

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Simulační studie k projektu IMS  
**SHO Model výroby v oblasti potravinářství**

Daniil Kniazkin xkniaz00

Alisher Mazhirinov xmazhi00

# Contents

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Autoři . . . . .	2
1.2	Motivace . . . . .	2
1.3	Validita modelu . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Použité technologie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Výrobní proces a jeho údaje</b>	<b>3</b>
3.1	Výrobní proces . . . . .	3
3.1.1	Kontrola hustoty . . . . .	3
3.1.2	Přesun do rezervoáru . . . . .	3
3.1.3	Míchání ingrediencí . . . . .	3
3.1.4	Náplň . . . . .	3
3.1.5	Balení . . . . .	4
3.2	Důležité údaje . . . . .	4
3.2.1	Rozdělení času . . . . .	4
3.2.2	Poruchy . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Koncepce</b>	<b>5</b>
4.1	Petriho síť . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Popis procesu simulace</b>	<b>7</b>
5.1	Popis implementace . . . . .	7
5.2	Použití simulačního modelu . . . . .	7
<b>6</b>	<b>Experimenty</b>	<b>8</b>
6.1	Běžný provoz . . . . .	8
6.2	Zvýšení rychlosti výroby . . . . .	9
6.3	Pravděpodobnost poruchy pro různé priority . . . . .	10
6.4	Vliv poruch na dobu výroby . . . . .	11
6.5	Vliv poruch na zisk . . . . .	12
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>12</b>

# 1 Úvod

V potravinářském průmyslu se náš projekt zaměřuje na analýzu a optimalizaci procesu výroby kečupu v potravinářském závodě. Jeho cílem je nejen podrobně prozkoumat jednotlivé kroky výrobního procesu, ale také identifikovat a poukázat na jeho případné slabiny.

## 1.1 Autoři

Autory tohoto projektu jsou Daniil Kniazkin a Alisher Mazhirinov - studenti 3. ročníku. bakalářského studia na Fakultě informačních technologií Vysokého učení technického v Brno.

## 1.2 Motivace

Potravinářský průmysl čelí rostoucí konkurenci a rostoucím požadavkům spotřebitelů, což vyžaduje neustálé inovace výrobních procesů. Kečup je jedním z klíčových výrobků, na které se zaměřuje pozornost.

Náš projekt se zaměřuje na modelování a simulaci procesu výroby kečupu v potravinářském závodě s cílem identifikovat a optimalizovat úzká místa v procesu. Tato analýza nám umožní navrhnout úpravy, které povedou ke zlepšení výrobního procesu, snížení nákladů a posílení konkurenceschopnosti společnosti.

Volba kečupu jako objektu naší analýzy není náhodná. Jeho složitý výrobní proces spojený s mícháním, tepelnou úpravou a balením vyžaduje pečlivou optimalizaci, aby bylo dosaženo efektivity.

## 1.3 Validita modelu

Naše modelování výrobního procesu ketchupu bylo postaveno na širokém spektru dat a statistik, zahrnujících trendy a analýzy z různých zdrojů informací, včetně důležitých údajů z webu Statista.com [4], Foodprocessing.com [1] a Otma.cz [2].

Tyto informace nám poskytly důležitý rámec pro porozumění a mapování dynamiky v potravinářském průmyslu, specificky ohledně výroby ketchupu. Díky důvěryhodnosti a relevanci dat z této platformy jsme byli schopni validovat náš model a poskytnout pevnější základ našemu výzkumu v této oblasti.

## 2 Použité technologie

Náš model byl úspěšně implementován v programovacím jazyce **C++**. Tato volba byla motivována potřebou využít objektově orientovaného programování pro lepší strukturování a správu kódu. **C++** nám poskytuje nejen přenosnost a efektivitu, ale také rychlost, což je klíčové pro výpočetně náročné simulace.

Zvláštní důraz jsme kladli na využití knihovny **SIMLIB**, která se stala základním nástrojem pro jednoduchou implementaci simulačního modelu. **SIMLIB** nám nabízí širokou škálu prostředků pro efektivní práci s časovým řízením, frontami událostí a dalšími aspekty simulace.

Tato kombinace **C++** a **SIMLIB** nám umožňuje vytvořit robustní a flexibilní simulační model, který plně vyhovuje našim konkrétním potřebám. S tímto přístupem máme jistotu, že naše implementace je nejen účinná a přenositelná, ale také připravena na výzvy výzkumu v oblasti výroby ketchupu.

## 3 Výrobní proces a jeho údaje

### 3.1 Výrobní proces

Výroba ketchupu je komplexní proces, který začíná důkladnou kontrolou kvality surovin a končí balením finálního výrobku připraveného k distribuci. Tento proces zahrnuje několik klíčových kroků, které jsou nezbytné pro dosažení konzistentní kvality a chuti:

#### 3.1.1 Kontrola hustoty

Kontrola hustoty surovin je základním krokem pro zajištění kvality výrobního procesu ketchupu. Provedení této kontroly umožňuje pečlivé měření hustoty směsi surovin a zjišťování, zda odpovídá požadovaným standardům (například 95 %). Tato kontrola je nezbytná pro ujištění se, že kvalita a konzistence směsi jsou v souladu s požadavky výrobního procesu.

#### 3.1.2 Přesun do rezervoáru

Po úspěšné kontrole hustoty jsou suroviny přepraveny do rezervoáru. Tento krok zahrnuje přesun směsi do nádoby nebo prostoru, kde jsou suroviny shromážděny a připraveny k dalšímu zpracování. Rezervoár slouží jako sběrný bod pro suroviny, které budou použity pro výrobu ketchupu.

#### 3.1.3 Míchání ingrediencí

Jednou přeneseny do rezervoáru jsou suroviny důkladně smíchány. Tento krok je kritický pro dosažení homogenního směsi, kde jsou jednotlivé ingredience pečlivě kombinovány tak, aby vytvořily požadovanou texturu a chuť ketchupu.

#### 3.1.4 Náplň

Jakmile je směs surovin důkladně promíchána, je převedena do připravených obalů, jako jsou lahve, sáčky nebo sklenice. Tento krok zahrnuje naplnění hotové směsi do obalů, které budou později připraveny pro distribuci na trh.

### 3.1.5 Balení

Poslední fáze procesu je balení hotového ketchupu. Balení zahrnuje uzavření a označení obalů, aby byly připraveny k distribuci a prodeji. Tato fáze zajišťuje, že konečný výrobek je připravený k doručení zákazníkům a splňuje všechny standardy kvality a hygieny.

## 3.2 Důležité údaje

### 3.2.1 Rozdělení času

Jedním z klíčových faktorů efektivity ve výrobě ketchupu je časové rozložení jednotlivých fází procesu. Analýza časových nákladů na jednotlivé kroky výrobního procesu poskytuje cenné poznatky do optimalizace a efektivity výroby. Následující tabulka popisuje časy, které jsou alokovány na různé fáze výroby ketchupu.

Část výroby	činnost
Kontrola hustoty	15 min
Přesun do rezervoáru	exp 10 min
Přidávání ingrediencí	1 min
Míchání ingrediencí	30 min
Náplň	3 min

Figure 1: rozdělení času

### 3.2.2 Poruchy

Tato sekce prezentuje tabulku s pravděpodobností výskytu poruch v rámci výrobního procesu ketchupu. Tabulka poskytuje statistiky o pravděpodobnosti poruch v jednotlivých částech procesu a zpřístupňuje důležité údaje pro identifikaci klíčových oblastí s vyšší pravděpodobností poruch.

Typ poruchy	Šance poruchy
Kontrola hustoty	5 %
První pumpa se rozbila	9 %
Mixér se rozbil	6 %

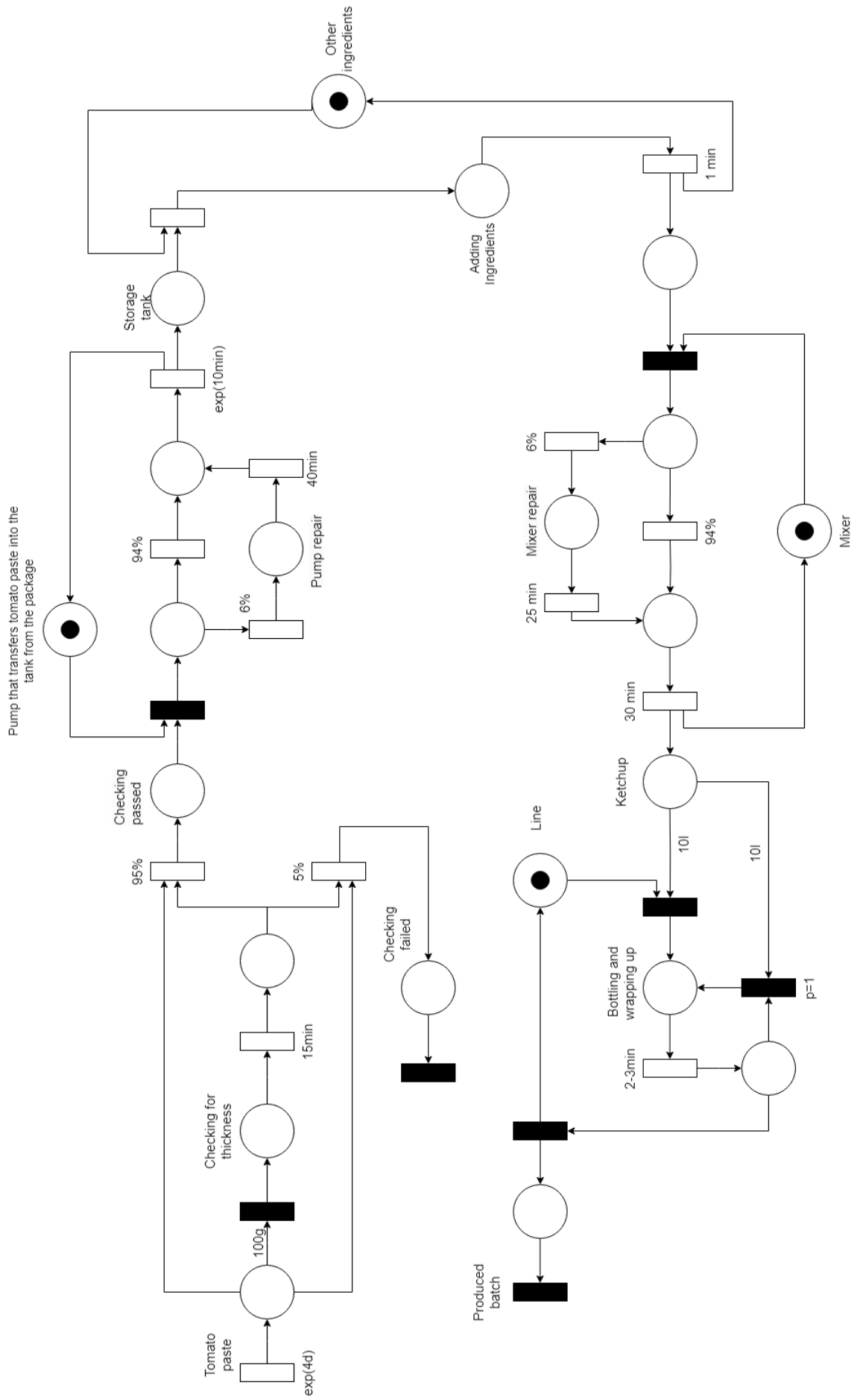
Figure 2: šance poruch

## 4 Koncepce

### 4.1 Petriho síť

Zde představujeme vlastní Petriho síť, která slouží jako model pro reprezentaci výrobního procesu ketchupu v naší analýze. Tato síť je navržena pro zachycení klíčových fází, přechodů a interakcí mezi jednotlivými kroky v procesu výroby ketchupu.

V našem modelu Petriho sítě se snažíme zahrnout všechny důležité aspekty výrobního procesu, od přípravy surovin až po balení finálního výrobku. Tato síť zobrazuje jednotlivé stavy systému, přechody mezi těmito stavy a synchronizaci událostí, které jsou klíčové pro efektivní a konzistentní výrobu ketchupu.



## 5 Popis procesu simulace

### 5.1 Popis implementace

Simulační model je vytvořen v jazyce C++ za využití knihovny SIMLIB [3], která poskytuje efektivní prostředky pro tvorbu simulačních modelů. Tento model vychází z konceptuálního rámce definovaného pomocí Petriho sítě, což umožňuje relativně snadné převedení do programové podoby.

Implementace programu zahrnuje parametrizaci specifických údajů v modelu. Tato flexibilita umožňuje provádění různých experimentů a získání odpovědí na klíčové otázky definované v úvodu práce. Parametrizace poskytuje možnost modifikovat různé prvky modelu, což je klíčové pro zkoumání různých scénářů a jejich vlivu na výrobní proces ketchupu.

### 5.2 Použití simulačního modelu

Pro každý údaj vyskytující se v modelu je nastavena nějaká výchozí hodnota. Vstupem programu jsou hodnoty, které si přejeme měnit a jsou tedy parametrizovány. Vstupy jsou tedy následující:

- -h: nápověda - možnost vytisknout tohle užití programem
- -a [amount]: vstupní hodnota, od 1000 do 7000
- -p [priority]: priorita, od 1 do 5
- -m [mode] : režim s poruchami nebo bez nich, 0 - bez, 1 - s poruchami. Tento parametr je volitelný, pokud jej ne zadáte, režim vždy selže

Příklad spuštění:

```
/ims -a 1000 -p 1 -m 0
```



## 6 Experimenty

Tato část prezentuje detailní popis experimentů provedených v rámci simulačního modelu výrobního procesu ketchupu. Každý experiment je navržen s cílem zkoumat určité aspekty výrobního procesu a jeho reakci na různé změny a scénáře.

Každý experiment se zaměřuje na konkrétní proměnné, které mohou ovlivnit efektivitu, produktivitu nebo kvalitu výrobního procesu ketchupu. Během těchto experimentů byla simulačním modelem prováděna opakovaná měření a testy s různými hodnotami parametrů, abychom porozuměli jejich vlivu na celkový proces.

### 6.1 Běžný provoz

Tento experiment vychází z běžného provozu výroby ketchupu, kde je priorita stanovena na 1 na 1000 kilogramů suroviny. Cílem tohoto experimentu je získat časová data potřebná k výrobě ketchupu v rámci této nastavené priority.

Výsledky tohoto experimentu budou porovnány s relevantními údaji získanými ze zdroje Statista.com [4]. Těmto údajům budeme přikládat hlavní důležitost, neboť slouží jako referenční bod pro porovnání a ověření správnosti výstupů našeho simulačního modelu.

Množství surovin	Doba výroby (min)
1000 kg	430,4
1500 kg	617,2
2000 kg	802,3
2500 kg	995,1
3000 kg	1184,9
3500 kg	1375,8
4000 kg	1565,9
4500 kg	1752,9
5000 kg	1942,7
5500 kg	2127,4

Figure 3: Běžný provoz tabulka

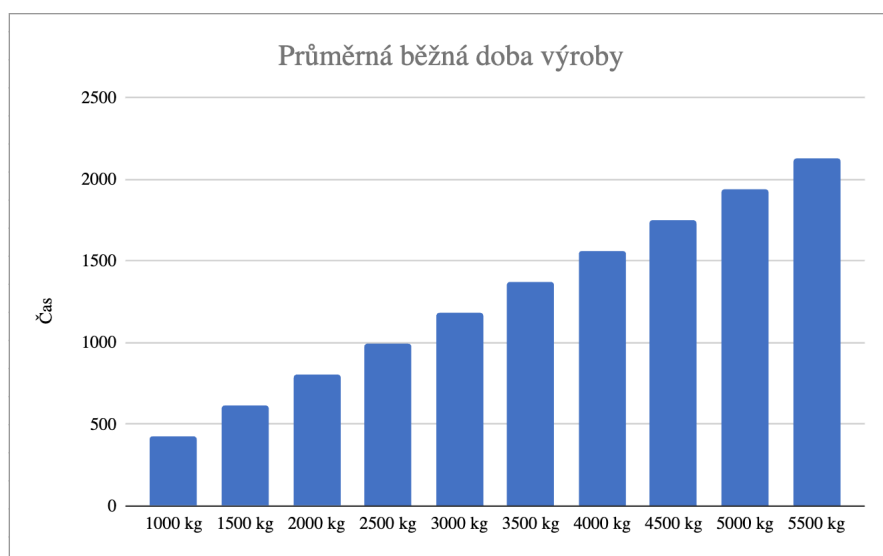


Figure 4: Běžný provoz graph

Závěr tohoto experimentu je značně důležitý: zjištění ukazuje, že se zvyšujícím se množstvím surovin roste i doba potřebná k výrobě ketchupu. Tato přímá souvislost mezi množstvím surovin a časem výroby má klíčový dopad na plánování a efektivitu výrobního procesu.

## 6.2 Zvýšení rychlosti výroby

Cílem tohoto experimentu bylo zkoumat, jaké má zvýšení priority výroby vliv na konečný čas potřebný k výrobě ketchupu. Zvýšení priority výroby znamená zkrácení doby výroby v závislosti na nastavené prioritizaci. Celková priorita v tomto experimentu byla zvýšena na pětinašobek původní hodnoty, konkrétně na hodnotu 5.

Tento experiment má za cíl kvantifikovat, jaké konkrétní úpravy priority mohou ovlivnit časovou efektivitu výrobního procesu ketchupu a jak se tato změna projeví ve srovnání s původními podmínkami výroby.

Množství surovin	Doba výroby (min) Priorita 1	Doba výroby (min) Priorita 5	Rozdíl v rychlosti
1000 kg	430,4	268,368	37,64%
1500 kg	617,2	380,186	38,40%
2000 kg	802,3	490,314	38,89%
2500 kg	995,1	608,099	38,89%
3000 kg	1184,9	722,89	38,99%
3500 kg	1375,8	838,816	39,03%
4000 kg	1565,9	953,872	39,08%
4500 kg	1752,9	1065,9	39,19%
5000 kg	1942,7	1180,73	39,22%
5500 kg	2127,4	1290,42	39,34%

Figure 5: zvýšená rychlost výroby tabulka

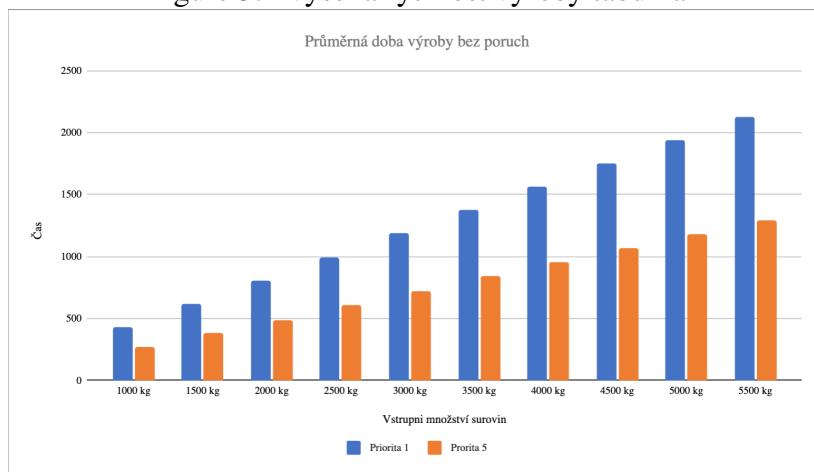


Figure 6: zvýšená rychlost výroby graph

Experiment ukázal, že s rostoucí prioritou výroby klesá doba potřebná k výrobě ketchupu. Tento výsledek nám naznačuje, že upravení prioritizace může efektivně zrychlit celý proces výroby. Tato zjištění mají potenciál vylepšit konkurenceschopnost a schopnost rychle reagovat na poptávku na trhu potravinářského průmyslu.

### 6.3 Pravděpodobnost poruchy pro různé priority

Pro zvýšení efektivity výrobního procesu ketchupu jsme provedli experiment, který analyzoval pravděpodobnost poruch pro různé úrovně prioritizace. Byla použita tabulková data 2. Tento experiment je založen na výpočtu pravděpodobnosti poruchy v závislosti na prioritě výroby. Cílem bylo kvantifikovat vliv jednotlivých priorit na pravděpodobnost výrobních poruch a poskytnout data pro lepší plánování a řízení výrobního procesu ketchupu.

*prior* – priorita výroby

*inputAmount* – vstupní množství surovin

$$result = 0.09 \times \left(1 + \frac{prior}{10}\right) \times \left(1 + \frac{inputAmount}{10000}\right) + 0.06 \times \left(1 + \frac{prior}{10}\right) \times \left(1 + \frac{inputAmount \times 1.5}{10000}\right)$$

Množství surovin	Priorita 1 možnost poruchy	Priorita 5 možnost poruchy
1000 kg	17,76%	24,21%
1500 kg	18,36%	25,04%
2000 kg	18,97%	25,86%
2500 kg	19,58%	26,70%
3000 kg	20,19%	27,53%
3500 kg	20,80%	28,36%
4000 kg	21,40%	29,19%
4500 kg	22,01%	30,01%
5000 kg	22,62%	30,84%
5500 kg	23,22%	31,67%

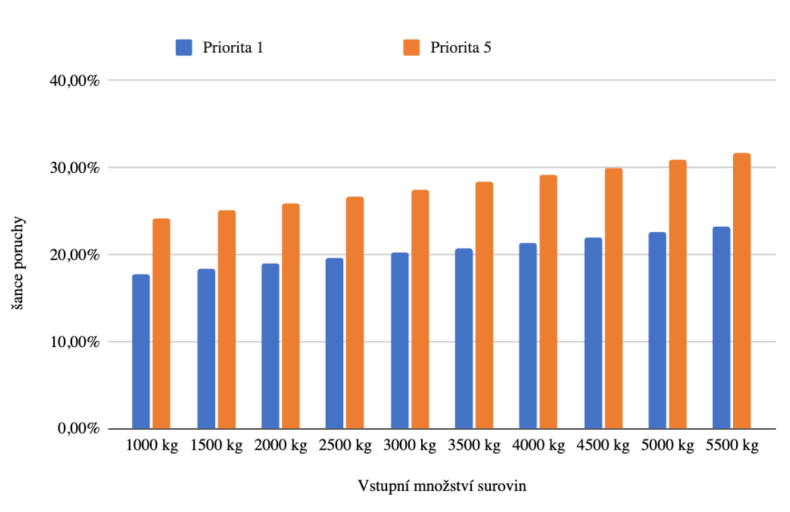


Figure 7: Pravděpodobnost poruchy tabulka

Figure 8: Pravděpodobnost poruchy graph

V našem výzkumném experimentu jsme zjistili, že s rostoucí prioritou výroby ketchupu stoupá pravděpodobnost výrobních poruch. Toto zjištění je klíčové, protože naznačuje, že výška priority má významný vliv na riziko výrobních poruch. To nám umožní přijímat preventivní opatření a zlepšit celkovou spolehlivost a výkonnost výrobního procesu ketchupu.

## 6.4 Vliv poruch na dobu výroby

Tento experiment zkoumá, jakým způsobem ovlivňuje počet poruch celkový výrobní proces, zejména pak dobu, kterou tento proces vyžaduje.

Cílem je analyzovat, jak se změny v počtu poruch promítají do celkové doby trvání výrobního procesu. Zajímá nás, jak se zvyšující se nebo klesající počet poruch projevuje na efektivitě výroby a jak tyto změny mohou ovlivnit celkovou časovou náročnost výroby ketchupu.

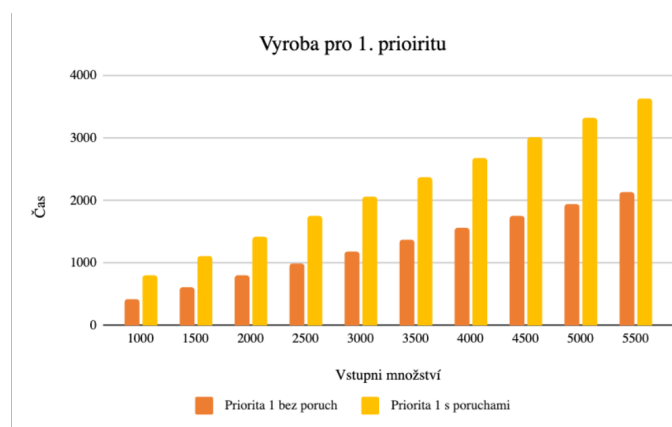


Figure 9: Vyroba pro 1. prioritu

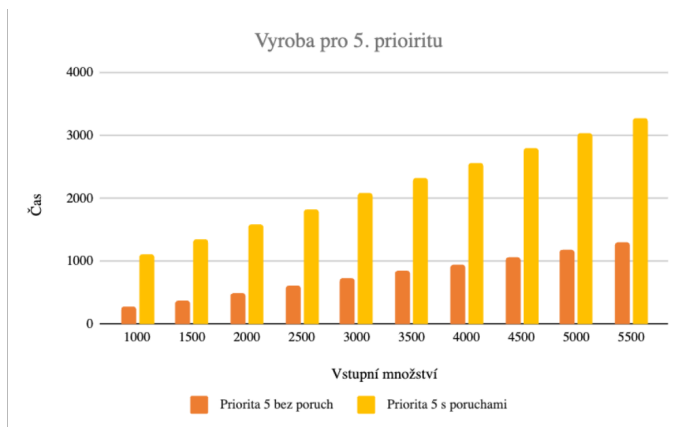


Figure 10: Vyroba pro 5. prioritu

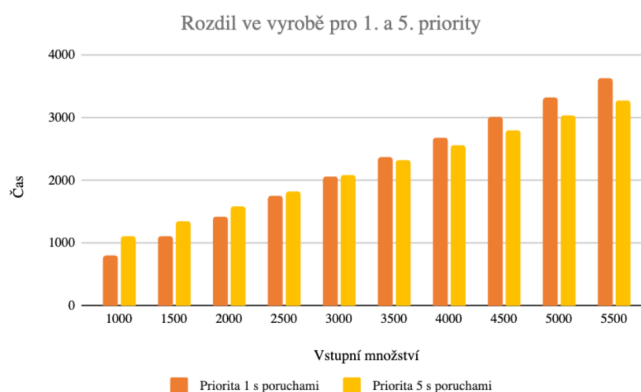


Figure 11: Rozdil ve výrobě pro 1. a 5. priority

V našem experimentu jsme zjistili zajímavou souvislost: s rostoucím objemem surovin se ukázalo jako výhodnější snížit prioritu výroby. Nižší priorita výroby znamená nižší pravděpodobnost výrobních poruch, což vede k celkovému snížení času potřebného k výrobě ketchupu. Tato zjištění podporují myšlenku, že při optimálním nastavení priority výroby lze dosáhnout efektivnějšího a stabilnějšího výrobního procesu.

## 6.5 Vliv poruch na zisk

Tento experiment se zaměřuje na analýzu dopadu výrobních poruch na celkový zisk potravinářského podniku, zejména v kontextu výrobního procesu ketchupu.

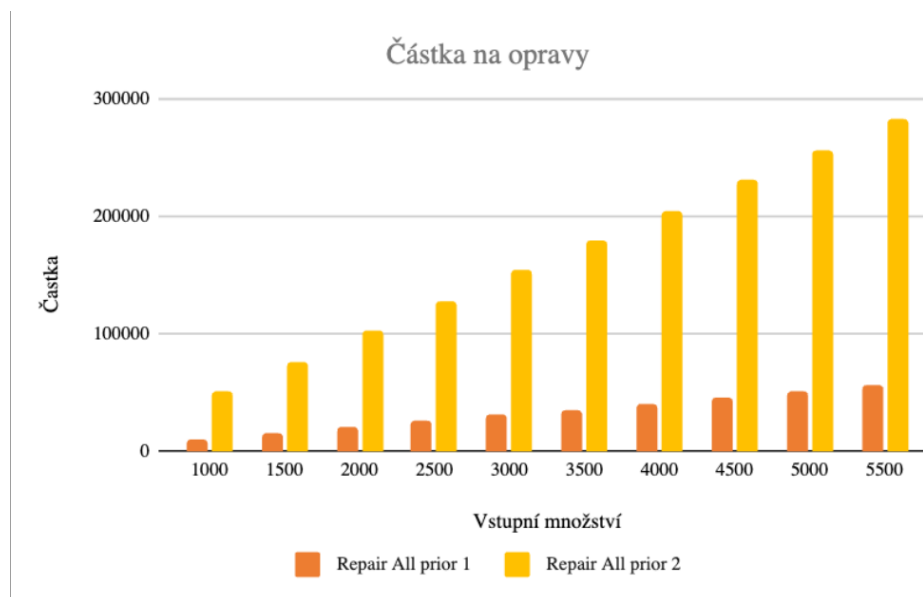


Figure 12: Částka na opravy

Výzkum naznačuje, že při nižší prioritě výroby jsou náklady na obnovu výrobního procesu nižší než při vyšší prioritě. To znamená, že při nižší prioritě, a tedy i nižší pravděpodobnosti poruch, jsou náklady na obnovu po poruše méně výrazné. Tato zjištění mohou být klíčová pro plánování a efektivní řízení výrobních procesů s cílem minimalizovat náklady a maximalizovat zisk.

## 7 Závěr

Náš model je překvapivě cenným nástrojem pro ty, kteří chtějí pochopit proces výroby jedné z nejoblíbenějších omáček na světě: kečupu. Ponořili jsme se hlouběji do tohoto tématu pomocí různých zdrojů, ale zvláštní pozornost jsme věnovali OTMA. Staly se klíčovým zdrojem cenných dat a praktických rad, které nám umožňují odhalit každý krok výroby kečupu v celé jeho komplexnosti. Odborné znalosti a zkušenosti společnosti OTMA vrhají světlo na klíčové výrobní kroky a pomáhají zdůraznit klíčové aspekty, které ovlivňují kvalitu a konečný produkt. S těmito informacemi jsme vytvořili robustnější a efektivnější design, který zahrnuje osvědčené postupy a inovace v kečupovém průmyslu.

## References

- [1] *Food Processing: Home*. URL: <https://www.foodprocessing.com/>. (accessed: 08.12.2023).
- [2] *Otma: Home*. URL: <https://otma.cz/>. (accessed: 08.12.2023).
- [3] *SIMLIB Home Page*. URL: <https://fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>. (accessed: 08.12.2023).
- [4] *Statista - The Statistics Portal for Market Data*. URL: <https://www.statista.com/>. (accessed: 08.12.2023).