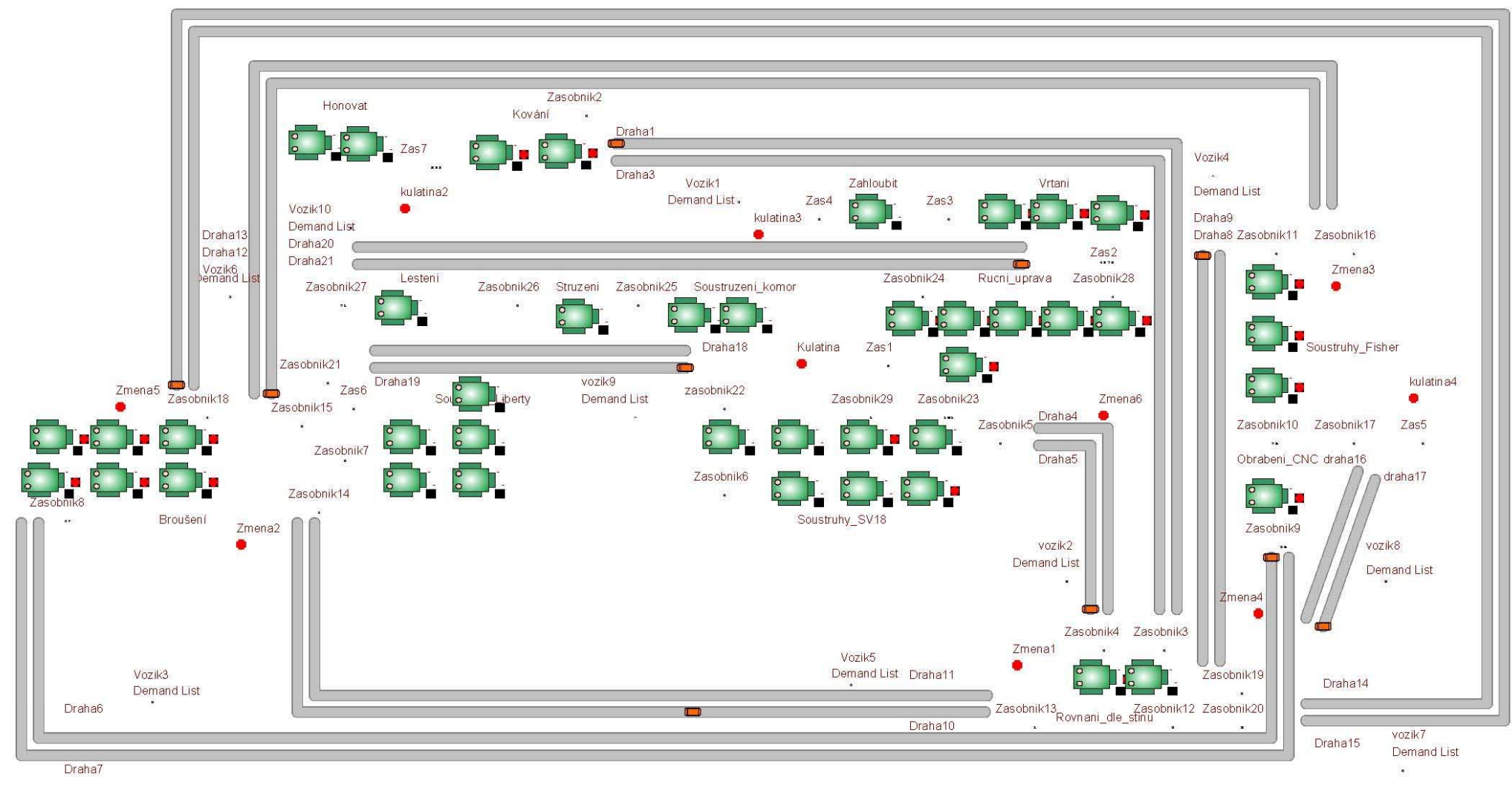
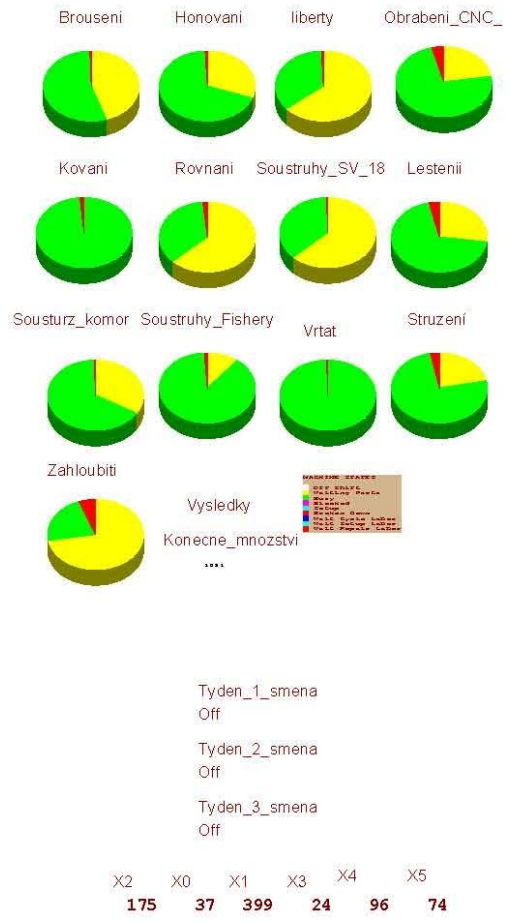
PŘÍLOHA P IV: MODEL VÝROBY KRÁTKÝCH HLAVNÍ PO ÚPRAVÁCH



PŘÍLOHA P V: MODEL VÝROBY DLOUHÝCH HLAVNÍ PŮVODNÍ STAV



PŘÍLOHA P VI: MODEL VÝROBY DLOUHÝCH HLAVNÍ PO ÚPRAVÁCH



- P1 1 Porucha_broušení
porucha_broušení
- P2 1 Porucha_liberty
porucha_liberty
- P3 6 Porucha_SV18
porucha_SV_18
- P4 1 Porucha_fischer
porucha_fisher
- P5 1 Porucha_rovnání
porucha_rovnani_dle_stinu
- P6 1 Porucha_CNC
porucha_obrabeni_CNC
- P7 1 Porucha_lštění
porucha_lestni
- P8 1 Porucha_stružení
porucha_struzeni
- P9 2 Porucha_kování
porucha_kovani
- P11 3 Porucha_uprava
porucha_rucni_uprava
- P12 2 Porucha_vrtání
porucha_vrtani
- P13 1 Porucha_zahloubit
porucha_zahloubit
- P14 Porucha_honování
porucha_honovati
- P15 1 Porucha_soustruž_komor
porucha_soustruh_komory