



Modelování a simulace
Model výrobní a balící linky másla
2017/2018

Autoři:

Petr Jůda (xjudap00)
Filip Januš (xjanus08)

4. prosince 2017

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Autoři	1
1.2	Validita modelu	1
2	Rozbor tématu, použitých metod a technologií	2
2.1	Popis použitých postupů	2
2.2	Popis původu použitých technologií	2
2.3	Vlastnosti mlékárny	2
2.4	Výrobní linka	2
2.4.1	Smetana	2
2.4.2	Proces zmáslení smetany	2
2.4.3	Proces sanitace	3
2.4.4	Proces údržby	3
2.5	Balící linka	3
2.5.1	Balící stroj	3
2.5.2	Balení kostek do krabic	3
2.5.3	Doplnění balící fólie	3
3	Koncepce	4
3.1	Popis konceptuálního modelu	4
3.1.1	Koncept výroby másla	4
3.1.2	Koncept balení	5
4	Architektura simulačního modelu	6
4.1	Ovládání simulačního modelu	6
4.2	Popis inicializačního souboru	6
5	Podstata simulačních experimentů a jejich průběh	7
5.1	Postup experimentování	7
5.2	Popis výstupního souboru	7
5.3	Dokumentace jednotlivých experimentů	8
5.4	Experimenty se současnou konfigurací	8
5.4.1	Experiment 1	8
5.4.2	Experiment 2	9
5.5	Optimalizační experimenty	10
5.5.1	Experiment 3	10
5.5.2	Experiment 4	10
5.5.3	Experiment 5	11
5.6	Inicializační soubory jednotlivých experimentů	12
6	Shrnutí simulačních experimentů a závěr	12

1 Úvod

V této práci je řešena implementace modelu[7, str. 7] výrobní linky na přípravu a balení másla. Konkrétně se jedná o část výroby mlékárny LACRUM Velké Meziříčí, s.r.o. Na základě modelu a simulačních experimentů[7, str. 8] bude ukázáno chování systému[7, str. 7] při běžném osmihodinovém pracovním provozu.

Smyslem experimentů je ověřit současně nastavení v provozu a najít jeho případná slabá místa, dále pak navrhnout optimalizační řešení, která by při zachování stávající velikosti výrobní linky umožnila zvýšit produkci másla. Vedlejším cílem je také určit, jaký je maximální rozsah zakázek, který je systém schopný obsloužit.

Slabými místy mohou být např. dlouhé fronty[7, str. 138] v jistých částech procesu, jako je například přečerpávání másla do zásobníkového sila nebo rovnání zabalených másel do krabic. Kritická může být nesprávná konfigurace rychlosti balicího stroje, která může vést k nutnosti pozastavení výrobní linky. S tímto parametrem souvisí určení nedostatku nebo naopak přebyteku personálu obsluhujících balicí linku. Následné optimalizační řešení by mohlo spočívat v úpravě konfigurace rychlosti balicí linky v závislosti na počtu zaměstnanců a objemu zpracovávané smetany tak, aby provoz linky byl vždy plynulý a nebylo nutné jej pozastavovat. Na základě výsledků simulačních experimentů bude možné určit, zda je nutné přijmout další personál nebo naopak nadbytečný personál propustit.

Pro zpracování modelu bylo nutné navštívit provoz mlékárny a strávit zde dvě pracovní směny, pozorovat, zapisovat a měřit časy všech procesů a událostí, které zde nastaly. Dále pak konzultovat s odbornou konzultantkou a zaměstnanci.

1.1 Autoři

- Petr Jůda - xjudap00@stud.fit.vutbr.cz
- Filip Januš - xjanus08@stud.fit.vutbr.cz
- Jana Švihálková - odbyt@lacrumvm.cz, odborná konzultantka

Velké poděkování patří paní Janě Švihálkové, vedoucí ekonomického provozu za umožnění návštěvy mlékárny a pomoc při vytváření modelu. Poděkování patří i všem zaměstnancům za vstřícné odpovídání na dotazy a možnost nerušeného měření.

1.2 Validita modelu

Validita [7, str. 37] modelu byla ověřena experimenty, jejichž výsledky byly zkonfrontovány s reálnými výsledky podle dokumentu poskytnutého mlékárnou a s výsledky osobního měření při exkurzi. Proces validace byl proveden srovnáním těchto simulačních výsledků se skutečnými, což zahrnuje různou dobu zmáslňování smetany, následného čištění a případnou údržbu zmáslňovacího stroje, doplnění balicí fólie a dobu zabalení krabice. Dále pak čekání ve frontách na přečerpání másla do zásobníkového sila a čekání na zabalení másla do krabic, které provádí zaměstnanci mlékárny.

Proces zmáslňování smetany byl validován pomocí technické specifikace stroje poskytnutých odbornou konzultantkou a pomocí našeho měření na místě. Časy čištění, údržby a balení másla do krabic byly validovány na základě provedeného měření.

Čekací fronty a čas potřebný na doplnění balicí fólie byl validován na základě výpovědi zaměstnanců mlékárny.

Provedené experimenty proběhly ve stejném simulačním prostředí. Lze rozdělit na dvě kategorie. První kategorie experimentů zkoumá stav se současnou konfigurací. Druhá kategorie se zaměřuje na úpravu konfigurace s cílem optimalizace.

2 Rozbor tématu, použitých metod a technologií

Níže v jednotlivých podkapitolách jsou popsány použité technologie a rozbor tématu.

2.1 Popis použitých postupů

Pro tvorbu simulačního modelu[7, str. 10] byly použity přístupy diskrétní simulace[7, str. 119]. Model odpovídá systému hromadné obsluhy[7, str. 136]. Jako implementační jazyk byl použit Jazyk C++[4] s využitím standardu C++11[1], spolu se simulační knihovnou SIMLIB[5].

2.2 Popis původu použitých technologií

V projektu byly použity standardní knihovny jazyka C++ spolu se simulační knihovnou SIMLIB. Žádné další externí knihovny nebo moduly nebyly využity.

Tyto implementační prostředky byly zvoleny především kvůli specifikaci zadání pro simulační model. Simulační knihovna SIMLIB vznikla na Fakultě informačních technologií VUT v Brně. Jejími autory jsou Petr Peringer, David Martinek a David Leska.

Jako reference k jazyku C++ je využit online zdroj[4], který shrnuje problematiku použití a práce s tímto programovacím jazykem. Při práci se simulační knihovnou SIMLIB byla využita její kvalitní programová dokumentace[6], která je dostupná online.

2.3 Vlastnosti mlékárny

Mlékárna Lacrum Velké Meziříčí, s.r.o se zabývá zpracováním syrového kravského mléka, které pochází především od regionálních dodavatelů z oblasti Vysočiny[3]. Probíhá zde výroba širokého sortimentu mléčných výrobků. Tato práce se zaměřuje pouze na část výroby másla v tomto podniku. Mlékárna vyrábí dva druhy másla. Tradiční máslo o tučnosti min. 82%, které je vyráběno pouze z pasterované smetany, balené po 250g do fólie. Dále pak také roztíratelné máslo z Vysočiny, které kromě smetany obsahuje i přidané rostlinné tuky. Toto máslo je baleno po 250g do fólie nebo po 180g do plastových krabiček. Vzhledem k tomu, že výrobní proces těchto produktů je téměř totožný a poměr výroby tradičního a roztíratelného másla byl odbornou konzultantkou odhadnut na 80:20. Je dále popisován pouze proces výroby tradičního másla.

Výrobní linka je řízená za pomoci počítačů, které kontroluje jeden pracovník. Balící linka je poloautomatizovaná, obsluhovaná dvěma zaměstnanci.

2.4 Výrobní linka

V následujících podkapitolách jsou popsány jednotlivé procesy vstupující do výroby másla.

2.4.1 Smetana

Jedinou a klíčovou surovinou vstupující do procesu výroby másla je smetana o tučnosti min. 40%. Smetana se získává odstředěním vstupního mléka, které má tučnost okolo 3,6%. Tento proces probíhá v části mlékárny, která má nastarostu příjem a zpracování mléka. Část smetany je využita k výrobě jiných mléčných produktů a zbytek smetany, určený pro výrobu másla je přečerpán do zracích tanků o maximálním objemu 50 000l. V těchto tankách probíhá fyzikální zrání smetany, které trvá alespoň 20h. Vzhledem k tomu, že se naše studie zabývá jednou pracovní směnou (8h). Není proces výroby smetany do návrhu modelu zahrnut. Množství smetany, která je k dispozici pro výrobu, tedy i jeho nedostatek je však možné nastavit pomocí parametru `SMETANA_V_ZASOBNIKU` v inicializačního souboru. [4.2]

2.4.2 Proces zmáslnění smetany

Mlékárna disponuje jedním zmáslňovacím strojem na stloukání smetany. Tento stroj je v každém výrobním cyklu schopen pojmout až 13 000l smetany. V současné době se pro jeden výrobní cyklus používá 7000l smetany. Smetana je pomocí pětice potravinářských čerpadel [8] o celkovém průtoku 20,5l/s

přečerpána ze zracího tanku do zmáseľňovacího stroje. Následně je smetana při různých teplotách a rychlosti otáček stroje stloukána, odlučováno podmásli a hnětána dokud výsledné máslo nedosáhne tučnosti 82%. Dle dokumentace stroje[2] se z 7000l smetany podaří vyrobit zhruba 3500 kg másla, které je uskladněno v povýrobním tanku. Z povýrobního tanku je máslo přečerpáváno rychlostí 1kg/s do zásobníkového sila umístěného u balící linky. Jeden výrobní cyklus trval dle měření 63 až 83 minut.

2.4.3 Proces sanitace

Po každém výrobním cyklu je z důvodu dodržení hygienických norem nutné zmáseľňovací stroj vysanitovat. Na tuto operaci dohlíží zaměstnanec, který má na starost chod výrobní linky. Pokud proces automatické sanitace nevyčistí stroj dostatečně, tak zaměstnanec zasáhne a proces čištění dodělá ručně. Bez zásahu zaměstnance trval proces sanitace 17 minut, nejdelší sanitace se zásahem zaměstnance trvala 32 minut. Z osmi vzorků provedeného měření byl zásah zaměstnance nutný v pěti případech.

2.4.4 Proces údržby

Po třech výrobních cyklech zmáseľňovacího stroje provádí zaměstnanec kontrolu a případné doplnění provozních a chladících kapalin stroje. Tento proces se nám na místě nepodařilo dostatečně změřit. Dle odhadu zaměstnance trvá tato údržba v rozmezí 15-25 minut.

2.5 Balící linka

V následujících kapitolách jsou popsány procesy související s balením másla.

2.5.1 Balící stroj

Mlékárna disponuje karuselovou baličkou s konfigurovatelnou rychlostí balení kostek másla. Balení probíhá ve čtyřech krocích. Uříznutí fólie, následné dávkování 0,25kg másla, zabalení másla a odsun na dopravníkový pás. Balička je schopná produkovat jednu kostku v rozmezí 0,3 - 2s. Současně nastavená konfigurace je 0,4s. Kapacita dopravníkového pásu je 200 kostek. Stroj pomocí čidel snímá aktuální počet kostek na páse, pokud dojde k navržení kapacity, zastaví balení a čeká na uvolnění místa na páse. K zastavení balícího stroje může dojít i v důsledku nedostatku balící fólie. V tomto případě stroj čeká, dokud zaměstnanec nedoplní fólii a znovu nespustí stroj. Dle odhadu odborného konzultanta jsou 2% kostek zabalena špatně. Toto neprodejné máslo se následně používá jako vstupní surovina na výrobu tavených sýrů.

2.5.2 Balení kostek do krabic

Máslo je z dopravníkového pásu odebíráno dvěma pracovníky a následně po dvaceti kusech baleno do krabic. Z balícího stroje přijíždí kostky již poskládané, zabalení a zalepení krabice trvá asi 10-15s. Zaměstnanci mají v rámci osmihodinové pracovní směny nárok na tři přestávky. První přestávka je po 110 minutách od počátku směny a trvá 10 minut. Druhá obědová pauza následuje po 2h a trvá 30 minut. Poslední přestávka je po dalších 110 minutách a trvá opět 10 minut. Dle pozorování chování zaměstnanců nejprve dojde k manuálnímu pozastavení balícího stroje, dokončení aktuálně rozdělané práce. Následně pak zaměstnanci odchází společně na přestávku.

2.5.3 Doplnění balící fólie

Balící fólie je dodávána v objemu, který vystačí na zabalení 16 000 kostek másla. Po vyčerpání fólie ji zaměstnanci do stroje doplní. Dle odhadu zaměstnance zabere doplnění této balící fólie 2-5 minut. Obaly jsou objednávány průběžně ve velkých objemech. Lze tedy předpokládat, že fólie je dostatek.

3 Koncepce

Projekt se zaměřuje na výrobu másla jedné pracovní směny. První pracovní směna začíná v 8:00 a trvá 8h. Čas obědové pauzy se do pracovního procesu nezapočítává. Koncový čas modelu je tedy inicializován na 8,5h od začátku směny. Aby byl model co nejpřesnější je čas vyjádřen v sekundách.

Pro účely našeho modelu není potřeba simulovat výrobu smetany, jelikož je z ní v mlékárně vyráběn široký sortiment výrobků. Z tohoto důvodu počítáme s dostatečnou zásobou smetany pro výrobu másla a zanedbáváme proces přeměny mléka na smetanu. Při exkurzi byla zjištěna technika výroby másla, která byla doplněna informacemi od odborného konzultanta.

Z rozhovorů s odborným poradcem vyplynulo, že k poruchám v sekci pro výrobu másla dochází velmi zřídka. Z výpovědi bylo napočítáno pouze devět poruch za loňský rok. Z toho šest na balícím stroji, a tři poruchy byly zaznamenány na zmáslňovacím stroji. Tato situace byla konzultantem označena jako nestandardní, při níž jsou zaměstnanci přesunuti do oddělení výroby a plátkování sýrů. Z důvodů velmi malé četnosti poruch a relativně krátké doby simulace byly poruchy v modelu zanedbávány. Cílem simulace je sledování běžného pracovního provozu a navržení optimalizace stávající konfigurace procesu výroby, tak aby bylo možno se stávajícím vybavením mlékárny dosahovat většího množství vyrobeného a zabaleného másla. Studie si také klade za cíl určit optimální počet zaměstnanců obsluhujících balící linku v závislosti na rychlosti a množství vyráběného másla. Tyto parametry lze na výrobních strojích konfigurovat.

3.1 Popis konceptuálního modelu

Model se dělí na dvě hlavní části. První část zahrnuje výrobu másla a jeho přečerpání z výrobní haly do prostoru balení. Druhá část navazuje balením másla a jeho skládáním do krabic. Toto rozdělení bylo zvoleno z důvodu korespondence modelu s reálným podnikem.

Z provedeného měření vyplynulo, že všechny procesy mají pevně stanovený časový interval, od kdy do kdy mohou trvat. Na základě toho je v modelu využito rovnoměrné rozložení pravděpodobnosti, které nejlépe odpovídá rozptylu naměřených hodnot.

3.1.1 Koncept výroby másla

Vstupem pro simulaci je smetana, která je přečerpávána čerpadly[8] ze zásobníku do zmáslňovače. Aby nedošlo k znehodnocení vstupní suroviny je potřeba dle výpovědi zaměstnance čerpat smetanu maximálně rychlostí 4,1 litrů za sekundu. Z tohoto důvodu je použito více méněvýkonných čerpadel pracujících paralelně. Jejich celkový výkon je 20,5l/s. Podle technické specifikace zmáslňovacího stroje je schopen zpracovávat 3 600 - 13 000 litrů smetany za jeden výrobní cyklus, dle nastavení a kvality dodané smetany.

Dle odhadu odborného konzultanta byl stanoven poměr vyrobeného másla z dodané smetany. V průmyslové výrobě odpovídá jeden kilogram másla přibližně dvěma litrům smetany o tučnosti min. 40%. Tato informace byla rovněž validována podle webových stránek výrobce průmyslových zařízení pro mlékárny.[2]

Vyrobené máslo je čerpáno čerpadlem o výkonu 1kg/s do zásobníkového sila. Jelikož je v této části výroby pouze jediný zaměstnanec, který se stará o jeden výrobní stroj a s ním související procesy byl pro účely tvorby modelu zanedbán, validitu modelu to nemůže ovlivnit.

Grafické zobrazení výrobní linky popisuje přiložená Petriho síť. [Obr. č.1]

4 Architektura simulačního modelu

Simulační model se skládá ze dvou hlavních spolupracujících částí. První z nich se nachází v souboru `maslo.cc` a obsahuje třídy `zmaselneni`, `cerpani`, `sanitace` a `udrzba`. Tyto třídy simulují výrobní linku másla a následné přečerpávání do zásobníkového sila. Třída `zmaselneni` stejně jako ostatní výše zmíněné jsou instanciovány pouze jednou. Tato třída je odvozena od báze třídy `Process` [7, str. 163], která je obsažena v knihovně `SIMLIB` [5]. Tento objekt má za úkol simulovat přeměnu smetany na máslo, po dokončení jedné dávky másla se uspává, spouští se čerpání másla do zásobníku a probouzí proces typu `sanitace`, který imituje čištění zmáslňovacího stroje probíhající po každém cyklu výroby. Po vyčištění stroje se rozhoduje, zda lze provádět další zmáslnění nebo je potřeba zkontrolovat stav provozních kapalin. Toto rozhodování probíhá na základě uloženého počtu spuštění stroje. Po dokončení potřebných úkonů je znovu aktivován proces zmáslnění.

Druhá část popisující balící linku je umístěna v souboru `baleni.cc`. Skládá se ze tříd odvozených od třídy `Process` [7, str. 163] nazvaných `maslo`, `pauza`, `doplneni_folie` a `baleni`. Třída `baleni` popisuje proces balení másla do kostek. Procesy balení a pauza jsou objekty vytvořené pouze jednou. Balení se vytváří po spuštění programu. Následně pokud není žádné máslo v silu je uspán do doby dokud není potřeba máslo začít balit. O aktivaci tohoto procesu se postará proces čerpadla. Následně po aktivaci se vytváří objekty třídy `maslo`, které během postupu systémem zabírají pracovníky, kteří skládají máslo do krabic. Následně systém opouští ve formě zabalené krabice obsahující 5kg másla. Proces nazvaný `pauza` je po vytvoření naplánován pomocí metody `Activate()` [7, str. 169] na dobu začátek simulace + čas první přestávky.

Jakmile je tento proces aktivován provede pozastavení balícího stroje a postupně obsadí všechny zaměstnance obsluhující balící linku. Po skončení přestávky naplánuje své další spuštění, uvolní zaměstnance a znovu aktivuje balící stroj.

Rozdělení na tyto dva logické celky bylo provedeno z důvodu korespondence se skutečným systémem, který je rozdělen do dvou výrobních hal.

Globální proměnné a objekty z knihovny `SIMLIB` jsou uloženy v souboru `zarizeni.cc`.

4.1 Ovládání simulačního modelu

Simulační model lze spustit bez parametrů, kdy se inicializuje výchozím nastavením, které reflektuje aktuální nastavení strojů v mlékárně. Toto nastavení lze konfigurovat pomocí zadání parametru odkazujícího na inicializační soubor popsany níže.

Formální příklad spuštění:

```
./mlekarna [x]
```

Kde `x` je celočíselná hodnota označující číslo inicializačního souboru. Pokud je použit parametr `x` jsou před samotným spuštěním simulace načtena data, která inicializují aktuální množství dostupné smetany, rychlostní konfigurace strojů, počet zaměstnanců a další informace popsané v sekci [4.2]. Pro lepší možnost zpracování jednotlivých simulačních výsledků je výstup programu ukládán do textového souboru `experimenty.txt`.

4.2 Popis inicializačního souboru

Inicializační soubor musí být pojmenován jako: `initX`, kde `X` je číslo inicializačního souboru zadávané jako vstupní parametr simulačního modelu. Soubor musí přesně dodržovat následující strukturu. [Tab. č.1] Doporučuje se zkopírovat některý z dodaných inicializačních souborů, upravit jeho název a pozměnit pouze číselné hodnoty v něm. Inicializační soubor musí být umístěn ve stejném adresáři jako simulační model.

DELKA_SIMULACE	8.5	délka simulace v hodinách
ZASOBNIK_NA_SMETANU	49000	kapacita všech zásobníků na smetanu v litrech
SMETANA_V_ZASOBNIKU	49000	aktuální množství dostupné smetany v litrech (\leq ZASOBNIK_NA_SMETANU)
SMETANA_DO_ZMASELNOVACE	7000	množství smetany zpracovávané v jednom výrobním cyklu v litrech
CAS_ZMASELNOVANI	1.03	1.38 interval jednoho zmáslňovacího cyklu v hodinách
CAS_CERPANI	1	výkon přečerpávacího čerpadla v kg/s
CAS_BALENI	0.4	výkon balicí linky specifikující čas na zabalení jedné kostky v sekundách
VELIKOST_KRABICE	20	velikost krabice v kostkách másla
OBSLUHA	2	počet zaměstnanců obsluhujících výrobní linku
BALICI_PLOCHA	200	délka výrobního pásu v kostkách másla
MASLO_Z_PREDCHOZI_SMENY	3486	nezabalené máslo z předchozí směny v kg
DELKA_FOLIE	16000	délka dostupné balicí fólie v kostkách másla

Tabulka 1: Schéma inicializačního souboru

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Smyslem experimentů je nejprve prozkoumat jednotlivé části výroby másla podle konfigurace, která se v mlékárně aktuálně používá. Následně zkusit navrhnout optimalizační řešení, která by vedla na vyšší produkci másla. Zkoumání chování systému s upravenou konfigurací se zaměřuje především na to, jak změna ovlivní slabá místa v systému. Slabá místa se mohou projevit např. v nedostatečné kapacitě produkce másla, výkonu přečerpávacího čerpadla, rychlosti balicí linky nebo délce následné fronty na balení do krabic. Experimenty by měli jednoznačně určit, zda dosavadní konfigurace neobsahuje skryté problémy. Také, zda je při zachování současné velikosti provozu možné nalézt konfiguraci s vyšším výnosem másla. Případně poukázat na místa, do kterých by se při případném budoucím rozšiřování mlékárny mělo investovat.

5.1 Postup experimentování

Pro každý experiment byl vytvořen inicializační soubor obsahující konfiguraci. Odlišnosti jednotlivých souborů popsány v podkapitole **Inicializační soubory jednotlivých experimentů**[5.6]. Tyto soubory jsou přiloženy v adresáři společně se simulačním modelem. Každý z experimentů zkoumá určité části výstupního souboru[5.2], které jsou pro daný cíl experimentu podstatné. Každý experiment byl proveden **30 krát**, aby bylo zajištěno dostatečné množství dat pro zpracování výsledků. Tyto výsledky tak reflektují dlouhodobý průměrný stav systému.

5.2 Popis výstupního souboru

Výstupní soubor obsahuje jednotlivé statistiky získané z knihovny SIMLIB.

Popis jednotlivých výstupů a důležitých parametrů:

STORE - Zásobník smetany

Hodnota free vyjadřuje, kolik smetany bylo při výrobě využito.

FACILITY - Zmáslňovací stroj

Hodnota 100 - (average utilization*100) vyjadřuje kolik % výrobního času je zmáslňovač odstaven z důvodů čištění a údržby.

STORE - Výstup masla ze zmáslňovace

Hodnota used vyjadřuje aktuální hmotnost (kg) másla k přečerpání.

QUEUE - Čekání na obsloužení pracovníkem

Fronta do které se řadí procesy maslo, pauza a výmena_folie. Pokud délka fronty dosáhne hodnoty 10, znamená to pozastavení balicí linky z důvodu pracovníků.

STORE - Zasobnikove silo masla

Hodnota used vyjadřuje kolik kg másla je v zásobníkovém silu připraveno k zabalení.

FACILITY Balici stroj.

Hodnota (average utilization)*100 vyjadřuje na kolik % je využíván balicí stroj.

FACILITY

Následuje výpis několika nepojmenovaných FACILITY, tyto výpisy představují jednotlivé zaměstnance balicí linky. U každého z nich je možné porozovat jeho vytížení v %.

HISTOGRAM - Pocet zabalenych masel za hodinu

Histogram znázorňuje, kolik kostek másla se v jednotlivých hodinách provozu povedlo zabalit.

HISTOGRAM - Pocet precerpaneho masla

Histogram znázorňuje, kolik másla bylo v které hodině přečerpáno do zásobníkového silu.

HISTOGRAM - Pocet zastaveni baleni kvuli nedostatku masla

Histogram vyjadřuje kolikrát a ve kterých hodinách došlo k zastavení balicí linky z důvodu nedostatku másla v zásobníkovém silu.

HISTOGRAM - Pocet zastaveni baleni kvuli obsazenemu pasu

Histogram vyjadřuje kolikrát a ve kterých hodinách došlo k zastavení balicí linky z důvodu, že zaměstnanci nestíhají odebírat másla z pásu.

Jako poslední údaj je uvedeno celkové množství zabaleného a znehodnoceného másla.

5.3 Dokumentace jednotlivých experimentů

V této kapitole jsou popsány průběhy jednotlivých experimentů.

5.4 Experimenty se současnou konfigurací

5.4.1 Experiment 1

Jelikož se simulace zaměřuje na průběh jedné pracovní směny bylo nejprve nutné zjistit, kolik nezpracovaného másla zůstává po směně předchozí. Tuto informaci nám v mlékárně nebyli schopni poskytnout, protože při každé pracovní směně se zabalí jiné množství másla. Následující experiment tedy zkoumá kolik másla zůstane po skončení pracovní směny nezpracované za podmínky, že výroba nenavazuje na žádnou předchozí směnu. Tato situace se reálně vyskytuje pouze pokud se mlékárna rozhodne zastavit výrobu. Po dobu, dokud není dokončena výroba prvního másla je balicí linka odstavena. Výchozí inicializační parametry jsou již v simulačním modelu nastaveny. Stačí je spustit bez parametrů. Hlavními sledovanými parametry [5.2] byly **STORE - Vystup masla ze zmaselnovace** a **STORE - Zasobnikove silo masla**. Ve výsledcích bylo zohledněno i máslo, které by bylo k dispozici v prvních deseti minutách po nástupu nové směny. Z provedených experimentů [5.4.1] bylo zjištěno, že průměrná hodnota nezpracovaného másla je **3486Kg**.

Experiment:	Nezpracováno:	Experiment:	Nezpracováno:
1)	3480 Kg	16)	3747 Kg
2)	3162 Kg	17)	3691 Kg
3)	3635 Kg	18)	3729 Kg
4)	3798 Kg	19)	3285 Kg
5)	3387 Kg	20)	3702 Kg
6)	3411 Kg	21)	3868 Kg
7)	3779 Kg	22)	3595 Kg
8)	3919 Kg	23)	3711 Kg
9)	3266 Kg	24)	3517 Kg
10)	3484 Kg	25)	3819 Kg
11)	3829 Kg	26)	3677 Kg
12)	3170 Kg	27)	3831 Kg
13)	397 Kg	28)	3421 Kg
14)	3921 Kg	29)	3147 Kg
15)	3830 Kg	30)	3362 Kg

Tabulka 2: Množství nezpracovaného másla pro další směnu.

5.4.2 Experiment 2

Následující experiment zkoumá aktuálně používanou konfiguraci v mlékárně. Využívá k tomu předchozího výsledku. Počáteční množství másla je nastaveno v souboru `init2.[5.6]` S touto konfigurací byla provedena série 30 simulací. Předmětem zkoumání byla většina výstupních parametrů[5.2] s cílem zjistit, zda se v systému neprojeví nějaké sryté nedostatky.

V žádném z provedených experimentů se neobjevila situace, která by nutila zastavit balicí linku z důvodu nedostatečné produkce másla nebo nízkému pracovnímu nasazení zaměstnanců.

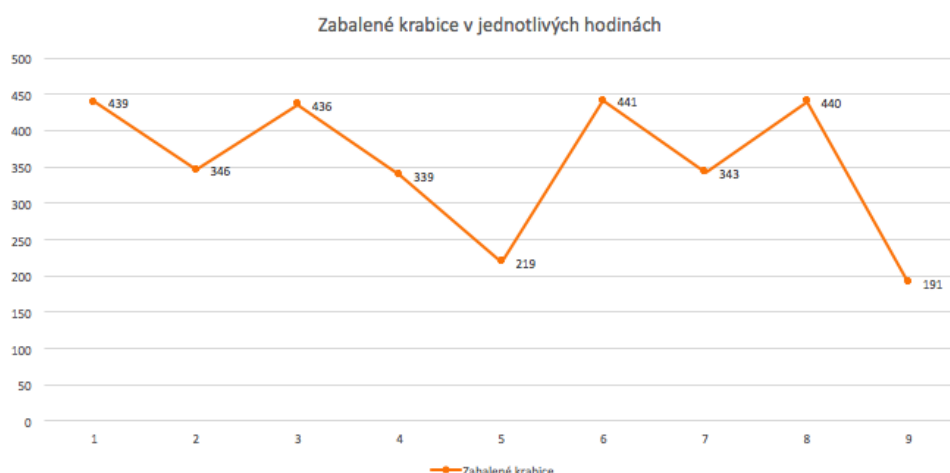
Z výsledků je patrné, že pracovní potenciál zaměstnanců balicí linky je využit z **77%**. Nedochozí ani k naplnění kapacity fronty na obsloužení zaměstnancem. (QUEUE - **Cekani na obslouzeni pracovníkem**)

Z toho vyplývá, že rychlost balicího stroje je v pořádku stíhána obsluhovat. Vzhledem k možnosti zvýšení rychlosti balicího stroje a nevyužití pracovního potenciálu na maximum představují tyto dva aspekty možné místo pro optimalizaci.

Ve výstupu ze zmáslňovacího stroje nedochází k hromadění másla. Jelikož nedošlo ani k zastavení balení z nedostatku másla v zásobovacím síle je výkon přečerpávacího čerpadla dostačující.

Všechny výsledky měly poměrně stabilní produkci správně zabaleného másla do krabic, jejíž průměrná hodnota vychází na **16 368Kg** za jednu pracovní směnu. Objem zpotřebované smetany se pohybuje v rozmezí 35 000 - 42 000l. Z toho vyplývá i objem zakázek, který lze za současného stavu obsloužit.

Počet zabalených krabic v jednotlivých hodinách je poměrně vyvážený. [3] Nejvíce do něj dle očekávání promlouvají pracovní pauzy zaměstnanců.



Obrázek 3: Graf znázorňující počet zabalených krabic v jednotlivých hodinách.

V aktuálním výrobním nastavení nebyly nalezeny žádné podstatné problémy.

5.5 Optimalizační experimenty

5.5.1 Experiment 3

Jelikož vytížení pracovníků zjištěné v předchozím experimentu dosahuje přibližně **77%** existuje možnost zvýšení produkce másla zrychlením balicí linky na její maximální výkon. Maximální výkon baličky instalované v mlékárně odpovídá jednomu zabalenému máslu za **0.3s**. Tato konfigurace znamená zrychlení o **0.1s** oproti stávající konfiguraci balicí sekce mlékárny. Při této zrychlené konfiguraci viz. `init3[5.6]` byla provedena serie 30 simulací. Z experimentu bylo zjištěno zvýšení produkce v průměru o **7%**. Tato změna s sebou však nese problém zastavování balicí linky, který nastává ze dvou důvodů. Prvním z nich je nedostatek vyrobeného másla viz. výstup histogramu znázorněný v [Tab.č. 3], což zapříčiňuje v průměru **4** odstávky balicí linky o průměrné délce **26 minut**. Druhým problémem znázorněným v tabulce [Tab.č. 4] se stává nedostatečná rychlost zaměstnanců odebírajících zabalené máslo z balicího stroje. Zastavení linky z tohoto důvodu nastává v průměru **85 krát** za směnu.

Čas	Počet zastavení linky
0 - 3600	0
3600 - 7200	1
7200 - 10800	1
10800 - 14400	0
14400 - 18000	0
18000 - 21600	1
21600 - 25200	0
25200 - 28800	1

Tabulka 3: Počet zastavení linky z důvodu nedostatku másla

Čas	Počet zastavení linky
0 - 3600	9
3600 - 7200	18
7200 - 10800	24
10800 - 14400	0
14400 - 18000	14
18000 - 21600	23
21600 - 25200	0
25200 - 28800	3

Tabulka 4: Počet zastavení linky z důvodu plného pásu

5.5.2 Experiment 4

V návaznosti na předchozí výsledek experimentu, kde byla zřejmá nedostatečná kontinualita při balení másla způsobená nepostačující výrobní kapacitou nastavenou na zmáseľňovacím stroji, byla provedena další řada 30 simulací. Při simulacích bylo zvyšováno množství smetany vstupující do zařízení během jednoho cyklu výroby. Množství bylo zvyšováno postupně po pětistech litrech na vstup zmáseľňovače. Výsledky byly zapsány do tabulky [Tab.č. 5]. Z výsledků je patrné, že pro zachování plynulosti balení je nutné dodávat zmáseľňovacímu stroji **9000 litrů** smetany každý výrobní cyklus. Díky této konfiguraci v `init4[5.6]` dosahujeme většího objemu vyrobeného másla, taktéž tato úprava s sebou přináší jisté omezení. Po zrychlení balicí linky a při jejím dostatečném zásobování vstupní surovinou se ještě prohlubuje problém s vytížením pracovníků, které dosahuje **98-99%** a nutnosti zastavovat balicí linku z důvodu nedostatečné rychlosti odebrání zabaleného másla zaměstnanci. Z provedených simulací byl

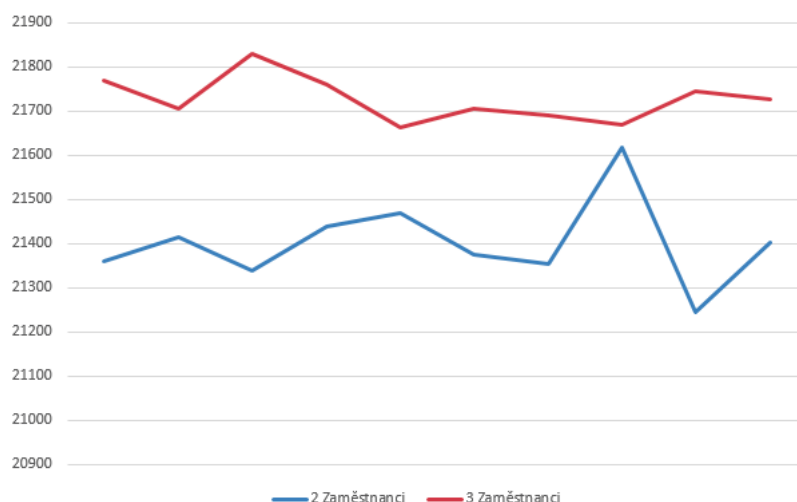
určen průměrný čas a počet zastavení linky, který odpovídá **209 zastavení trvající jednu sekundu** za jednu osmi hodinovou pracovní směnu. Tento problém se stává předmětem pro následující optima-
lizační experiment.

Objem dodané smetany	Počet zastavení linky z důvodu nedostatku másla
7000 l	4
7500 l	4
8000 l	3
8500 l	1
9000 l	0

Tabulka 5: Počet zastavení linky

5.5.3 Experiment 5

Z důvodu eliminace zastavování balící linky kvůli nedostatečné rychlosti odebrání zabaleného másla bylo navrženo přidat dalšího zaměstnance skládajícího máslo do krabic. Po přidání dalšího pracovníka byla provedena další sada experimentů nad inicializačním souborem `init5[5.6]`. Výsledkem experimentu je následující zjištění. Přidání jednoho zaměstnance eliminovalo situaci, kdy bylo nutné balící linku odstavovat. Taktéž zvýšilo produkci másla a to o **1.5%** viz [Obr. č.4] . Z důvodu velmi malého zvýšení produkce však vyvstává otázka na ekonomické oddělení společnosti, zda by se vyplatilo přijmout dalšího zaměstnance, kvůli tak nepatrnému zvýšení produkce másla. V potaz je však nutné vzít i odlehčení zátěže stavajících dvou zaměstnanců. Případně, zda je dotačující se spokojit se stavem v předchozím experimentu, kdy dochází k odstavování baličky. Díky tomu sice nebude dosahováno maximální možné hodnoty možné produkce, ale budou ušetřeny náklady na nového zaměstnance, která by se mohla promítnout do ceny másla. Tento optimalizační experiment také ukazuje potenciální průměrnou produkci másla jedné směny, které je při stávajícím vybavení provozu nakonfigurovaném na maximum možné dosáhnout. V tomto směru se pak jeví jako nejslabší místo balící stroj, který je schopen balit maximální rychlostí jedno máslo za **0.3s**. Jeho využití je nyní **100%**, přičemž průměrné využití tří zaměstnanců je **71%**. Maximální možná hodnota zabaleného másla byla za pomoci simulace stanovena na **21 730 kilogramů**. Při případném přechodu na novou konfiguraci je potřeba vzít v potaz i zvýšené nároky na požadované množství vstupní smetany a dostatečnou kapacitu uskladňujících prostor.



Obrázek 4: Graf znázorňuje množství zabaleného másla s různým počtem zaměstnanců při maximální možné konfiguraci.

5.6 Inicializační soubory jednotlivých experimentů

V této části se popisují změny v inicializačním souboru[4.2] popsaném výše. V následujících tabulkách jsou popsány pouze změněné řádky souborů, ostatní zůstávají nezměněny.

MASLO_Z_PREDCHOZI_SMENY	3486	pocatecni zaplneni sila s maslem
-------------------------	------	----------------------------------

Tabulka 6: Změna v inicializačním souboru č. 2

CAS_BALENI	0.3	výkon balící linky specifikující čas na zabalení jedné kostky v sekundách
------------	-----	---

Tabulka 7: Změna v inicializačním souboru č. 3

SMETANA_DO_ZMASELNOVACE	9000	množství smetany zpracovávané v jednom výrobním cyklu v litrech
CAS_BALENI	0.3	výkon balící linky specifikující čas na zabalení jedné kostky v sekundách

Tabulka 8: Změna v inicializačním souboru č. 4

SMETANA_DO_ZMASELNOVACE	9000	množství smetany zpracovávané v jednom výrobním cyklu v litrech
CAS_BALENI	0.3	výkon balící linky specifikující čas na zabalení jedné kostky v sekundách
OBSLUHA	3	počet zaměstnanců obsluhujících výrobní linku

Tabulka 9: Změna v inicializačním souboru č. 5

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Z výsledků provedených experimentů se simulačním modelem vyplývá, že aktuální konfigurace výrobního procesu másla v mlékárně je kontinuální a bezproblémová. Avšak v případě potřeby lze zvýšit produkci másla až o **30%** pouhým překonfigurováním výrobní linky. Je tak možné dynamicky reagovat na situace zvýšené poptávky po dodávaném másle. V tomto případě se však vytížení pracovníků zvýší k hranici **99%**. Pokud bychom požadovali maximální možnou výrobu neobejdeme se bez přijetí nového zaměstnance k balící lince. Toto opatření by mělo za následek zvýšení produkce ještě o dalších **1,5%** tedy o celkových **31,5%** oproti aktuální situaci. Další růst výrobní kapacity by byl možný pouze za předpokladu investování finančních prostředků do rozšíření výroby. Bylo by nutné přikoupit jeden další balící stroj. V tomto případě by byla rychlost balení dostatečná natolik, aby pokryla i maximální rychlost výroby másla, kterou je zmáseľňovací stroj schopen produkovat. Taktéž by pak bylo nutné najmout další zaměstnance pro obsluhu tohoto nového stroje. Jejich počet a také optimální přenastavení strojů by mohlo být předmětem dalších simulačních experimentů. Výsledky této práce by rovněž mohly sloužit jako podklady pro ekonomické oddělení mlékárny. Na základě zjištěných informací by bylo možné provést finanční kalkulaci, která by určila zda a kdy by se případná investice vyplatila a jak velkou měrou by se mohla projevit v ceně prodáváného másla.

Reference

- [1] FOUNDATION, S. C. *News, Status and Discussion about Standard C++* [online]. [cit. 2017-11-29]. Dostupné na: <<https://isocpp.org/>>.
- [2] GROUP, G. *Výrobce průmyslových strojů* [online]. [cit. 2017-11-29]. Dostupné na: <<https://www.gea.com/en/products/buttermaking-machine-BUE.jsp>>.
- [3] LACRUM VELKÉ MEZIŘÍČÍ, s. *WWW stránky Lacrum Velké Meziříčí, s.r.o.* [online]. [cit. 2017-11-29]. Dostupné na: <<http://www.lacrumvm.cz/>>.
- [4] NETWORK, T. C. R. *C++ reference* [online]. [cit. 2017-11-29]. Dostupné na: <<http://www.cplusplus.com/>>.
- [5] PETR PERINGER, D. M. *Knihovna SIMLIB* [online]. Poslední změna 4. 10. 2017 [cit. 2017-11-29]. Dostupné na: <<http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>>.
- [6] PETR PERINGER, D. M. *SIMLIB dokumentace* [online]. Poslední změna 24. 10. 2014 [cit. 2017-11-29]. Dostupné na: <<http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/doc/html/>>.
- [7] PETR PERINGER, M. H. *Modelování a simulace - podklady pro přednášky* [online]. Poslední změna 17. 11. 2017 [cit. 2017-11-29]. Dostupné na: <<http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>>.
- [8] SIGMA PUMPY HRANICE, s. *Potravinářská čerpadla* [online]. [cit. 2017-11-29]. Dostupné na: <<https://www.sigmashop.cz/soubory/npb-prospekt-cz.pdf>>.
- [9] ČR, M. práce a sociálních věcí. *Zákon č. 262/2006 Sb.* Dostupné na: <<https://www.mpsv.cz/ppropo.php?ID=IPB034>>.