



# FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## Modelování a simulace Průmyslová výroba nakládaných rajčat

**Kornieiev Pavlo** (xkorni03)  
**Movsesian Lilit** (xmovse00)

30. listopadu 2024

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Autoři . . . . .	2
1.2	Zdroje . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Popis tématu a použité technologie</b>	<b>2</b>
2.1	Použité technologie . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Fakta o procesu výroby nakládáných rajčat</b>	<b>3</b>
3.1	Výběr a mytí rajčat . . . . .	3
3.2	Příprava sklenic . . . . .	3
3.3	Plnění a uzavírání . . . . .	3
3.4	Sterilizace . . . . .	3
3.5	Etiketa a datum výroby . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Model</b>	<b>3</b>
4.1	Koncepce modelu . . . . .	3
4.2	Schéma modelu . . . . .	5
4.3	Parametry strojů a generatoru v lince . . . . .	6
4.4	Petriho síť modelu . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Experimenty</b>	<b>8</b>
5.1	Experiment 1 . . . . .	8
5.1.1	Výsledky . . . . .	8
5.1.2	Shrnutí prvního experimentu . . . . .	8
5.2	Experiment 2 . . . . .	9
5.2.1	Výsledky . . . . .	9
5.2.2	Shrnutí druhého experimentu . . . . .	9
5.3	Experiment 3 . . . . .	10
5.3.1	Výsledky . . . . .	10
5.3.2	Shrnutí experimentu 3 . . . . .	11
5.4	Experiment 4 . . . . .	12
5.4.1	Výsledky . . . . .	12
5.4.2	Shrnutí experimentu 4 . . . . .	12
5.5	Experiment 5 . . . . .	13
5.5.1	Výsledky . . . . .	13
5.5.2	Shrnutí experimentu 5 . . . . .	13
5.6	Experiment 6 . . . . .	14
5.6.1	Výsledky . . . . .	14
5.6.2	Shrnutí experimentu 6 . . . . .	14
5.7	Experiment 7 . . . . .	15
5.7.1	Výsledky . . . . .	15
5.7.2	Shrnutí experimentu 7 . . . . .	15
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>16</b>
6.1	Parametry strojů a generatoru v lince po provedení úprav . . . . .	17
6.2	Petriho síť po provedení úprav . . . . .	18

# 1 Úvod

Tento projekt byl vypracován v rámci předmětu Modelování a simulace (IMS) s cílem vytvořit model typu SHO (Systém hromadné obsluhy) zaměřený na proces průmyslové výroby nakládaných rajčat. Model je implementován s využitím knihovny SIMLIB. Hlavním cílem projektu bylo analyzovat chování systému za různých podmínek a identifikovat klíčové faktory ovlivňující efektivitu výroby a navrhnout vylepšení. Výsledky projektu poskytují vzhled do dynamiky výroby nakládaných rajčat a mohou sloužit jako podklad pro rozhodování v průmyslové praxi.

## 1.1 Autoři

Projekt byl realizován týmem studentů z bakalářského studia Vysokého Učení Technického v Brně, Fakulty Informačních Technologií (VUT FIT v Brně) :

- **Kornieiev Pavlo** (xkorni03)
- **Movsesian Lilit** (xmovse00)

## 1.2 Zdroje

Informace o průmyslové výrobě nakládaných rajčat byly čerpány z několika odborných zdrojů. Mezi nejznámější a nejuznávanější patří:

- **Discovery UK channel – CANNED TOMATOES — How It's Made** playlist: Tento zdroj poskytuje podrobný a vizuálně přehledný pohled na jednotlivé fáze procesu průmyslové výroby konzervovaných rajčat, včetně čištění, zpracování, konzervování a balení. Díky kvalitně zpracovanému obsahu se jedná o cenný zdroj informací, který zprostředkovává nejen přehled o technologických postupech, ale také o využívaných průmyslových strojích a jejich funkcích. Díky své vysoké odborné úrovni a zaměření na autentické záznamy z výrobních továren je tento kanál považován za důvěryhodný a populární zdroj informací.[1]
- **North Dakota State University (NDSU) – Food Preservation: Making Pickled Products**: Tento materiál nabízí odborné rady a osvědčené postupy pro výrobu nakládaných produktů. Jeho silnou stránkou je důraz na bezpečnost potravin a vědecky podložené metody, díky nimž se jedná o hodnotný zdroj jak pro domácí, tak průmyslové zpracovatele.[2]

# 2 Popis tématu a použité technologie

Tento projekt se zaměřuje na proces průmyslové výroby nakládaných rajčat. Cílem bylo vytvořit model typu SHO, který simuluje různé fáze výroby, včetně příjmu surovin, jejich zpracování, kontroly kvality, plnění sklenic, sterilizace a nalepení etiket. Model bude navržen tak, aby umožňoval analýzu jednotlivých kroků výrobního procesu s cílem identifikovat slabiny a optimalizovat efektivitu. Analýzou výsledků z různých scénářů ověřujeme validitu navrženého modelu, identifikujeme slabiny systému a navrhuje zlepšení, která zvýší efektivitu, kvalitu a výnosy při výrobě nakládaných rajčat.

## 2.1 Použité technologie

V tomto projektu byly použity následující technologie:

- **C++**: Objektově orientovaný programovací jazyk, který byl použit pro implementaci simulačního modelu. C++ je známý svou vysokou efektivitou a flexibilitou, což umožnilo vytvořit rychlý a výkonný model pro simulaci pěstování rajčat.

- **SIMLIB:** Knihovna pro simulace, která byla použita k modelování a simulaci různých scénářů v pěstování rajčat. SIMLIB poskytuje nástroje pro simulaci diskretizovaných procesů a událostí v čase, což umožnilo efektivně modelovat komplexní procesy, jako je růst rostlin, zavlažování a hnojení.

### 3 Fakta o procesu výroby nakládáných rajčat

V této sekci uvádíme fakta o procesu výroby nakládáných rajčat, která byla získána ze studovaných zdrojů. Tyto informace poskytují přehled o klíčových krocích a standardech zajišťujících bezpečnost a kvalitu konečného produktu.

#### 3.1 Výběr a mytí rajčat

- K nakládání jsou vybírána pouze zralá a kvalitní rajčata.
- Rajčata se kontrolují a třídí, aby se odstranily poškozené nebo nevyhovující plody.
- Rajčata se důkladně omývají, aby se odstranily pesticidy a další nečistoty.

#### 3.2 Příprava sklenic

- Sklenice jsou sterilizovány před plněním, aby nedošlo ke kontaminaci během balení.
- Proces konzervování probíhá za přísných hygienických podmínek.

#### 3.3 Plnění a uzavírání

- Rajčata se plní do sklenic spolu se šťávou nebo nálevem, který zajišťuje jejich uchování.
- Sklenice jsou vzduchotěsně uzavřeny, aby byla zachována čerstvost a zabránilo se zkažení.

#### 3.4 Sterilizace

- Uzavřené konzervy se sterilizují zahřátím na **82 °C** po dobu **30–40 minut**, aby se odstranily škodlivé mikroorganismy.
- Tento krok zajišťuje dlouhou trvanlivost nakládáných rajčat.

#### 3.5 Etiketa a datum výroby

- Na každou konzervu musí být nalepena etiketa, která uvádí základní informace o produktu.
- Na etiketě musí být jasně uvedeno datum výroby pro sledovatelnost a kontrolu kvality.

## 4 Model

### 4.1 Koncepce modelu

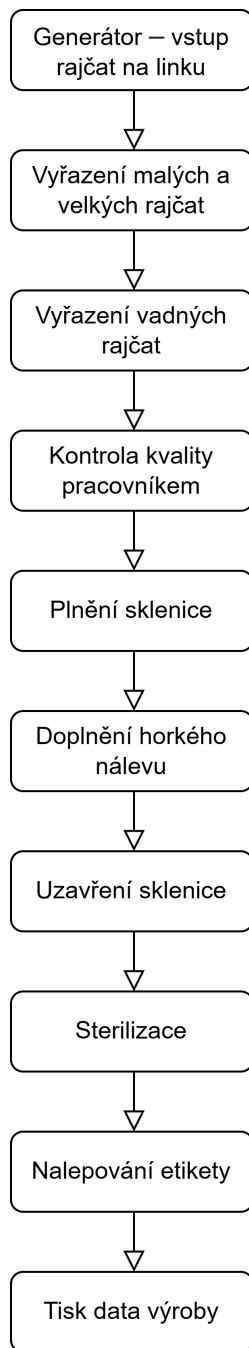
Pro vytvoření konceptu modelu byly analyzovány výše uvedené zdroje. Časy práce jednotlivých částí výrobní linky byly přibližně odhadnuty na základě sledování zmíněného videa.

**Proces zahrnuje následující fáze:**

1. **Vstup rajčat na linku:** Jednou za 1 sekundu vstupuje do systému 1 rajče po hromadném umytí.
2. **Automatické vyřazení malých a velkých rajčat:** Linka obsahuje 1 třídící systém, který vyřazuje rajčata, jež nesplňují požadovanou velikost. Tento krok eliminuje přibližně 5% celkového počtu vstupních rajčat; tato rajčata následně opustí systém a mohou být dále využita pro jiné účely. Třídící zařízení zpracovává 1 rajče za 0,5 sekundy.
3. **Automatické vyřazení vadných rajčat:** Linka obsahuje 1 třídící systém pro odstraňování žlutých nebo shnilých rajčat. Tento krok rovněž vede k dalším ztrátám rajčat (5%), a tato rajčata následně opustí systém. Třídící zařízení zpracovává 1 rajče za 0,5 sekundy.
4. **Kontrola kvality pracovníkem:** Lidský zásah je nezbytný pro odstranění rajčat, která unikla automatické kontrole. Na lince pracuje 1 pracovník kontroly kvality a zpracovává 1 rajče za 0,5 sekundy. Tento krok rovněž snižuje počet rajčat o 2%, a tato rajčata následně opustí systém.
5. **Plnění sklenic:** Připravená rajčata jsou automaticky plněna do sklenic o objemu odpovídajícímu 5 rajčatům (po kontrole velikosti ve 2. kroku jsou všechna rajčata přibližně stejné velikosti). Na lince je jedno plnicí zařízení, 1 rajče je uloženo do sklenice za 1 sekundu. Jakmile je sklenice plná, pokračuje dál.  
*Pro účely tohoto modelu zanedbáváme proces sterilizace sklenic.*
6. **Doplnění horkého nálevu:** Do sklenic se nalévá speciálně připravený nálev, který je předem zahřátý na vysokou teplotu, aby se zajistila sterilizace obsahu. Tento proces trvá 3 sekundy, a na lince je k dispozici jedno zařízení pro nalévání nálevu.  
*Proces přípravy a zahřátí nálevu v systému neuvažujeme.*
7. **Uzavření sklenic:** Na lince je jeden stroj na nasazování a utahování víček, a proces uzavření jedné sklenice trvá 3 sekundy.
8. **Sterilizace:** Sklenice se sterilizují při teplotě 82 °C (odpovídá doporučení informačního zdroje 180 °F [2]) po dobu 40 minut. Sterilizace probíhá v sterilizační komoře, která je na lince jedna a zapne se, jakmile je naplněna kapacita 50 sklenic.
9. **Nalepování etiket:** Sklenice se označí etiketami, které obsahují informace o produktu, včetně složení a hmotnosti. Na lince je jeden stroj na nalepování etiket, nalepení jedné etikety trvá 3 sekundy.
10. **Tisk data výroby:** Na sklenice je automaticky vytištěno datum výroby. Na lince je jedno zařízení na tisk dat, datum se vytiskne na jednu sklenici za 3 sekundy.

## 4.2 Schéma modelu

Na obrázku (Figure 1) je uvedeno zjednodušené schéma modelu, které nezohledňuje kapacitu zařízení ani dobu zpracování. Schéma znázorňuje obecnou strukturu a posloupnost činností v rámci výrobního toku linky.



Obrázek 1: Zjednodušené schéma modelu

### 4.3 Parametry strojů a generatoru v lince

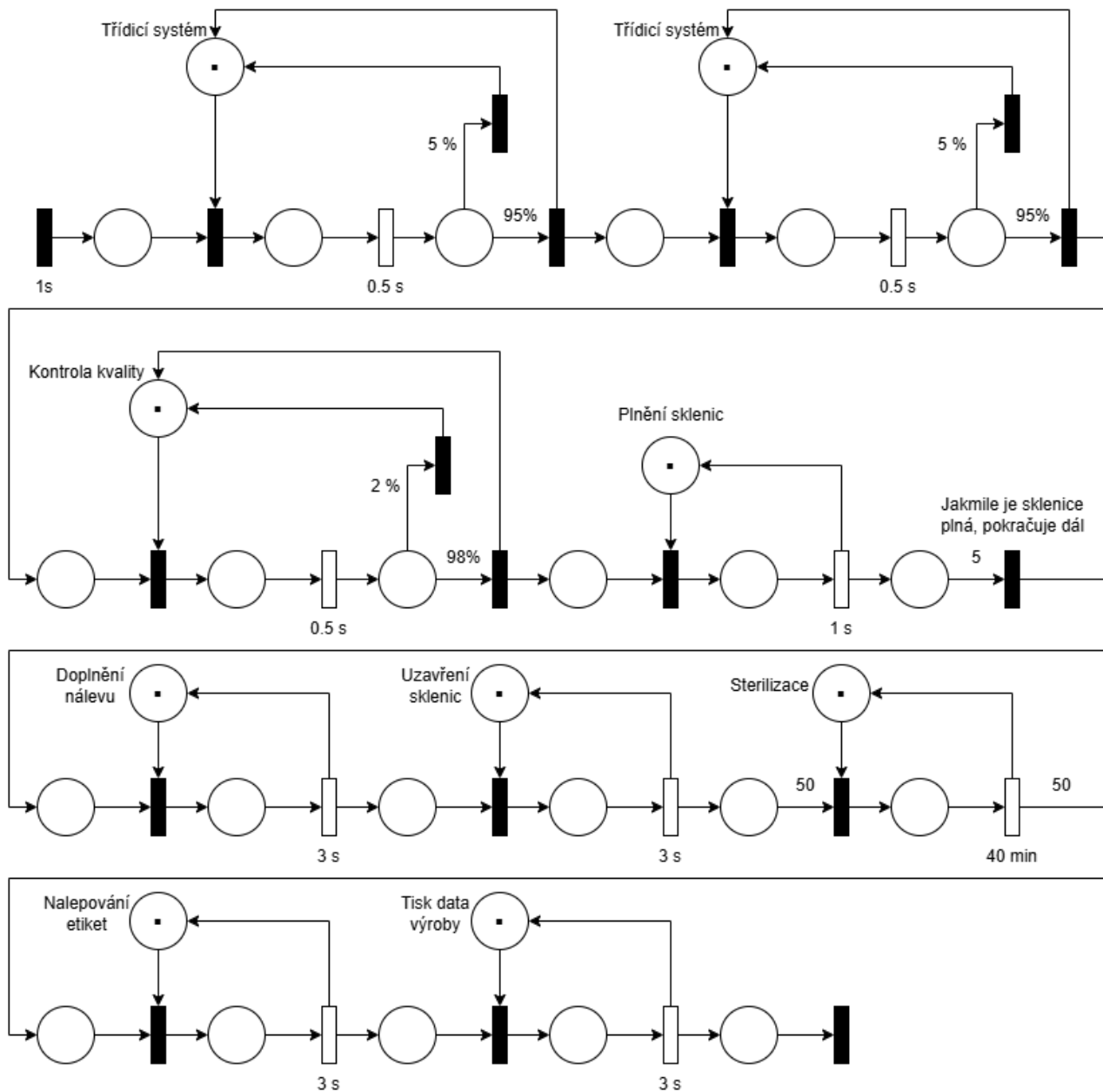
V následující tabulce (Table 1) jsou uvedeny parametry jednotlivých zařízení v navrženém modelu, jako kapacita, počet v systému a doba zpracování.

Název	Popis	Kapacita	Doba zpracování [s]
generator	Generátor rajčat vstupujících na linku	1	1
tomatoSizeSorter	Stroj na třídění rajčat podle velikosti	1	0.5
tomatoDefectSorter	Stroj na třídění žlutých a shnilých rajčat	1	0.5
qualityControlWorker	Pracovník kontroly kvality	1	0.5
tomatoJarFiller	Stroj na plnění sklenic rajčaty	1	1
brineJarFiller	Stroj na nalévání nálevu	1	3
lidCloser	Stroj na uzavírání víček	1	3
sterilizationMachine	Sterilizační stroj	1 x 50	2400
labelApplicator	Stroj na aplikaci etiket	1	3
datePrinter	Stroj na tisk data výroby a trvanlivosti	1	3

Tabulka 1: Přehled parametrů strojů a generatoru v lince

#### 4.4 Petriho síť modelu

Na obrázku (Figure 2) je znázorněna Petriho síť našeho modelu.



Obrázek 2: Petriho síť modelu



## 5 Experimenty

V této sekci budeme provádět různé experimenty s naším modelem, abychom identifikovali jeho slabé stránky a oblasti pro zlepšení. Cílem těchto experimentů je otestovat různé přístupy, vyhodnotit výkon systému a na základě výsledků provést potřebné úpravy a vylepšení.

### 5.1 Experiment 1

Cílem tohoto experimentu je ověřit platnost našeho modelu a získat statistiky základní verze (Table 1), na jejichž základě budeme moci provádět další zlepšení a optimalizace. Simulace bude probíhat po dobu 24 hodin, aby bylo možné získat reprezentativní údaje pro analýzu.

#### 5.1.1 Výsledky

V následující tabulce (Table 2) jsou uvedeny průměrné, minimální a maximální časy ve frontě (v sekundách) pro zařízení s nenulovými hodnotami.

Čas [s]	sterilizationMachine	labelApplicator
avg	38140	75
min	2121	3
max	74119	147

Tabulka 2: Průměrné, minimální a maximální časy ve frontě.

V následující tabulce (Table 3) jsou uvedeny souhrnné údaje ze simulace, které ukazují, kolik rajčat bylo použito k výrobě sklenic během 24 hodin.

Metrika	Počet
Celkový počet vygenerovaných rajčat	86401
Celkový počet naplněných sklenic	15268
Celkový počet sklenic s vytištěným datem	1750
Celkový počet sklenic s vytištěným datem	1750

Tabulka 3: Souhrnné údaje ze simulace.

#### 5.1.2 Shrnutí prvního experimentu

Výsledky prvního experimentu ukazují několik klíčových problémů, které omezují efektivitu celého procesu výroby nakládaných rajčat:

- Velká fronta u sterilizace:** Vysoká zátěž u zařízení *sterilizationMachine* vedla k vytvoření velké fronty s průměrnou dobou čekání 38140 sekund (přes 10 hodin), přičemž maximální doba čekání dosáhla až 74119 sekund. To významně zpomalilo celkový průběh výroby.
- Sekundární fronta při tisku etiket:** Kvůli problémům ve sterilizaci se proces tisku etiket (*labelApplicator*) dostal pod tlak, což vedlo k opožděnému zpracování a omezenému výkonu tohoto zařízení.
- Nízká efektivita výroby sklenic:** I když bylo během simulace vytvořeno 15268 sklenic, pouze 1750 z nich bylo dokončeno s vytištěnými etiketami během 24 hodin. To odpovídá 11,5 % dokončených sklenic z celkového počtu naplněných.

## 5.2 Experiment 2

Cílem druhého experimentu je vyzkoušet použití dražšího zařízení *sterilizationMachine*, které se aktivuje až ve chvíli, kdy obsahuje 100 sklenic najednou. Tento experiment se zaměřuje na zlepšení efektivity procesu sterilizace, který v předchozím experimentu způsobil významné zpoždění kvůli frontám. Zrychlení tohoto procesu by mělo pozitivně ovlivnit celkovou výrobní kapacitu a umožnit efektivnější zpracování většího počtu sklenic v kratším čase.

### 5.2.1 Výsledky

V následující tabulce (Table 4) jsou uvedeny průměrné, minimální a maximální časy ve frontě (v sekundách) pro zařízení s nenulovými hodnotami.

Čas [s]	<i>sterilizationMachine</i>	<i>labelApplicator</i>
avg	33046	150
min	1833	3
max	64235	297

Tabulka 4: Průměrné, minimální a maximální časy ve frontě.

V následující tabulce (Table 5) jsou uvedeny souhrnné údaje ze simulace, které ukazují, kolik rajčat bylo použito k výrobě sklenic během 24 hodin.

Metrika	Počet
Celkový počet vygenerovaných rajčat	86401
Celkový počet naplněných sklenic	15268
Celkový počet sterilizovaných sklenic	3500
Celkový počet sklenic s vytištěným datem	3500

Tabulka 5: Souhrnné údaje ze simulace.

### 5.2.2 Shrnutí druhého experimentu

Ve druhém experimentu jsme testovali použití dražšího zařízení *sterilizationMachine*, které má kapacitu pro sterilizaci až 100 sklenic najednou. I přesto, že se kapacita sterilizace zvýšila, což vedlo k zkrácení fronty na sterilizaci, došlo k jinému problému. Zvětšení kapacity sterilizace způsobilo větší frontu při aplikaci etiket, protože zařízení nyní přijímá 100 sklenic najednou, což vedlo k přetížení této části procesu.

Výsledky simulace ukázaly, že celkový počet připravených sklenic se zdvojnásobil, konkrétně z 1750 (u prvního experimentu) sklenic na 3500, avšak tento nárůst způsobil výrazný nárůst fronty u aplikace etiket, což naznačuje, že i při zlepšení kapacity sterilizace stále existují oblasti, které vyžadují optimalizaci. Tento experiment ukázal, že rozšíření kapacity sterilizace zlepšilo některé aspekty procesu, ale stále není ideální.

### 5.3 Experiment 3

V tomto experimentu se zaměříme na jiný přístup. Místo zvyšování kapacity jednoho sterilizačního stroje se rozhodneme použít více sterilizačních strojů s kapacitou 50 sklenic, každý s procesním časem 40 minut na dávku. Na základě předchozích experimentů víme, že celkový počet naplněných sklenic je 15,268. Pro jeden stroj, který sterilizuje 50 sklenic každých 40 minut, je počet sklenic zpracovaných za jednu hodinu následující:

$$\text{Počet sklenic za hodinu na jeden stroj} = \frac{60}{40} \times 50 = 75 \text{ sklenic za hodinu.}$$

Chceme zjistit, kolik strojů budeme potřebovat pro zpracování všech 15,268 sklenic během 24 hodin. Nejprve zjistíme, kolik sklenic může jeden stroj zpracovat za 24 hodin:

$$\text{Počet sklenic za 24 hodin na jeden stroj} = 75 \times 24 = 1,800 \text{ sklenic.}$$

Nyní vypočítáme počet strojů potřebných pro zpracování všech 15,268 sklenic během 24 hodin:

$$\text{Počet strojů} = \frac{15,268}{1,800} \approx 8.5.$$

Protože nemůžeme použít zlomkové množství strojů, zaokrouhlujeme výsledek nahoru, což znamená, že budeme potřebovat 9 sterilizačních strojů. Tyto stroje budou zpracovávat 50 sklenic každých 40 minut, což nám umožní zpracovat všechny sklenice během 24 hodin.

#### 5.3.1 Výsledky

V následující tabulce (Table 6) jsou uvedena data potvrzující náš výpočet ohledně potřeby 9 strojů pro náš systém.

Metrika	Počet
Kapacita (použité/skupiny)	9 (9 použito, 0 volno)
Časové intervaly	0 - 86400
Počet vstupních operací	305
Minimální využití kapacity	1
Maximální využití kapacity	9
Průměrné využití kapacity	8.35165

Tabulka 6: Statistiky pro sterilizační stroj.

V následující tabulce (Table 7) jsou uvedeny průměrné, minimální a maximální časy ve frontě (v sekundách).

Čas [s]	sterilizationMachine	labelApplicator
avg	0	75
min	0	3
max	0	147

Tabulka 7: Průměrné, minimální a maximální časy ve frontě.

V následující tabulce (Table 8) jsou uvedeny souhrnné údaje ze simulace, které ukazují, kolik rajčat bylo použito k výrobě sklenic během 24 hodin.

<b>Metrika</b>	<b>Počet</b>
Celkový počet vygenerovaných rajčat	86401
Celkový počet naplněných sklenic	15268
Celkový počet sterilizovaných sklenic	14800
Celkový počet sklenic s vytištěným datem	14800

Tabulka 8: Souhrnné údaje ze simulace.

### 5.3.2 Shrnutí experimentu 3

Vygenerovaná rajčata V tomto experimentu jsme odstranili frontu na sterilizaci tím, že jsme použili více sterilizačních strojů. To vedlo k významnému zlepšení celkové efektivity procesu, protože všechny sklenice byly sterilizovány bez prodlevy. Jedinou zbývající frontou je nyní fronta na aplikaci etiket, protože každý sterilizační proces uvolňuje 50 sklenic najednou. Pro dosažení optimální efektivity by bylo nutné i tento proces zlepšit, aby se eliminovala fronta i při aplikaci etiket.

## 5.4 Experiment 4

Cílem tohoto experimentu bylo snížit dobu čekání ve frontě po sterilizaci, která vzniká při náhlém nahromadění většího počtu sklenic před strojem na aplikaci etiket. I když to nebude vést ke zvýšení počtu sklenic s vytištěným datem, protože výkon je omezen sterilizačním strojem, eliminace této fronty zvýší efektivitu linky.

Bylo navrženo zvýšit kapacitu strojů *labelApplicator* a *datePrinter* z 1 na 10 a zkrátit dobu zpracování těchto dvou strojů na 2.0 sekundy, což simuluje použití dražších zařízení.

### 5.4.1 Výsledky

V následující tabulce (Table 9) jsou uvedeny průměrné, minimální a maximální časy ve frontě (v sekundách) pro zařízení s nenulovými hodnotami.

Čas [s]	sterilizationMachine	labelApplicator
avg	0	5
min	0	2
max	0	8

Tabulka 9: Průměrné, minimální a maximální časy ve frontě.

Ke změně parametrů výkonu modelu nedošlo, což je znázorněno v následující tabulce (Table 10).

Metrika	Počet
Celkový počet vygenerovaných rajčat	86401
Celkový počet naplněných sklenic	15268
Celkový počet sterilizovaných sklenic	14800
Celkový počet sklenic s vytištěným datem	14800

Tabulka 10: Souhrnné údaje ze simulace.

### 5.4.2 Shrnutí experimentu 4

Během experimentu se podařilo dosáhnout stanovených cílů. Průměrná doba čekání ve frontě se snížila 15krát. Zavedené změny tedy přispěly ke zlepšení efektivity procesu.

## 5.5 Experiment 5

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, jak se změní výkon modelu, pokud se doba generování rajčat zkrátí z 1.0 sekundy na 0.5 sekundy. Vzhledem k tomu, že v minulých experimentech byl model přizpůsoben rychlosti generace rajčat 1.0 sekundy, bylo zřejmé, že za nových podmínek může dojít ke komplikacím.

### 5.5.1 Výsledky

Z následující tabulky (Table 11) plyne, že při simulaci nastala následující situace: u automatu na plnění rajčat do sklenic (*tomatoJarFiller*) se začala tvořit třetí fronta, což zpomalilo celý proces. Současně se znovu objevila fronta u sterilizátoru (*sterilizationMachine*), což potvrdilo omezenou schopnost modelu zpracovat zrychlený přísun rajčat.

Čas [s]	<i>tomatoJarFiller</i>	<i>sterilizationMachine</i>	<i>labelApplicator</i>
avg	18775.1	2700	5
min	0.5	150	2
max	37504	5250	8

Tabulka 11: Průměrné, minimální a maximální časy ve frontě.

V následující tabulce (Table 12) jsou uvedena data, která potvrzují naše očekávání ohledně neplatnosti modelu za daných extrémních podmínek.

Metrika	Počet
Celkový počet vygenerovaných rajčat	172801
Celkový počet naplněných sklenic	17279
Celkový počet sterilizovaných sklenic	15750
Celkový počet sklenic s vytištěným datem	15750

Tabulka 12: Souhrnné údaje ze simulace.

### 5.5.2 Shrnutí experimentu 5

Za podmínek zrychlené generace rajčat došlo k vytvoření další fronty, což omezilo efektivitu procesu. Nicméně, díky vyšší frekvenci generace rajčat se mírně zvýšil počet naplněných sklenic. Výsledky experimentu tak ukazují na nutnost další optimalizace kapacity jednotlivých zařízení pro zpracování rajčat.

## 5.6 Experiment 6

Cílem tohoto experimentu bylo zvýšit počet sklenic na konci linky za podmínek vyšší frekvence generace rajčat. Navrženo bylo zvýšit kapacitu stroje na plnění rajčat z 1 na 2. Kromě toho, byly použity sterilizační stroje z experimentu č. 2, které se aktivují pouze tehdy, když obsahují 100 sklenic najednou.

### 5.6.1 Výsledky

Z následující tabulky (Table 13) vyplývá, že navržené navýšení kapacity stroje (*tomatoJarFiller*) je správné, všechny stroje jsou využity a během toho není žádná fronta.

Metrika	Počet
Kapacita (použité/skupiny)	9 (2 použito, 0 volno)
Časové intervaly	0 - 86400
Počet vstupních operací	152680
Minimální využití kapacity	0
Maximální využití kapacity	2
Průměrné využití kapacity	1.76711

Tabulka 13: Statistiky pro stroj na plnění rajčat.

Z následující tabulky (Table 14) vyplývá, že během simulace byly zcela eliminovány fronty u automatu na plnění rajčat do sklenic (*tomatoJarFiller*) i u sterilizátoru (*sterilizationMachine*). Nicméně se začala tvořit nová fronta u automatu na plnění nálevu (*tomatoBrineFiller*), a zároveň došlo k mírnému nárůstu času čekání ve frontě na nalepení etiket u stroje (*labelApplicator*).

Čas [s]	tomatoJarFiller	tomatoBrineFiller	sterilizationMachine	labelApplicator
avg	0	2465.62	0	10
min	0	0.5	0	2
max	0	4903	0	18

Tabulka 14: Průměrné, minimální a maximální časy ve frontě.

V následující tabulce (Table 15) jsou uvedena data popisující výkon modelu, který se výrazně zlepšil oproti minulému experimentu.

Metrika	Počet
Celkový počet vygenerovaných rajčat	172801
Celkový počet naplněných sklenic	30535
Celkový počet sterilizovaných sklenic	27900
Celkový počet sklenic s vytištěným datem	27900

Tabulka 15: Souhrnné údaje ze simulace.

### 5.6.2 Shrnutí experimentu 6

Z výsledků experimentu je zřejmé, že navržené změny přinesly významné zlepšení celkového výkonu linky. Bylo dosaženo vyššího počtu naplněných sklenic a sklenic s vytištěným datem.

Fronty u klíčových strojů, jako jsou *tomatoJarFiller* a *sterilizationMachine*, byly zcela eliminovány, což zásadně přispělo k plynulosti celého provozu. Přestože se nová fronta objevila u *tomatoBrineFiller* a mírně se zvýšil čas čekání na nalepení etiket u *labelApplicator*, tyto vlivy byly zanedbatelné ve srovnání s celkovým zlepšením.

## 5.7 Experiment 7

Cílem tohoto experimentu bylo eliminovat fronty u stroje na plnění nálevu *tomatoBrineFiller* za podmínek vyšší frekvence generace rajčat. Navrženo bylo zvýšit kapacitu stroje na plnění nálevu *tomatoBrineFiller* a stroje na uzavírání víček *lidCloser* z 1 na 2.

### 5.7.1 Výsledky

Z následující tabulky (Table 16) vyplývá, že během simulace byly zcela eliminovány všechny fronty u automatu na plnění rajčat do sklenic (*tomatoJarFiller*), u automatu na plnění nálevu (*tomatoBrineFiller*) a u sterilizátoru (*sterilizationMachine*). U automatu na nalepení etiket u stroje (*labelApplicator*) je stále zanedbatelná fronta.

Čas [s]	tomatoJarFiller	tomatoBrineFiller	sterilizationMachine	labelApplicator
avg	0	0	0	10
min	0	0	0	2
max	0	0	0	18

Tabulka 16: Průměrné, minimální a maximální časy ve frontě.

V následující tabulce (Table 17) jsou uvedena data popisující výkon modelu, který se mírně zlepšil oproti minulému experimentu kvůli eliminaci fronty u automatu na plnění nálevu (*tomatoBrineFiller*).

Metrika	Počet
Celkový počet vygenerovaných rajčat	172801
Celkový počet naplněných sklenic	30535
Celkový počet sterilizovaných sklenic	29600
Celkový počet sklenic s vytištěným datem	29600

Tabulka 17: Souhrnné údaje ze simulace.

### 5.7.2 Shrnutí experimentu 7

Z výsledků experimentu je zřejmé, že navržené změny přinesly významné zlepšení celkového výkonu linky. Bylo dosaženo vyššího počtu naplněných sklenic a sklenic s vytištěným datem.

Fronty u automatu na nalepení etiket u *labelApplicator* je zanedbatelná ve srovnání s celkovým zlepšením.



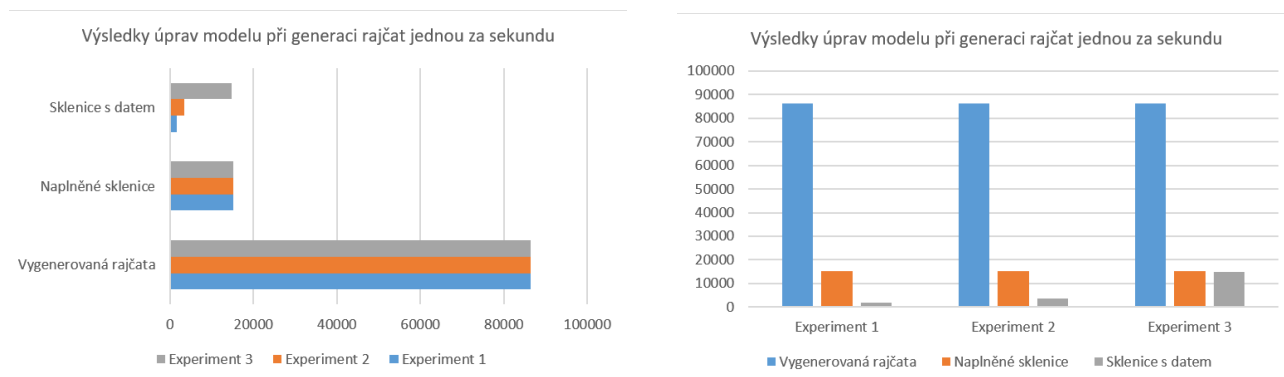
## 6 Závěr

Původní návrh modelu se ukázal jako nevyhovující a neodpovídal požadovaným provozním podmínkám. Identifikované problémy, zejména neefektivní sterilizační proces a následné přetížení dalších částí linky, vedly k nízké produktivitě a velkým zpožděním.

Na základě získaných dat z prvního experimentu byl model významně přepracován. Došlo k úpravám klíčových parametrů a implementaci změn, které zlepšily výkonnostní charakteristiky celého systému. Mezi změny patřila úprava konfigurace sterilizačního stroje, strojů na plnění rajčat, plnění nálevu, uzavírání víček, nalepování etiket a tisk data výroby, což přineslo efektivnější řízení kapacity a výrazné zkrácení čekacích dob.

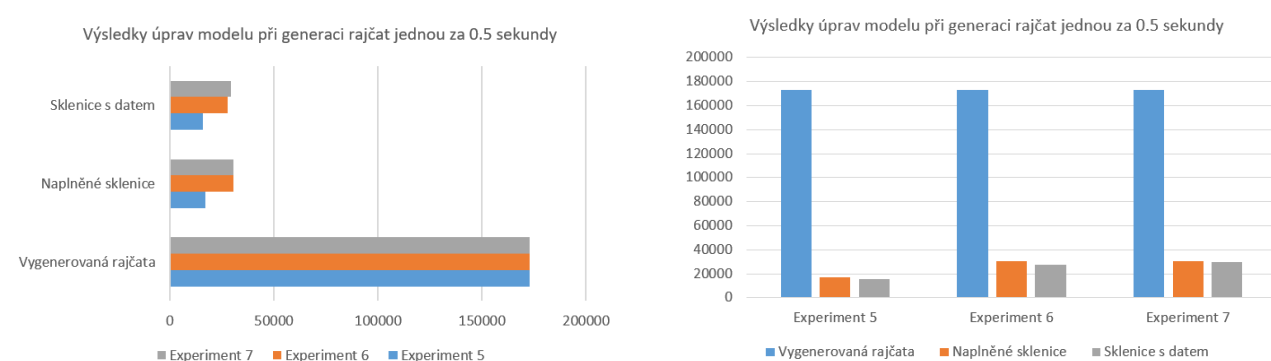
Po provedení všech úprav byly hlavní nedostatky původní verze odstraněny, což zajistilo výrazně lepší využití dostupných zdrojů. Díky těmto úpravám bylo dosaženo podstatného zlepšení výkonu celé výrobní linky, což potvrzuje správnost provedených změn a jejich přínos pro optimalizaci systému.

V grafu na obr. 3 jsou zobrazeny výsledky úprav modelu při generaci rajčat jednou za sekundu. Grafy ukazují, jak změny v procesu vedly k optimalizaci výrobní linky a maximalizaci efektivity při výrobě konzervovaných rajčat. Na grafu je patrné, že je počet sklenic mnohem nižší, přibližně v poměru 5 až 6krát méně, než je počet rajčat na začátku procesu, protože rajčata procházejí třemi fázemi vyřazení a do každé sklenice je umístěno pět rajčat.



Obrázek 3: Výsledky úprav modelu při generaci rajčat jednou za sekundu

Na obr. 4 jsou zobrazeny výsledky po dalších úpravách modelu, kdy se rajčata generují jednou za 0,5 sekundy. Tento krok opět vedl k maximalizaci efektivity linky.



Obrázek 4: Výsledky úprav modelu při generaci rajčat jednou za 0.5 sekundy

Tyto grafy potvrzují správnost provedených změn a tím pádem ověřují validitu výsledného modelu.

## 6.1 Parametry strojů a generatoru v lince po provedení úprav

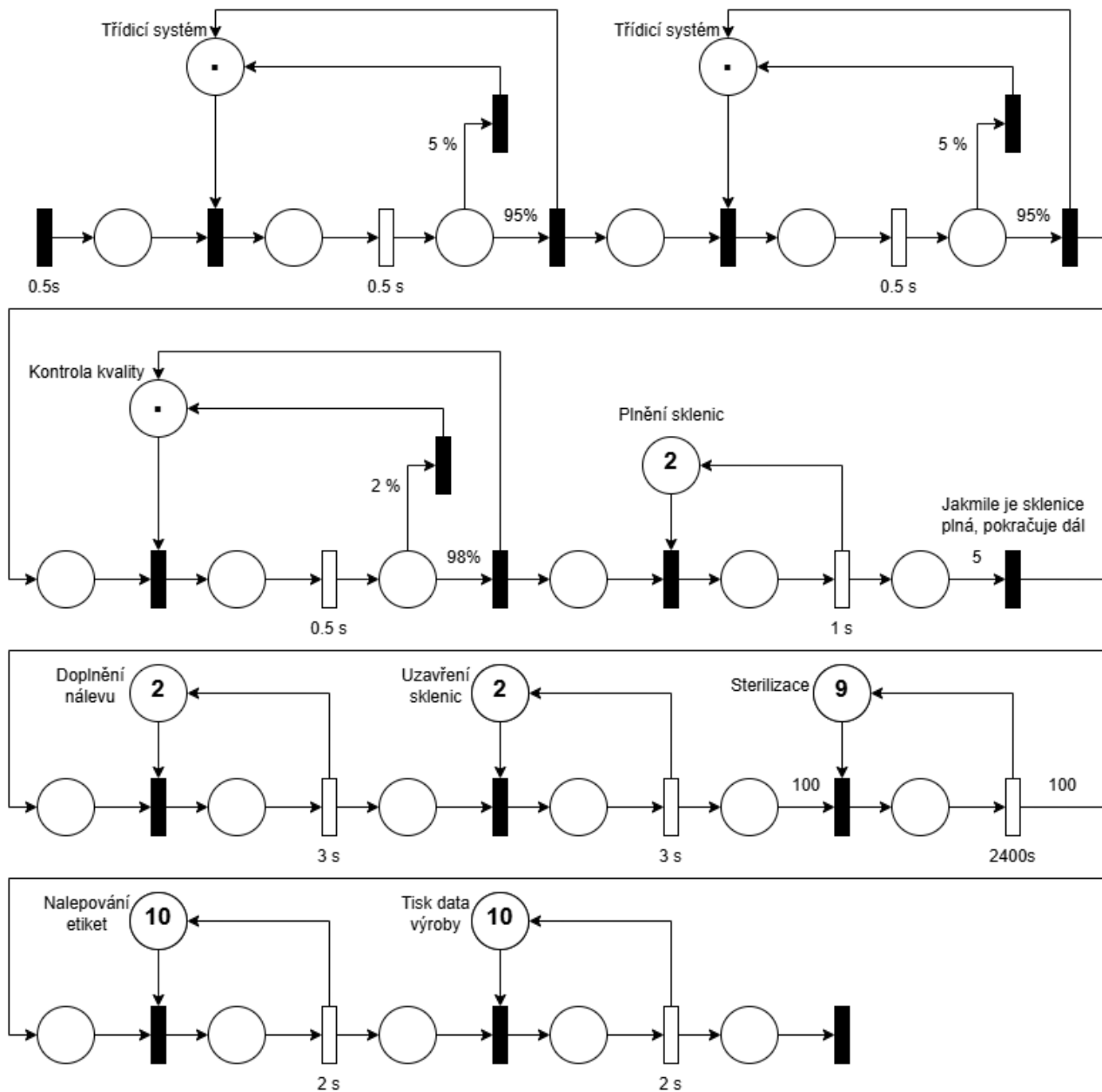
V následující tabulce (Table 18) jsou uvedeny parametry jednotlivých zařízení ve výsledném modelu.

Název	Popis	Kapacita	Doba zpracování [s]
generator	Generátor rajčat vstupujících na linku	1	<b>0.5</b>
tomatoSizeSorter	Stroj na třídění rajčat podle velikosti	1	0.5
tomatoDefectSorter	Stroj na třídění žlutých a shnilých rajčat	1	0.5
qualityControlWorker	Pracovník kontroly kvality	1	0.5
tomatoJarFiller	Stroj na plnění sklenic rajčaty	<b>2</b>	1
brineJarFiller	Stroj na nalévání nálevu	<b>2</b>	3
lidCloser	Stroj na uzavírání víček	<b>2</b>	3
sterilizationMachine	Sterilizační stroj	<b>9 x 100</b>	2400
labelApplicator	Stroj na aplikaci etiket	<b>10</b>	<b>2</b>
datePrinter	Stroj na tisk data výroby a trvanlivosti	<b>10</b>	<b>2</b>

Tabulka 18: Přehled parametrů strojů a generatoru ve výsledné lince

## 6.2 Petriho síť po provedení úprav

Na obrázku (Figure 5) je znázorněna Petriho síť našeho modelu po provedení úprav.



Obrázek 5: Petriho síť modelu

## Odkazy

- [1] Discovery UK. *Canned Tomatoes — How It's Made*. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=jr5Nq7W1KT4>.
- [2] North Dakota State University. *Food Preservation: Making Pickled Products*. Dostupné z: <https://www.ndsu.edu/agriculture/extension/publications/food-preservation-making-pickled-products>.