

Simulační model výrobního procesu – malování a smaltování skla

Ondřej J. Kocina

Vedoucí práce: Ing. Martina Kuncová

Úvodem

Pracuji pro jednu malou českou firmu, která zušlechťuje sklo malováním a smaltem. Rozhodl jsem se její systém zpracovat do modelu – a ten předvést jako seminární práci pro předmět EKO 415. Protože jde víceméně o model, který popisuje realitu poměrně věrně, obsahuje i některé prvky, které by „smyšlený“ model zřejmě neobsahoval (např. několik kontrol kvality apod.). Rovněž budou pro firmu relevantní určitý druh informací (např. nás moc nezajímá, jak dlouho skleničky v průběhu výrobního procesu čekají, budou nás však zajímat úzká místa systému či plánování zdrojů). Na celý model se tedy budu dívat jako na pomocný aparát pro manažerské rozhodování a ukáži jeho použití v praxi.

1. Popis firmy

Firma zaměstnává celkem 17 lidí. Dva manažery (z čehož se jeden může aktivně účastnit výrobního procesu), devět malířek, tři smaltářky a tři skladníky. Ve firmě je instalováno 6 pecí. Roční obrát je asi 18 miliónů korun. Firma se orientuje zejména na soupravy užitného skla (sklenky), které jsou buď zlacené, či zlacené a malované či zlacené a smaltované. Rádi bychom znali, jak se bude systém chovat při restrukturalizaci zdrojů (najmutí nových pracovních sil, výpadek pecí), či jak se bude systém chovat v případě akceptace velkých zakázek (zda-li bychom je dokázali zvládat, v jakém časovém horizontu).

2.3 Výrobní proces

Generace entit do výrobního procesu

Činnosti: A-typ II vrstvy, B – typ I vrstva, C – typ smalt

Firma je napojena na cca 100 velkoodběratelů. Ty si pak objednávají výrobky způsobem zakázky. Firmy objednávají v poměrně velkých objemech. Manažer výroby se nejprve pokusí uspokojit poptávku ze skladu. Výrobky, které ze skladu vyskladí, pak zadá do výrobního plánu. Počet vstupujících sklenic je však zvýšeno o předpokládané procento zmetků (které vzniknou ve výrobě) + procento jistoty výroby. Výroba pak doplní sklad. Samotný sklad v modelu výrobního procesu zachycen není. Model popisuje výrobní proces až od zadání výrobního plánu. Činnosti typu **Generace A-typ II. vrstvy, B – typ I. vrstvy C – typ – smalt**, jsou tedy výrobním příkazem. O těchto položkách má firma poměrně jasný přehled. Jejich četnost má charakter (kladných hodnot) normálního rozdělení. Parametry (četnost a odchylku) můžeme na základě firemních výkazů poměrně přesně zjistit. Výrobní příkaz výrobku A má parametry normálního rozdělení 160 kusů výrobků se směrodatnou odchylkou 120 ks. Příkaz vydán jednou za $n=4, s=2$ dny. Výrobní příkaz výrobku B má parametry normálního rozdělení $n=240, s=100$ výrobků typu B jednou za $n=3, s=2$ dny. Výrobní příkaz výrobku C má parametry $N(50,50)$ výrobků typu C jednou za $N(4,2)$ dny. Výrobní příkazy jsou v modelu vydávány „nepřetržitě“ během dne, což v praxi není možné. Příkazy jsou však v modelu skladníky zpracovány až na začátku směny. Tím se odlišnosti modelu s realitou v tomto bodě stírají a můžeme je ignorovat.

Příprava suroviny a vyskladnění

Činnosti: Zabalení balíku ze skladu, Přijetí balíku ze skladu, Mytí

Sklad po obdržení výrobního příkazu vydá příslušnou surovinu. Sklad však dodává výrobě surovinu po „balících“, resp. v přepravkách s 20ti kusy. Přípravení balíku (úkolů) a jeho doručení do malírny, trvá skladníkovi přibližně 20 minut – $N(20,4)$. V malírně se pak sklo „namývá“ (obstarávají rovněž skladníci) a postupuje se malířům.

Podklady

Činnosti: Rozdělení dle druhu, Odpad, Podklad A typ, Podklad B typ, Podklad C typ, KK.I., KK.II., KK.III., Zmetky

Malíři si vzájemně rozvrhnou práci a začínají malovat. (Pohnutí skleničkou při rozvržení práce – 15s). Podklady výrobku typu A trvají $N(7,5)$ minut. Podklady typu B trvají $N(15, 8)$ minut. Podklady typu C $N(30,15)$ minut. Při manipulaci se sklem často vznikají ZmetkyII. Hodnoty v položkách KK.I. – KK.III. odpovídají úspěšnosti této fáze výrobního procesu. (Proto si nežadají zdroje, ani trvání) – jde o procesy kontroly kvality. Činnosti „Odpad“ nemá v realitě ekvivalent. Program Simprocess při rozbalení balíku ponechává entitu balíku dále v procesech. Při činnosti Rozdělení dle druhu se entita balík (nyní už bez skleniček) z modelu zlikviduje.

Příprava prvního výpalu a výpal

Činnosti: Balení na plata I. , Balení na plata II. , Balení na plata III, Balení do pece. I. Vypalování

První výpal (podkladů) má pro všechny výrobky stejný charakter. Pálí se na stejnou teplotu. Proto se mohou různé výrobky dávat do pece dohromady. Malíři dávají výrobky s podklady na plata (výrobků A a B se vejde $N(30,25)$ ks na plato, C se vejde na plato po $N(12,10)$ ti kusech). Skladník pak připravuje plata do vozíků do pece. Na jeden vozík se

vejde 5 plat. Pálení v peci trvá $N(16,2)$ hodin. Pálí se 24 hodin denně, 7 dní v týdnu. Pálení obstarává kdokoli je zrovna při ruce. Jedná se o vysunutí vozíku s hotovými výrobky z pece, zasunutí nevypálených výrobků a stisknutí tlačítka příslušného programu. Protože nejde o náročnou činnost, není této činnosti v modelu přiřazen kromě zdroje „pec“ žádný z lidských zdrojů. Často se k pálení vstane ve 4 hodiny ráno a pak se jde opět spát.

Vyjmutí z pece a příprava pro II. vrstvu

Činnosti KK IV. , Zmetky, Třídění, Odpad, Exit B – typ

Po vyjmutí skla z prvního výpalu se hodnotí kvalita výrobků. Výrobky typu B se pak rovnou balí a expedují. Výrobky A a C se účastní dalšího výrobního postupu. Vše obstarává Skladník. Na každé pohnutí skleničkou počítáme Skladníkovi 30 sekund. Činnost „Odpad“ – jsou opět „odpadové entity“ výpal a plato.

II vrstva, II. výpal a expedice.

Činnosti II. vrstva – A typ, II. vrstva – C typ, KK V, KK VI, Zmetky IV. Balení do pece II., Balení do pece III., II. Vypalování II., III. Vypalování III., Z pece II, Z pece, Odpad II, Odpad III, KK VII, KK VIII, Balení II, Balení III, Exit – A typ, Exit – C typ, Zmetky V

Na výrobky typu A se pak nanáší další vrstva. O výrobky A se starají v této fázi malíři ($N(20,10)$ minut), o výrobky C zase smaltáři ($N(40,15)$ minut). A i C jsou nyní odlišnými typy výrobků. Smalt a barva se pálí při různých teplotách – proto následující výpaly musí probíhat odděleně. O nakládání do pecí a výklad z pece se starají Skladníci. Výrobky A jsou obvykle menší, proto se jich do pece vejde $N(150,100)$ Výrobky typu C jsou obvykle větší (vázy). Do pece se jich vejde $N(30,25)$. Nakládání na plata není v modelu zobrazeno – nebo je bezúčelné (nedá se do jedné pece strčit více výrobků). Výpal trvá opět $N(16,2)$ hodin. Po výpalu Skladníci výrobky čistí, kontrolují jejich kvalitu, balí a expedují. Činnosti „Odpad II“ a „Odpad III“ jsou opět jen účelové – pro likvidaci zbylých falešných entit.

2.3.1 Soupis entit

- Entita A – Jde o výrobky typu A
- Entita B – Jde o výrobky typu B
- Entita C – Jde o výrobky typu C
- Entita Balík – Zabalené skleničky (vázy) v přepravce ze skladu (úkol).
- Entita Plato – Skleničky (vázy) připravené pro kompletaci vozíku do Pece pro I. výpal.
- Entita Výpal – Jde o zkompletovaný vozík (z jednotlivých Plat), který je připraven do zasunutí do pece. Po výpalu se opět rozloží na jednotlivé entity A, B, C. Entita Výpal je použita jak pro I. tak i pro II. výpal. Pro II. výpal však entita není složena z entit Plato, ale rovnou z entit A nebo C.

2.3.2 Seznam Zdrojů

- V modelu jsou použity následující zdroje:
- Zdroj Malir – Přijímá entity Balíky ze Skladu a rozbaluje je na jednotlivé skleničky. Třídí je a rozděluje práci podle druhu pro I. vrstvu – podklad. Při malování kontroluje kvalitu. Dává sklenice na plata pro I. výpal. Poté se účastní až tvorby II. vrstvy entity A. Zdroj je přístupný pouze ve všední dny od 8:00 do 16:00.

- Zdroj Pec Zdroj potřebný pouze pro činnosti Vypalování, Vypalování II a Vypalování III. Zdroj je přístupný 24 hodin denně 7 hodin v týdnu. Často likviduje „vlnu“ nevypálených výrobků během víkendu či během noci.
- Zdroj Skladník Balí do Balíků ve skladu a přenáší je do malírny. Zde skleničky umývá. Balí plata do pece pro I. výpal. Vybaluje entity A, B, C z pece I. výpalu, kontroluje jejich kvalitu, balí a expeduje výrobky B, Balí A a C do pece pro II. výpal (nakládá pece), vykládá pece z II. výpalu, kontroluje jejich kvalitu, balí je a expeduje. Zdroj je přístupný pouze ve všední dny od 8:00 do 16:00
- Zdroj Smaltar – Účastní se pouze náročné tvorby II. vrstvy (smaltu) entity C. Zdroj je přístupný pouze ve všední dny od 8.00 do 16:00.

2.3.3 Seznam činností

Hodnoty výrobních příkazů byly odvozeny za pomoci skutečných firemních dokumentů. Parametry ostatních činností jsou odvozeny od norem výroby. Samozřejmě, hodnoty normálního rozdělení nejsou generovány zcela přesně – střední hodnota je zaokrouhlena a standardní odchylky jsou odhadnuty. Způsob odhadu je následující: Malíř má normu pro podklad B na 8 hodin práce 32 podkladů, tj. 1 podklad za 15 minut. Odchylku na základě zkušeností odhadnu přibližně na polovinu času ... tj hodnota použitá v modelu je $N(15,8)$ min.

A – typ II vrstvy: Příkaz generován: $N(4,2)$ dny; Množství generováno: $N(160,120)$ entit

B – typ I vrstva: Příkaz generován: $N(3,2)$ dny; Množství generováno $N(240,100)$ entit;
(tento typ výrobku zaznamenává v poslední době výrazný úspěch)

C – typ – smalt: Příkaz generován: $N(4,2)$ dny; Množství generováno: $N(50,50)$;
(po smaltu je menší poptávka, zato jsou ceny vyšší a chceme zachovávat diversitu výroby)

Zabalení balíku ze skladu

Doba trvání zabalení 1ho balíku: $N(20,4)$ minut; Zdroj: Skladník (1);

Počet entit zabalených v balíku: 20; Výstupní entita: balík

Přijetí balíku ze skladu – nezávislá na zdroji ani na čase, balík prostě přijde

Mytí – Doba trvání (mytí jedné sklenice): $N(1,0.2)$ min; Zdroj: Skladník(1)

Rozdělení dle druhu – Doba trvání (1 sklenice): 15s; Zdroj: Malíř(1)

Odpad – pouze formální činnost beze zdroje, za účelem odstranění falešných entit

Podklad A typ – Doba trvání: $N(7,5)$ min; Zdroj: Malíř (1)

Podklad B typ – Doba trvání: $N(15,8)$ min; Zdroj: Malíř (1) Podklad C typ; Doba trvání: $N(30,15)$ min; Zdroj: Malíř (1)

KK I. – Kontrola kvality – není zdrojově vázána, činnost je spojená s předchozí činností, zobrazuje likvidaci zmetků, pravděpodobnost zmetku je 2%

KK II. – Kontrola kvality – není zdrojově vázána, činnost je spojená s předchozí činností, zobrazuje likvidaci zmetků, pravděpodobnost zmetku je 2%

KK II. – Kontrola kvality – není zdrojově vázána, činnost je spojená s předchozí činností, zobrazuje likvidaci zmetků, pravděpodobnost zmetků jsou 3%

Zmetky II. – Likvidace zmetků ze systému

Balení na plata I – Na plato se vejde $N(30,25)$ entit A; Doba potřebná k zabalení plata je: $N(15,5)$ minut; zdroj: Malíř (1); výstupní entita: plato

Balení na plata II – Na plato se vejde $N(30,25)$ entit B; doba potřebná k zabalení plata je: $N(15,5)$ minut; Zdroj: Malíř (1); Výstupní entita:plato

Balení na plata III – Na plato se vejde $N(12,10)$ entit C.; Doba potřebná k zabalení plata je: $N(10,5)$ minut; Zdroj: Malíř (1); Výstupní entita:plato

Balení do pece – Do pece se vejde $N(5,1)$ plat (podle velikosti sklenic a váz); Balení plat do vozíku (pro pec) trvá $N(10,2)$ minut; Zdroj: Skladník(1)

Vybalování z pece – Doba trvání $N(15,5)$ minut; Zdroj:Skladník (1)

KK IV – Kontrola kvality – Doba trvání: 30s; Zdroj:Skladník (1); Zmetkovost je po prvním výpalu 10%

Třídění – Doba trvání: 30s; Zdroj:Skladník (1)

Odpad – likvidace zbytečných entit

Balení – Balení výrobků B; Doba trvání $N(2,1)$; Zdroj:Skladník (1)

Exit – B typ – Expedice výrobků B

II.vrstva –A typ – Doba trvání $N(20,10)$ minut; Zdroj: Malíř (1); malíři nanášejí další vrstvu malby

II.vrstva – C typ (smalt) – Jde o velmi náročnou činnost; Doba trvání $N(40,15)$ minut; Zdroj:Smaltař

KK V. – není zdrojově vázána, činnost je spojená s předchozí činností, zobrazuje likvidaci zmetků; Pravděpodobnost zmetků jsou 2%

KK V. – není zdrojově vázána, činnost je spojená s předchozí činností, zobrazuje likvidaci zmetků; Pravděpodobnost zmetků jsou 3%

Zmetky IV – likvidace zmetků ze systému

Balení do pece IIII – Doba trvání $N(60,20)$ minut; Balí se $N(150,100)$ entit A; Zdroj: Skladník (1)

Balení do pece III – Doba trvání $N(40,15)$ minut; Balí se $N(30,25)$ entit B – jde o řádově větší entity; Zdroj: Skladník (1)

Vypalování II – Doba trvání: $N(16,2)$ hodin; Zdroj: pec (1); Vypalují se entity A

Vypalování III – Doba trvání: $N(16,2)$ hodin; Zdroj: pec (1); Vypalují se entity C

Z pece – Doba trvání: 30 s na entitu; Zdroj: Skladník (1)

Z pece II – Doba trvání: 30 s na entitu; Zdroj: Skladník (1)

Odpad II – činnost jen za účelem formalismu modelu, likvidace falešné entity „Výpal“ po rozbalení;

Odpad III – činnost jen za účelem formalismu modelu, likvidace falešné entity „Výpal“ po rozbalení;

Odpad I – činnost jen za účelem formalismu modelu, likvidace entity „Výpal“ po rozbalení; není zdrojově vázána

KK VII – kontrola kvality; doba trvání:30s na entitu; Zdroj: Skladník(1)

KK VIII – kontrola kvality; doba trvání:30s na entitu; Zdroj: Skladník(1)

Zmetky V – Likvidace zmetků

Balení II – balení entit A; Doba trvání: $N(2,1)$ min na entitu; Zdroj: Skladník(1)

Balení III – balení entit C; Doba trvání : $N(3,1)$ min na entitu (typ C je náročnější); Zdroj: Skladník(1)

3. Získávání manažerských informací pomocí simulace (analýza a interpretace výsledků, analýza kritických míst)

3.1 Co chceme pomocí testů zjistit?

Výše zobrazený model je pilotem, jehož modifikace bychom rádi použili pro testování různých výrobních scénářů. Firmu zejména zajímají následující informace:

- Jsou naše zdroje adekvátní poptávce?
- Co se stane, když vypadnou některé zdroje? Budeme schopni uspokojit poptávku?
- Co se stane, když se změní poptávka ?
- Firma přemýšlí o expansi na Íránský trh. Jaké zdroje budeme potřebovat, abychom uspokojili zakázku?
- Jak dlouho budeme jednu zakázku pro Írán vyrábět?

3.2 Test 1: Jsou naše zdroje adekvátní poptávce?

Nejprve se pokusím zjistit, zda-li jsou naše zdroje adekvátní poptávce v dlouhodobém horizontu. To provedu testy na 1 rok a na 5 let. Vstupní parametry modelu jsou identické s parametry modelu, které jsem popsal v bodě 3.

3.2.1 Numerické výsledky – simulace pro období 1 roku

Celkový počet entit:

Entity Names	Generated	In System	Processed
A	46975	604	46371
B	51742	323	51419
Balík	2376	0	2376
C	14594	233	14361
Plato	1498	14	1484
Výpal	496	1	495

Vytížení zdrojů:

Resource Names	Idle	Busy	Reserved
Malir	19.826%	80.174%	0.000%
Pec	84.885%	15.115%	0.000%
Skladnik	34.010%	65.990%	0.000%
Smaltar	31.316%	68.684%	0.000%

Problémem našeho modelu je skutečnost, že se nám entity A, B, C schovávají do různých balíků. Proto můžeme mít systém přetížen, aniž by se nám to objevilo v počtu entit A, B, C. Proto musíme hlídat i entity Balík, Plato a Výpal. Podle bodu 4.2.1.1. vidím, že

počet zbývajících Balíků, Plat a Výpalů není příliš velký. Ani počet entit A,B,C v systému není příliš velký a odpovídá generaci poptávky za posledních přibližně 14 dní. Upozornění: generace entit je zde započítána několikanásobně – po každém „rozbalení balíku“ se znova generují nové entity – což je škoda, nebo nám takto mizí potřebné informace. Vytížení zdrojů říká, že jsou poměrně na hraniční úrovni vytížení Malíři. V reálném systému můžeme opravdu pozorovat, že nám Malíři trochu „nestíhají“ – a tak sháníme nové zdroje. Za optimální vytížení všech zdrojů považuji přibližně 70–75%. Skladníci i Smaltáři se tedy této hodnotě přibližují. Abych však nabyl jistoty, že je náš systém OK a zdroje určitě stačí, nechám model s globálním reportem simulovat pro jistotu celých 5 let. Tato simulace je obdobná simulaci, kde bych model nechal simulovat 5x za sebou po 1 rok a počítal průměrné hodnoty. – Ovšem zde se nám fronty po každém roku nenulují a systém se nemusí první měsíc znovu saturovat. Proto se jedná o analýzu s celkově vyšší zátěží, což má pro naši analýzu zátěže systému větší vypovídající hodnotu.

3.2.2 Numerické výsledky – simulace pro období 5ti let

Celkový počet entit

Entity Names	Generated	In System	Processed
A	244695	128	244567
B	258117	867	257250
Balík	12095	4	12091
C	79638	90	79548
Plato	7809	11	7798
Výpal	2644	4	2640

Opět údaje relativně v pořádku, náš systém stíhá i po pěti letech a nikde se nám nic extrémně nehromadí.

Vytížení zdrojů

Resource Names	Idle	Busy	Reserved
Malir	17.855%	82.145%	0.000%
Pec	84.198%	15.802%	0.000%
Skladnik	32.598%	67.402%	0.000%
Smaltar	23.937%	76.063%	0.000%

Vytížení zdrojů je relativně vyšší oproti simulaci na 1 rok – nebo je zde více rozpuštěno období saturace systému (přibližně první měsíc). **Je však vidět, že v případě dlouhodobé nemoci jednoho malíře, by začal mít náš systém značné problémy (což skutečně poci ujeme).** Bohužel, v naší zemi chybí dobří řemeslníci a na trhu práce je momentálně nedostatečný počet malířů. Naše manažerka v současnosti více maluje, než řídí ... zde můžeme vidět příčiny. Systém má nedostatek malířů. Systém při výpadku zdrojů budu simulovat v Testu 2

Další zajímavé hodnoty:

Důležité je vůbec znát, kolik jsme schopni vyrobit při těchto parametrech výrobků:

To zjistím na základě výkazu: Total Entity Count at Selected Activity - Observation Based

Namátkou vybírám:

Počet výrobků A generováno: 84886

Počet výrobků A vyšlo ze systému: 65960

Zmetkovitost

Rozdíl je přibližně 20000 – ks – přibližně 1000 je zbývajících množství v systému (musím připočíst odhad kolik se jich skrývá v platech, balících a výpalech k oněm 128 zbývajícím v systému), a asi 19000 jsou zmetky... Zmetkovost tohoto typu je podle firemních výkazů asi 23 % ... což odpovídá $19000/84886 = 22,3$ % v modelu. Zmetkovitost se ve firmě stanovuje za každou hlavní operací a pak pro všechny operace najednou. Jednotlivé údaje zmetkovitosti za hlavními operacemi jsem v modelu prezentoval činnostmi Kontroly kvality. Je vidět, že model dokáže počítat zmetkovitost velmi dobře. Konečná hodnota zmetkovitosti výrobku A modelu opravdu odpovídá realitě (hodnotám z firemních výkazů).

Množství výroby:

$65960/5 = 13192$ za rok – hodnota modelu

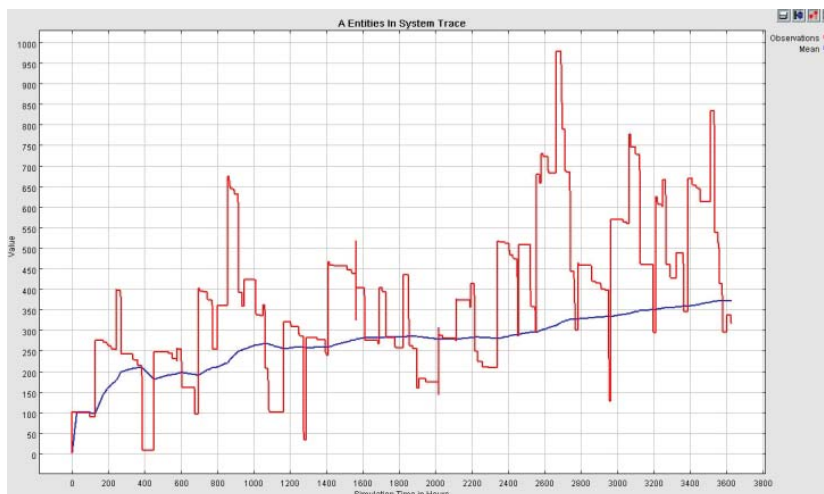
Hodnota vyrobených výrobků typu A je podle firemních výkazů za r. 2006 – 11459ks. O trochu méně, než v modelu. V modelu však nejsou započítány dovolené, nemoci, přesčasy atd. Rovněž jsou některé malířky zapojeny do vývoje a nevyrábí... To je výzva k další úpravě modelu. I tak model v hrubých obrysech odpovídá realitě poměrně dobře.

Množství entit a strávených hodin entit ve výrobním cyklu:

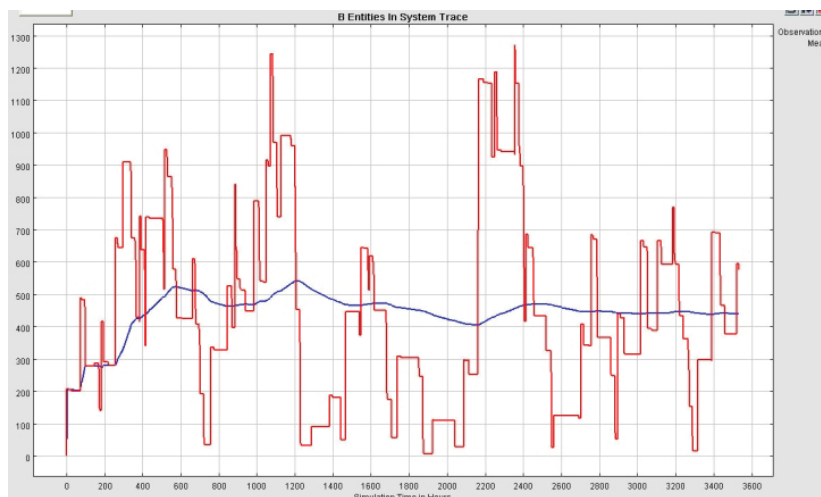
Výrobky by neměly čekat na svůj zdroj díle, jak 72 hodin. Maximum je 120 hodin – jinak se na ně nanasou nečistoty a nevycházejí nám výpaly. Po 120 hodinách se musejí přemývat (pokud to ovšem lze). Problém našeho modelu je v tom, že nezachycuje výrobky v různém stádiu výroby. Tak nevíme, zda-li je doba čekání kritická, nebo zda-li výrobek může čekat (např. před zabalením jako už hotový výrobek). Pokud takový problém nastane, firma jej řeší různými přesčasy. Podle modelu je vidět, že tyto situace opravdu vznikají. Např. průměrná doba čekání výrobků C je 76 hodin Výrobku B je 56 hodin. To je opravdu hodně. To nepočítáme, že může být výrobek schován pod entitou „Balík“ či „Plato“ atd. Opravdu by tedy bylo dobré, kdybych entity v modelu ještě rozrůznil v podobě různých „subentit“. V jednu dobu tvorby modelu jsem je rozrůznil a entit bylo asi 15 – což způsobilo nepřehlednost modelu a tak jsem je odstranil. Nyní by se ale hodily. Ovšem i ty se mohou schovat do balíků. Proto by se musely hodnoty časů balíků, výpalů, plat a entit různě sčítat... ale celá situace by i tak byla značně nepřehledná a těžko říci, zda-li by se nám vůbec ze změní čísel podařilo „vydolovat“ potřebné údaje. Zatím budu sledovat průměrné hodnoty časů a entit ve výrobním cyklu jenom zběžně. Podobné problémy se „schováváním entit“ do různých balíků nás čekají i v případě stanovení průměrného množství entit v systému. Například průměr entit A v systému (rozbalených) je 474. – což je poměrně hodně. (čekají zřejmě na II vrstvu) – Je jich více jak entit B, kterých se vyrábí nejvíce (průměrný počet entit je 433). Případné selhávání systému můžeme vyčíst i z grafů. – Např. z grafu Entities in system trace. Pokud si pohlídáme balíky, plato, výpal entities in system trace (aby se nám zabalené entity neschovávaly), můžeme na základě trendu Mean odhadnout, zda-li systém selhává.

3.2.3 Grafické výsledky simulace – cca 3800 hodin:

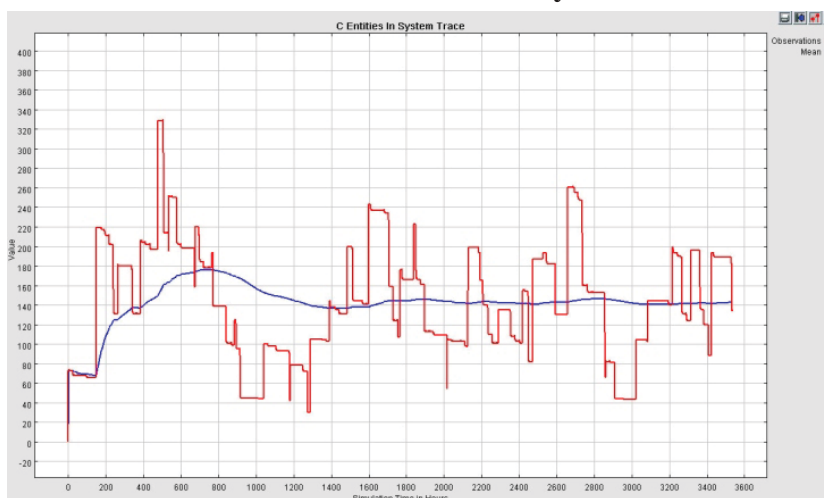
Graf č. 1: Počet entit A v systému:



Graf č. 2: Počet entit B v systému



Graf č. 3: Počet entit C v systému



3.2.4 Závěrem

Počet entit A podle grafické prezentace stále mírně narůstá, počet entit B a C v systému se však po prvotní saturaci systému stabilizují v určitém pásmu. Dá se nakonec předpokládat, že nakonec v konkrétním pásmu ukotví i entity A (na konci pětileté dlouhodobé simulace jich v systému nakonec zůstane jenom 128). **Systém tedy nejeví známky selhání a je schopen zvládnout současnou poptávku.** Je však pravda, že systém běží na hranici svých možností (nedostatek malířů) a měli bychom přijmout další malíře. Počet skladníků, smaltařů a pecí je OK. Velké rezervy mají zejména pece.

3.3 Test 2: Co se stane, když nám vypadnou některé zdroje?

Předmětem dalšího testu bude zjistit, co se stane, **když nám vypadnou tři malířky a dvě pece.** Ostatní nastavení jsou stejná s předchozím testem.

3.3.1 Numerické výsledky

Výsledky za 1 rok:

Entity Names	Generated	In System	Processed
A	40075	2551	37524
B	46448	3576	42872
Balík	2308	196	2112
C	16009	1424	14585
Plato	1325	48	1277
Výpal	441	1	440

Výsledky za období 5 let

Entity Names	Generated	In System	Processed
A	210197	17803	192394
B	237161	21144	216017
Balík	11950	1080	10870
C	76540	5095	71445
Plato	6825	272	6553
Výpal	2223	0	2223

Počet entit v systému se neustále zvyšuje!!! Systém selhává!!! Jak se nám model projeví v grafické prezentaci výsledků?

3.3.2 Grafické výsledky – cca 4500 hodin

Počet entit A v systému



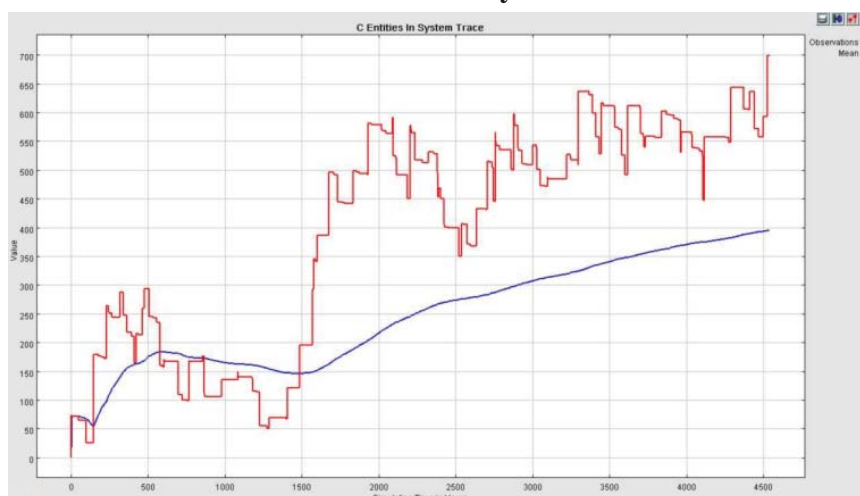
Průměrný počet entit A v systému stále stoupá

Počet entit B v systému



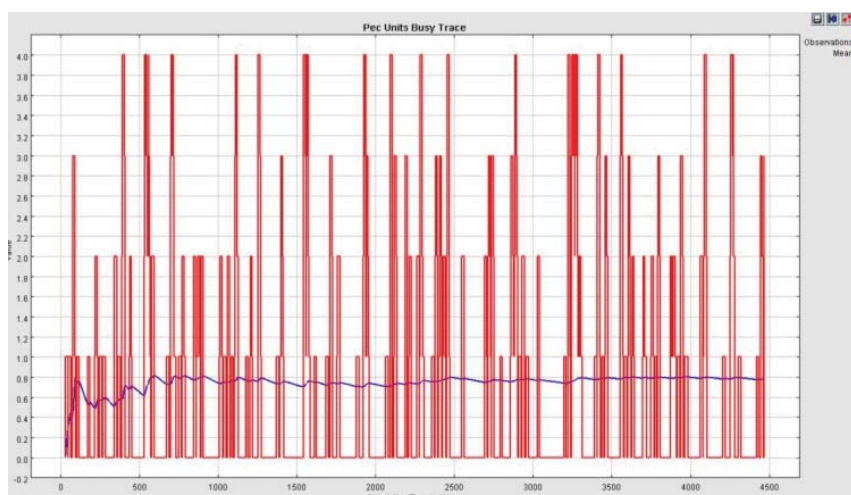
Průměrný počet entit B v systému stále stoupá

Počet entit C v systému



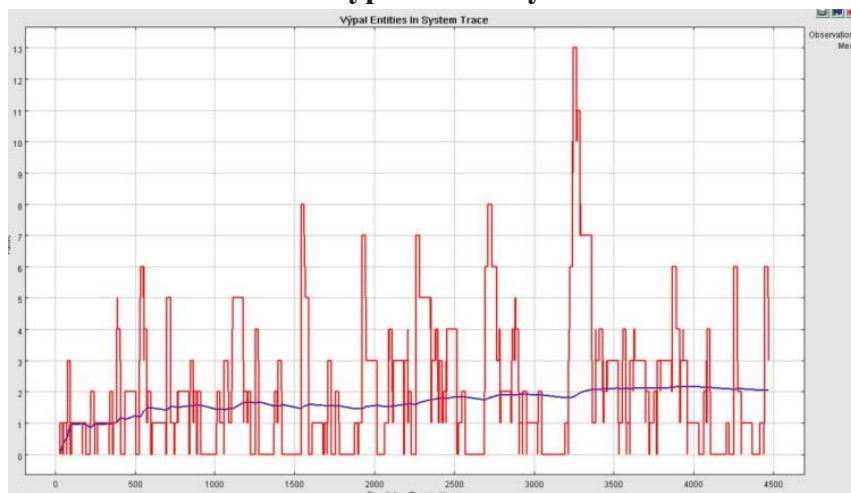
Průměrný počet entit C v systému stále stoupá

Počet právě využívaných pecí



Pece zvládají. Jen málokdy běží na všechny 4. Průměrný počet využívaných pecí se drží ve stále stejném pásmu. Systém nelimituje výpadek 2 pecí.

Počet Výpal entit v systému



Tento graf slouží k monitoringu, zda-li nám nečekají entity na výpal. Vidíme jenom jeden peak, kdy na výpal čekalo 13 entit (Výpal) – s čímž si zbývající 4 pece hravě poradily.

3.3.3 Závěrem

Pokud vypadnou 3 malíři a 2 pece, systém začne selhávat. Výpadek pecí však systém neovlivní. Kapacity pecí jsou i tak dostatečné. Příčina selhání je v nedostatku malířů.

3.4 Test 3: Při výpadků kolika malířů začne selhávat systém?

3.4.1 Systém 9 malířů:

Výsledky simulace pro období 10 let:

Entity Names	Generated	In System	Processed
A	461543	551	460992
B	559680	289	559391
Balík	24743	16	24727
C	157122	74	157048

Plato	15940	12	15928
Výpal	5392	1	5391

- výrobky se nehromadí, systém je i s 9ti malíři dlouhodobě udržitelný, ovšem není doporučitelný. Už s desti malíři je „wait for resources“ u entit A, B, i C příliš dlouhý.

3.4.2 Systém 8 malířů

Výsledky simulace pro období 10 let:

Entity Names	Total Generated	Remaining In System	Total Processed
A	465670	12292	453378
B	523189	13998	509191
Balík	24441	646	23795
C	150882	3088	147794
Plato	15027	255	14772
Výpal	4982	0	4982

- zde je vidět, že systém již začal selhávat Dlouhodobé onemocnění dvou zaměstnanců již není udržitelné

3.5 Test 4: Co se stane, když se změní poptávka po výrobcích typu C z N(50,50) na N(150,100) (perioda poptávky stále N(4,2)dny)

3.5.1 Simulace s původními zdroji

Nechám simulaci běžet 5 let. Nastavení systému odpovídá původní simulaci, pouze jsem pozměnil poptávku po výrobcích typu C.

Počet entit, které zůstaly v systému:

Entity Names	Generated	In System	Processed
A	212265	7057	205208
B	260310	9664	250646
Balík	14218	456	13762
C	174940	33768	141172
Plato	10288	203	10085
Výpal	3227	14	3213

- Systém vykazuje jasné selhání.

Úzká místa?

Resource Names	Idle	Busy	Reserved
Malir	1.291%	98.709%	0.000%
Pec	80.359%	19.641%	0.000%
Skladnik	26.219%	73.781%	0.000%
Smaltar	0.414%	99.586%	0.000%

Závěr

Nestíhají smaltaři ani malíři !!!! Pece a Skladníci jsou v pořádku. – Musíme přijmout další smaltaře a malíře.

3.5.2 Simulace s rozšířenými zdroji 11 malířů, 3 smaltaři, 3 manipulace, 6 pecí – 5 let

Pro uspokojení poptávky přijmeme 2 další zdroje – 1ho malíře a 1ho smaltaře. Takže simulujeme 11 malířů, 3 smaltaře, 3 manipulace, 6 pecí

Počet entit zůstávajících v systému

Entity Names	Total Generated	Remaining In System	Total Processed
A	229743	1185	228558
B	273046	3291	269755
Balík	14568	65	14503
C	192913	18231	174682
Plato	10940	67	10873
Výpal	3873	9	3864

Vytížení zdrojů ?

Resource Names	Idle	Busy	Reserved
Malir	3.652%	96.348%	0.000%
Pec	76.442%	23.558%	0.000%
Skladnik	18.607%	81.393%	0.000%
Smaltar	1.326%	98.674%	0.000%

Závěr

Počet zdrojů je stále nevyhovující a systém selhává. Navíc – nyní nejvíc systém omezuje nedostatek smaltařů. Přijmeme ještě další 3 malíře, 2 smaltaře a jednoho skladníka.

3.5.3 Simulace 14 malířů, 6 smaltařů, 6 pecí, 4 skladníci**Počet entit zůstávajících v systému**

Entity Names	Generated	In System	Processed
A	232101	270	231831
B	263443	334	263109
Balík	14265	4	14261
C	208842	377	208465
Plato	10770	13	10757
Výpal	4295	1	4294

Vytížení zdrojů

Resource Names	Idle	Busy	Reserved
Malir	24.848%	75.152%	0.000%
Pec	73.849%	26.151%	0.000%
Skladnik	37.017%	62.983%	0.000%
Smaltar	32.522%	67.478%	0.000%

a „Wait for resources“ maximum kolem 40 hodin

Závěrem

Konečně jsme našli ideální portfolio pro zvládnutí zvýšeného objemu C. Úzkým místem pro proces C nebyli pouze smaltaři, ale i malíři a skladníci.

3.6 Test 5: Jaké zdroje budeme potřebovat pro zvládnutí expanze na Íránský trh? Jak dlouho budeme zakázku vyrábět?

V případě expanze na Íránský trh se hovoří o zakázkách 1x za 2 měsíce, zhruba 20000 výrobků (+–50%), s tím, že budeme chtít uspokojit stávající poptávku. Prvotní naše odhady říkali, že budeme potřebovat 4 skladníky, 15 malířů, 2 smaltaře a 6 pecí. Je to reálné? Protože zakázka přijde každé 2 měsíce, bylo by dobré, kdybychom ji dokázali zlikvidovat do dvou měsíců.

3.6.1 Zběžná simulace 1 rok pro 4 skladníky, 15 malířů, 6 pecí

Entity Names	Generated	In System	Processed
A	30862	9558	21304
B	222133	87201	134932
Balík	8025	2783	5242
C	11349	2873	8476
Plato	2811	965	1846
Výpal	637	186	451

Vysoká čísla u entit A, B a C nemusí ještě znamenat selhání systému. Mohla totiž právě přijít nová zakázka z Íránu. Ovšem vysoká čísla u plat a výpalů dávají tušit, že nestačí skladníci.

Resource Names	Idle	Busy	Reserved
Malir	9.105%	90.895%	0.000%
Pec	73.135%	26.865%	0.000%
Skladnik	12.402%	87.598%	0.000%
Smaltar	18.381%	81.619%	0.000%

Závěrem

Ano, skladníci i malíři jsou vytíženi a pece zejí prázdnotou. Jsme mimo, musíme zvýšit počet skladníků i malířů. (Vytíženost je zřejmě po příchodu zakázky ještě vyšší... v modelu jsme definoval, aby první zakázka přišla až po dvou měsících). Definuji novou simulaci, tentokrát s 8 skladníky, 22 malíři, 2 smaltaři a 6 pecemi. Navíc, zaměřím se pouze na období dvou měsíců – tj. na likvidaci zakázky. (Těsně před moment, než přijde zakázka nová).

3.6.2 22 malířů, 8 skladníků, 2 smaltaři, 6 pecí – 2 měsíce

Entity Names	Generated	In System	Processed
A	5142	506	4636
B	38200	218	37982
Balík	1108	0	1108
C	2621	890	1731
Plato	668	15	653
Výpal	144	3	141

Resource Names	Idle	Busy	Reserved
Malíř	13.580%	86.420%	0.000%
Pec	72.697%	27.303%	0.000%
Skladník	34.995%	65.005%	0.000%
Smaltář	80.339%	19.661%	0.000%

Malíři mají ještě stále hodně práce, je však vidět, že **zakázku zvládli !!!! a vyprázdnili fronty**. Musíme však nechat model několikrát simulovat, abychom si mohli být jistí, že toto osazenstvo zakázku pokaždé zvládne (počet kusů zakázky se mění 20000 \pm 50%). Pro jistotu přidávám ještě jednoho malíře.

3.6.3 23 malířů, 8 skladníků, 6 pecí – 2 měsíce – 5x opakování

Remaining in systém entity B average hodnota je 11227 a max hodnota 27409 ... nebo byly generovány i poptávky v hodnotě 60811 ... je vidět, že bude s tímto osazenstvím problém stihnout kompletní zakázku vždy do dvou měsíců ... **zřejmě nám něco zůstane i do dalšího období. Navíc, tento problém bude nastávat docela často!!! V jednotlivých reportech tento stav nastane dokonce 2x z 6ti případů!!!! Systém se může zahlcovat!!!** Ovšem maximální průměrné využití zdroje je u malířů – 80% – systém má jisté rezervy. Problém zahlcování zřejmě budeme muset řešit důsledným plánováním skladových zásob. Nepodaří se nám zakázky pokaždé vyřídit do 2 měsíců. Proto budeme muset navýšit naše skladové zásoby. Systém, když nebude zahlcen, bude vyrábět na sklad – a poptávkové nárazy se zmenší právě dispozicí většího množství skladových zásob. Tím se i navýší nyní již poměrně malá využívanost systému (a jeho zdrojů). Abychom dokázali přesně plánovat zdroje pro zakázky do Íránu, měli bychom nechat simulaci běžet i pro dlouhé období – např. 5 let. Jen tak zjistíme, zda-li se nám systém při výše uvedených zdrojích zahlcuje, či nikoliv. Bohužel, již nyní trvají simulace i několik hodin a tak je ukončím v tomto bodě.

4. Zhodnocení

4.1 Problémy při tvorbě modelu

4.1.1 Problémy se systémem (a s tvorbou modelu)

Značným problémem pro každou simulaci je existence vhodné procesní dekompozice a definování náročnosti na zdroje pro každý proces. Díky tomu nelze vytvořit vhodnou simulaci ve firmě, kde neexistuje jasná procesní dekompozice. Naše firma má celkem dobrou procesní dekompozici, řada procesů jsou však příliš „fuzzy“ na to, aby se daly zachytit v modelu. Například část zmetků se opravuje ... to bych pro účely modelu potřeboval buď další druh entit, nebo definovat u nich nějaký atribut, aby se mi nepopletly s normálními (neopravovanými) entitami. Navíc existují jistá specifika „opravy“, které lze v modelu jen těžko zachytit. Velkou otázkou je problematika skladového hospodářství, vývoje a administrativy. Rovněž existují nepřesnosti – jako např. že Skladník musí přejít z jednoho konce haly na druhý...od těchto věcí jsem model abstrahoval. Rovněž každý ze zdrojů je trochu individuální – má jinou výkonnost – a to se v programu editovat nedá! Rovněž každý ze subtypů výrobků je trochu jiný.... Ve skutečnosti bych potřeboval 100 druhů různých entit a individuálních specifik výrobního procesu (existují hlavní tři výrobní větve výrobků, samotné jednotlivé druhy se od sebe odlišují jen v detailech – ovšem i ty mohou hrát roli). Samozřejmě... bylo by nejlepší, kdyby si program dokázal sám nastavit parametry jednotlivých činností z firemního ERP – to nedokáže a tak jsem je musel nastavit

manuálně, za použití základních firemních výkazů a norem, které nedisponují např. standardní odchylkou Od všech těchto skutečností jsem model abstrahoval. V jednu dobu jsem měl v modelu asi 15 druhů entit ... při jemné úrovni modelu však začíná být model příliš složitý a nepřehledný. **Uživatel si zkrátka musí vybrat střední úroveň mezi podrobností a snadnou funkčností (a přehledností) modelu.** Díky tomu, že jsem 15 druhů entit nakonec spojil v 3, ztratil jsem možnost sledovat hodnoty „čekání na zdroje“ v důležitých fázích výroby (např. kdy namalovaná sklenice čeká na vypálení a sedá na ně prach). Navíc... entita se balí do plata a výpalu, takže bych průměrné hodnoty „wait for resource“ musel stejně počítat... což by informace dále zkreslilo... proto jsem se nakonec rozhodl entity spojit a oželeť tuto informaci.

4.1.2 Problémy s programem

Velkým nedostatkem programu je nemožnost definovat individuální schopnosti u jednotlivých RESOURCES příp. ENTIT. Například, každá malířka má jinou výkonnost. Rovněž jednotlivé pece mají ve skutečnosti trochu odlišnou kapacitu. – To nelze v modelu zachytit, nebo resp. lze, ale asi za pomoci nějakých atributů, s kterými nedokáži jednoduše zacházet. Já jsem to vyřešil tím, že se doby zpracování entit pohybují na základě normálního rozdělení... **Dalším nedostatkem je u typu Branch, že nedokáže rozdělovat podle fronty následující činnosti.** Nerozděluje podle toho, kde je nejmenší fronta. Opět to asi lze přes nějaké atributy... ale... nechápu, proč to výrobci programu nedali hned do hlavní nabídky. Rovněž samotná pravděpodobnost Branch (např. během mé činnosti kontroly kvality) se může měnit. – „probability“ se však v programu musí zadat jako pevné číslo. **Velkým problémem je zabalování a rozbalování balíků** – a nesmyslné zůstání entity „balíku“ po rozbalení v systému Nepřišel jsem na to, jak ji jinak odstranit, než metodou Branch a Dispose. Rovněž se po rozbalení vždy znova generují entity.... Což pak dělá zmatek v global reports..... **Entity se rovněž po zabalení do balíku „schovají“** – a ze systému prostě „zmizí“ ... To mi přijde dost nebezpečné. Mimo např. entit A musím hledat, jestli někde nevisí entity v balících. Navíc.... Nijak nejde entitu v balíku nějak určit (zda-li jde o A či B...). Informace z global reports se tak musí velmi hlídat... a čísla dávat do vzájemných vztahů.... Např. průměr hodin entit A v systému 40 vůbec neznamená, že někde entity netrčí před pecí v entitě výpal ještě dalších 40 hodin.... Přehlcování systému jsem tak začal monitorovat spíše podle grafů, resp. trendu mean v trace grafech . **V histogramech program zřejmě vykazuje systematickou chybu** – resources jsou v okamžiku, kdy opustí činnost, na krátkou chvíli „volné“. Program kontinuální průběh modelu rozseká na spoustu malinkých intervalů. Tento interval započne, když resource dokončí nějakou činnost – v této chvíli se však ještě nezapočala činnost nová a tak je resource označen za „volného“. V tuto chvíli se měří hodnoty pro grafy. Proto např. počet využitých malířů kolísá mezi 9 a 10 (při celkovém počtu 10 malířů), ačkoliv jsou v realitě plně zahlceni. Nedokázal jsem tuto chybu nijak odstranit. **Rovněž je problém, že ve chvíli, kdy jsou resources „off line“** (o víkendech, mimo směnu), jsou všechny resources označeny jako free ... což je hloupé. – Tato „chyba“ je pak zaznamenána i v global report. Nezajímá mne, že byla činnost celkově vytižena 0,5 člověkem za celý časový fond. Zajímá mě, že byla vytižena 3,5 lidmi za směnu. Program by měl fenomén směn více respektovat a nabízet analýzy právě za doby, když jsou „on line“. **Dalším problémem je sériový průběh simulace.** – Nejprve se likviduje jeden úkol, potom program likviduje další úkol. – Program nedokáže využít paralelizace. (A paralelní procesory). Některé simulace (obzvláště se spuštěnými grafy) trvaly i několik hodin.

4.1.3 Hodnocení programu Simprocess

Program nelze využít jako opravdu kvalitní nástroj pro popis opravdu složitých procesů (kde se zpracovávají statisíce entit). Je poměrně hodně HW náročný. Program má nástroj na vnořené procesy, ale vše se zpracovává sériově. Program rovněž postrádá řadu důležitých funkcí pro popis složitějších procesů. Musí se dále doprogramovávat pomocí Javy. Program rovněž není orientován na rozlišení individuality Resources a Entit. Program se poměrně špatně a náročně edituje a ve velkých systémech by nad ním člověk nakonec ztratil kontrolu. Program nelze propojit s žádnou externí databází (zdrojů, entit, harmonogramů), s nějakým CASE nástrojem, natož s nějakým ERP.

Využití programu tak vidím pouze jen pro jednoduché simulace.

Program však dokáže relativně dobře „nastítnit“ náš systém a ukázal základní archetypy jeho chování. Jeho velký přínos vidím v plánování zdrojů. – Dokáže pomocí grafů nastítnit, zda-li se náš systém zahlcuje či nikoliv. Díky němu dokážeme lépe odhadnout změnu výroby v závislosti na změně výrobního plánu a určit, zda-li máme dostačující zdroje. Dokážeme také odhadnout chování systému, pokud nám nějaký zdroj náhle vypadne, či jak si systém poradí s velkou jednorázovou zakázkou.

4.2 Simulační program snů

V tomto bodě popíši požadavky na ideální simulační program, který bychom rádi využívali pro účely naší výroby. Naši výrobu můžeme vnímat jako soustavu skladů. Sklad – je jednotlivou činností. Skrze tyto sklady proplouvají jednotlivé entity. Každá entita má svou specifickou cestu skrze sklady. Topologie systému skladů je v ERP modelován pomocí nějakého CASE. Přemýšlíme o tom, že bychom pořídili ERP, který by tok materiálu jednotlivými sklady (činnostmi) dokázal monitorovat a řídit. ERP by na základě výrobního příkazu (a identifikačního čísla suroviny a čísla hotového výrobku) provedl výrobek celým řetězcem skladů (činností).

Bylo by dobré, kdyby ERP disponoval simulační nástavbou:

Nástavba ERP by zaznamenávala jednotlivé časy vstupu/výstupu entit do/z jednotlivých skladů. Rovněž k nim může přiřadit zdroje, které entitu procházející skladem obsloužil. Tím by bylo možno získat cenné údaje za účelem různých simulací. Simulační nástavba ERP by poté odhadla příslušná rozdělení a nastavila topologii systému skladů pro simulace (topologie systému skladů pro simulace je identická s topologií systému skladů v ERP). Rovněž by dokázala komunikovat s balíkem Office, ze kterého by získala pracovní harmonogramy zdrojů a výrobních příkazů. Z takto získaných dat by už nebyl problém simulovat činnost soustavy skladů – resp. našich činností – v krátkodobém, i dlouhodobém horizontu. (Samozřejmě v nějakém intervalu pravděpodobnosti). Pro naši firmu by bylo dobré, kdybychom měli k dispozici každodenně aktualizovaný model chování firmy na příštích 24–48 hodin. Díky tomu bychom mohli porovnat skutečnost s výsledky simulace a zjistit, zda-li se nám něco v systému „neporouchalo“. Mohli bychom rovněž lépe porovnávat jednotlivé výrobní scénáře a volit optimální variantu, měli bychom lepší přehled o úzkých místech systému a dokázali proti nim závčas zasáhnout. Pokud by přišla náhlá poptávka, mohli bychom nasimulovat průběh jejího vyřízení – a informovat zákazníka, kdy může očekávat dodávku. Bylo by perfektní, kdyby dokázal náš velkoobchodní e-shop o případném termínu výroby zákazníka interaktivně informovat (by například s hodinovým zpožděním). Dokázali bychom rovněž promítnout vliv náhlých výpadků zdrojů na právě probíhající výrobní procesy a případně přizpůsobit

výrobu. Získali bychom skvělý analytický aparát na propočítání efektivity a výnosnosti našich zdrojů. Rovněž bychom dokázali lépe řídit rizika.

4.3 Závěrem

Pro opravdu věrné simulace velkých výrobních procesů je program SIMPROCESS nepoužitelný. Ovšem poskytl nám zajímavé pohledy na náš systém. Určitě budeme přemýšlet o pořízení ERP, který by disponoval vhodnou simulační nástavbou. Obáváme se však, že takový ERP ještě není na trhu běžně k dostání. Takže se zřejmě budeme muset spokojit se simulačním programem, který nebude s ERP integrovaný.

Pokud by výrobci nabízeli vhodné ERP, které by si potřebná data za účelem simulací dokázali sami sbírat, a na základě definované struktury skladů provést patřičné simulace, staly by se zajisté zajímavým nástrojem pro firemní rozhodování malých firem.