



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Modelování a simulace

Průmyslová výroba jablečného džusu

Albert Popov (xpopov10)
Antsipenka Nadzeya (xantsi00)

1. prosince 2024

1 Úvod

Tento projekt byl vypracován jako součást předmětu *Modelování a simulace* (IMS) a zaměřuje se na vytvoření modelu typu SHO (Systém hromadné obsluhy) pro simulaci procesu průmyslové výroby jablečného džusu. Model byl realizován pomocí knihovny SIMLIB. Cílem projektu bylo zkoumat chování systému v různých podmínkách, identifikovat hlavní faktory ovlivňující efektivitu výroby a navrhnout možná zlepšení. Získané výsledky nabízejí detailní pohled na dynamiku výroby jablečného džusu a mohou být využity jako podklad pro rozhodovací procesy v průmyslovém prostředí.

1.1 Autoři

Autoři projektu jsou studenti třetího ročníku VUT FIT:

- **Albert Popov** (xpopov10)
- **Antsipenka Nadzeya** (xantsi00)

1.2 Zdroj

Pro vývoj naší simulace jsme použili informace z různých zdrojů, které popisují jednotlivé kroky výroby jablečného džusu:

- **GalileoRU** [1]
Tento zdroj poskytuje přehled o výrobě konkrétního zboží, popisuje proces výroby, včetně mytí, odšťavňování, filtrace a dalších kroků, a nabízí vizuální pohled na celý proces.
- **LiquidInsider** [2]
Zdroj se zaměřuje na detaily výroby s důrazem na bezpečnost a jemné detaily technologických postupů.
- **Wikipedia** [3]
Článek popisuje složení jablek (voda, koncentrát, aroma atd.) a uvádí, které odrůdy jablek jsou vhodnější pro výrobu džusů.

2. Teoretický a programátorský přístup k práci

Tento projekt je zaměřen na modelování průmyslového procesu výroby džusů. Jeho hlavním cílem bylo navrhnout model typu SHO, který simuluje klíčové fáze výroby, jako jsou příjem a zpracování jablka, filtrace, kontrola kvality, plnění balení. Model je určen k analýze jednotlivých kroků výrobního procesu, s důrazem na identifikaci slabin a zvýšení celkové efektivity.

První fáze projektu zahrnovala důkladný výzkum a sběr referencí, během kterého tým porovnával užitečnost dostupných informací. Získané statistické a procesní údaje se staly základem pro konstrukci Petriho sítě, která byla následně použita k vytvoření finálního

modelu.

Prostřednictvím analýzy výsledků z různých scénářů byla ověřena validita navrženého modelu, identifikovány slabiny systému a navržena opatření ke zlepšení. Tato opatření mají za cíl zvýšit efektivitu, kvalitu i výnosy v procesu výroby zboží.

2.1 Použité technologie

V rámci projektu byly využity následující technologie:

- **SIMLIB**: Specializovaná knihovna pro simulaci, využitá k modelování a simulaci různých scénářů výrobního procesu. SIMLIB poskytuje nástroje pro simulaci diskretizovaných procesů a událostí v čase, což umožnilo efektivní modelování složitých operací, jako je zpracování surovin, filtrace, pasterizace a balení hotového produktu.[4]
- **C++**: Objektově orientovaný programovací jazyk, který byl použit k implementaci simulačního modelu. Díky své vysoké efektivitě a flexibilitě umožnil vytvořit výkonný a rychlý model pro simulaci procesů výroby jablečného džusu. [5]

2.2 Spuštění programu

Program se dá kompilovat pomocí make:

make

./beforeImprovement <šťavnatost>

OR

./afterImprovement <šťavnatost>

Šťavnatost od 100 do 300

3. Fakty o procesu

Níže uvádíme klíčové kroky a standardy zajišťující bezpečnost a kvalitu nakládaných rajčat. Tyto informace poskytují přehled o hlavních fázích výroby.

- **Zralá jablka**: se sbírají a přepravují do závodu, kde se třídí podle velikosti, zralosti a vad\
- **Sběr a třídění**: Zralá jablka se sbírají a přepravují do závodu, kde se třídí podle velikosti, zralosti a vad.
- **Mytí a čištění**: Jablka se důkladně umyjí, aby se odstranily nečistoty, zbytky a povrchové kontaminanty, čímž se zajistí čistá surovina pro další zpracování.
- **Drcení a lisování**: Oloupaná jablka se pomocí mlýnků nebo lisů rozdrtí na pyré, aby se uvolnila šťáva.
- **Filtrace a čiření**: Výsledná šťáva se filtruje, aby se odstranily pevné látky, a čiří se pomocí enzymů, které rozkládají pektin a další suspendované pevné látky.
- **Veškerý koncentrát a aroma se stáčí do sudů**. Šťáva se zahřívá na určitou teplotu po stanovenou dobu, aby se zničily škodlivé bakterie a mikroorganismy, čímž se zajistí

bezpečnost a prodlouží trvanlivost výrobku.

- **Chlazení a balení:** Po pasterizaci se šťáva rychle zchladí, aby se zachovaly její chuťové a výživové vlastnosti, a poté se stáčí do lahví, kartonů nebo jiných obalů pro pozdější distribuci.
- **Kontrola a testování kvality:** V každé fázi výroby se provádějí přísné kontroly kvality, včetně testování kyselosti, obsahu cukru a dalších parametrů, aby se zajistilo, že výrobek splňuje průmyslové normy.

4. Model

4.1 Generace jablek

- Proces začíná třídou AppleGenerator, která je zodpovědná za průběžné generování nových jablek ke zpracování v továrně.

AppleGenerator je událost, která se spouští každých 0,1 jednotky času.

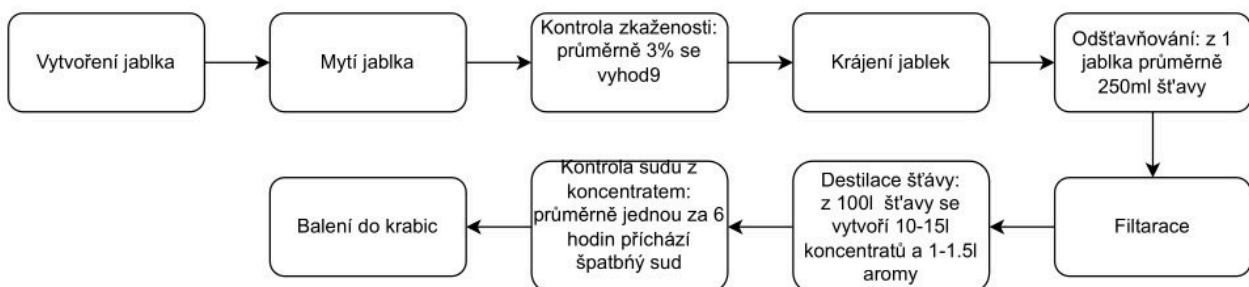
Při každém jejím spuštění vytvoří AppleGenerator nový objekt třídy Apple.

Nové jablko má následující vlastnosti:

- **isSpoiled:** určuje, zda je jablko zkažené. S pravděpodobností 3 % bude jablko zkažené ($\text{Random()} > 0,97$).
- **Liquid:** množství šťávy, které lze z jablka získat. Tato hodnota je generována náhodně pomocí exponenciálního rozdělení a pohybuje se v rozmezí 100 až 300 jednotek(gramy) ($100 + (\text{Exponential}(100) \% 200)$).

4.2 Zpracování jablka

Třída Apple modeluje celý proces zpracování jablka v továrně. Podívejme se na jednotlivé kroky zpracování krok za krokem:



- **Vytvoření jablka:**
Jablko se vytvoří a zvýší se čítač apples_created.
- **Mytí jablka:**
Jablko vstupuje do prostředku WashingMachine, který má kapacitu 60 jablek.
Pokud je pračka obsazena, jablko čeká ve frontě.
Proces mytí trvá 5 jednotek času (Wait(5)).

Po umytí jablko opustí prostředek WashingMachine.

Čítač apples_washed se zvýší.

- **Kontrola zkaženosti:**

- Pokud je jablko zkažené (**isSpoiled == true**), není dále zpracováváno.

- Čítač **apples_spoiled** se zvýší.

- Proces je ukončen voláním funkce **Cancel()**.

- **Krájení jablek:**

- Nezkažené jablko se vloží do zdroje **Chopper**, který má rovněž kapacitu 60 jablek.

- Proces sekání trvá 5 jednotek času.

- Po rozsekání jablko opustí zdroj Chopper.

- Čítač jablka_nasekaná se zvýší.

- **Odšťavňování:**

- Jablko vstoupí do prostředku odšťavňovač, který může zpracovat 60 jablek najednou.

- Proces odšťavňování trvá 5 jednotek času.

- Poté jablko opustí prostředek Juicer.

- Čítač apples_juiced se zvýší.

- **Filtrace:**

- Buničina získaná po vylisování se zpracovává ve zdroji PulpDestroyer, který má kapacitu 15 000 Liquid.

- Jablko vstupuje do PulpDestroyeru s kapacitou Liquid Liquid.

- Proces ničení dužiny trvá 7,5 jednotky času.

- Po zpracování jablko opustí zdroj PulpDestroyer.

- Celkový objem získané tekutiny se zvýší o Liquid (total_liquid += Liquid).

- **Destilace šťávy:**

- Šťáva se destiluje ve zdroji DistillStation, který má kapacitu 15 000 Liquid.

- Jablko vstupuje do zdroje DistillStation s kapacitou Liquid.

- Proces destilace trvá 7,5 jednotky času.

- Poté jablko opustí prostředek DistillStation.

- Získání koncentrátu a příchuti:

- **Vypočítají se objemy koncentrátu** a aroma, které lze získat ze šťávy:

- KoncentrátLiquid: zaokrouhlená hodnota 10-15 % Liquid (std::lround(Liquid * Uniform(0,10, 0,15))).

- aromaLiquid: podobně jako pro aroma.

- Jablko přechází do zdroje ConcentrateBarrel s objemem concentrateLiquid.

- ConcentrateBarrel je sud s kapacitou 10 000 jednotek.

- Objekt Pour se používá k simulaci procesu přelévání koncentrátu.

Pokud objem v sudu dosáhne 9 800 jednotek, pak:

- Vytvoří se nový objekt BarrelConcentrate s aktuálním objemem sudu.

- Zvýší se počítadlo barrel_created.

- Objem sudu se vynuluje (sud se vyprázdní).

Podobně se do prostředku AromaBarrel vloží jablko s objemem aromaLiquid.

- AromaBarrel je sud s objemem 1 000.
- Používá se zařízení PourAroma.
- Pokud objem v sudu dosáhne 980 jednotek, pak:
- Je vytvořen nový objekt BarrelAroma s aktuálním objemem sudu.
- Čítač aroma_created se zvýší.
- Objem sudu se vynuluje.

4.3 Další aspekty modelu

Zkažená jablka:

- Model zohledňuje pravděpodobnost výskytu zkažených jablek (3 %), která jsou pumytí vyřazena z procesu.
- To odráží skutečné podmínky, kdy část suroviny může být pro výrobu nevhodná.

Omezení zdrojů:

- Kapacity zdrojů (myčka, sekáček, odšťavňovač atd.) jsou omezené, což může vést ke vzniku front.
- To pomáhá při modelování možných zpoždění výroby v důsledku omezené kapacity zařízení.
- **Ztráty a plýtvání:**
- Proces ničení dužiny a destilace simuluje odstraňování odpadu a čištění šťávy před dalším zpracováním.

Výpadky výroby:

- Proměnná **BadState** modeluje možné výpadky výroby, které by mohly vést ke zkažení sudů s koncentrátem.
- Třída BadGenerator pravidelně nastavuje hodnotu BadState na hodnotu true s určitou pravděpodobností, což odráží riziko poruch zařízení nebo jiných nepředvídaných okolností.

Kontrola kvality a skladování

- Ověřování koncentrátů: Při vytváření sudu s koncentrátem se provádí kontrola kvality na prostředku ConcentrateCheck. Pokud je v tomto okamžiku proměnná BadState pravdivá, je sud považován za zkažený, čítač barrel_spoiled se zvýší a sud je vyřazen z procesu.

Skladování příchutí:

- Sudy s aroma se každých 11krát z 12 odešlou do Skladování, čímž se simuluje omezená potřeba aroma.

- Zbývající sudy jdou do fronty aromaQueue pro použití při výrobě šťávy.

4.4 Petriho síť

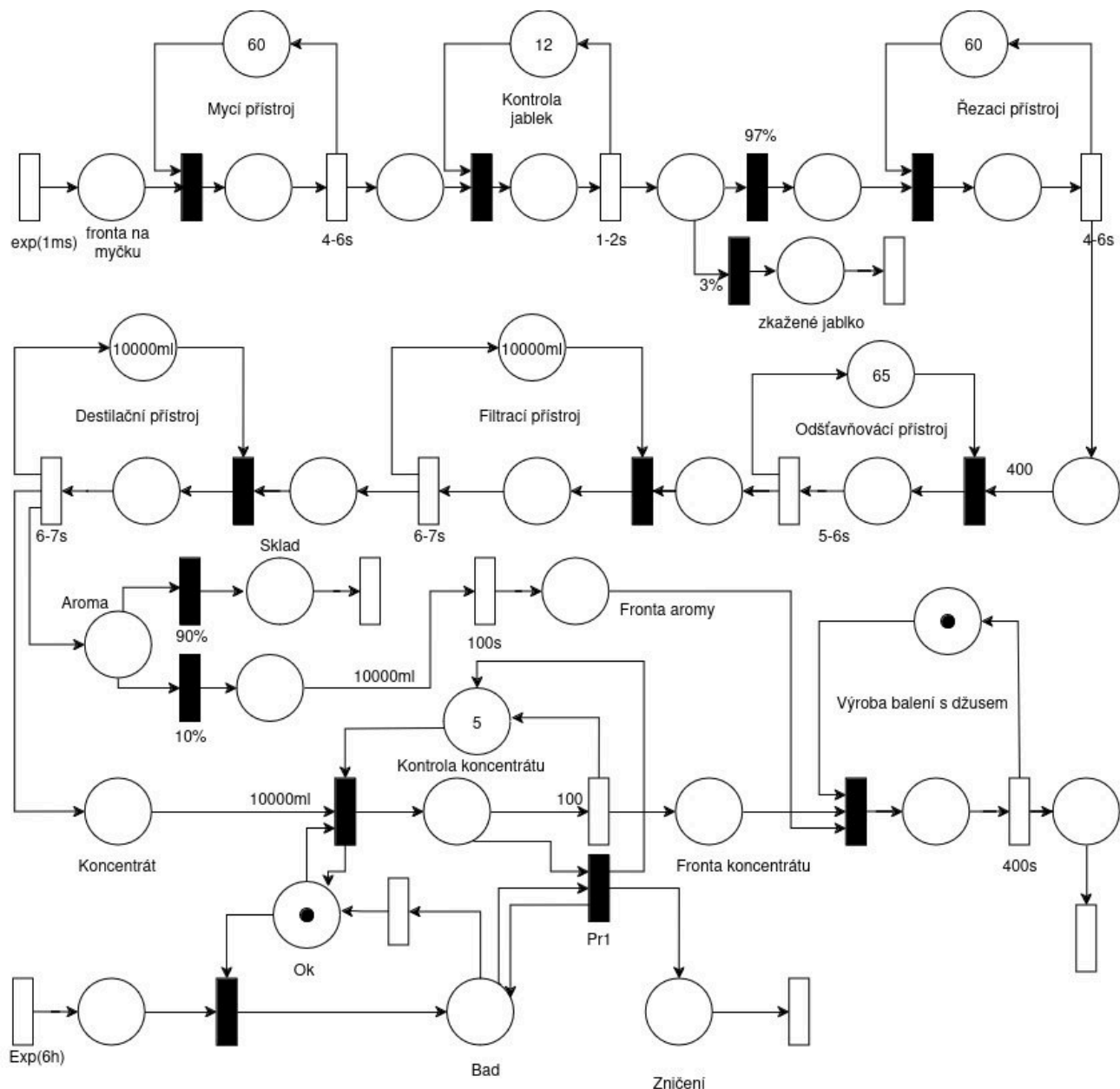


Figure 1. (Petriho síť modelu před provedením změn)

4.5 Výroba šťávy

Ačkoli se vaše otázka zaměřuje na výrobu jablek, je třeba zmínit, že po všech krocích zpracování jablek se koncentrát a aroma používají k výrobě konečného produktu - jablečné šťávy.

JuiceMadeProcess:

- Tento proces pravidelně kontroluje dostupnost sudů s koncentrátem a aroma v příslušných frontách.

- Z určitého množství koncentrátu (100 jednotek) a aroma (0,5 jednotky) se vyrobí balení šťávy.
- Počet vyrobených balíčků džusu se sleduje pomocí čítače juice_packets_created.

4.6 Statistiky a závěry

Na konci simulace program vypisuje podrobné statistiky o všech fázích výroby jablek:

- Celkový počet vytvořených jablek.
- Počet umytých, zkažených, nakrájených a vymačkaných jablek.
- Celkový objem vyrobené tekutiny.
- Počet vytvořených a zkažených sudů koncentrátu a aroma.
- Počet vyrobených sáčků se šťávou.
- Tyto údaje umožňují vyhodnotit efektivitu výrobního procesu, identifikovat úzká místa a možné oblasti pro zlepšení.

5 Praktický příklad a experimenty

Tato část podrobně popisuje otázku položenou na začátku projektu a hodnotí kvalitu modelování. Bylo provedeno několik experimentů při hledání nejlepšího výkonu v rozsahu testovaných parametrů funkce (teplota, osvětlení). Jako konstantní hodnota byla použita rychlost příjmu jablek 10 jablek za sekundu v podmínkách 24hodinového provozu továrny. Proměnnou v rozsahu simulace je šťavnatost jablek, aby se zjistilo, zda farbrica nebude pracovat na plný výkon nebo nebude mít dostatečný výkon.

Experiment

Po několikerém spuštění simulace jsme si všimli, že kontrola kvality jablek probíhá příliš pomalu, což způsobuje, že následující stroje nejsou využívány na plný výkon. Zřejmým řešením tohoto problému je zvýšení rychlosti kontroly jablek, takže místo ruční kontroly jablek jsme použili automatickou kontrolu jablek.

Běh 1. Představuje běh simulace před provedením změn.

Běh 2. Představuje běh simulace po provedení změn.

Běh s koeficientem 100

Vysledky

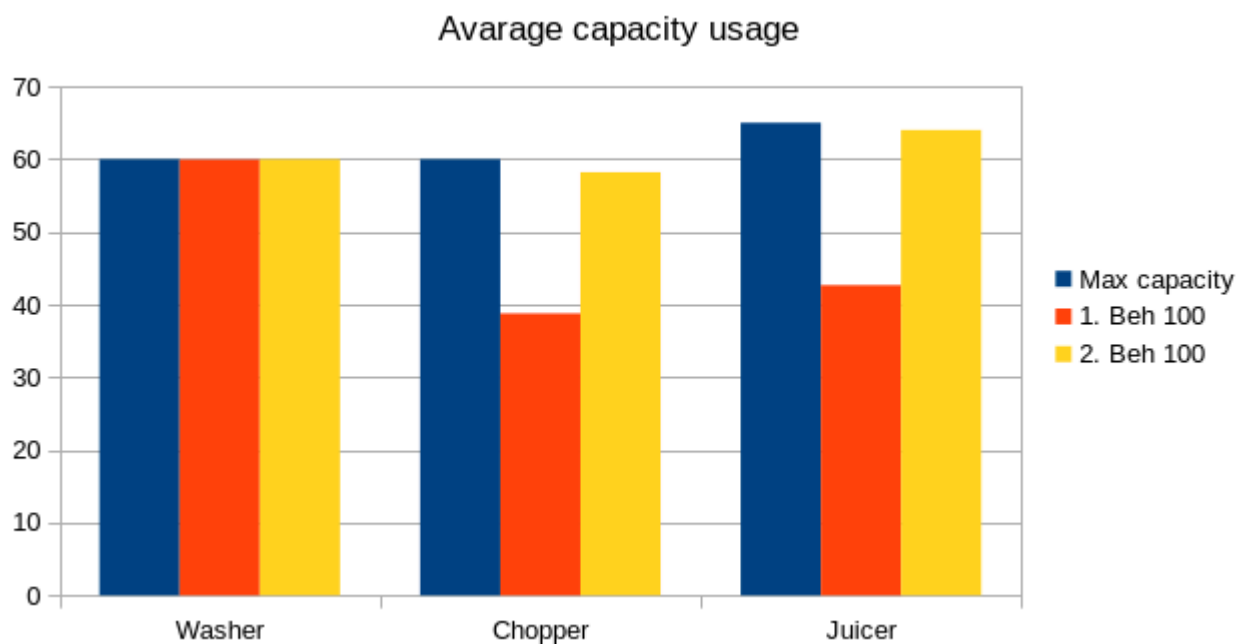


Figure 2. (Průmerná použití kapacity přístroje v kusech s koeficientem šťavnatosti 100)

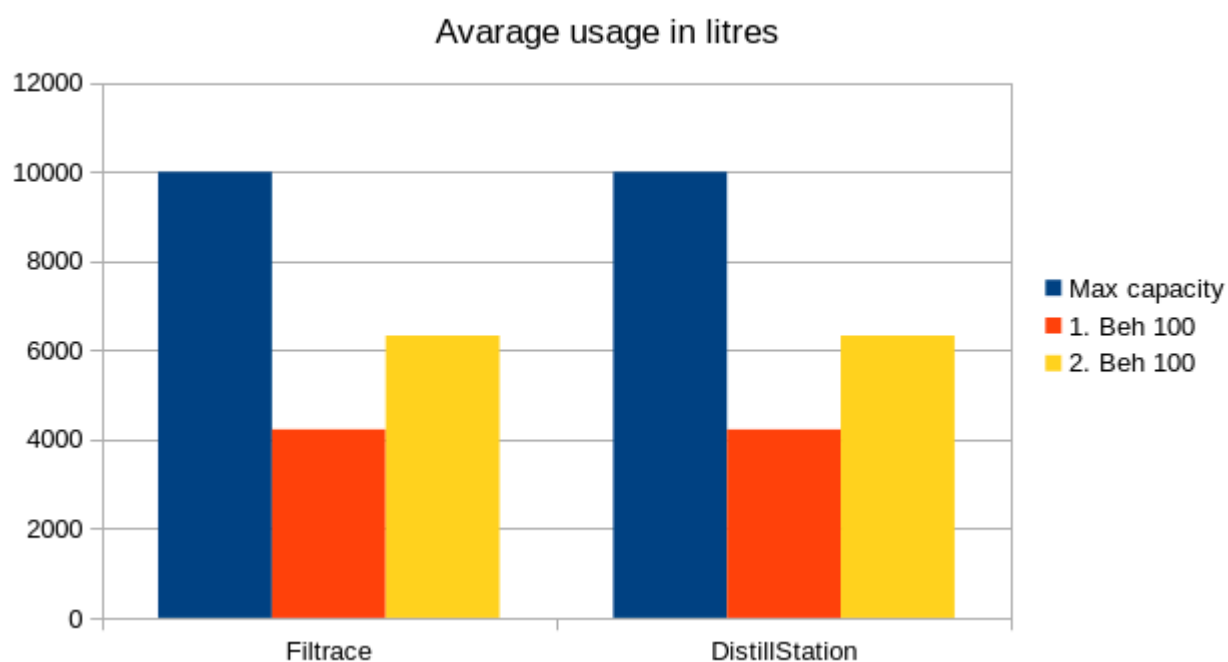


Figure 3. (Průmerná použití kapacity přístroje v litrech s koeficientem šťavnatosti 100)

Běh s koeficientem 200

Vysledky

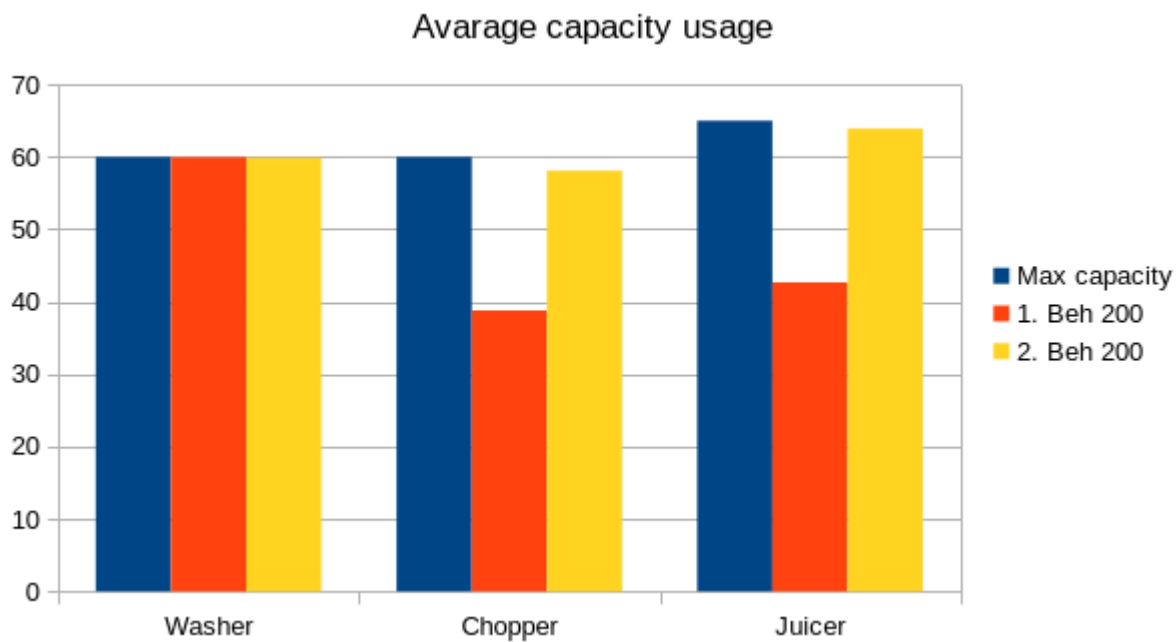


Figure 4. (Průmerná použití kapacity přístroje v kusech s koeficientem šťavnatosti 200)

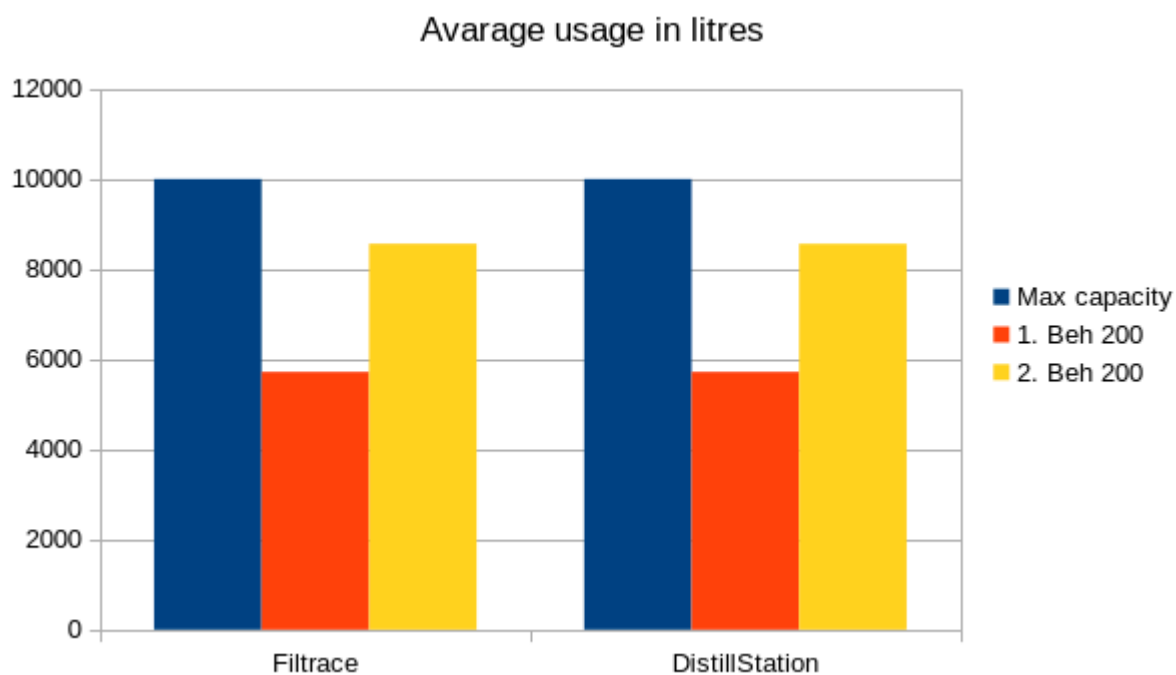


Figure 5. (Průmerná použití kapacity přístroje v litrech s koeficientem šťavnatosti 200)

Běh s koeficientem 300

Vysledky

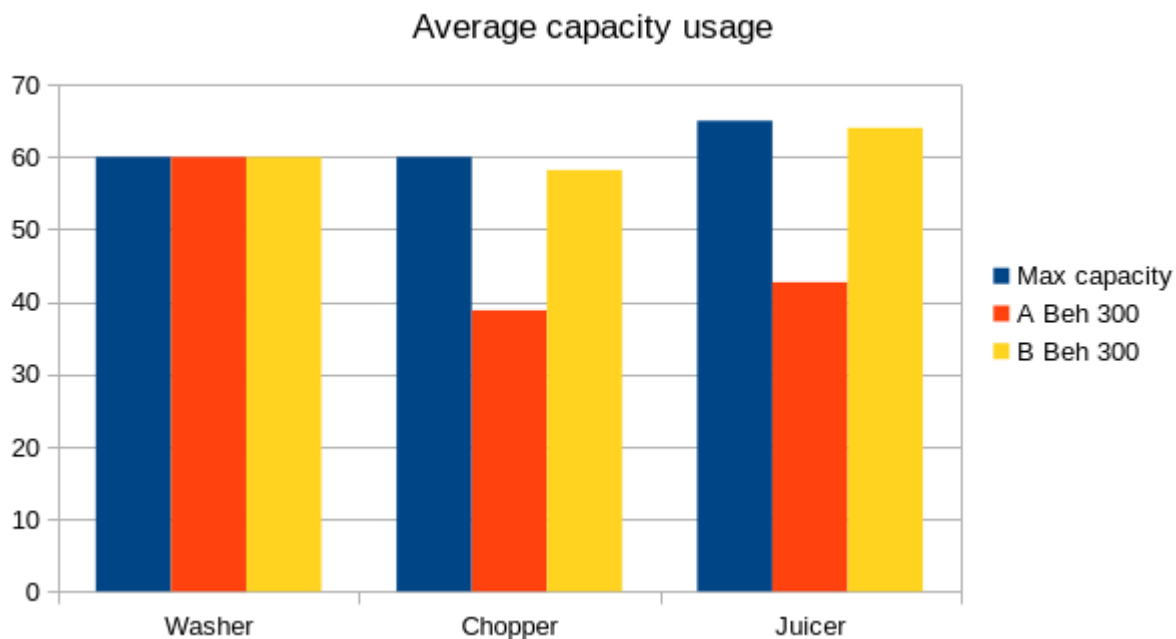


Figure 6. (Průmerná použití kapacity přístroje v kusech s koeficientem šťavnatosti 300)

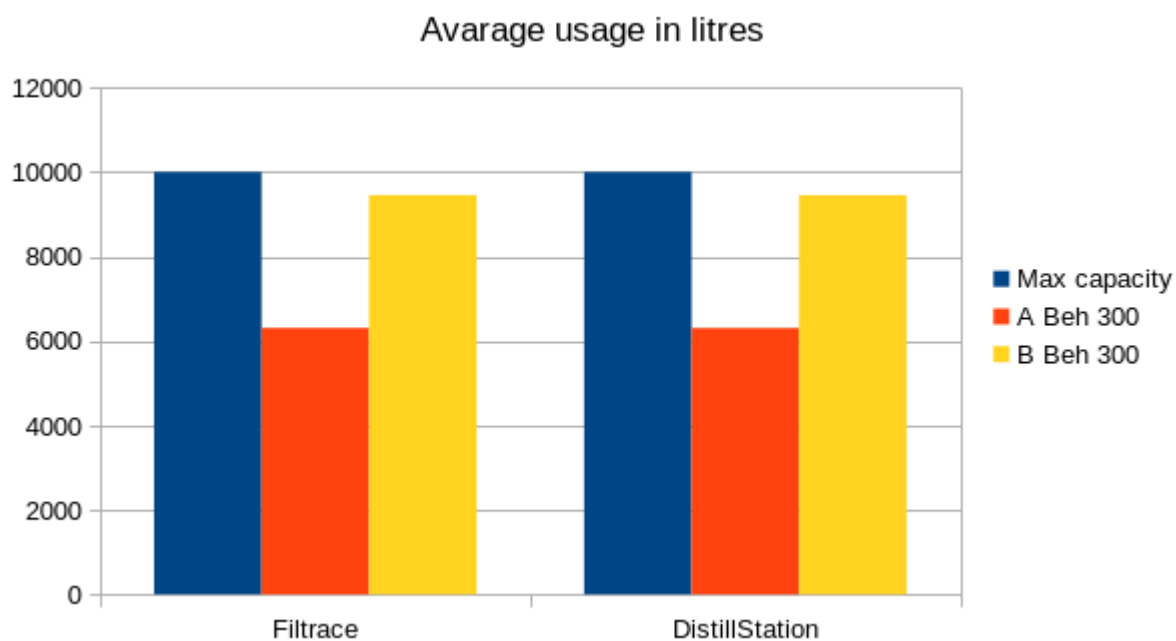


Figure 7. (Průmerná použití kapacity přístroje v litrech s koeficientem šťavnatosti 300)

Záver

Výsledky

- Grafy jasně ukazují, že automatizace umožnila využití strojů na vyšší kapacitu, což vedlo ke snížení prostojů.
- Spotřeba vody a kapacita jednotlivých strojů byla po změně stabilnější a blíže maximální možné hodnotě.

Na základě níže uvedených údajů jsme dospěli k závěru, že používání automatického zařízení na měření kvality jablek zvýšilo výrobní kapacitu téměř o 50 %.

	Juiciness 100 (%)	Juiciness 200 (%)	Juiciness 300 (%)
Washer	0.0959483113931485	-0.1025598265655	0.0098366122040747
Chopper	50.042804245356	49.7615856487448	49.9309591525494
Juicer	49.9687138950146	49.7544379252817	49.9467144479968
Filtrace	49.7798097366714	49.7632163405208	49.8897850570739
DistillStation	49.8051093092866	49.7571733119741	49.8846177636306

Figure 7. (Tabulka tempů růstu výkonu výroby)

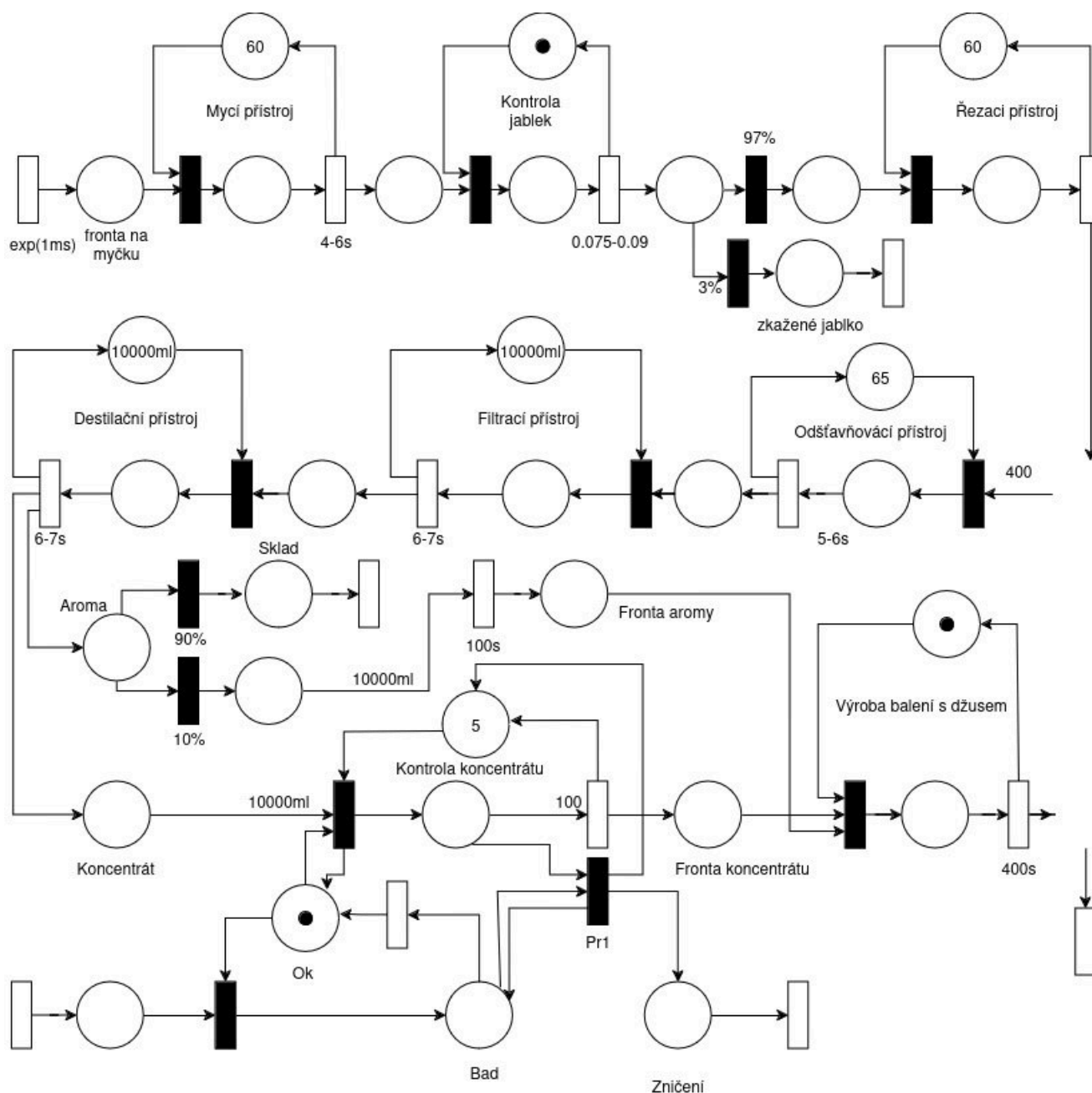


Figure 8. (Petřího síť modelu po provedení změn)

Reference

[1] From orchard to bottle: a step-by-step guide to apple juice production:

<https://liquidinsider.com/how-is-apple-juice-made-in-a-factory/> July 10, 2024 **Liquid Insider**

[2] Youtube: Galileo. Apple juice <https://youtu.be/RrvTWVidHLE?si=pflewyTcMdR6Poh6> 16.

November. 2012

[3] From Wikipedia, the free encyclopedia: Apple <https://en.wikipedia.org/wiki/Apple> 26

November 2024