

Modelování a simulace

3. Výroba másla v ČR

2017/2018

Technická simulační zpráva

6. prosince 2017

Autoři: Martin Studený, [xstude23@stud.fit.vutbr.cz](mailto:xstude23@stud.fit.vutbr.cz)  
Michal Zilvar, [xzilva02@stud.fit.vutbr.cz](mailto:xzilva02@stud.fit.vutbr.cz)

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>3</b>
1.1	Autoři . . . . .	3
1.2	Ověření validity . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Rozbor tématu a použitých metod/technologií</b>	<b>3</b>
2.1	Popis použitých postupů . . . . .	4
2.2	Původ použitých metod . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Koncepce</b>	<b>4</b>
3.1	Vyjádření modelu . . . . .	4
3.2	Formy konceptuálního modelu . . . . .	5
3.2.1	Popis Petriho sítě . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Architektura simulačního modelu/simulátoru</b>	<b>5</b>
4.1	Implementace . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Podstata simulačních experimentů a jejich průběh</b>	<b>6</b>
5.1	Postup experimentování . . . . .	7
5.2	Průběh experimentů . . . . .	7
5.3	Závěr experimentů . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Shrnutí simulačních experimentů a závěr</b>	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>Přílohy</b>	<b>9</b>

# 1 Úvod

V této práci je popsán simulační model [1,7] farmy na produkci másla. Tato farma nepředstavuje velkovýrobu, nýbrž domácí výrobu bez použití strojů. Cílem je zjištění efektivnosti práce zaměstnanců a výpočet toho, do jaké míry se vyplatí koupit další krávu, prodloužit pracovní dobu, či přijmout nového zaměstnance.

Konečným výsledkem tedy je zjištění ideálního poměru počtu krav, zaměstnanců a délky pracovní doby.

## 1.1 Autoři

Autory projektu jsou studenti fakulty informačních technologií VUT Martin Studený a Michal Zilvar.

Potřebná data a fakta k projektu se čerpaly z mnoha zcela odlišných zdrojů. Základní recept [4] na výrobu domácího másla jsme hledali na internetu, kde je mnoho receptů na toto téma. Primárním zdroji pro nás však byli rozhovory s lidmi, kteří již měli zkušenost s domácí výrobou másla. Princip výroby nám byl již jasný, a proto jsme se s nimi bavili především o časové náročnosti jednotlivých úkonů potřebných pro výrobu másla.

## 1.2 Ověření validity

Validita [1,37] modelu byla ověřena porovnáním našeho modelu s hodnotami reálného systému [1,7] farmy, která má 5 krav a 2 zaměstnance. Největší důraz byl kladen na dobu, po kterou se provádí jednotlivé úkony. Tedy časová náročnost dojení, zpracování mléka a stloukání smetany. Do těchto úkonů jsme zahrnuli i dobu nezbytně nutnou pro čištění náčiní a pro přípravu krávy na dojení.

# 2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Tématem práce je simulace [1,8] farmy na produkci másla. Naše farma se nachází v obci Přepychy a pracují na ní pouze dva lidé. Jedná se o manželé, kteří ráno vstanou ve 4 hodiny a jdou podojit krávy. Poté zpracovávají mléko na smetanu a z ní vyrábí máslo. Po 4 hodinách práce mají volno a k večeru přibližně ve 4 hodiny odpoledne jdou znovu podojit krávy a činnosti se opakují. Pracovní doba končí v 8 hodin a jdou spát.

Jejich pracovní doba je tedy 8 hodin a je rozdělena na dvě směny. Na začátku každé směny musí být podojeny všechny krávy. Poté, pokud je smetana připravena, se vyrábí máslo. Pokud smetana ještě připravena není, zpracovává se podojené mléko a vyrábí se z něj smetana.

Krávy mají velkou louku, na které se pasou a tráví veškerý čas, kromě dojení. V případě dojení se musí kráva dotáhnout do vyhrazeného prostoru a připravit na dojení. V závislosti na tom, jak kráva spolupracuje, trvá doba dojení. Za běžných okolností trvá příprava krávy 4-6 minut a dojení 8-15 minut. Je zde však 5% šance, že kráva nebude spolupracovat a proces přípravy krávy se prodlouží na 10-20 minut. Poté trvá přibližně 4-5 minut, než se kráva opět odvede na pastvu a uklidí se náčiní, které bylo potřeba pro dojení.

Po získání mléka je potřeba nechat mléko odstát v chladu po dobu 1-2 dnů. Poté, díky krusty smetany na povrchu, vydrží další 3 dny, než se zkazí. Pokud se mléko nestihne zpracovat, zkysne a smetana je nepoužitelná. Po odstání mléka trvá 12-16 minut, než se smetana odebere a vyčistí se všechny nádoby. Se vzniklým mlékem na farmě pracují jiní zaměstnanci.

Posledním úkonem je stloukávání smetany na máslo. Tento proces trvá od 42 do 63 minut. Opět včetně úklidu.

## 2.1 Popis použitých postupů

Na základě dat získaných z receptů na internetu a konzultací s lidmi, kteří se výrobou másla zabývají, jsme vytvořili Petriho síť, která reprezentuje reálný systém. Poté jsme tento model implementovali pomocí knihovny SIMLIB [2] v jazyce C++.

## 2.2 Původ použitých metod

Knihovnu SIMLIB jsme používali podle ukázek, které nám byly prezentovány na přednáškách předmětu IMS. Projekt jsme testovali na Merlinovi, kde již je SIMLIB stažen. K projektu nám stačily základní funkce jazyka C++, knihovny *vector*, *cstdio*, *ctime*, *math.h*, *iostream* a samozřejmě knihovna *simlib.h*.

## 3 Koncepce

Ze skutečného modelu jsme si vzali celý proces výroby másla. Od dojení krav po stloukání smetany. Co jsme ale do modelu a výsledné simulace nezahrnuli, je práce s mlékem, které vznikne po odebrání smetany. Uvažujeme tedy, že po odebrání smetany se mlékem zabývají jiní zaměstnanci a naši už s tím nemají nic společného.

V reálném systému je počet krav proměnlivý, jelikož se může stát, že kráva zemře, nebo že se narodí tele. Tento fakt jsem v simulaci neuvažovali, neboť pro nás není důležité, že se počet krav může změnit. Důležitý je pro nás pouze vypočítání efektivního poměru krav a zaměstnanců.

### 1. Farma:

- 2 zaměstnanci
- 5 krav
- 1 velké pole pro pastvu krav
- 1 vyhrazené místo pro dojení krav, kde je možné dojit i více krav najednou - pokud je dostatečný počet zaměstnanců

### 2. Směna:

- Každý zaměstnanec pracuje denně na dvě směny, jelikož je krávu potřeba podojit 2x denně - vždy po 12 hodinách
- Na začátku každé směny se dojí krávy
- Zaměstnanec má 3 úkoly - podojit krávu, vyrobit z mléka smetanu a vyrobit ze smetany máslo

### 3. Priorita úkolů

- Podojit krávu
- Vyrobit ze smetany máslo
- Vyrobit z mléka smetanu

## 3.1 Vyjádření modelu

Celý proces výroby másla, od podojení krávy po stloukávání smetany, je znázorněn na pomoci Petriho sítě [1,123] na obrázku 1. Tento model představuje způsob, jakým probíhá práce na farmě. Naším cílem je najít efektivní poměr zaměstnanců a krav, proto se po optimalizování stavu v Petriho síti nemění, ale pouze se simuluje s jiným počtem vstupů. Tedy s jinou délkou pracovní doby, počtem krav a zaměstnanců.

## 3.2 Formy konceptuálního modelu

### 3.2.1 Popis Petriho sítě

#### 1. Dojení krav

- Proces dojení zahrnuje odvedení krávy z pastvy, příprava krávy na dojení, samotné dojení, úklid a odvedení zpět na pastvu
- Doba celého procesu je přibližně 20 minut, v případě, že nedojde ke komplikacím
- je však 5 % šance, že dojení bude trvat déle - z důvodu delší přípravy krávy na dojení - cca 30 minut
- Výsledkem podojení jedné krávy je jedna jednotka mléka
- K jednomu dojení je potřeba pouze jeden zaměstnanec

#### 2. Odběr smetany

- Je nutné, aby se mléko nechalo odstát 1 až dva dny v chladu
- Poté se dá jednoduše oddělit smetana od mléka
- Odběr smetany zahrnuje samotné oddělení smetany od mléka a vymytí nádob
- Uvažujeme, že vzniklé mléko se dává přímo do prodeje a více se s ním už nemodeluje
- Při odběru vznikne jedna jednotka smetany a jedna jednotka mléka
- Časová náročnost je přibližně 15 minut
- K jednomu odběru je potřeba pouze jeden zaměstnanec

#### 3. Stloukání mléka

- Při stloukání mléka se spotřebuje jedna jednotka smetany a vznikne jedna jednotka másla
- Časová náročnost je v rozmezí 42-63 minut
- Opět je započítané i mytí nádob
- Pro jedno stloukání je potřeba pouze jeden zaměstnanec

#### 4. Pracovní doba

- Všichni zaměstnanci pracují ve stejnou dobu
- Pracovní den je rozdělen na dvě směny po 12 hodinách
- Na začátku každé směny je podojena kráva
- Zaměstnanci dávají přednost výrobě másla před výrobou smetany

## 4 Architektura simulačního modelu/simulátoru

Model byl implementován v jazyce C++ s využitím simulační knihovny SIMLIB. Aktuální nastavení farmy, tedy počet krav, zaměstnanců, délka pracovní doby a modelované období je variabilní, je možné modelovat nejrozumnější možná nastavení. Jako základní simulační časovou jednotku je zvolena minuta. To z toho důvodu, že všechny činnosti jsou popsány právě v minutách a proto byly nejvhodnějším kandidátem. Při spuštění simulace zadáváme vstupní hodnoty a zde pozor, délka simulačního období je udána v celých dnech, nikoliv v minutách. Model slouží pro zjištění stability systému z dlouhodobějšího hlediska, v rádech měsíců a roků.

## 4.1 Implementace

Na začátku simulace spustíme globální události, které řídí čas systému uvnitř našeho systému. Jedná se o událost pro změnu pracovní doby (class **ZmenaSmeny** : public Event) a vnitřní časovač pro počítání vnitřního času systému (class **Casovac** : public Event). Díky němu později počítáme statistiky o zatížení zaměstnanců a celkové době vykonávání činností. Co se týče směn, simulace začíná nepracovní dobou, která se okamžitě přepíná do pracovní doby a povolává zaměstnance. Pracovní směna trvá  $Z \cdot 30$  minut, po této době se znovu aktivuje nepracovní doba. Ta pak trvá  $720 - Z \cdot 30$  minut. Půldenní cyklus se neustále opakuje. Zaměstnanci se generují pouze na začátku simulace (class **Zamestnanec** : public Process) a vzhledem k nepracovní době je rovnou vkládáme do fronty (Queue **FrontaZamestnanciDoma**). Vyčkávají na další pracovní dobu. Dále vygenerujeme potřebné množství krav, které v naší simulaci modelujeme jako obslužné linky (Facility **\*krava** = new Facility[X]). Simulace začíná.

Začíná nová směna a proto probouzíme zaměstnance a přesouváme je do zaměstnání. Aktivujeme všechny procesy ve frontě **FrontaZamestnanciDoma** a nastavíme příznak všech krav (obslužných linek) na neobslouženou. Zaměstnanec dle priorit postupuje. Nenajde-li žádnou práci k provedení, uspáváme jej do fronty (Queue **FrontaZamestnanci**). Ze všeho nejdříve vyhledává neobslouženou krávu. Najde-li takovou, obsadí obslužnou linku a obsluhuje ji po potřebnou dobu. Jakmile je činnost dokonána, nastavíme příznak obsloužení, uvolníme linku, vygenerujeme nový proces na zráním mléka (class **ZraniMleka** : public Process), zapíšeme statistiky a vrátíme činnost zaměstnance ihned na počátek (tedy prioritně hledá další krávu). Po aktivaci **ZraniMleka** vyčkáváme jeden až dva dny, dokud se nevytvoří krusta smetany na povrchu. To vygeneruje připravený meziprodukt mléka (class **Mleko** : public Process). Vzhledem k prioritám zaměstnanců se jedná o jediný proces ovlivněný časovou dobou, který probouzí zaměstnance. Proces mléka se uspává a čeká na obsloužení.

Odběr smetany má pro zaměstnance nejnižší prioritu. Zůstalo-li mléko připravené na skladě (Queue **FrontaMleko**), dozrálo v nepracovní době, či nám právě zaměstnance probudilo, vyjmeme mléko ze skladu a zaměstnanec z něj získává smetanu. Proces mléka zaniká po zapsání histogramů a zaměstnanec aktivuje nový proces smetany (class **Smetana** : public Process). Vrací se na počátek všech činností.

Výroba másla má druhou nejvyšší prioritu ihned po dojení krávy. Je-li na skladě smetana (Queue **FrontaSmetana**) a nepotřebuje-li obsloužit žádná kráva, pouštíme se do výroby másla. Vezmeme smetanu ze skladu, aktivujeme ji, a nezbytnou dobu stloukáme máslo, čímž vytvoříme finální produkt másla (class **Maslo** : public Process). To se nám znovu ukládá na skladě (Queue **FrontaMaslo**).

Produkty a meziprodukty v naší simulaci evidujeme na skladě pomocí fronty pro případné budoucí modifikace a nové závěry.

## 5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Experimenty simulují průběh takového podniku a vyhodnocují nám efektivitu výroby, zatížení zaměstnanců, množství vyrobených produktů a meziproduktů. Model je proto ideálním prostředkem pro zjištění informací o rozšíření podniku. Dokáže jednoznačně vyhodnotit, zda je pro farmu na výrobu másla příhodnější přijmout nového zaměstnance vzhledem k zatížení, nebo se zbavit jedné krávy. Případně modelovat nové zaměstnance a nové krávy. Naším cílem na této konkrétní farmě bylo zjistit, zda majitelé zvládnou obhospodářit nový přírůstek - krávu a zda by nebylo lepší přijmout zaměstnance a zajistit více krav.

Výsledná efektivita se skládá hned z několika složek. Zvažujeme zde efektivitu zaměstnanců. Zaměstnanci mohou mít málo práce, což je neefektivní, nebo naopak nestíhají povinnou činnost vykonávat a jsou přetížení. Z toho důvodu vznikla statistika **Zatížení zaměstnanců**, která

nám vyjadřuje množství času stráveného při vykonávání činností ku pracovní době. Výpočet probíhá dle následujícího vzorce:

$$Z = \frac{\text{Odpracováno celkem všemi zaměstnanci}}{\text{Počet zaměstnanců} \cdot \text{Pracovní doba} \cdot \text{Počet simulovaných dní}}$$

Zatížení zaměstnanců  $Z$  využijeme i v celkovém vzorci efektivity. Tam hraje roli nejen efektivita zaměstnanců, ale zároveň i množství vyrobeného mléka, smetany a másla v závislosti na množství zkažených produktů.

$$E = \frac{\frac{\text{Podojeno krsv} + \text{Celkem mléka}}{2} \cdot \left(1 - \frac{\text{Zkažené mléko}}{\text{Mléko celkem}}\right)}{\text{Podojeno krav}} \cdot \left(Z > 1.0? \frac{1}{Z} : Z\right)$$

Díky tomuto vzorci získáme výslednou efektivitu systému jako celku. Všimněme si, že zatížení zaměstnanců nad 100% je neefektivním prvkem, protože zaměstnanci práci pravděpodobně nestíhají.

## 5.1 Postup experimentování

Jako referenční hodnoty byly zvoleny aktuální reálné hodnoty podniku. Ty byly dále rozšiřovány o nové zaměstnance a krávy abychom zjistili ideální poměr při stejném pracovním vytížení.

## 5.2 Průběh experimentů

Experimentujeme v závislosti na aktuálním běžném provozu popsaném v kapitole 3. Počátečním výstupem by měly být hodnoty odpovídající aktuálnímu provozu. To znamená, že zaměstnanci stíhají zpracovávat produkty a netvoří se další komplikace. Tím ověříme validitu našeho modelu. Experimentujeme na delším časovém úseku v průběhu jednoho roku.

Hodnoty (soubor exp1):

Zatížení zaměstnanců: 73.3636%  
 Celková efektivita systému: 73.3636%  
 Zatížení zaměstnanců: 91.2440%  
 Celková efektivita systému: 91.2440%  
 Zatížení zaměstnanců: 95.4361%  
 Celková efektivita systému: 95.4361%  
 Zatížení zaměstnanců: 88.5197%  
 Celková efektivita systému: 88.5197%  
 Průměr na 100 simulací: 87.4604%

Systém je tedy vcelku efektivní a možné zásahy do množství prvků by mohl způsobit problémy. Zatížení zaměstnanců je rovné celkové efektivitě z toho důvodu, že zaměstnanci mají stále přebytek času. Nic nebrání fungování podniku.

V dalším experimentu se pokoušíme zvládnout nezbytné činnosti i s novou další krávou, tedy celkovým počtem 6 krav. Nebudou-li podmínky vyhovující, pokoušíme se nalézt nezbytná opatření pro zvládnutí výroby. Tím se myslí délka pracovní doby a množství zaměstnanců.

Hodnoty (soubor exp2):

Zatížení zaměstnanců: 93.8464%  
 Celková efektivita systému: 93.8464%  
 Zatížení zaměstnanců: 109.8110%  
 Celková efektivita systému: 81.6262%  
 Zatížení zaměstnanců: 100.0759%

Celková efektivita systému: 99.9241%  
Zatížení zaměstnanců: 110.1900%  
Celková efektivita systému: 76.3728%  
Průměr na 100 simulací: 88.7013%

Zde již evidujeme přetížení zaměstnanců a systém je tak vyhodnocen jako nestabilní. V mnoha případech zaměstnanci nestíhají zpracovávat mléko a to se nám zbytečně kazí. Vznikají nezbytné přesčasy.

Cílem experimentu je zjistit nejlepší možné řešení rozšíření farmy pro dosažení nejvyšší efektivity výroby. To znamená, že zaměstnanci budou mít neustále něco na práci, nebudou přepracováni a budeme bez problému zvládat zpracovávat všechny produkty. Pokud se nám v průběhu začne kazit mléko, znamená to, že zaměstnanci nestíhají dojit krávy a vznikají tak zmetky. To pro podnik znamená zbytečnou ztrátu. Podaří-li se nám zjistit nejefektivnější podmínky, podnik bude mít přesně definované cíle pro maximální růst.

Hodnoty (soubor:nastavení:efektivita):

exp3: 6 krav, 2 zaměstnanci, 7.5 hodin: 87.0589%  
exp4: 6 krav, 2 zaměstnanci, 8.3 hodin: 89.4638%  
exp5: 6 krav, 2 zaměstnanci, 9.0 hodin: 89.7437%  
exp6: 6 krav, 3 zaměstnanci, 8.0 hodin: 72.0346%  
exp7: 7 krav, 3 zaměstnanci, 8.0 hodin: 83.5129%  
exp8: 8 krav, 3 zaměstnanci, 8.0 hodin: 89.228%  
exp9: 9 krav, 3 zaměstnanci, 8.0 hodin: 87.9159%  
exp10: 10 krav, 3 zaměstnanci, 8.0 hodin: 82.6911%

### 5.3 Závěr experimentů

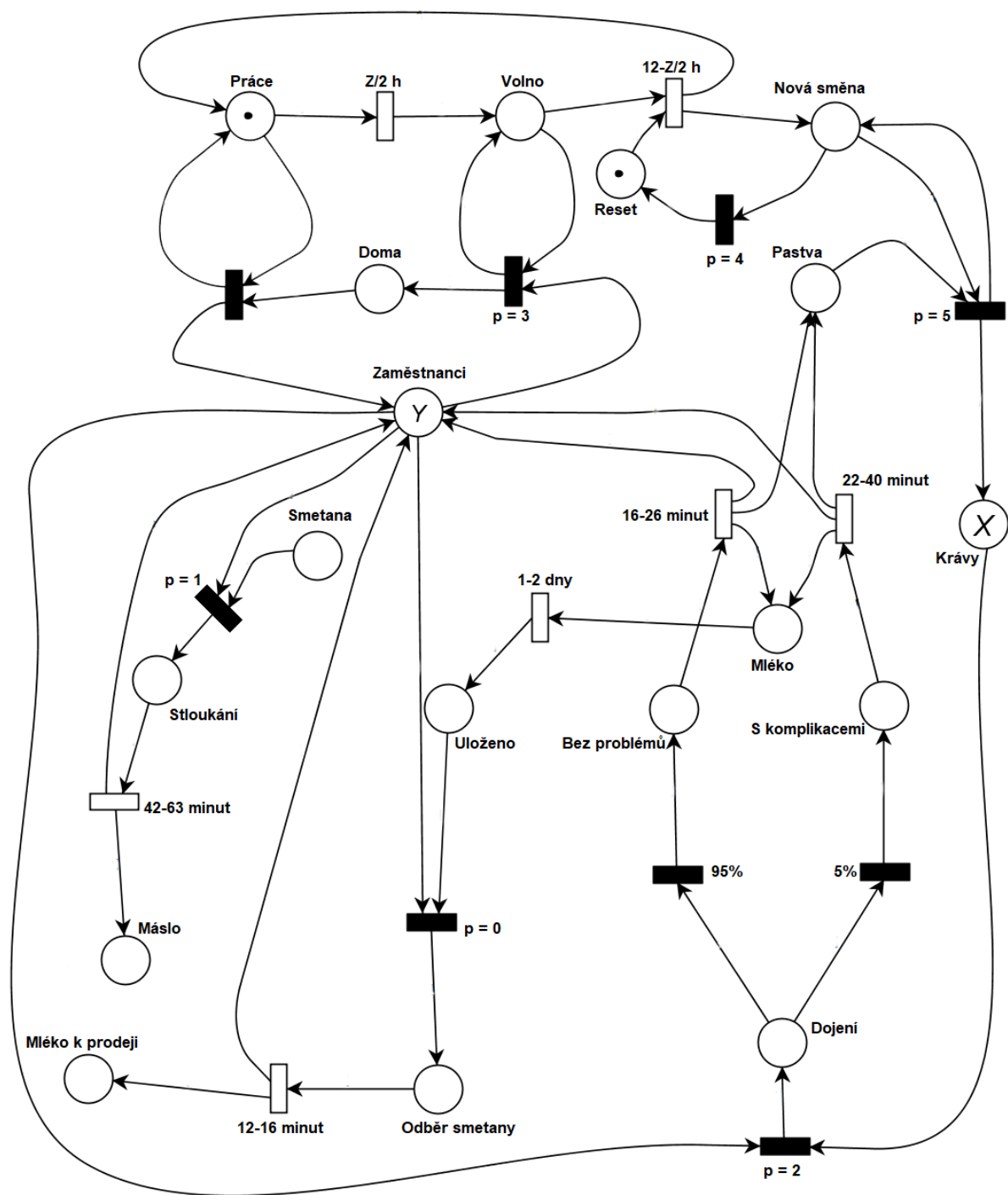
Celkem bylo provedeno 10 experimentů s dobou trvání po dobu jednoho roku. Simulovali jsme si možný přírůstek krav stejně tak jako nábor jednoho nového zaměstnance. Díky tomuto simulačnímu modelu můžeme nasimulovat různé situace a vyhodnotit tak, zda se podniku vyplatí krok vpřed učinit.

## 6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Z experimentů jsme zjistili, že pokud by za aktuálních podmínek manželé koupili novou krávu, nestíhali by zpracovávat všechno mléko a byly by velice přetížení. Z toho důvodu, pokud skutečně zvažují rozšíření jsme zvážili nábor nového zaměstnance. Pakliže by byly celkem 3 zaměstnanci, docílili bychom největší produkce másla v nastavení 8 krav na 3 zaměstnance. Tak bychom vyprodukovali nejvíce másla a podnik by byl velice stabilní nejen proto, že bychom nevyhazovali zkažené mléko, ale i proto, že zaměstnanci perfektně stíhají provádět své úkony, nejsou přepracováni a nemusí dělat tolik přesčasů souvisejících s nezbytnými činnostmi.



## 7 Přílohy



Obrázek 1: Petriho síť

## Reference

- [1] PERINGER Petr, FIT VUT. *Modelování a simulace[online]*. 2017. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>.
- [2] PERINGER Petr, FIT VUT. *SIMulation LIBrary for C++[online]*. 2017. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/peringer/SIMLIB/>.
- [3] VANĚK Roman, Jídlo s.r.o. *Mléko a mléčné výrobky (3) - Máslo[online]*. 2014. Dostupné z: <https://www.stream.cz/jidlo-s-r-o/10003985-mleko-a-mlecne-vyrobky-3-maslo>.
- [4] Katie - Wellness Mama. *How to Make Butter[online]*. 2017. Dostupné z: <https://wellnessmama.com/62218/how-to-make-butter/>.