

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



IMS - MODELOVÁNÍ A SIMULACE

2020/2021

Model a simulácia výroby piva

OBSAH

1. Úvod.....	3
1.1 Zdroje informácií.....	3
1.2 Overenie validity.....	3
2. Postup výroby.....	3
2.1 Model pivovaru.....	3
2.2 Suroviny.....	4
2.3 Jednotlivé procesy.....	4-5
2.4 Výsledný produkt.....	5
3. Konceptuálny model.....	6
4. Simulačný model.....	7
5. Simulačné experimenty.....	8
5.1 Referenčný experiment.....	8
5.2 Experimenty.....	9
5.3.1 Experiment 1 - optimálne množstvo sladu a chmeľu.....	9
5.3.2 Experiment 1 – overenie výsledkov.....	10
5.3.3 Experiment 1 – vyhodnotenie.....	11
5.4.1 Experiment 2 – zdvojnásobenie strojov s frontami.....	11
5.4.2 Experiment 2 – vyhodnotenie.....	12
6. Záver.....	12
Zdroje.....	12

1 Úvod

Táto technická správa vznikla ako dokumentácia projektu IMS Diskrétny model výrobného procesu (SHO). Zvolená téma je výroba piva v minipivovare BUCHVALD. V experimentoch ide o snahu zlepšiť výrobný proces vzhľadom na spotrebu surovín.

1.1 Zdroje informácií

Ako hlavný zdroj informácií sme použili pivovar BUCHVALD ktorý má na svojej stránke presne popísaný proces vyrábania ich piva podľa starého pivovarského zákona o čistote piva. Bohužiaľ sa nám nepodarilo získať presné údaje o objeme a preto sme pre účely projektu použili vymyslené vzorové hodnoty.

1.2 Overenie validity

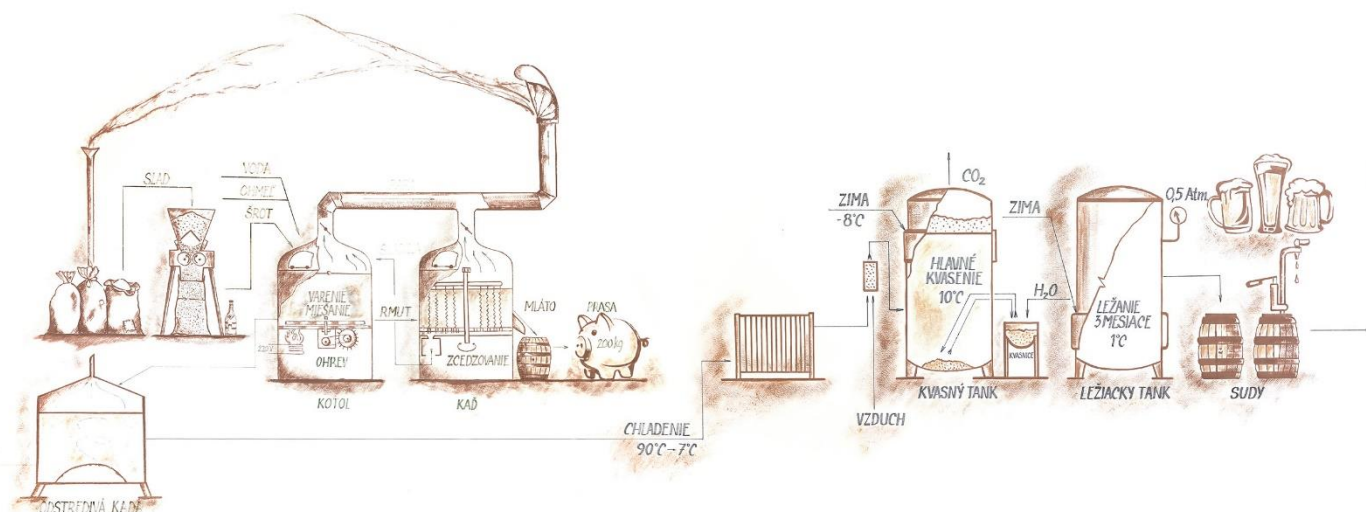
Overiť si validitu modelu sme bohužiaľ v tejto dobe nemohli osobne takže sme overovali len na základe informácií získaných z internetu.

2 Postup výroby

2.1 Model pivovaru

Model pivovaru sa skladá z nasledujúcich častí:

- Šrotovník na slad
- Kotel 800l
- Kaď 800l
- Mladinová pánev
- Odstredivá kaďa
- Kvasný tank 5x200l
- Ležiacky tank 6x500l



Model pivovaru (bez plničky fľaš) obr.1, zdroj [1]

2.2 Suroviny

Pivovar BUCHVALD používa klasickú techniku podľa starého pivovarského zákona o čistote piva (Reinheitsgebot z roku 1516), podľa ktorého sa pri výrobe piva používajú len 4 suroviny a to: voda, slad, chmeľ a pivovarské kvasnice. Pivo BUCHVALD sa varí klasickou pôvodnou metódou, bez pridania cukru, náhražiek, rôznych extraktov, umelého sýtenia CO2...

2.3 Jednotlivé procesy

Šrotovanie sladu

Šrotovanie je mechanické rozdrvenie jačmenného sladu na sladový šrot, a to tak aby bol čo najviac zachovaný obal zrna, ktorý potom slúži pri scedzovaní ako dôležitá filtračná vrstva. Šrotovanie prebieha pomocou profesionálneho mlynu na slad (Brouwland model 110.042.9) ktorý dokáže pomlieť pri maximálnom vyťažení 1000kg za hodinu.(zdroj [2])

Vystieranie

Nasleduje vystieranie, teda proces zmiešania sladu s vodou pri teplote 37°C. Dôkladným premiešaním sladu s vodou vzniká v kadi hustá kaša tzv. vystierka, ktorá sa v ďalšom procese nazýva ako rmut či dielo. Vystieranie prebieha v kotli kde sa na 100kg sypania použije 700l vody. Tento proces trvá asi 15 minút.

Rmutovanie

Ďalšou fázou je rmutovanie. Ide o proces, pri ktorom enzymatický komplex obsiahnutý v slade štiepi zložité polysacharidy (škroby) na zkvasiteľné cukry. My používame tradičný dvojrmutový spôsob. Postupne sa ohrievajú časti diela (rmuty) na vyššiu cukrotvornú teplotu, po dokonalom zcukrení sa privedú do varu, povaria a prečerpú k dielu. Na konci sa dosiahne teplota celého diela 75 až 78°C. Proces rmutovania trvá cca 4,5 hod. a po jeho ukončení sa zaradí 30 min. odpočinok po ktorom sa roztok presunie do scedovacej kade kde nastáva scedzovanie.

Scedzovanie

Pri následnom scedzovaní dochádza v scedovacej kadi k oddeleniu kvapalnej časti diela od pevných zvyškov sladu – tzv. sladového mláta, ktoré používame pre kŕmenie dobytká. Výsledkom scedzovania, ktoré trvá cca 3,5 hod je sladina, číry roztok sladkej chuti.

Chmelovar

Povarením sladiny s chmeľom, ktorý pridávame na 3 krát v mladinovej páni počas doby 120 minút sa uvoľňujú horké látky chmeľu do roztoku a výsledkom je horúca mladina.

Schladzovanie

Mladina je schladená v jednostupňovom doskovom chladiči na zákvasnú teplotu 8-10°C. Počas schladzovania dochádza k sýteniu už zachladenej mladiny sterilným vzduchom. Na chladenie sa používa chladič SWEP E8LASHx50 ktorý dokáže schladiť 400litrov za hodinu.(zdroj[4])

Kvasenie

K zchladenej a prevzdušnenej mladine sa pridajú pivovarské kvasnice a nastáva proces kvasenia, kde sa postupne znižuje teplota a na konci procesu sa odpustia kvasnice. U nás proces kvasenia trvá cca 12 dní. Počas kvasenia dochádza k premene zkvasiteľných cukrov na alkohol a CO₂. Po ukončení procesu sa pivo zchladí a nastáva proces ležania. U nás používame klasický, tradičný dvojfázový postup kvasenia a ležania, kde pivo kvasí v jednom tanku a po prekvasení ho pretlačíme do druhého ležiackeho tanku.

Ležanie – dozrievanie

Ležanie – dozrievanie piva je u nás pri hradiacom tlaku 0,8-0,9 baru a teplote okolo 1 až 2°C. Celková doba je u nás cca 12 týždňov. Pri tejto teplote sa pivo sýti prirodzeným CO₂ a zaokrúhľuje sa jeho chuť.

Stáčanie piva

Hotové odležané pivo sa stočí do KEG sudov, ktoré sa umiestnia do chladiaceho boxu, kde je udržiavaná teplota do 2°C, kde ďalej oddychuje a čaká na expedíciu k naším odberateľom.

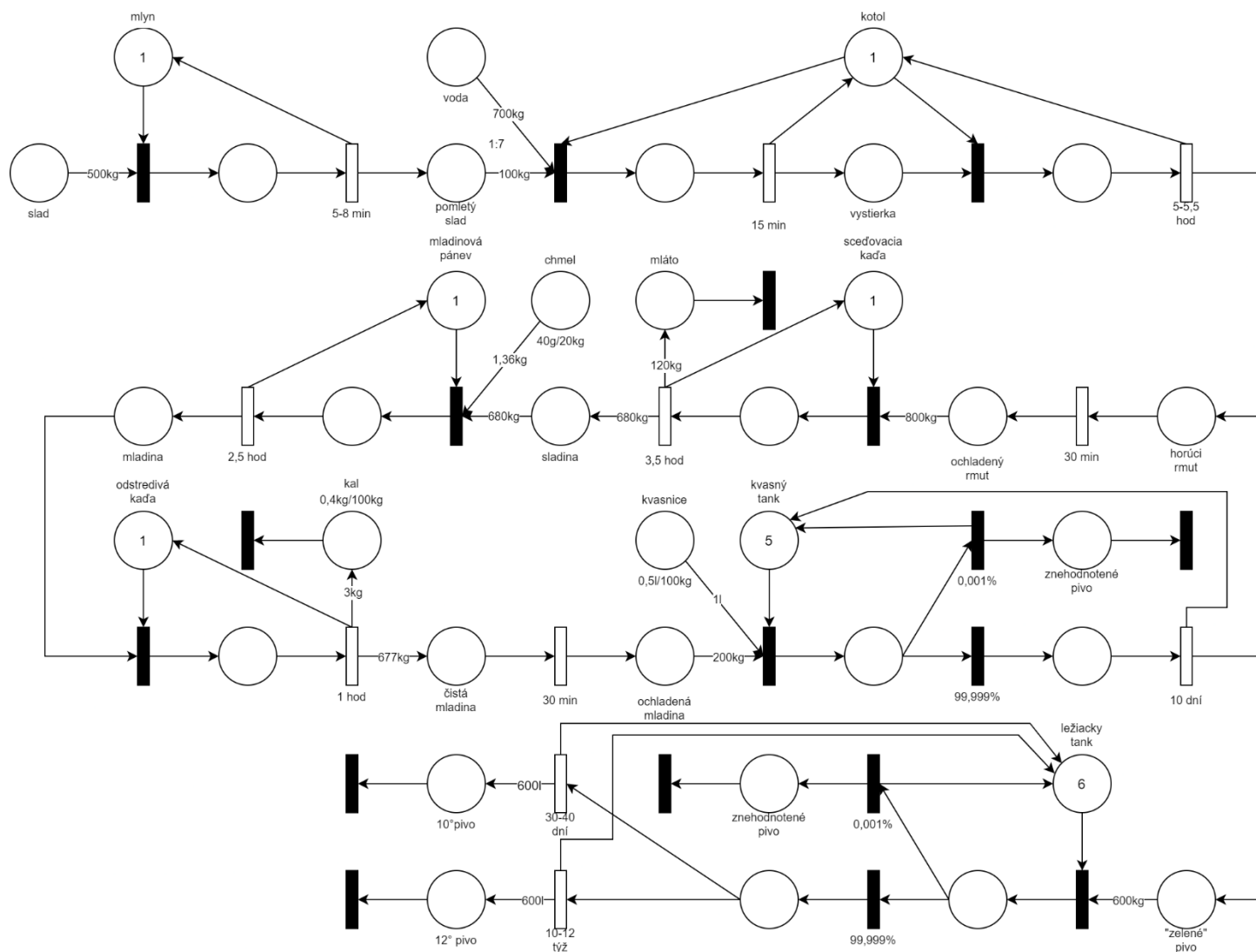
2.4 Výsledný produkt

Výsledný produkt je nepasterizované a nefiltrované pivo bez akýchkoľvek prídavných látok s obsahom alkoholu závisiacom na druhu piva:

- a) 12° - obsah alkoholu 4,7% doba ležania 70 až 75 dní
- b) 10° - obsah alkoholu 3,8% doba ležania 30 až 35 dní

3. Konceptuálny model

K popisu konceptuálneho modelu sme vytvorili Petriho sieť na obrázku nižšie. V tomto modeli je popísaný celý výrobný proces piva. Popísané sú vstupné suroviny, zariadenia, medziprodukty a odpad. Vzhľadom na zariadenia je možné tento model rozdeliť na jednotlivé fázy, podľa ktorých sme vytvárali simulačný model.



4. Simulačný model

Simulácia začína eventom Start kde sa skontroluje obsadenosť kvasného tanku. Ak je aspoň jeden kvasný tank prázdny a váha dostupného sladu je aspoň 100kg začne sa proces Slad. Tento event sa opakuje každú hodinu.

Proces Slad vstúpi do zariadenia Mlyn a simuluje pomletie 100kg sladu za 5 až 8 minút a následne spolu so 700l vody vloží pomletý slad do zariadenia Kotel kde sa bude miešať a zohrievať 15 minút. Po tomto čase proces opúšťa zariadenie Kotel a spúšťa proces Rmutovanie.

V procese Rmutovanie sa 800kg vystierky varí 5 až 5,5 hodiny v zariadení Kotel a následne je aktivovaný proces Scedzovanie.

Proces Scedzovanie naprv čaká 30 minút na ochladenie rmutu o hmotnosti 800kg. Následne vstupuje do zariadenia S_kad, scedzovacej kade, na 3 a pol hodiny. Po uplynutí tohto času sa povodný materiál rozdelí na 120kg vedľajšieho produktu – mláta a 680kg sladiny, ktorá sa ďalej symbolicky presunie do procesu Chmelovar.

V procese Chmelovar sa najprv skontroluje dostupnosť chmelu. Ak je ho nedostatok, proces sa ukončí a tento nedostatok sa signalizuje. Ak je ho dostatok, 1,36kg sa odpočíta a proces vstúpi do zariadenia Panev, kde sa varí 2 a pol hodiny. Po uplynutí tohto času vytvára nový proces Chladenie a opúšťa Panev .

Pri spustení proces Chladenie najprv vstúpi do zariadenie O_kad, odstredivej kade, kde sa odflitruje 3kg kalu, čo trvá 1 hodinu. Následne sa čaká 30 minút na ochladenie mladiny, ktorá je potom po 200kg častiach rozdelená do procesov Kvasenie.

Proces Kvasenie simuluje kvasenie piva v tanku KV_tank s kapacitou 200kg po dobu 10 dní. Počas týchto dní je šanca že sa do tanku dostala nežiadúca kontaminácia a znehodnotila jeho obsah. V tomto prípade sa proces ukončí a započíta sa stratené pivo. Ak pivo úspešne vykvasí, proces sa pokúsi naplniť ležiacky tank 600kg zeleného piva a vytvorí proces Kvasenie. Ak je ale nedostatok zeleného piva, proces túto úlohu prenechá neskoršiemu procesu Kvasenie.

Posledným krokom výroby je ležanie piva simulované v procese Ležanie. Proces sa začína vstupom do zariadenia LZ_tank, kde strávi podľa typu vyrábaného piva buď 30 až 40 dní pre 10° pivo alebo 10 až 12 týždňov pre 12° ležiak. Počas tejto doby je tiež možná kontaminácia, rovnako ako v procese Kvasenie. Po úspešnom ležaní sa pripočíta výsledné množstvo piva, zaznamená sa čas ukončenia a týmto sa výrobný proces končí.

5. Simulačné experimenty

5.1 Referenčný experiment

Referenčný experiment bol spustený so základnými nastaveniami teda 2400kg sladu (200kg*12 mesiacov) a 60kg chmelu (5kg*12 mesiacov) a reálnym počtom jednotlivých zariadení v pivovare BUCHVALD.

Spotrebované suroviny:

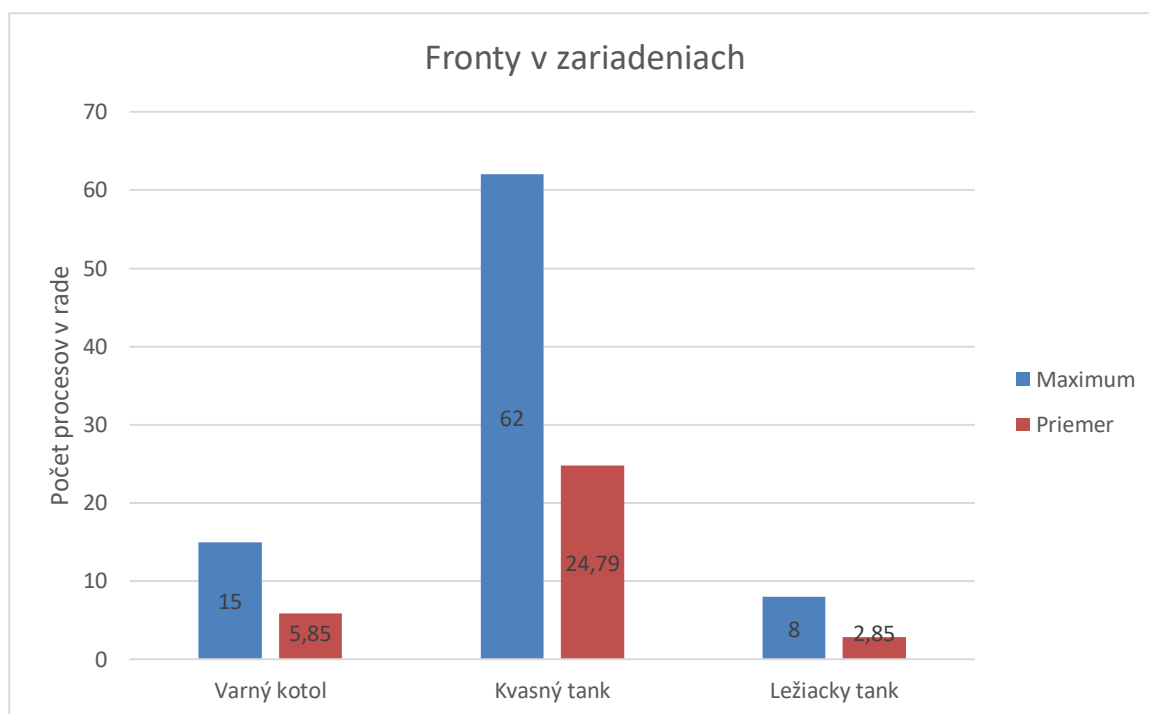
Názov	Počet
Slad	2400 kg
Chmeľ	32.64 kg
Voda	16800 l
Kvasnice	81 kg

Medziprodukty a odpad:

Názov	Váha/kg
Mláto	2880
Kal	72kg
Pokazený slad	0
Kontaminované pivo	0

Vyrobené pivo:

Typ	Objem/l
Výčapná 10°	8400
Ležiak 12°	7800



5.2 Experimenty

Cieľom prvého experimentu bolo zistiť optimálne množstvo sladu a chmeľu na rok tak aby linka bežala na plnú kapacitu po dobu jedného roku a žiadny slad ani chmeľ na konci roka nevystával. V druhom experimente sme zisťovali k koľko sa skrátí čas výroby piva pri rovnakom množstve surovín ak zdvojnásobíme počet všetkých strojov.

5.3.1 Experiment 1 – optimálne množstvo sladu a chmeľu

Na tento experiment sme využili skutočnosť že náš simulátor zisťuje spotrebu chmeľu a sladu. Na zistenie optimálnych hodnôt sme teda potrebovali prekročiť tieto hodnoty a tak sme nastavili množstvo chmeľu 2krát vyššie ako normálne teda 120kg a množstvo sladu 5krát vyššie ako normálne teda 12000kg. Výsledky pri 120kg chmeľu a 12000kg sladu:

Spotrebované suroviny:

Názov	Počet
Slad	6200 kg
Chmeľ	84.32 kg
Voda	43400 l
Kvasnice	210 l

Medziprodukty a odpad:

Názov	Váha/kg
Mláto	7440
Kal	186
Pokazený slad	0
Kontaminované pivo	0

Vyrobené pivo:

Typ	Objem/l
Výčapná 10°	10200
Ležiak 12°	8400

Z výsledkov sme zistili že sa spotrebovalo iba 6200 kg z 12000 kg Sladu a 84.32 kg zo 120 kg chmeľu takže sme prekročili optimálne hodnoty. Ďalej sme teda tieto hodnoty zadali do simulátoru aby sme overili správnosť výsledkov.

5.3.3 Experiment 1 – overenie výsledkov

Pre overenie výsledkov sme spustili simulátor s hodnotou chmeľu 84.32 a hodnotou sladu 6200. Výsledky:

Spotrebované suroviny:

Názov	Počet
Slad	6200 kg
Chmeľ	84.32 kg
Voda	43400 l
Kvasnice	210 l

Medziprodukty a odpad:

Názov	Váha/kg
Mláto	7440
Kal	186
Pokazený slad	0
Kontaminované pivo	0

Vyrobené pivo:

Typ	Objem/l
Výčapná 10°	10200
Ležiak 12°	8400

Keďže je objem vyrobeného piva rovnaký ako pri experimente môžeme povedať že výsledky sú správne.

5.3.4 Experiment 1 – vyhodnotenie

Optimálne množstvo dodaného chmeľu a slad na to aby linka bežala 12 mesiacov na plnú kapacitu je: Chmeľ-84.32 kg , Slad-6200kg.

5.4.1 Experiment 2 – zdvojnásobenie strojov s frontami

V tomto experimente sme dvojnásobne zvýšili počet strojov ktoré vytvárajú fronty na základe údajov z referenčného experimentu. Zisťovali sme ako sa zmení čas výroby takého istého objemu piva oproti referenčnému experimentu.

Spotrebované suroviny:

Názov	Počet
Slad	2400 kg
Chmeľ	32.64 kg
Voda	16800 l
Kvasnice	81 kg

Medziprodukty a odpad:

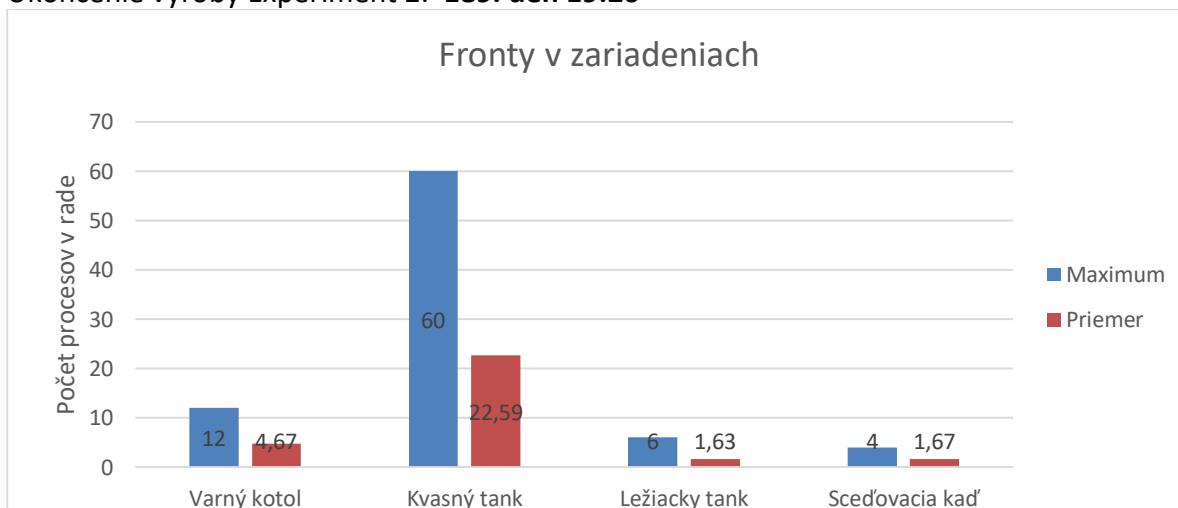
Názov	Váha/kg
Mláto	2880
Kal	72kg
Pokazený slad	0
Kontaminované pivo	0

Vyrobené pivo:

Typ	Objem/l
Výčapná 10°	8400
Ležiak 12°	7800

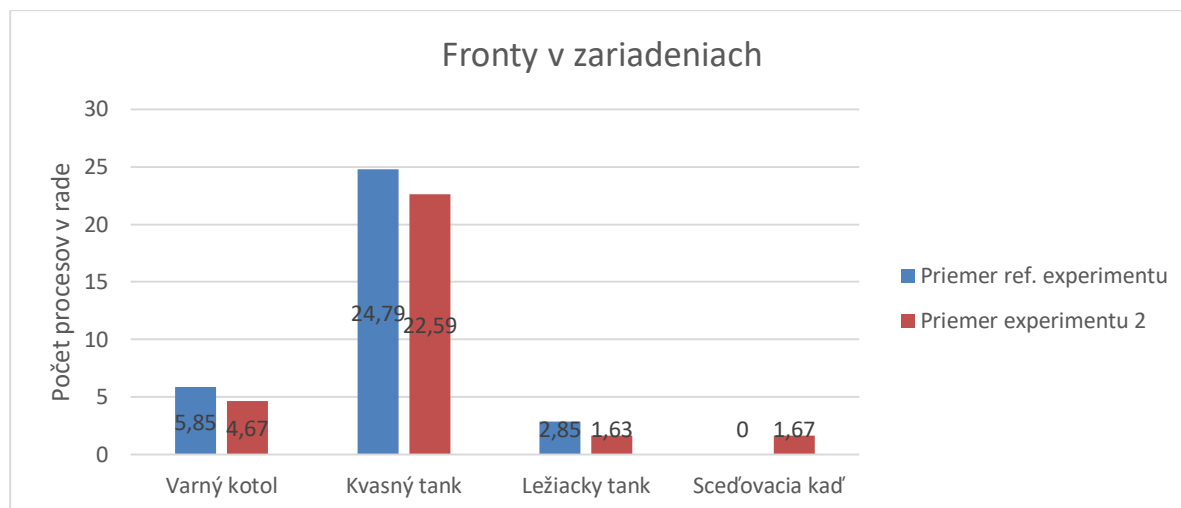
Ukončenie výroby Referenčný experiment : **315. deň 14:46**

Ukončenie výroby Experiment 2: **189. deň 19:26**



5.4.2 Experiment 2 – vyhodnotenie

Z tohto experimentu sme zistili že zdvojnásobenie strojov Varný kotol, Kvasný tank a Ležiacky tank zrýchli proces výroby o viac ako **125 dní**. Zníži sa aj ich priemerná dĺžka fronty ale na Scedovacej kadi sa vytvorí malá priemerná fronta ktorá pri referenčnom experimente nebola.



6. Záver

V tomto projekte sme vytvorili model minipivovaru. Jeho validitu sme bohužiaľ nedokázali overiť na 100% nakoľko sme nemali presné údaje z konkrétneho pivovaru ale len dáta uvedené na rôznych stránkach. Zistili sme že najväčšie problémy vo výrobe tvoria posledné dva procesy ktoré zaberajú veľa času a preto ani vyšší počet Kvasných a Ležiackých tanku ktoré majú k dispozícii v pivovare BUCHVALD nestačí nato aby sa netvorili fronty pred týmito zariadeniami. Vlastným experimentom sme zistili že nato aby sa netvorili fronty pred Kvasným tankom by bolo potreba viac ako 60 týchto zariadení. Avšak pomocou nášho druhého experimentu sme zistili že zdvojnásobenie problémových zariadení rapídne zrýchli proces výroby.

Zdroje:

- 1: <https://www.buchvald.sk/postup-pri-vyrobe-piva/>
- 2: <https://www.farmarik.sk/p/2834/mlyn-na-slad-1000-kgh-380v-40kw?pp=2f55707d>
- 3: <https://www.electronic-star.sk/Domacnost/Male-kuchynske-spotrebice/Domace-pivovary/Mundschenk-3XL-sladovy-kotol.html>
- 4: <https://www.vymeniky-tepla.cz/sk/doskovy-chladic-mladiny/>
- 5: <https://siov.sk/wp-content/uploads/2020/04/Kvasn%C3%A9-technol%C3%B3gie-v%C3%BDroba-piva.pdf>
- 6: <https://vintoperk.estranky.sk/clanky/o-pive/vyroba-piva.html>
- 7: <https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>