

**České vysoké učení technické v Praze**  
**Fakulta strojní**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2016**

**Bc. MICHAL PETROV**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Ústav procesní a zpracovatelské techniky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**OPTIMALIZACE LINKY NA PLNĚNÍ SUDŮ**

**Autor:** Bc. Michal Petrov

**Studijní obor:** Procesní inženýrství

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Pavel Hoffman, CSc.

**Praha 2016**

Vysoká škola:  
Ústav:

ČVUT v Praze  
12118

Fakulta:  
Akademický rok:

strojn  
2015/2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

*pro* **Bc. Michal PETROV**

*program* N2301 Strojní inženýrství

*obor* 3909T012 Procesní technika

*název česky:* **Optimalizace linky na plnění sudů**

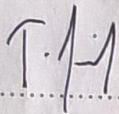
*název anglicky:* **Optimization of line for kegs filling**

*Zásady pro vypracování*

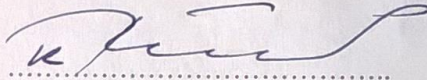
### **Zadání:**

- Vypracujte literární rešerši se zaměřením na výrobu piva a problematiku stáčení.
- Popište operace a zařízení, které jsou používány při plnění KEGů.
- Popište řešenou linku a specifikujte její nedostatky.
- Navrhněte varianty způsobů odstranění těchto nedostatků u linky, zpracujte potřebné podklady pro jejich realizaci.
- Posuďte tato opatření z hlediska technologických i ekonomických přínosů.

*Rozsah grafických prací:* dle potřeby.  
*Rozsah průvodní zprávy:* dle bodů v zadání práce.  
*Seznam odborné literatury:* dle doporučení vedoucího práce a vlastní rešerše.  
*Vedoucí diplomové práce:* doc. Ing. Pavel Hoffman, CSc.  
*Konzultant diplomové práce:* Jakub Novotný  
*Datum zadání diplomové práce:* 30. října 2015  
*Termín odevzdání diplomové práce:* 15. ledna 2016

  
.....  
prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.  
vedoucí ústavu



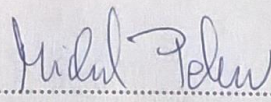
  
.....  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
děkan fakulty

V Praze dne 29. října 2015

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

*Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.*

Zadání diplomové práce převzal dne:

  
.....  
Bc. Michal Petrov

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze zdroje a podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 15. 1. 2016

.....

Bc. Michal Petrov

## **Poděkování**

Rád bych zde poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Pavlu Hoffmanovi, CSc. za odborné vedení a podnětné příspěvky, které vedly k vypracování této diplomové práce. Zároveň si zaslouží mé poděkování konzultant této práce Jakub Novotný za společnost PPAS, Pivovar Velké Popovice.

# Anotační list

**Jméno autora:** Michal

**Příjmení autora:** Petrov

**Název práce česky:** Optimalizace linky na plnění sudů

**Název práce anglicky:** Optimization of line for kegs filling

**Rozsah práce:**

- počet stran: 62
- počet obrázků: 34
- počet tabulek: 11
- počet příloh: 7

**Akademický rok:** 2015/2016

**Jazyk práce:** Čeština

**Ústav:** Procesní a zpracovatelská technika

**Studijní program:** Strojní inženýrství

**Vedoucí práce:** doc.Ing. Pavel Hoffman, CSc.

**Oponent práce:** Ing. Jozef Špirko

**Konzultant práce:** Jakub Novotný

**Zadavatel:** PPAS, Plzeňský Prazdroj, Pivovar Velké Popovice

**Klíčová slova:** KEG sud, předmytí, hlavní mytí, plnění, objem, pivo.

**Keywords:** KEG, pre-washing, major washing, filling, volume, beer.

**Využití:** Navýšení kapacity linky na stáčení sudů v Pivovaru Velké Popovice, a to o 9,1%. Ve výsledku toto navýšení činí přibližně 65000 hl stočeného piva ročně.

**Anotace:** Úkolem této diplomové práce bylo provést optimalizaci linky na plnění sudů. Z experimentálních dat byl vyhodnocen stávající stav stáček linky a následně hledána možnost urychlení a zároveň udržení kvality mytí a stáčení na kegové lince. Teoretická část obsahuje základní informace o výrobě piva a jeho základních surovinách. Cílem rešerše bylo uvést produkt a jeho výrobu, protože samotný produkt má velký vliv na stáčení. Dále jsem se v teoretické části zabýval problematikou stáčení do KEG sudů. V praktické části práce je popsáno, kterým směrem by bylo vhodné se ubírat při optimalizaci, jakými způsoby se dá resp. nedá optimalizovat tato linka, kde byly nalezeny rezervy a které z nich se dají či nedají využít. Dále jsem se zabýval nastaveným programem pro mytí dlouho deponovaných sudů, rozdělení programů je pak zmíněno i v teoretické části.

**Abstract:** The task of the thesis was to optimize the line for filling KEGs. From the experimental data was assessed the current state of the line and searching the possibility of speeding but keeping the quality of washing and filling on keg line. Theoretical part contains basic information about production of beer and its basic raw materials. The task of recherche was to introduce the product and its production, because the product has a great influence for filling. Then I was in the theoretical part dealt with the issue of filling KEGs. The practical part describes the direction in which it would be appropriate to proceed in optimization, the ways if we can or can't optimize this line, where we find the reserves and what we can or can't to use. Then I was set the program for washing of long deposited KEGs, the distribution of programs is in the theoretical part too.



# Obsah

1. ÚVOD .....	12
2. REŠERŠE.....	13
2.1 Ječmen .....	13
2.1.1 Růst a pěstování jarního ječmene .....	13
2.1.2 Vlastnosti sladovnického ječmene .....	13
2.1.3 Příprava a příjem ječmene ke sladování.....	14
2.1.3.1 Příjem ječmene na sladovně.....	14
2.1.3.2 Dopravní zařízení:.....	14
2.1.3.3 Čištění, třídění a odprašování ječmene .....	15
2.1.3.4 Sušení a skladování ječmene .....	15
2.2 Slad .....	16
2.2.1 Máčení .....	16
2.2.2 Klíčení.....	16
2.2.3 Hvozdění .....	17
2.3 Varní voda.....	19
2.3.1 Úprava spodních vod .....	19
2.3.2 Úprava povrchových vod .....	20
2.3.2.1 Odstranění tuhých nečistot.....	20
2.3.2.2 Koagulace .....	20
2.3.2.3 Sedimentace .....	20
2.3.2.4 Filtrace .....	20
2.3.2.5 Zajištění mikrobiologické nezávadnosti pitné vody .....	20
2.3.3 Tvrdost vody .....	21
2.4 Výroba piva.....	21
2.4.1 Čištění a šrotování sladu.....	21
2.4.2 Vystírání a rmutování .....	23

2.4.3	Scezování .....	23
2.4.4	Chmelovar.....	23
2.4.5	Mladinová pánev .....	23
2.4.6	Vířivá kád' .....	24
2.4.7	CKT .....	24
2.4.8	Filtrace .....	24
2.4.8.1	Membránová filtrace .....	25
2.4.8.2	Křemelinová filtrace .....	26
2.5	Stáčení piva do sudů .....	26
2.5.1	Historie stáčení sudového piva.....	26
2.5.2	KEG sud .....	26
2.5.3	Mytí a plnění KEG sudů.....	28
2.5.3.1	Operace probíhající při mytí a plnění KEG sudů.....	28
2.5.3.2	Linka na mytí, sterilizaci a stáčení sudů .....	29
3.	POPIS EXPERIMENTU .....	32
3.1	Schéma KEG linky PVP .....	32
3.2	Optimalizace času mytí.....	33
3.2.1	Předmytí .....	33
3.2.1.1	Analýza procesu předmytí .....	33
3.2.1.2	Výpočet chyby procesu předmytí .....	34
3.2.2	Hlavní mytí.....	34
3.2.2.1	Analýza procesu hlavního mytí .....	35
3.2.2.2	Návrh optimalizace času hlavního mytí.....	36
3.2.2.3	Výpočet chyby procesu hlavního mytí .....	37
3.3	Dopravníky .....	37
3.3.1	Akumulace dopravníků .....	38
3.3.2	Rychlost dopravníků .....	39
3.4	Optimalizace plnění dle typu sudů.....	40

3.4.1	Analýza procesu plnění.....	40
3.4.2	Časy plnění.....	40
3.4.3	Objemy plnění .....	42
3.4.3.1	Problematika plnění modulu 1 .....	43
3.4.4	Srovnání objemů plnění dle jednotlivých závodů PPAS .....	44
3.4.5	Optimalizace plnění pomocí chlazení sudů .....	45
3.4.5.1	Přínos chlazení .....	45
3.4.5.2	Chlazení CO <sub>2</sub> .....	47
3.4.6	Optimalizace plnění sudů .....	49
3.4.7	Chod jednotlivých ventilů plnění .....	49
3.4.8	Nové plnicí hlavy.....	50
3.5	SMED analýzy .....	51
3.6	Kondenzát v sudech .....	52
3.6.1	Vyhodnocení zbytkového kondenzátu v sudech dle typu sudů .....	52
3.7	Průběh teploty plnění .....	54
3.7.1	Monitorování teploty při plnění sudu .....	54
3.8	Mytí dlouho deponovaných sudů.....	55
4.	ZÁVĚR.....	57
	SYMBOLY.....	58
	LITERATURA .....	60
	PŘÍLOHY .....	62

# 1. ÚVOD

Cílem této diplomové práce bylo optimalizovat linku KEG sudů. Provedení revize algoritmu mytí a plnění sudů dle jejich typu. Ideální (teoretický) stav, který by po optimalizaci mohl nastat je, že sudy se budou plnit do přesně stanoveného objemu, intenzifikace mytí se zachová nebolepší. Dále by mohla narůst kapacita linky KEG v pivovaru Velké Popovice, a to o 9,1%. To znamená z 330 sudů/hod na 360 sudů/hod. Ve výsledku toto navýšení činí přibližně 65000 hl stočeného piva ročně.

V části optimalizace časů mytí bylo provedeno zjištění aktuálního stavu linky. Chody jednotlivých hlav, hledání úspory času a zároveň řešení urychlení dopravníků, které dodávají sudy z předmytí na moduly hlavního mytí.

V následující části plnění sudů už byla řešena problematika pouze naplněného objemu piva do jednotlivých typů sudů. Dále zde bylo provedeno porovnání plnění sudů mezi jednotlivými pivovary PPAS. Chlazení byla další část kapitoly a byly zde položeny základní otázky, Má to smysl? Je možné dosáhnout požadovaných parametrů? Čím chladit? A hlavně, jak?

Pokud se zaměříme na analýzy SMED, je to simulace chodu linky po různých optimalizacích a je možné si tak ověřit, jak by linka vypadala po různých zásazích do programu řízení. Hlavně, jak optimalizovat na náš požadovaný konečný stav chodu linky KEG.

Zbytkový kondenzát v sudech byl měřen z důvodu zjištění váhy sudů, aby nebyl zanedbán rozdíl a tím se zpřesnil výpočet objemů plnění. Zároveň tato analýza nebyla provedena 8 let.

Dále byl proměřen průběh teplot při plnění. Tyto hodnoty jsou nápomocny k další optimalizaci a stanoveným cílům.

## 2. REŠERŠE

Rešerše je zaměřena na literaturu popisující výrobu piva, jeho surovin a problematiku stáčení sudového piva. K těmto informacím byla použita literatura pivovarnictví. Všechny tyto knihy jsou uvedeny v použité literatuře.

### 2.1 Ječmen

#### 2.1.1 Růst a pěstování jarního ječmene

„Růst a vývoj rostliny ječmene je složitý, jehož cílem je zachování druhu, tj. vytvoření životaschopného potomstva. V průběhu životního cyklu (ontogeneze), tj. od nabobtnání a vyklíčení obilky až do vytvoření nových obilek, prochází rostlina ječmene mnoha růstovými a vývojovými fázemi, které jsou založeny geneticky a ovlivňovány podmínkami stanoviště (kvalita půdy, průběh počasí, zapojení rostliny v prostoru, hnojení, ošetřování rostlin v průběhu vegetace atd.).“ [2]

V rostlinářství existují makrofenologické stupnice, podle kterých rostlináři poznají v jaké růstové, či vývojové fázi se ječmen nachází, aby ovlivnili množství pesticidů či nebezpečí napadení rostliny škodlivými vlivy. Mezi tyto růstové stupnice patří např.:

- Feeksova z roku 1941 (dnes méně využívána)
- Haunova z roku 1973 (základní jednotkou je list)
- Zadoksova z roku 1974 (založena na dekadickém kódu – popisuje všechny fáze růstu)
- Mezinárodní makrofenologická stupnice z roku 1989 (vychází ze Zadoksovy stupnice)
- Mikrofenologická stupnice (popis etap organogeneze => vývoje vzrostného vrcholu)

Ječmen prochází dvěma obdobími: vegetativním, ve kterém rostlině rostou vegetativní orgány, tj. kořeny, stéblo, listy a obdobím generativním, kdy se rostlině vytvářejí rozmnožovací orgány a její závěrečnou fází je vytvoření nové obilky.

#### 2.1.2 Vlastnosti sladovnického ječmene

Nejdůležitější vlastnosti, které se zkoumají při příjmu ječmene do sladovny, jsou:

- Obsah vody
- Obsah bílkovin
- Klíčivost
- Třída ječmene
- Dodávka nesmí být napadena škůdci a musí ji tvořit jedna odrůda ječmene

- Musí splňovat podmínky zdravotní nezávadnosti a hygieny

Dále můžeme určovat subjektivní znaky ječmene (tvar a velikost zrna, jemnost, barva aj.), mechanické a fyzikální vlastnosti (podíl hmotnosti zrna a odpadu, moučnatost, třídění jakosti atd.), fyziologické vlastnosti (klíčivost a klíčivá energie), chemické složení ječmene (jako je škrob, bílkoviny, lipidy atd.) a odrůdová čistota.

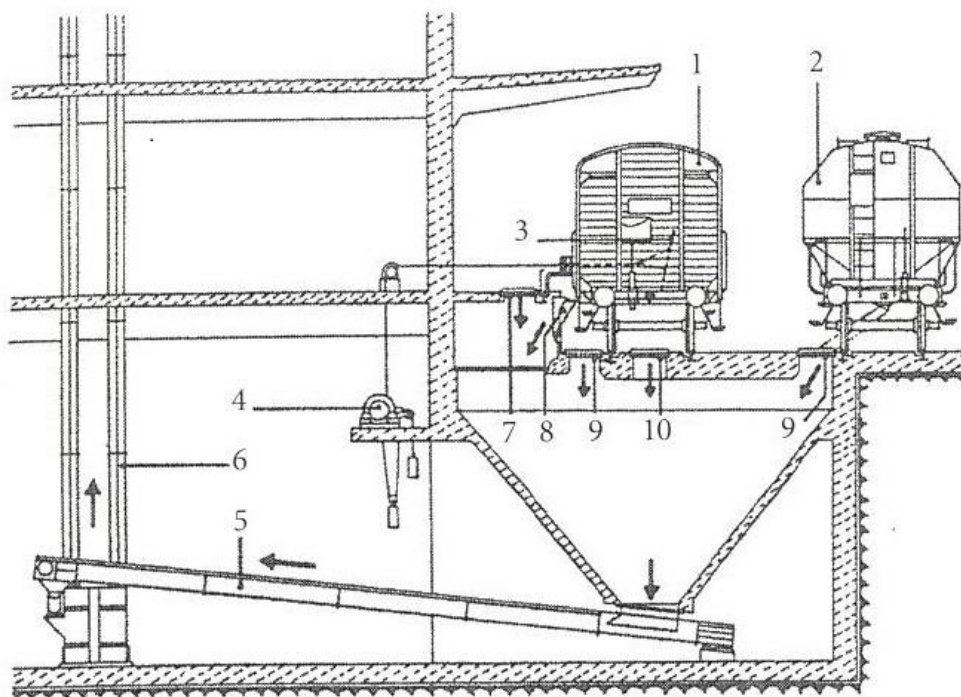
## 2.1.3 Příprava a příjem ječmene ke skladování

### 2.1.3.1 Příjem ječmene na sladovně

Přijímání ječmene do sladovny může probíhat různými cestami, ať už je to v pytlích, kontejnerech nebo volně ložený (auta, vagóny). A hned po přívozu jsou odebrány vzorky k analýze pro případné reklamace, než bude ječmen uložen do sila či jiných skladovacích prostor.

### 2.1.3.2 Dopravní zařízení:

Pro přepravu ječmene ale i sladu se používají jak mechanické tak pneumatické dopravníky.



Obr.1 Příjem ječmene na sladovně z vagónů[2]

„Mechanické dopravníky se rozdělují na vertikální (elevátory, skluzy, tobogany a shozy, poslední tři uvedená jednoduchá zařízení slouží k dopravě na krátké vzdálenosti, jsou používána především v menších a starších sladovnách a hlavně při přemísťování materiálu

v pytlích), horizontální (žlabové řezové dopravníky /redlery/, šneky, pásy, třasadla a vibrátory). Pneumatickou dopravu zajišťují sací systémy a systémy dopravy tlakovým vzduchem, tzv. pomalá pneumatická zařízení.“ [1]



Obr.2 Příjem ječmene z nákladního auta

### 2.1.3.3 Čištění, třídění a odprašování ječmene

Před uskladněním musí být ječmen zbaven nečistot, jako jsou kamínky, písek, cizí zrna a zbaven od všeho co nejsou celá ječná zrna a dále musí být roztržěn podle velikosti. Proces čištění, třídění a odprašování je jeden z nejdůležitějších procesů sladařství, jelikož je předpokladem pro dobrou a vyrovnanou kvalitu sladu.

Vybavení čistících a třídících stanic je rozdílné, avšak mezi základní zařízení patří magnety (pro odstranění kovových nečistot), hrubá síta (pro nekovové hrubé částice), aspirátory (předčištění ječmene), triéry (oddělení půlek ječmene a plevele jiné velikosti), třídící zařízení (třídí na dvě třídy kvality), filtry a cyklony (na odprašnění sladu a ječmene) a automatické váhy, díky kterým se vypočítá ztráta při čištění k určení I. a II. jakosti suroviny.

### 2.1.3.4 Sušení a skladování ječmene

Pro přípravu ječmene je důležité také jeho sušení a skladování. Sušení zajišťuje zachování kvalitních vlastností sladovnického ječmene a to především na základě dvou ovlivňujících faktorů, kterými jsou vlhkost a teplota skladovaného zrna. Zrno při skladování dýchá a tím vylučuje oxid uhličitý vody a tepla, tím pádem musí být regulován jejich obsah odsáváním, vzdušněním a chlazením, aby nedošlo ke kvašení.

Skladování ve starších či menších sladovnách ještě dnes probíhá na dobře odvětrávaných půdách. Moderní skladování se však uskutečňuje v silech vybavených automatickou regulací teploty a vlhkosti. „Sila jsou ocelové nebo železobetonové věžové stavby, kterým je dáována přednost především pro malou tepelnou vodivost.“ [2] V silech se skladuje nejen ječmen ale i hotový slad.

## 2.2 Slad

### 2.2.1 Máčení

Tento proces probíhá po šaržích, záleží na kapacitě sladovny. V Plzeňském Prazdroji je tato kapacita 212 tun. Celý proces probíhá asi 3 dny a to následovně:

1. den – namáčení, provzdušnění kyslíkem a odtah  $\text{CO}_2$ . Z ječmene již vyráží kořínek.
2. den – bez vody, pouze odtah  $\text{CO}_2$ .
3. den – ječmen s vodou, následně je pak ječmen přemístěn pásovým dopravníkem na klíčírnu.

Při vyprázdňení máčecích nádob se klenby netvoří, pokud se ale tak stane, je po obvodu instalované vzduchové potrubí, které klenbu „rozbije“.



Obr.3 Máčecí nádoba – příjem ječmene, namáčení

### 2.2.2 Klíčení

Tento proces trvá přibližně 5 dní a probíhá ve velkých nádobách, kterým se říká saladinovy skříně (tzv. saladinky). Tyto saladinky mají kapacitu 300 tun. Klíčení probíhá pomocí prohrabávání a přívodu vzduchu. Tento proces je samozřejmě automatizovaný. Jediný krok,



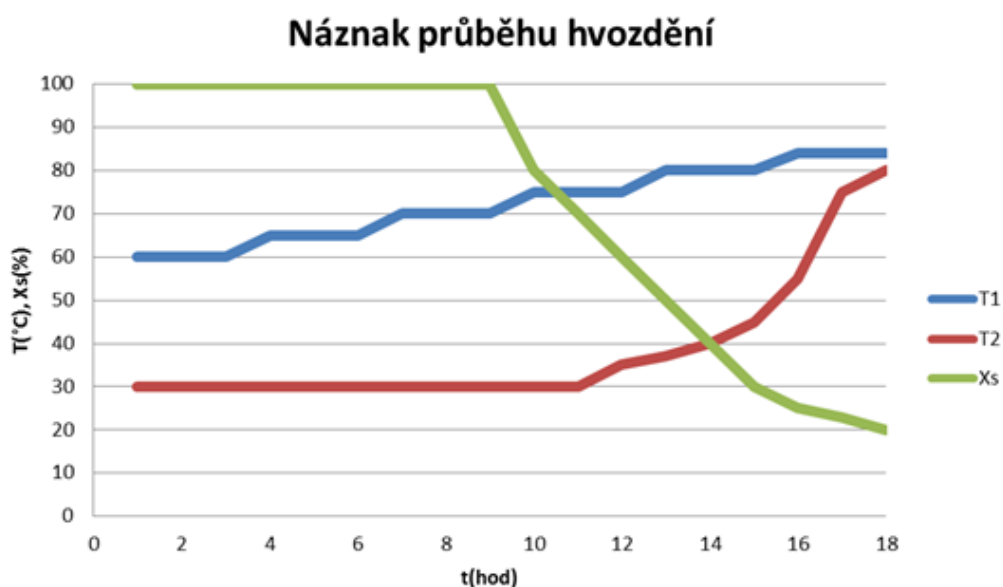
kteřý automatizovaný není, je mytí saladinoky. Tento proces se dělá ručně a trvá asi 11 hodin. Poté, co je produkt připraven na další, poslední proces, se pomocí sklopen slad vysype na pásový dopravník, který dále pokračuje na elevátor a ten slad dopraví až na střechu sladovny. Na střeše se pak slad rozřadí pomocí rozřazovače do jednotlivých hvozdů.



Obr.4 Saladinovy skříně

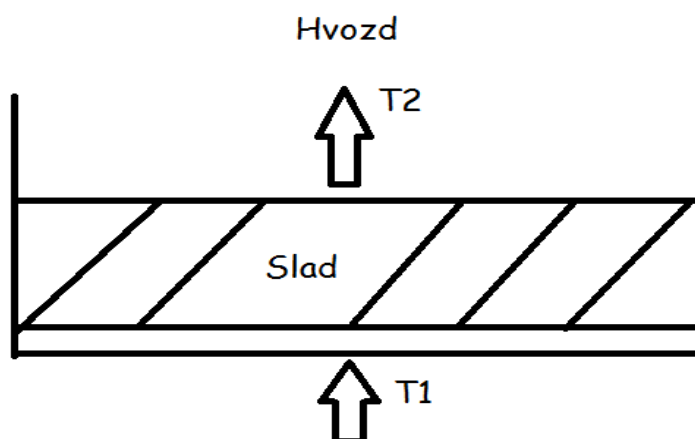
### 2.2.3 Hvozdění

Nebo také sušení, probíhá při teplotě 55-60°C. Na konci procesu se teplota sladu pro piva světlého typu dostane až na 84°C. Zde je potřeba odlišit teplotu hvozdění (T1) a teplotu nad sladem (T2). Teplota nad sladem je cca 30°C, ale po celkové době hvozdění se dostane až na 78°C. Pro lepší představu je na následujícím grafu vidět průběh teplot a vlhkosti sladu.



Obr.5 Graf průběhu hvozdění

Celková doba hvozdění je pak mezi 17-18 hodinami. Kapacita hvozdu je asi 100 tun. Sušící vzduch zajišťují dva ventilátory, z nich je jeden hlavní a druhý pomocný. Po ukončení procesu hvozdění se pak manuálně zapne přemístění sladu do skladových sil. Po cestě do sil je samozřejmě slad ještě vyleštěn a zchlazen. K dopravě slouží šnekové dopravníky, které jsou vhodné kvůli relativně malé váze, ale velkému objemu usušeného sladu.



Obr.6 Rozdělení teplot při hvozdění

Na celé sladovně se musí brát v úvahu celý proces dohromady, aby technologie mohla správně navazovat a byl tak vyroben kvalitní slad, z kvalitního materiálu. Vše musí být nastaveno a dodržováno, již od příjmu ječmene, kontroly kvality až do hvozdění a přesunu sladu do skladových sil. Z těchto sil se pak sklad přímo vydává na další cestu do pivovarů. Pro představu lze vidět v následující tabulce postup celé technologie.

Aspekt	Rozmezí	Jednotka	Hodnota
Velikost namáčky	198 - 212	†	212
Teplota máčecí vody	13 - 17	°C	15
1.den: den pod vodou	4 - 5	hod	4
1.den: cyklus aerace/klid	místní	min	10/10
1.den: bez vody	6 - 11,5	hod	7
1.den: cyklus odsávání CO <sub>2</sub> /klid	místní	-	10/5
2.den: pod vodou	0	hod	0
2.den: cyklus aerace/klid	místní	-	10/10
2.den: bez vody	10 - 11	hod	10
2.den: cyklus odsávání CO <sub>2</sub> /klid	místní	-	10,5
3.den: pod vodou	4 - 5,5	hod	5,5
3.den: cyklus aerace/klid	místní	-	10/10
stupeň domočení prima	42 - 46	% hm.	44
celková doba namáčení	28 - 36	hod	30
teplota klíčení sladu PU	místní	°C	15
teplota klíčení sladu GA	místní	°C	5, wintmalt 18
průtok vody při kropení slad PU I	místní	m <sup>3</sup> /hod	6 nebo 4
průtok vody při kropení slad PU II	místní	m <sup>3</sup> /hod	4 nebo 3
průtok vody při kropení slad GA I	místní	m <sup>3</sup> /hod	6
průtok vody při kropení slad GA II	místní	m <sup>3</sup> /hod	6 nebo 4
délka klíčení	120 - 144	hod	125
teplotní nárůst na teplotu sušení	2 - 4	hod	2
teplota volného sušení (pod lískou)	58 - 65	°C	65

Tabulka 1 *Technologie sladovny*

## 2.3 Varní voda

Varní voda je jednou ze základních surovin pro výrobu piva a její složení má vliv na konečný produkt. Přírodní vodu dělíme na dvě základní skupiny:

Spodní voda – pramenitá, studniční, infiltrační z vrtů poblíž povrchových zdrojů.

Povrchová voda – říční, z údolních přehrad, rybníční, jezerní.

Voda, která se používá při přípravě mladiny, musí mít charakter pitné vody. Pokud pivovar používá vlastních zdrojů, je vždy nutno ji upravovat vhodným způsobem.[5]

### 2.3.1 Úprava spodních vod

Podzemní vody často obsahují železo a mangan, někdy též rozpuštěný CO<sub>2</sub>. Tyto složky je nutno před použitím pro pivovarskou výrobu odstranit. Rozpuštěný oxid uhličitý lze odstranit buď odplyněním (intenzivním provzdušněním) nebo chemicky. Nejčastěji přidávkem Ca(OH)<sub>2</sub>. K separaci železa a manganu se využívá oxidačních postupů. Složky se převádí na sloučeniny s vyšším oxidačním stupněm – na trojmocné železo a čtyřmocný mangan. Oba kovy se pak vyloučí ve formě nerozpustných sloučenin Fe(OH)<sub>3</sub> a MnO<sub>2</sub>.

## 2.3.2 Úprava povrchových vod

Při současném stavu a vývoji znečištění prostředí, a tedy i povrchových vod, je tato úprava komplikovanější, než je tomu u vod podzemních. Postup čištění povrchových vod:

Odstranění tuhých nečistot → Koagulace → Sedimentace → Filtrace → Mikrobiologické zajištění

### 2.3.2.1 Odstranění tuhých nečistot

Jde o nerozpuštěné látky, které do surové vody přicházejí z okolí, jako například zbytky rostlin, ale také cizorodé látky. Odstraňují se na česlích, případně na sítích výhradně mechanicky, bez přídavku jakýchkoli činidel.

### 2.3.2.2 Koagulace

Koloidní látky (křemičitany, jíly) a některé barevné látky obdobného charakteru nelze odstranit z vody mechanicky a je nutno použít činidel podporujících koagulaci látek s vysokou molekulární hmotností. Pro tento účel se používají soli  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Al}^{3+}$ . Po jejich přídavku do vody se hydrolyzou tvoří polyhydroxykomplexy uvedených iontů, které jsou nositeli kladného elektrického náboje. Koloidní látky a látky s vysokou molekulární hmotností nesou záporný náboj, kterým se zachytí na koagulantu, se kterým tvoří agregáty. Vzniklý kalový mrak pak lze z vody odstranit.

### 2.3.2.3 Sedimentace

Usazování koagulovaných vloček je poměrně složitý proces. Zařízení pro sedimentaci je dobře propracováno včetně stanovení jeho optimálních podmínek.

### 2.3.2.4 Filtrace

Po odstranění sedimentovaných částic je z vody nutno ještě odstranit zbylé částice vloček, které zůstaly v suspenzi. Jejich filtrace probíhá ve vrstvě zrnitého materiálu, nejčastěji písku. Během filtrace se vrstva zanáší a po několika cyklech (10-30 hodin) je nutno filtr proprat. Praní probíhá tak, že se vrstva zrnitého materiálu rozruší proudem tlakového vzduchu, potom se propláchne čistou vodou a současně tlakovým vzduchem. Proplachování probíhá protiproudě.

### 2.3.2.5 Zajištění mikrobiologické nezávadnosti pitné vody

K dosažení mikrobiologické nezávadnosti vody lze využít následující postupy: chlórání, aplikace oxidu chloričitého, ozonování, působení UV paprsku. [5]

## Tvrdość vody

Varní voda musí mít správnou tvrdość, která se dělí následovně:

Měkká voda – do  $1,3 \text{ mmol.l}^{-1}$

Středně tvrdá voda –  $1,3 - 2,5 \text{ mmol.l}^{-1}$

Tvrdá voda –  $2,5 - 3,8 \text{ mmol.l}^{-1}$

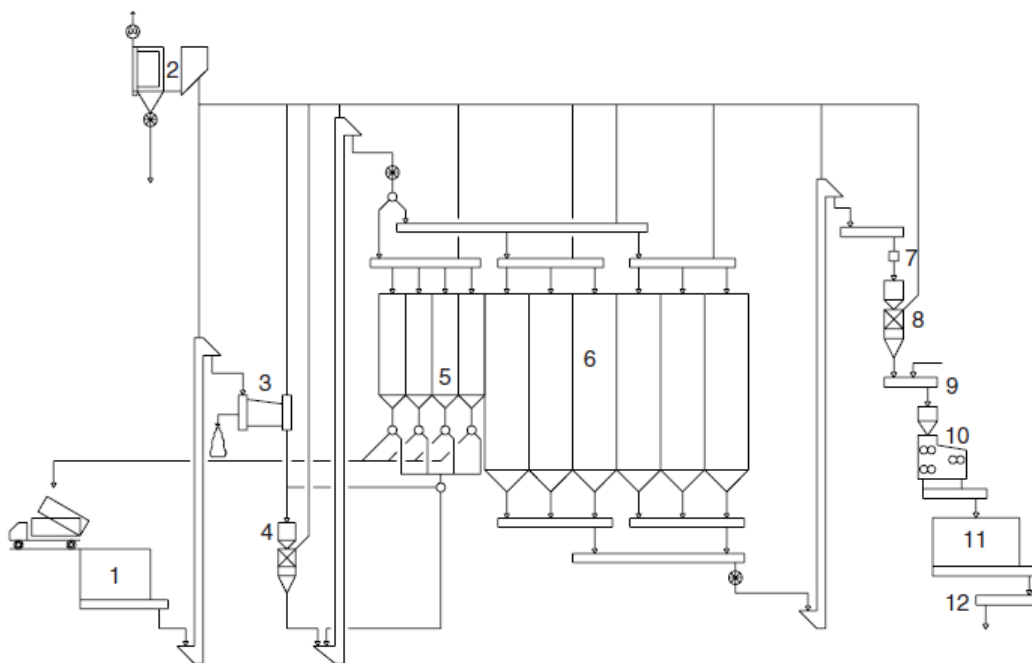
Velmi tvrdá voda – nad  $3,8 \text{ mmol.l}^{-1}$

Pro výrobu piva typu Pils (spodně kvašený ležák) je vhodná měkká voda.

## 2.4 Výroba piva

### 2.4.1 Čištění a šrotování sladu

Cílem varního zpracování je převést za pomoci enzymů extraktivní látky sladu do roztoku, získaný extraktivní roztok sladiny rozdělit s minimálními ztrátami od nerozpustných zbytků sladového zrna a povařením sladiny s chmelem produkt ohořčit a tepelně stabilizovat. Získaná mladina je po odloučení kalů a ochlazení připravena pro kvasný proces.



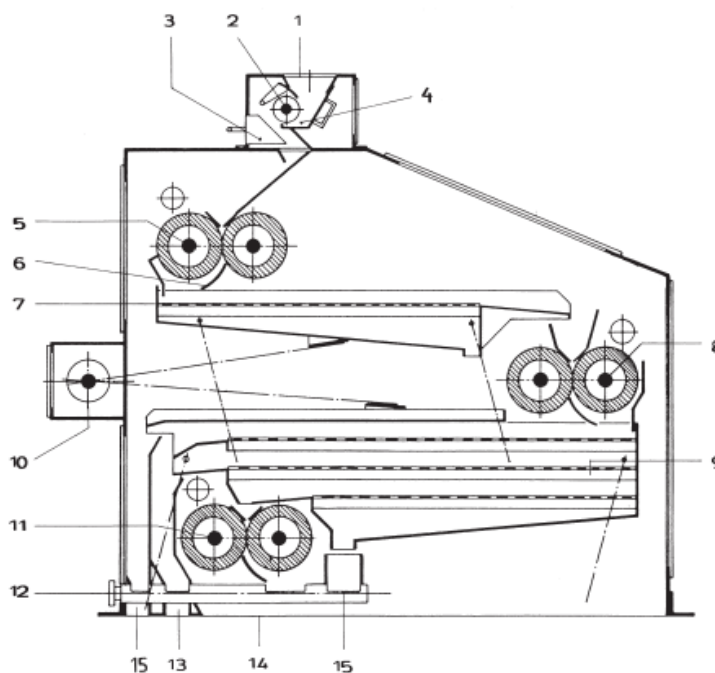
Obr.7 Příjem, předčištění, uskladnění, čištění a šrotování sladu [5]

Slad se přijme, předčistí, uskladní, vyčistí a šrotuje. Schéma lze vidět na následujícím obrázku. Obrázek popíšeme následovně: 1 – přijmový koš, 2 – odsávání prachu s vývěvou, prachovým filtrem a turniketem pro odběr prachu, 3 – čistička, 4 – váha, 5 – přijmová síla, 6 –

skladovací síla, 7 – magnet, 8 – váha, 9 – kondicionovací šnek, 10 – šrotovník, 11 – zásobník šrotu, 12 – šnekový dopravník a spádová trubka k vystěradlu.

Dále se budeme bavit o konečném procesu, a sice o šrotování sladu.

Šrotování se dělí na suché a mokré. Suché šrotovníky jsou nejpoužívanějším zařízením pro šrotování sladu. Podle počtu válců rozdělujeme dvouválcové až šestiválcové šrotovníky. Moderní šrotovníky jsou často doplněny o kondicionovací šnek, ve kterém je slad zvlhčen vodou nebo parou. Princip šrotování bude vysvětlen na šestiválcovém šrotovníku. První pár válců zrno rozmáčkne, druhý vymílá pluchy a třetí drtí hrubou krupici. Na následující obrázku lze vidět schéma šestiválcového šrotovníku, jehož jednotlivé součásti jsou popsány následovně: 1 – vstup sladu, 2 – podávací váleček se samostatným pohonem, 3 – permanentní magnet, 4 – odlučovač těžkých částic, 5 – první pár válců (mačkací), 6 – podávací plech, 7 – horní soustava sít, 8 – druhý pár válců, 9 – spodní soustava sít, 10 – excentr s klikovým převodem (pohon sít), 11 – třetí pár válců, 12 – vzorkovač sladového šrotu, 13 – odvod pluch, 14 – odvod krupice, 15 – odvod mouky a moučky



Obr.8 Schéma šestiválcového šrotovníku[5]

Mokré šrotování, kde se zrno máčí rozstříkem cirkulující vody přímo v něm, má velkou nevýhodu, a to nerovnoměrný příjem vody. Zásobník sladu nahrazuje máčecí šachtu a zrno z něj vystupuje přímo k podávacímu válečku šrotovníku. Přebytečná voda v něm, stéká na dno šrotovníku, odkud se vystřacím čerpadlem vrací zpět do rozstříkací trysky nad hladinu zrna v zásobníku.[1]

## 2.4.2 Vystírání a rmutování

Cílem rmutování je rozštěpit a převést optimální podíl extraktu surovin do roztoku v potřebném zastoupení jednotlivých látek důležitých pro další technologický postup a kvalitu piva. Především se to týká zkvasitelných cukrů.

Při rmutování působí děje mechanické, chemické, fyzikální a především enzymové. Rozhodující je činnost amylolytických, proteolytických, kyselinotvorných a oxidačně-redukčních sladových enzymů. Štěpení škrobu na zkvasitelné sacharidy působením amylolytických enzymů je nejvýznamnější proces rmutování.[1]

Před vystírací kádí je směšovač pro slad a horkou vodu o teplotě 38°C nebo 52°C. Po důkladném promíchání vzniká ze směsi hutná kaše, které se říká vystírka. Rmutování probíhá v pánvích z nerez. Ovšem například Plzeňský Prazdroj, který ctí recepturu, má pánve s měděným dnem. Pánev je vyhřívána standardně parou nebo zemním plynem. Ze rmutovací pánve se třetina rmutu přečerpá do druhé rmutovací pánve a zhruba půl hodiny zahřívá na teplotu 70 – 73°C. Tato třetina se pak přečerpá zpět ke zbytku původního rmutu. Jejich společná teplota je pak zhruba 64°C a dochází k ní právě k dalšímu štěpení složitých cukrů. Celý proces se opakuje ještě jednou. Výsledná teplota je však vyšší, cca 74°C.[18]

## 2.4.3 Scezování

Při tomto procesu vzniká sladina o 75°C, je zde hodně cukrů a žádný alkohol. V kádí je performované dno a proces trvá přibližně 100 minut. Za procesu probíhá tzv. zkrápění, které slouží pro vyšší výtěžnost mláta. Zbytkové mláto se pak odčerpá do nádob a dmychadlem jde dále do sil pro krmné účely. Rychlost scezování je popsána upravenou Darcyho rovnicí:

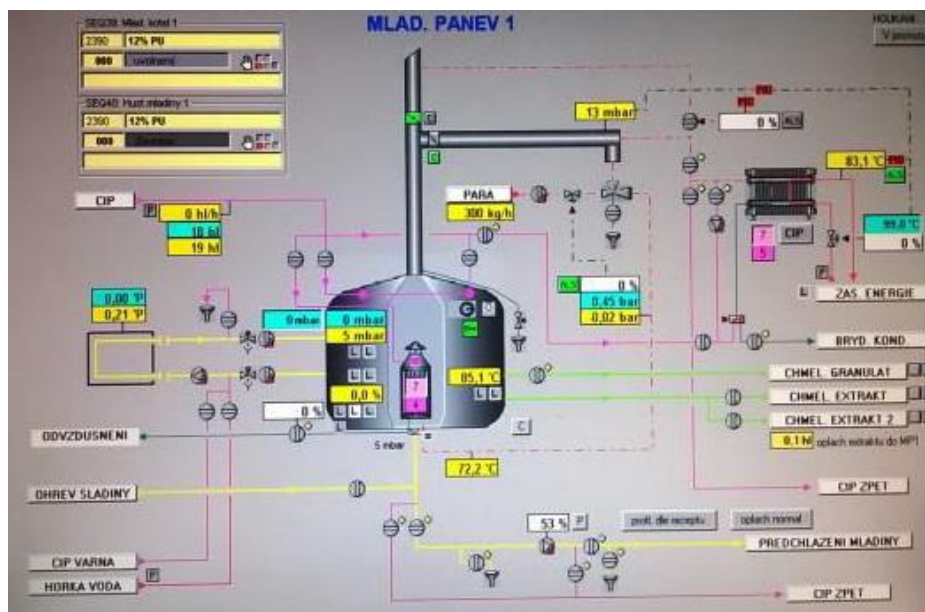
$$Q = \frac{V}{t} = K_A \cdot (P_1 - P_2) \cdot \frac{A}{\mu \cdot L} \quad (1)$$

## 2.4.4 Chmelovar

Ze scezovací kádě jde sladina do sběrače (shromažďovače), kde čeká, až se uvolní mladinová pánev od předchozí várky. V mladinové pánvi se sladina chmelí. Proces chmelení trvá přibližně 90 minut.

## 2.4.5 Mladinová pánev

V mladinové pánvi, kam přijde sladina, se obohacuje chmelem, produkt se povaří za pomoci vnitřního vařáku nebo vnitřního vařáku s čerpadlem. Tyto metody se používají na varně Plzeňského Prazdroje. Po tomto procesu vzniká produkt zvaný mladina.



Obr.9 Technologické schéma procesu v mladinové pánvi

#### 2.4.6 Vířivá kád'

Mladina se odstředivou silou oddělí od kalných částí, které se usadí na středu kádě. Následně se mladina zchladí na teplotu okolo 6°C a putuje do kvasných cylindrokónických tanků (CKT).

#### 2.4.7 CKT

Mladina se zakvasí do kvasných tanků, kde leží asi 12 dní. Doba kvašení záleží na generaci kvasnic, provzdušnění a dalších parametrech. Probíhá zde aerobní proces, tedy provzdušňování kyslíkem, aby kvasinky byly schopné produkovat alkohol.

Po kvašení se produkt přečerpá do tanků ležáckých, které jsou chlazeny – nejčastěji čpavkem ( $\text{NH}_3$ ) na teplotu  $-1^\circ\text{C}$  a pivo zde leží okolo 20 dnů. Při čerpávání se kvasnice „odstřelí“. Tento proces se kontroluje na parametrech zákalu a množství. Kvasnice jdou pak na znovuzakvašení nebo se používají pro krmný účel, zde se musí měřit pH a sušina. Pivo se vytlačuje pomocí  $\text{CO}_2$  při tlaku  $p = 0,5 \text{ bar}$ .

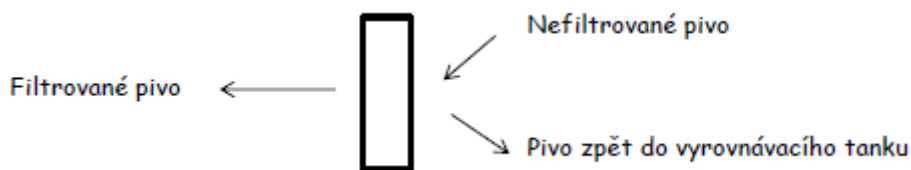
#### 2.4.8 Filtrace

Cílem filtrace je filtrovat a stabilizovat pivo. Pokud stáčíme pivo nefiltrované, má garanci pouze 21 dní. [3]

- Budeme se dále zabývat dvěma typy filtrace:
- a) Membránová filtrace
  - b) Křemelinová filtrace



### 2.4.8.1 Membránová filtrace



Obr.10 Schéma procesu membránové filtrace

Pivo, které přijde z CKT nejdříve prochází procesem stabilizace bílkovin, dále putuje do vyrovnávacího tanku na nefiltrované pivo. Následně pivo prochází membránovou filtrací. Tento princip pracuje na rozdílu tlaků před a za membránou. Pokud má systém velkou tlakovou ztrátu, systém to sám vyhodnotí a spustí se proplach vodou. Když je diference tlaku ještě větší a intenzita proplachu je také větší, spustí se sanitace pro celý systém a popřípadě se některé membrány mění. Tento proces je časově náročnější a musí se tak optimalizovat celý proces výroby, protože v tuto chvíli se zastaví odběr z CKT a zastaví se i provoz stáčíren.

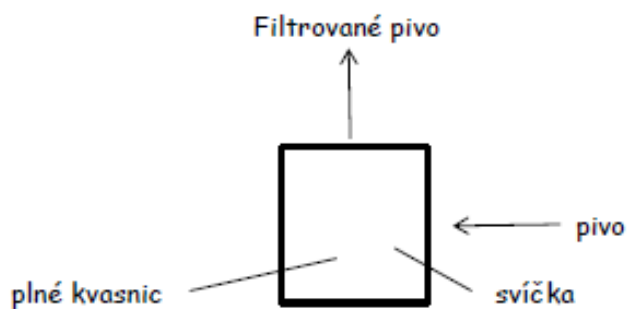
Pivo putuje dále do vyrovnávacího tanku na filtrované pivo, pak do security filtru a na řadě je polyfenolová stabilizace pomocí PVPP filtru. Následně je poslední vyrovnávací tank a pivo se „řeže“ na požadovanou stupňovitost, a pokud je potřeba dosycuje se pomocí dusíku nebo CO<sub>2</sub>. Zde záleží na typu a stupňovitosti piva. Například „ležáky“ se nesytí vůbec.

Pivo jde nakonec do přetlačných tanků odkud už putují přímo na stáčírny.



Obr.11 Ukázka membránové filtrace v praxi

### 2.4.8.2 Křemelinová filtrace



Obr.12 Schéma procesu křemelinové filtrace

Musí se připravit křemelina jako filtrační materiál. Zde jsou tři fáze a křemelina se pak mísí s vodou. Ve filtru se naplaví na svíčky a na to se pak chytají kvasnice. Velká nevýhoda křemelinového filtru je, že se proces nesmí přerušit, křemelina spadá ke dnu, nenaplaví se zpět a pivo se zakalí. Toto je velmi nepříjemná situace, kde může dojít ke ztrátě pivo i 200 hl.

## 2.5 Stáčení piva do sudů

### 2.5.1 Historie stáčení sudového piva

Pojmy dřevěný sud (ležácký nebo transportní), bednárna, požahovna, pivovarská smola byly známy mnoha generacím pivovarského cechu. Dnes je to historie a s dřevěnými sudy se již nesetkáváme. V šedesátých letech byly dřevěné sudy nahrazeny sudy hliníkovými, které se ve většině českých pivovarů používaly do 90. let minulého století. V následujících letech pak pivovary provedly výměnu hliníkových sudů za nerezové sudy KEG. [5]

### 2.5.2 KEG sud

Důvody, které vedly k výměně typu sudů, byly následující.

- 1) Hliníkový sud se přemísťoval pouze koulením.
- 2) Nebylo docíleno požadované čistoty hliníkových sudů (mytí bylo velice obtížné).
- 3) Při poškození vnitřního nátěru docházelo velmi rychle ke korozi hliníku. Ta v kyselém prostředí přecházela do piva.
- 4) Sudy měnily svůj tvar a musely být pravidelně cejchovány.
- 5) Celý proces mytí a stáčení nebylo možné zautomatizovat.

KEG sud je válcová nádoba z nerezavějící oceli, hermeticky uzavřená. Mytí, plnění a vyprazdňování sudů se provádí přes uzávěr. KEG sud je stále pod tlakem, i prázdný sud má zbytkový tlak přibližně 0,5 bar. Ztráta tlaku je důkazem porušení těsnosti sudu nebo armatury.

Materiál, ze kterého je sud vyroben musí splňovat tyto požadavky.

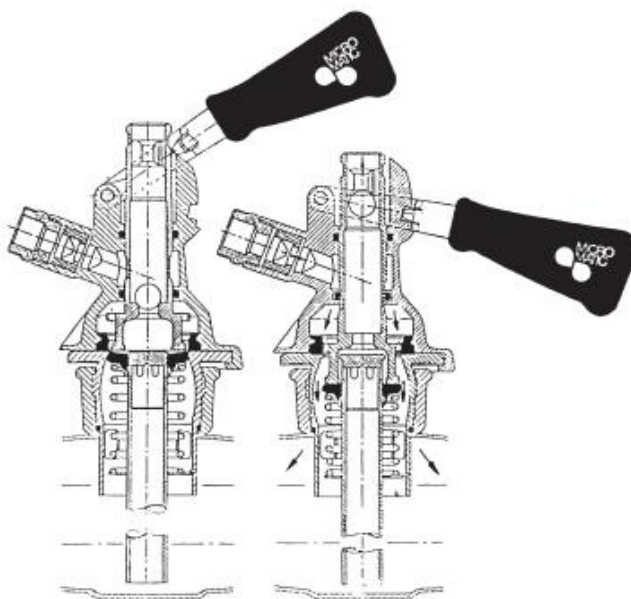
- 1) Nesmí ovlivňovat chuťové vlastnosti stočeného piva.
- 2) Musí být pevný a nepadně deformovatelný.
- 3) Objem sudu musí být i při vyšším tlaku neměnný.
- 4) Hmotnost sudu má být co nejmenší a cena sudu musí být přiměřená.

KEG sud z nerezavějící oceli:

Sud je vyroben z kvalitní nerezavějící oceli o tloušťce plechu 1,3 - 2,0mm. Vyrábí se ze dvou hlubokotažných nerezových výseků, které se spojí svarem. Do horní části sudu se naváří návarek, do kterého se šroubuje plnicí a stáček ventil.



Obr.13 KEG sud v řezu[5]



Obr.14 Plochá armatura s narážecí hlavou[5]

### 2.5.3 Mytí a plnění KEG sudů

Sudy jsou do pivovaru dopravovány na paletách. Před novým plněním sudů je třeba provést mytí sudů, kterému předchází:

- 1) Depaletizace.
- 2) Otočení sudu fitinkem dolů.
- 3) Kontrola a případné odstranění víčka z armatury.
- 4) Kontrola vnitřního tlaku. Pokud v sudu není zbytkový tlak, je nutno sud vyřadit a provést kontrolu sudu a těsnění ve fitinku.
- 5) Vytlačení zbytku starého piva ze sudu.

Při mytí sudů se provádí umytí vnějšího povrchu buď kartáči, nebo tlakovou vodou a mytí vnitřku sudu. Při mytí je KEG sud otočen fitinkem dolů a lze jej přirovnat se stojatým přetlačným tankem, kde je mycí hlavice nahrazena trubicí, která je součástí sudu. Mycí roztok proudí touto trubicí, stéká po stěně dolů a je odsáván v místě, které při stáčení slouží ke vstupu tlačného plynu.[12]

#### 2.5.3.1 Operace probíhající při mytí a plnění KEG sudů [11]

Na předmyvací lince probíhá: [17]

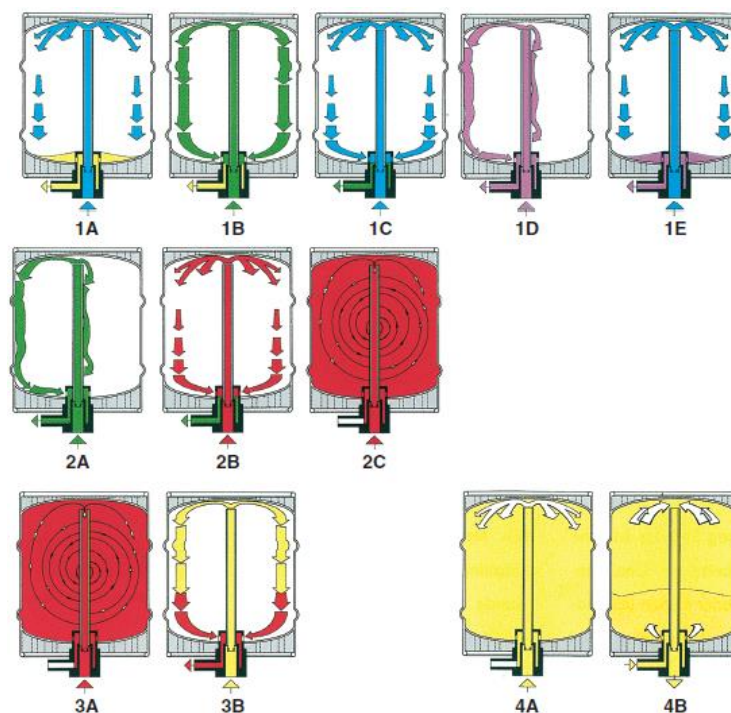
- 1) Vypláchnutí sudu vratnou horkou vodou.
- 2) Kontrola těsnění fitinku.
- 3) Nástřik louhu a zatopení fitinku až k hlavnímu mytí.

Poslední fáze mytí KEG sudů – hlavní mytí a plnění se stává z řady kroků. [13]

- 1) Odsátí louhu.
- 2) Několik nástřiků a odsátí louhu o menší koncentraci než bylo na předmytí.
- 3) Výplach čistou nebo použitou vodou.
- 4) Několik nástřiků a odsátí kyseliny.
- 5) Výplach horkou čistou vodou.
- 6) Sterilizace ostrou párou.
- 7) Vytlačení kondenzátu a páry oxidem uhličitým nebo dusíkem.
- 8) Natlakování sudu.
- 9) Naplnění pivem.
- 10) Ostřik fitinku. [15]
- 11) Kontrola plnění vážením. [20]

### 2.5.3.2 Linka na mytí, sterilizaci a stáčení sudů

Mytí, sterilizace a stáčení sudů se provádí na linkách různých firem, pracujících na shodném principu. Liší se pouze uspořádáním a počtem mycích hlav, a tím také počtem operací, které je nutno na jednotlivých hlavách provést. Příkladem může být linka firmy KHS Dortmund.



Obr.15 Linka KHS Dortmund[5]

Linka je rozdělena na 4 stanice, které jsou popsány následovně: **Stanice 1:** 1A – kontrola tlaku, vytlačení zbytků piva, 1B – předmytí horkou vodou, 1C – vytlačení zbytků vody vzduchem, 1D – intervalové mytí horkým louhem, 1E – vytlačení zbytků louhu vzduchem (sterilním). **Stanice 2:** 2A – intervalové mytí horkou vodou, 2B – vytlačení vody párou, 2C – natlakování sudu párou. **Stanice 3:** 3A – sterilizace sudu párou, 3B – počátek tlakování sudu CO<sub>2</sub>. **Stanice 4. Plnění sudu pivem:** 4A – natlakování sudu pivem (CO<sub>2</sub>, směsný plyn), 4B – plnění sudu.

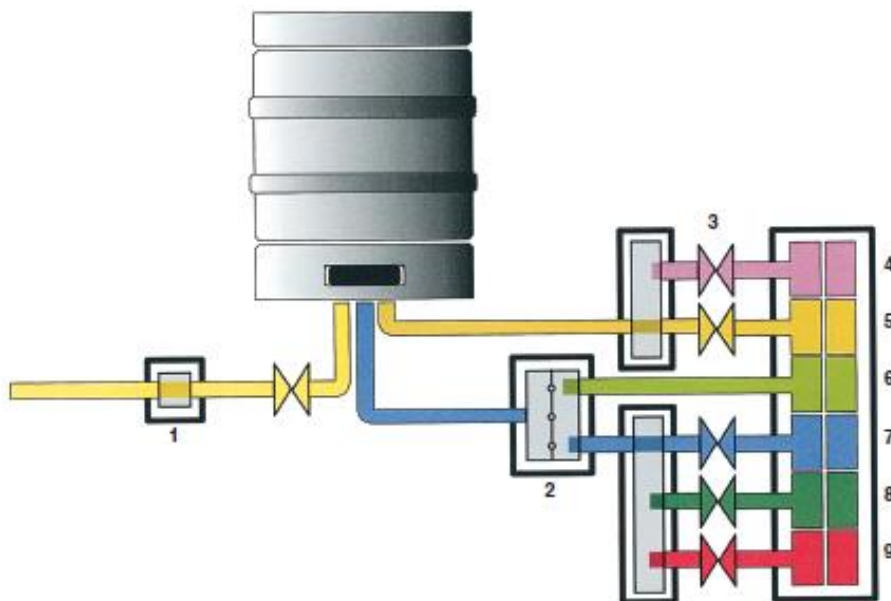
Každá stanice je vybavena regulačním ventilem řízeným pomocí počítače. Instalovaný software umožňuje kontrolu celého procesu od vstupní kontroly až po naplnění sudu pivem. Je možno zvolit několik mycích programů podle předpokládaného stupně znečištění vrácených sudů. Jsou snímány i další hodnoty. V případě, že sud vykazuje proti nastavenému programu odchylky, je automaticky z linky vyřazen a následně se odstraní závada.

Umyté sudy se plní pivem dvojím způsobem. Dnes u většiny stáčecích linek používá-ny způsob, tzv. nepřímě regulace rychlosti plnění sudů. Rychlost plnění je regulována rych-

lostí vypouštění plynu, který zajišťuje v sudu protitlak. Pomocí programu se plnění sudu obvykle dělí na tři fáze:

- 1) Pomalý začátek.
- 2) Rychlé plnění sudu.
- 3) Pomalé ukončení plnění.

Schéma tohoto plnicího systému je uvedeno na následujícím obrázku.



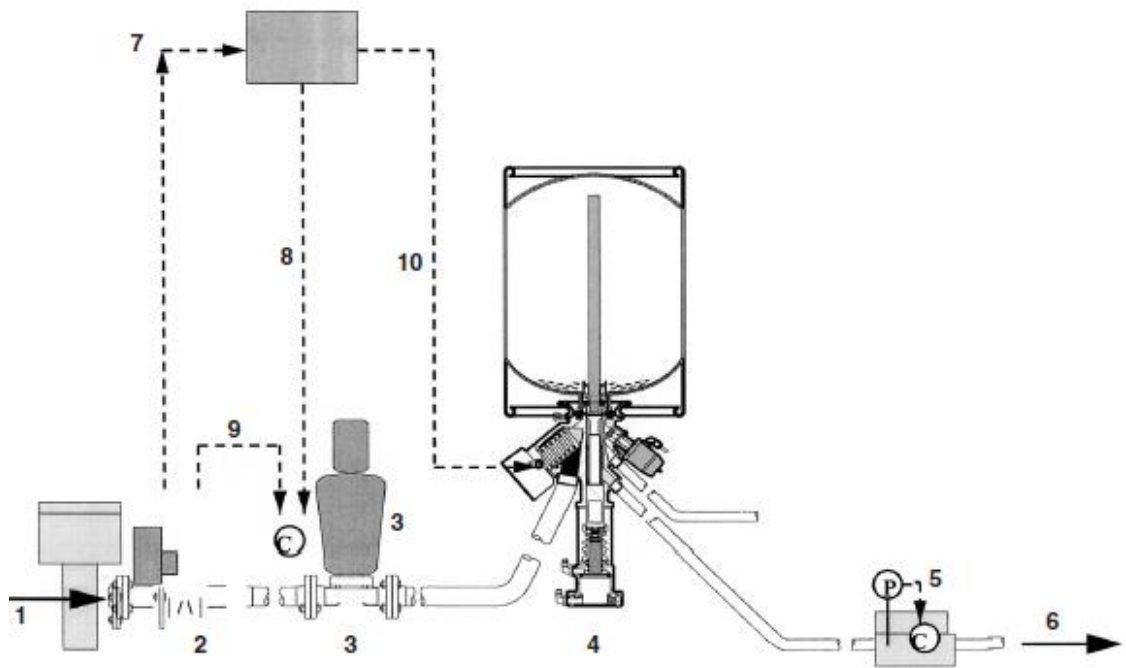
Obr.16 Schéma pracovní stanice[5]

Obrázek je popsán takto: 1 – měření plnicího tlaku, 2 – regulační ventil, 3 – přívod a odvod jednotlivých médií, 4 – mycí roztok, 5 – zbytky obsahu sudu, 6 – vytlačovaný plyn, 7 – předplňovací plyn, 8 – horká voda, 9 – pára

Druhý způsob je modernější. Je to způsob s přímou regulací přítoku piva do sudu. Regulační ventil je umístěn v trubce přívodu piva. Řídící systém snímá informace o objemu piva protékajícím indukčním průtokoměrem a vysílá povely do regulačního ventilu na pivním vedení. Druhý regulační ventil je instalován na trubce odvodu inertního plynu ze sudu. Tento ventil zajišťuje pouze konstantní hodnotu protitlaku v sudu.

System objemového měření má tyto výhody: Zanedbatelné přeplňování sudů, úspora CO<sub>2</sub> nebo inertního plynu, není nutné zařadit před plnění sudů vyrovnávací tank, při dobré organizaci práce je možno navýšit výkon linky až o 15% a jednoduchá údržba.

Na následujícím obrázku je schéma přímé regulace průtoku piva.



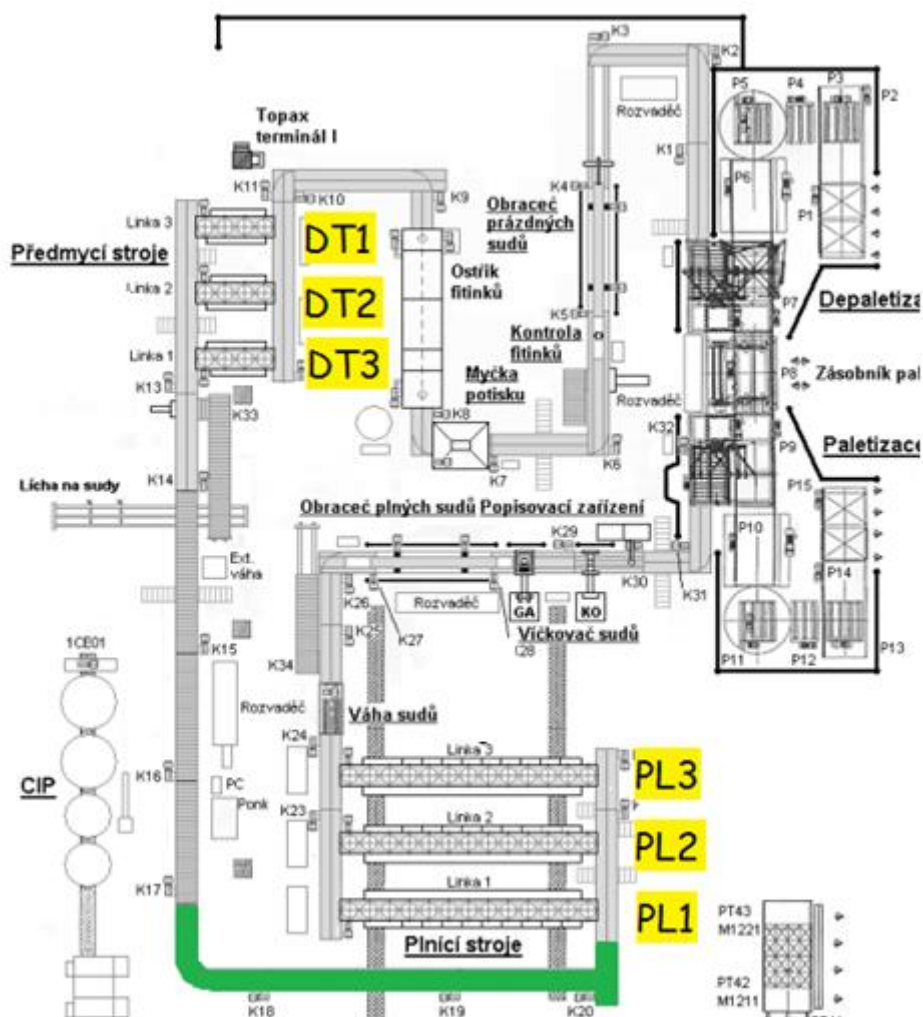
Obr.17 Schéma přímé regulace průtoku[5]

Popis obrázku: 1 – pivo, 2 – indukční průtokoměr, 3 – procesní regulační ventil, 4 – ventil plnicí hlavy na pivo, 5 – tlakový senzor regulace přebytečného inertního plynu, 6 – odvod přebytečného plnicího plynu, 7 – okamžitá hodnota objemu, 8 – nastavená hodnota objemu, 9 – okamžitá hodnota průtoku, 10 – signál ke spuštění/ ukončení plnění

Po naplnění sudu pivem následují konečné operace – kontrola plnosti sudu převážáním, otočení sudu fitinkem vzhůru, zakrytí fitinku krytkou (víčkem), která slouží zároveň jako garance originálního plnění, paletizace a doprava sudů do skladu. [21]

### 3. POPIS EXPERIMENTU

#### 3.1 Schéma KEG linky PVP



Obr.18 Schéma KEG linky PVP [7]

Na linku se naváží sudy na paletách po 6-ti sudech. Z palet se vykladačem sudy vyloží na stůl vykladače, posuvným podavačem se posunou na pásový dopravník. V tuto chvíli jsou sudy na dopravníku za sebou a putují na obraceč, ve kterém je zařazena kontrola přítomnosti víčka. Dále je myčka povrchu sudů a za myčkou jsou tři moduly předmytí, označeny jako DT1 – DT3. Po předmytí, kde je na druhém stanovišti kontrola zbytkového tlaku, sudy pokračují na tři moduly hlavního mytí a plnění, označeny jako PL1 – PL3. Plné sudy následně putují na kontrolní váhu, oplach fitinku, zavíčkovač, kde se laserem tiskne datum spotřeby piva na víčko. Posledním krokem je paletizace. Zde se sudy řadí po třech a posuvným podavačem jsou posunuty na stůl vkladače. Rameno vkladače pak dvě řady, tedy 6 sudů, položí na paletu.



Paleta pak na válečkových dopravnících putuje k místu nakládky, kde čeká vysokozdvizný vozík, který palety vozí do skladu.

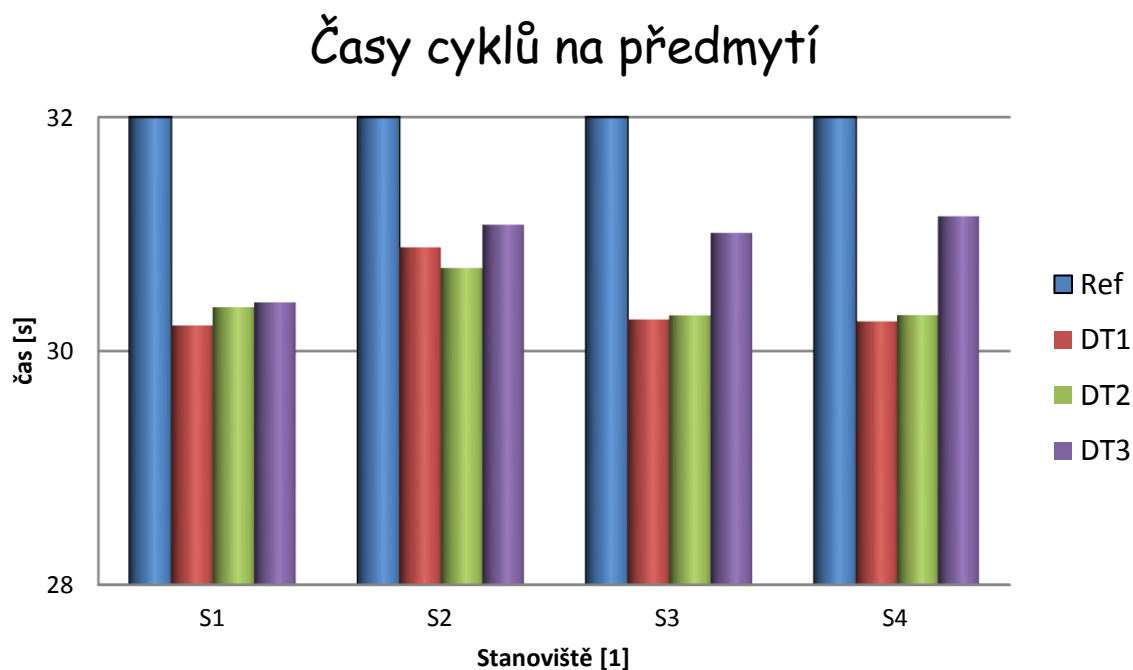
## 3.2 Optimalizace času mytí

### 3.2.1 Předmytí

Na této části jsou tři moduly předmytí. Každý modul má čtyři stanoviště. Na stanovišti jedna probíhá vycentrování sudů. Dále sud putuje na druhé stanoviště, kde probíhá odpouštění zbytkové kapaliny a mytí vodou – plný průtok. Na třetím stanovišti je pulzní nástřik – dva takty jehla a dva takty stěna. Dále je sud naplněn kyselinou 5-7 litrů a přejíždí na stanoviště čtvrté. Zde je opět vycentrován a vydán na dopravník k hlavnímu mytí. Pozor, sud nepřejíždí prázdný.[10]

#### 3.2.1.1 Analýza procesu předmytí

Cílem bylo zjistit, jak pracují hlavy na jednotlivých modulech předmytí i jak pracuje celý proces předmytí. V příloze jsou vidět naměřené hodnoty, ve kterých je zahrnuto vše, co linkou projde. Ať se jedná o typy sudů i druhy piva. Jednotlivé časy jsou porovnány v následujícím grafu.



Obr.19 Graf cyklů jednotlivých stanovišť předmytí

Linka s označením DT3 se může zdát v nerovnováze s linkami DT1 a DT2, zde však musí být zohledněno, že sudy čekají na prázdný dopravník, který je nejdříve zásobován od prvních dvou linek.

Průměrné časy cyklů předmytí jednotlivých modulů vyšly:

$$DT1 = 30,41s$$

$$DT2 = 30,42s$$

$$DT3 = 30,91s.$$

### 3.2.1.2 Výpočet chyby procesu předmytí

Časy naměřené v předchozí kapitole jsou samozřejmě ovlivněny chybou měření. Proto je zde základní výpočet chyby měření. Referenčním stavem rozumíme čas cyklu na jednom stanovišti, který je nastaven řídicím programem. Pro tuto chvíli tedy 32s.

$$X = \frac{100}{Ref.stav} \cdot (Ref.stav - Akt.hodnota) \quad (2)$$

Referenční stav je 32s. Aktuální hodnota byla zprůměrována z naměřených dat, kterých bylo 20 na každém stanovišti. Po dosazení pro linku DT1:

$$X = \frac{100}{32} \cdot (32 - 30,41) = 4,97\% \quad (3)$$

Nesmíme zde ještě zapomenout, že čas je měřen na stopkách. Ty mají také vlastní chybu a musíme vzít v úvahu ještě lidský faktor. Tyto faktory byly stanoveny na 0,75s. Z této hodnoty vychází chyba určení doby 2,34%. Tímto pak platí podmínka, že vypočtená chyba nesmí přesáhnout chybu 5% + 2,34%. Kde hodnota 5% byla doporučena procesním technologem stáčení a vyplývá ze statistického vyhodnocení měření časů přejezdů sudů mezi jednotlivými stanovišti.

$$4,97\% \leq 7,34\%.$$

Další upřesnění měření je znázorněno v kapitole 3.2.2.3.

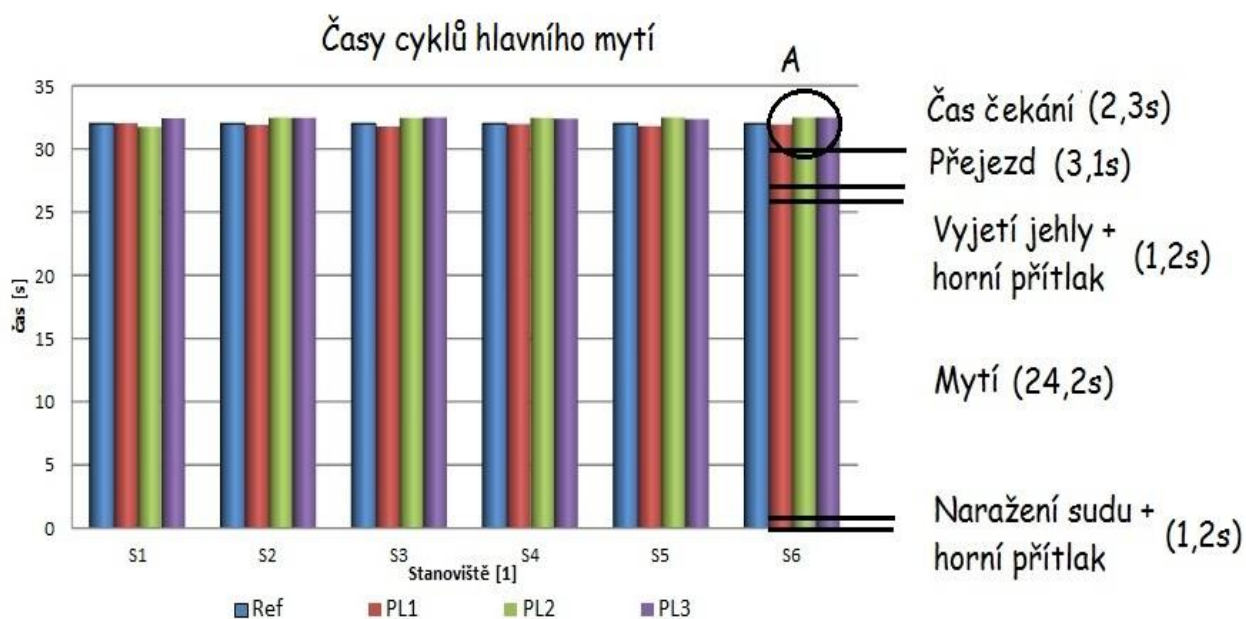
### 3.2.2 Hlavní mytí

Na této části jsou tři moduly hlavního mytí. Každý modul má 13 stanovišť. Na stanovišti jedna probíhá opět vycentrování. Na druhém stanovišti je pulzní mytí roztokem 1 – umytí jehly, vytlačení vzduchem, dále pak mytí horkou vodou a vytlačení vzduchem. Sud přejíždí prázdný. Na stanovišti tři probíhá pulzní mytí roztokem 2 – dva takty jehla a dva takty stěna.

Následuje vyprázdnění sterilním vzduchem. Sud přejíždí prázdný. Čtvrté stanoviště aplikuje pulzní mytí roztokem 3 – dva takty stěna a dva takty jehla. Sud přejíždí prázdný. Na pátém stanovišti je pulzní mytí roztokem 3, následuje vyprázdnění sterilním vzduchem a pulzní mytí horkou vodou. Sud nepřejíždí prázdný. Stanoviště 6 aplikuje pulzní mytí horkou vodou - jeden takt jehla a jeden takt stěna, následuje vyprázdnění sudu párou. Párou je sud také natlakován. Minimální přetlak v sudu je 1,5 bar. Pak sud přejíždí na další stanoviště. Stanoviště 7,8 a 9 jsou zdržovací, dochází ke sterilizaci sudu párou. Stanoviště 10,11 provádí plnění sudu. Dva sudy se plní zároveň a požadovanou akumulaci zajišťují právě předchozí stanoviště. Poslední dvě stanoviště 12,13 jsou zdržovací a vydávají sud na dopravník, který pokračuje na váhu, víčkování a paletizaci. [8]

### 3.2.2.1 Analýza procesu hlavního mytí

Stejně jako u procesu předmytí i zde bylo cílem zjistit chod jednotlivých hlav i celé linky hlavního mytí. Naměřené hodnoty jsou v příloze a v následujícím grafu je vidět rozmezí časů jednotlivých cyklů na stanovištích.



Obr.20 Graf cyklů jednotlivých stanovišť hlavního mytí

Průměrné časy hlavního mytí, jednotlivých linek jsou:

PL1 = 31,90s

PL2 = 32,36s

PL3 = 32,34s

Referenční stav = 32s.

### 3.2.2.2 Návrh optimalizace času hlavního mytí

Pro optimalizaci hlavního mytí bylo potřebné zjistit časy, kdy sudy vlastně čekají na dokončení procesu plnění. Tyto časy jsou na každém stanovišti jiné a je potřeba zohlednit manipulační časy, kdy sud musí být naražen a musí se zajistit horní přítlak. Dále je potřeba zahrnout chybu měření, která byla stanovena v kapitole 3.2.1.2 na 0,75s. Celková tabulka všech stanovišť a měření prodlevy časů je opět v příloze. Základní předpoklady a výpočty jsou:

- a) Hledání minimálního času pro optimalizaci.
- b) Od této hodnoty je odečten průměr ze všech naměřených manipulačních časů.
- c) Měření zahrnuje všechna stanoviště ze všech linek
- d) Z těchto všech výpočtů a dat vyjde nejmenší možný čas, který může být použit pro optimalizaci KEG linky.

$$1,54s = \text{Minimum} (PL1 - 3(S2 - S6)) - \text{Manipulační čas} - \text{Chyba měření} \quad (4)$$

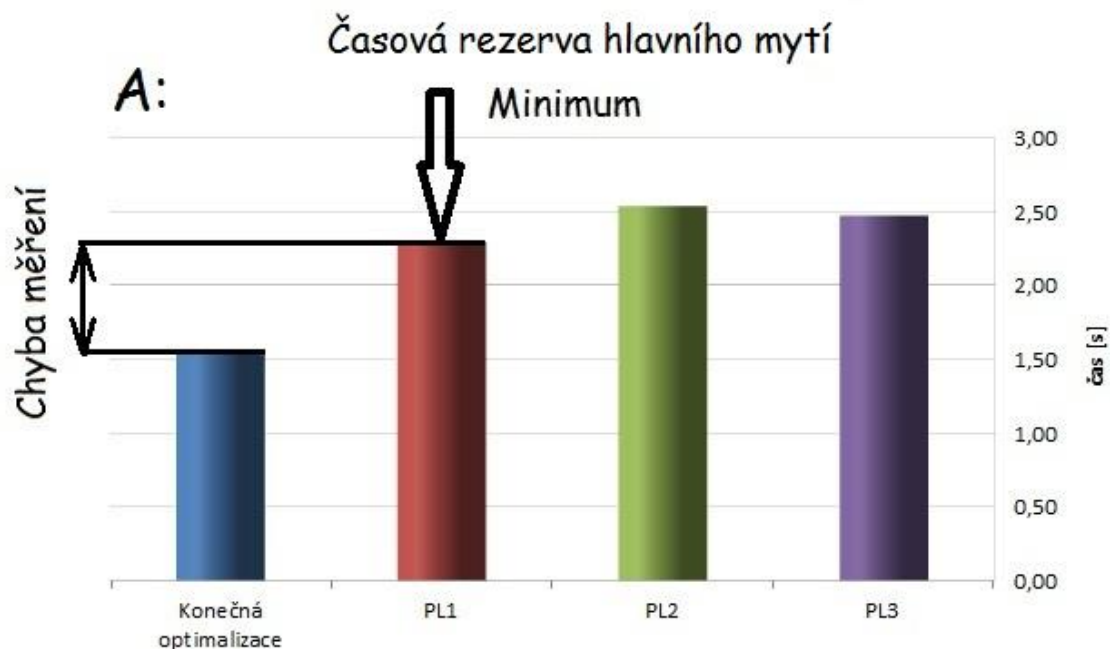
Minimum (PL1-3(S2-S6)) rozumíme nejkratší hodnotu času, kdy neběží žádný proces kromě plnění a sudy tak čekají. Nejkratší hodnota je brána ze všech tří linek hlavního mytí a ze všech stanovišť hlavního mytí.

Manipulační čas je doba, kdy sudy přejíždí mezi jednotlivými stanovišti na linkách hlavního mytí.

Po dosažení:

$$1,54s = 4,32 - 2,03 - 0,75 \quad (5)$$

Z důvodu bezpečnosti zachování intenzifikace mytí a zajištění sterilizace sudu před plněním je čas, který lze použít na optimalizaci pro každé stanoviště 1s. To znamená, že na jeden modul linky hlavního plnění se jedná o ušetření 7s. Pokud by bylo bráno, že chyba je menší nebo do 0,3s, šel by cyklus linky hlavního mytí optimalizovat o dvě vteřiny, ale chod linky je tak nepravidelný, že tato optimalizace by nemusela fungovat a neměla by takový smysl. Grafické znázornění časů jsou na následujícím grafu.



Obr.21 Graf hledaného času pro optimalizaci na hlavním mytí

### 3.2.2.3 Výpočet chyby procesu hlavního mytí

Jak počítat chybu měření a odchylky je znázorněno v kapitole 3.2.1.2.

Další výpočet odchylky měření, který byl zaveden, je následovně:

*Maximum z rozdílů časů na stanovištích* < 0,75s

$$\text{Max}(\Delta(S1 - S7)(PL1 - PL3)) = 0,74s < 0,75s \quad (6)$$

Hodnota 0,74s vyplynula z největší časové difference dob přejezdů. Tomu můžeme rozumět jako rozdíl mezi nejdelší a nejkratší dobou přejezdu mezi stanovišti, která byla změřena na všech linkách a všech stanovištích hlavního mytí.

Průměrné časy ze všech stanovišť jsou v následující tabulce. Zde byla vyhledána nejvyšší a nejnižší hodnota (vyznačeny žlutě) a z nich vypočítán rozdíl.

PL1		PL2		PL3	
S1	32,02	S1	31,75	S1	32,43
S2	31,90	S2	32,47	S2	32,45
S3	31,78	S3	32,44	S3	32,48
S4	31,97	S4	32,45	S4	32,41
S5	31,79	S5	32,48	S5	32,35
S6	31,94	S6	32,48	S6	32,50
S7	31,89	S7	32,49	S7	32,47

Tabulka 2 Průměrné časy cyklů na hlavním mytí

$$\text{Chyba procesu hlavního mytí} = 32,49 - 31,75 = 0,74s \quad (7)$$

### 3.3 Dopravníky

#### 3.3.1 Akumulace dopravníků

Dynamická akumulace znamená za jak dlouho a kolik sudů projede od stroje ke stroji po vypnutí předešlého stroje. Resp. za jak dlouho se vyprázdní dopravník mezi dvěma stroji, pokud stroj, který je dříve v procesu, bude vypnut.

Tato analýza byla provedena z důvodu zajištění dodání sudů z procesu předmytí do procesu hlavního mytí, pokud by došlo k optimalizaci linky. Díky tomu pak mohl být proveden výpočet rychlostí dopravníků viz. 3.3.2.

Pro výpočet akumulace byl napsán program už dříve, do tohoto programu byla zapotřebí dosadit následující data:

- Šířka dopravníků
- Kapacita linky
- Počet sudů vedle sebe
- Počet pásků na dopravníku
- Délka dopravníků

Dynamickou kapacitou rozumíme počet sudů navíc, které by byly potřeba dodat, pokud by nastala optimalizace a moduly hlavního mytí a plnění by navýšili svou kapacitu.

Ta byla dosazena do vzorců:

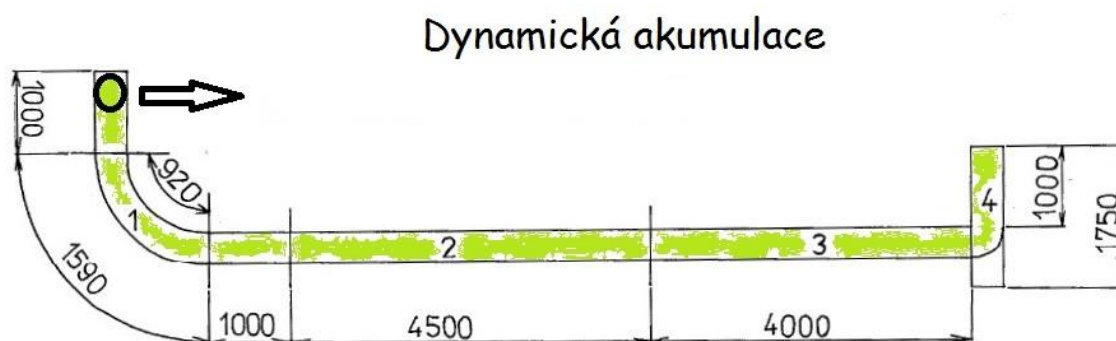
$$\text{Dynamická kapacita [sud]} = \frac{\text{Kapacita} \left[ \text{počet} \frac{\text{sudů}}{\text{min}} \right] \cdot \text{Dynamická kapacita [min]}}{\text{počet pruhů [1]}} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & \text{Dynamická kapacita [min]} = \\ & = \text{Délka dopr. [m]} \cdot \left( \frac{1}{\text{Minimální rychlost dopr.} \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right]} - \frac{1}{\text{Skutečná rychlost dopr.} \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right]} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{Min. rychlost dopr.} \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right] = \text{Min. rychlost dopr.} \left[ \frac{\text{sudy}}{\text{min}} \right] \cdot \text{Šířka dopr.} \left[ \frac{\text{m}}{\text{sud}} \right] \quad (10)$$

$$\text{Min. rychlost dopr.} \left[ \frac{\text{sudy}}{\text{min}} \right] = \frac{\text{Kapacita} \left[ \text{počet} \frac{\text{sudů}}{\text{min}} \right]}{\text{Sudy [1]}} \quad (11)$$

Schéma dopravníků:



Obr.22 Schéma dopravníků měřené akumulace

Pro tyto dopravníky, po dosažení žádaných veličin, vyšla akumulace:

- a) 10,88 minut
- b) 30 sudů.

Dopravníky, pro které byla akumulace zjišťována, jsou vyznačeny zeleně na schématu KEG linky PVP v kapitole 3.1.

### 3.3.2 Rychlost dopravníků

Po zjištění akumulace je možné vypočítat rychlost dopravníků pro optimalizaci. Je nutné zajistit přísun sudů pro proces hlavního mytí. To znamená, že se musí zrychlit dopravníky. Postup lze vidět na následujícím výpočtu pro dopravník číslo 1.

$$\text{Čas na dopr.} = \frac{\text{Délka}}{\text{Rychlost}} = \frac{3,225}{8,6} \cdot 60 = 22,5\text{s} \quad (12)$$

$$\text{Rychlost opt.} = \frac{\text{Délka}}{\text{Zkrácený čas}} = \frac{3,225}{22,5-9} \cdot 60 = 14,33 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{Ušetřeno} &= \left( \text{Čas na dopr. 1} - \frac{\text{Délka1}}{\text{Rychlost opt1}} \right) - \left( \text{Čas na dopr. 2} - \frac{\text{Délka2}}{\text{Rychlost opt2}} \right) = \\ &= \left( 22,5 - \frac{3,225}{\frac{14,5}{60}} \right) + \left( 31,76 - \frac{4,5}{\frac{14}{60}} \right) = 21,63\text{s} \quad (14) \end{aligned}$$

Přehled výsledných hodnot pro optimalizaci rychlosti dopravníku je v následující tabulce:

Dopravník	Současný stav			Optimalizace		
	Rychlost [m/min]	Délka dopr. [m]	Čas na dopr. [s]	Zkrácení o [s]	Rychlost opt. [m/min]	Ušetřeno [s]
1	8,6	3,225	22,5	9	14,5	21
2	8,5	4,5	31,76	12	14	

Tabulka 3 Hodnoty dopravníků před a po optimalizaci

Vyšší rychlost dopravníků nebude vadit, protože sudy v současném stavu, často stojí a čekají na místo před sebou, aby se mohly rozjet. Tím se poškozují pásy dopravníků, které kloužou pod sudy, než se naplní k fotobuňce, která zastaví dopravník. Pokud se zvýší rychlost dopravníků a celé linky hlavního mytí a plnění, sudy budou mít kontinuálnější pohyb a s přenastavením světelných závor budou i šetřeny pásy dopravníků.

Dalším řešením dopravy sudů je posunout fotobuňky, které pouští dopravníky podle toho, jak je další dopravník plný. V celku jde o to, že při posunu fotobuněk, by se zajistila větší akumulace a sudy by nestály na dopravníku hned po předmytí, ale ve frontě na hlavní mytí. Hlavní výhodou je, že by nebyla větší spotřeba energie na rychlost dopravníků, ale pouze by se v rámci týdenní údržby posunuly fotobuňky.

### 3.4 Optimalizace plnění dle typu sudů

#### 3.4.1 Analýza procesu plnění [9]

Plnění sudů probíhá v několika fázích, které jsou:

- a) Výplach kondenzátu pomocí CO<sub>2</sub>
- b) Tlakování sudů pomocí CO<sub>2</sub>
- c) Otevírání jednotlivých ventilů plnění pivem
  - a. Ventily mají každý vlastní časování
- d) Dofuk sudu pomocí CO<sub>2</sub>

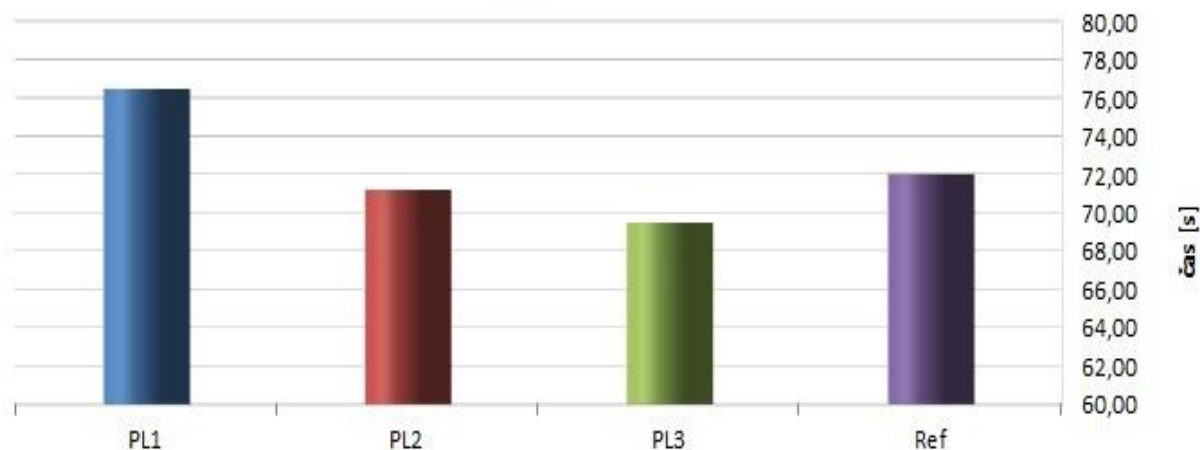
#### 3.4.2 Časy plnění

V tomto případě byly měřeny časy celého cyklu plnění. Pro optimalizaci pak byly měřeny ještě časy plnění pouze pivem, profuk pomocí CO<sub>2</sub> a časy chodů jednotlivých ventilů při plnění. Tyto hodnoty budou zmíněny v dalších kapitolách.



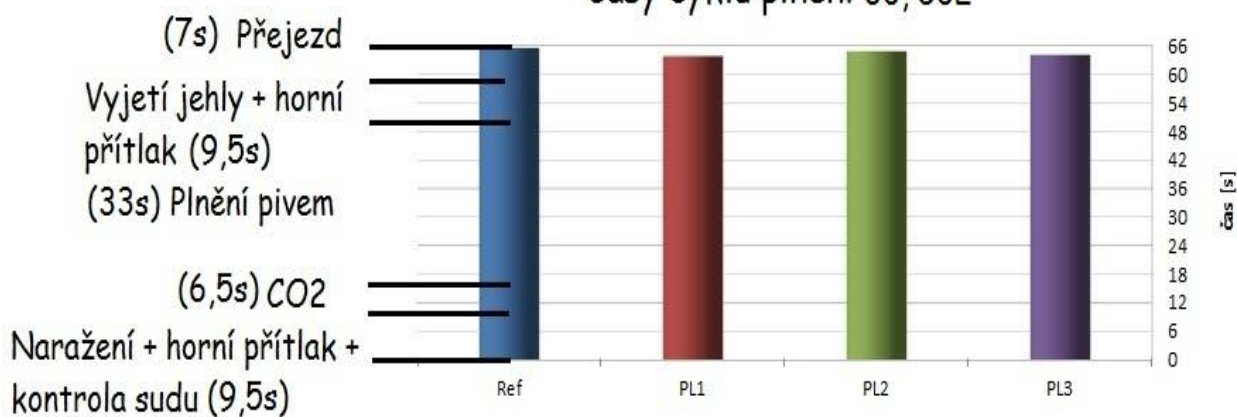
Všechny naměřené hodnoty jsou k nalezení v příloze. Zde jsou ukázány přehledy v samostatných grafech.

### Časy cyklů plnění 15L



Obr.23 Graf časů plnění 15L sudů

### Časy cyklů plnění 30, 50L



Obr.24 Graf časů plnění 30L a 50L sudů

Objemy sudů 30L a 50L jsou zavádějící. Celkové časy cyklů jsou stejné, ale počet otvíraných ventilů se liší. Proto je nutno pro optimalizaci neuvažovat tyto sudy jako celek, ale jako každý zvlášť.

Průměrné časy plnění 30, 50L sudů jednotlivých linek jsou:

PL1 = 63,76s

PL2 = 64,85s

PL3 = 64,10s

Referenční stav = 65,5s.

Referenční stav je doba, která je nastavena řídicím programem a odpovídá času cyklu na modulu plnění.

### 3.4.3 Objemy plnění

Výsledné objemy, které jsou tu uvedeny, jsou měřeny podle hmotnosti za pomoci hustoty. Sud byl zvážen před plněním a po plnění. Zároveň pokud sud chladl 30 minut na vzduchu, je logické, že pára v něm zkondenzovala. Takže od počáteční hmotnosti byl ještě odečten rozdíl hmotností sudu s kondenzátem a bez kondenzátu. Dále je zde uvažována hustota piva, která je s přesností na 14 desetinných míst. Výpočet vypadá takto (příklad pro sud 50L, druh piva – Gambrinus Original):

$$V = \frac{m_p - (m_k - (m_k - m_{bk}))}{\rho} = \frac{62,87 - (12,27 - (12,27 - 12,21))}{1,006351} = 50,28L \quad (15)$$

Hustota piva je měřena zástupci provozní laboratoře, tudíž jsou vždy brány podmínky, jako například teplota piva nebo jeho složení. Hodnoty hustoty se pak pro měření objemu plnění stahují z databáze pro určitý čas a konkrétní pivo.

Zde se vyskytuje záhada, jak je možné naplnit sud na objem 50,28L, když má objem 50L a průtokoměry Diessel dávkují shodně také 50L. Začal se řešit problém, zda jsou naměřená data podložena nějakými rozumnými důkazy.

- 1) Váha – kalibrována na konci června 2013, zde chyba není.
  - a. Přesnost váhy je:
    - i. Pro 50l sudy 0,0621%, to odpovídá cca 0,03 l
    - ii. Pro 30l sudy 0,117%
    - iii. Pro 15l sudy 0,28%
  - b. Rozsah váhy je 0-150kg
- 2) Průtokoměry Diessel – zde neproběhla kalibrace 3 roky a po konzultaci s dodavatelskou firmou bylo řečeno, že byly provedeny různé zásahy od různých firem, řídicí programy nepracují správně a pokud se koukneme na přeplnění, které je 50,28L, je to odchylka 0,56%. To je na jakýkoli průtokoměr ještě rozumná odchylka, se kterou se musí počítat.
- 3) Dle výkresové dokumentace byly nalezeny odchylky výroby sudů. [5]
  - a. Maximální váha KEG 50L může být 63,5 kg

b. Maximální tolerance objemu KEG 50 je 0,3L

Naše naměřená maxima jsou:

<b>S 10</b>	<b>S 11</b>
63,21 kg	63,29 kg
0,28 L	0,26 L

Tabulka 4 Hodnoty naměřených maximálních hodnot

Musíme zde ale také uvážit, že se sudy je zacházeno s velkou nepečlivostí – házení sudů z korby automobilu, pouštění sudů do sklepa z výšky 5 metrů apod. I to má velký vliv na plnění a kolikrát sud už ani nelze doplnit a musí být vyřazen. Pro ilustraci na následné fotografii.



Obr.25 Porucha vyřazeného sudu kvůli deformaci

### 3.4.3.1 Problematika plnění modulu 1

Tato problematika vznikla po analýze současného stavu linky plnění. Byl zpozorován jev, kdy plnicí modul 1 nebyl schopen plnit sudy do stejného objemu, jako ostatní moduly plnění. Vznikla tedy proto otázka: Proč plní málo?

- Jsou zde stejné časy plnění (chod jednotlivých ventilů)
- Stejně časy mytí, přejezdů i profuků pomocí CO<sub>2</sub>
- Stejně průběhy teplot, jak sudu po páře, tak plnění
- Stejně výtraty i kapacita linky

Proto byla hledána jiná příčina. Nakonec se dospělo k chybě mechanické a na stanovišti 10 byla vyměněna celá plnicí hlava. Bohužel ani tato servisní údržba nepomohla. Proto se tento problém řeší dlouhodobě a konečné řešení se někdy nalezne. Musíme brát v potaz to, že linka je stará 20 let, a byla do ní spoustu zásahů zvenčí. Stanoviště 10 bylo vybráno proto, že plní nejméně, že některé sudy, které odjíždí na trh a nejsou v žádné toleranci plnění. Náhodou byl odhalen 30L sud, který měl objem 28,19 L. Hlava číslo 11 plní také méně avšak pořád jsou sudy v toleranci chyby objemu. Proto byl řešen problém především na plnicí hlavě číslo 10.

Fakt, že takto prázdný sud odjel do trhu je dán tím, že na kontrolní váze je nastavena minimální hodnota pro nejtěžší sud. Rozdíl váhy prázdných sudů je bohužel i 1,5 kg. Takže pokud je na lince „těžký“ sud a naplní se málo (např. jako u nás, 28,19L), váha ho nevyřadí jako nedoplněný, protože je v zadaném rozmezí tolerance na kontrolní váze.

Pokud se na tento problém podíváme číselně, znamená to, že průměrné odchylky PL1 od PL2, PL3 jsou na S10: 0,18L

S11: 0,097L

V následující tabulce jsou vidět krizové hodnoty PL1 s odchylkami:

<b>S 10</b>	<b>Odchylka</b>	<b>S 11</b>	<b>Odchylka</b>
28,19 L	6,03 %	29,15	2,8 %

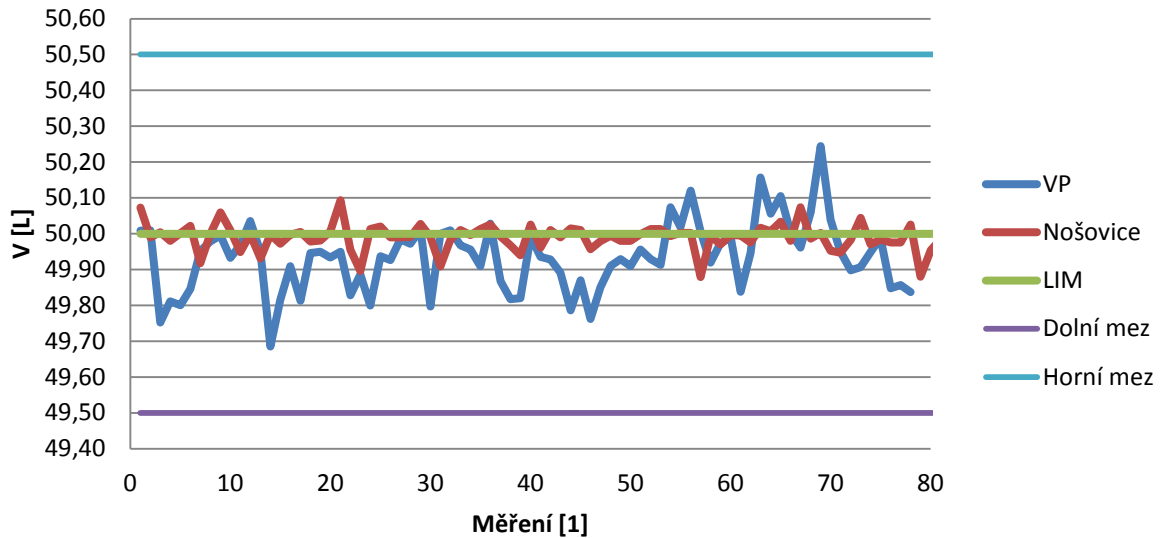
Tabulka 5 Hodnoty naměřených krizových hodnot

#### **3.4.4 Srovnání objemů plnění dle jednotlivých závodů PPAS**

Srovnání jednotlivých závodů PPAS jsou k nalezení v příloze. Data pro tuto analýzu byla poskytnuta z jednotlivých závodů. Pro příklad, jsou zde porovnána plnění 50L sudů v pivovaru Velké Popovice a Radegast Nošovice.

Tato data jsou zapsána od 1.5.2013 – 30.6.2013.

## VP x Nošovice



Obr.26 Graf srovnání objemu plnění 50L sudů v PVP a Nošovice

Tolerance naplnění sudů jsou dány obecnou vyhláškou a legislativní limit je 1%.

Toto zjištění je však zavádějící, jelikož v kapitole 3.6 došlo k upřesnění výsledků, takže celkový průměr křivky PVP se velmi výrazně přiblíží k limitu 50L.

### 3.4.5 Optimalizace plnění pomocí chlazení sudů

Jak již bylo zmíněno, teplota sudu při plnění má velký vliv na konečný objem piva v sudu. Sud po šestém stanovišti na procesu hlavního mytí má teplotu přibližně 135°C. Pivo, které přiteče v potrubí a jde do sudu, má teplotu 9 – 15°C. Právě tímto rozdílem teplot dochází k pění piva. To vede k nízkému objemu piva v sudu a k velkým výtratám piva. Na druhé straně nelze snížit teplotu tlakování párou, protože se musí zajistit čistota a hygienická nezávadnost sudu.

Výtraty se dají vysvětlit tak, že pokud je sud plný, ale část sudu obsahuje pěnu, tak systém plní dál, podle toho, jak je nastaven. Tím dochází k vypouštění přebytečného piva na kanál. Dále je to pivo, které zůstává v plnicí hlavě a musí se vypustit před dalším plněním.

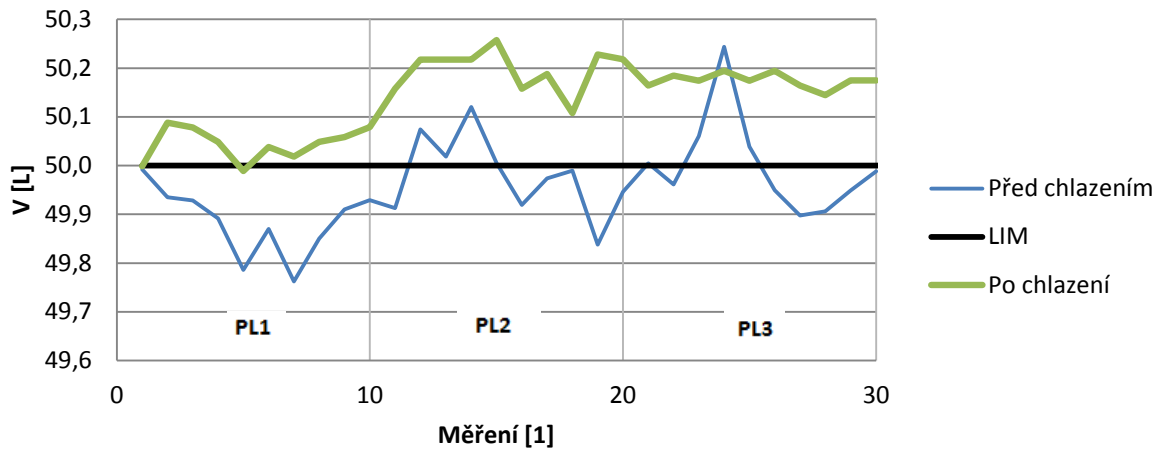
Pokud by se podařilo ochladit sud před plněním, pivo nebude tolik pění a sud bude plnější a zároveň se sníží výtraty.

#### 3.4.5.1 Přínos chlazení

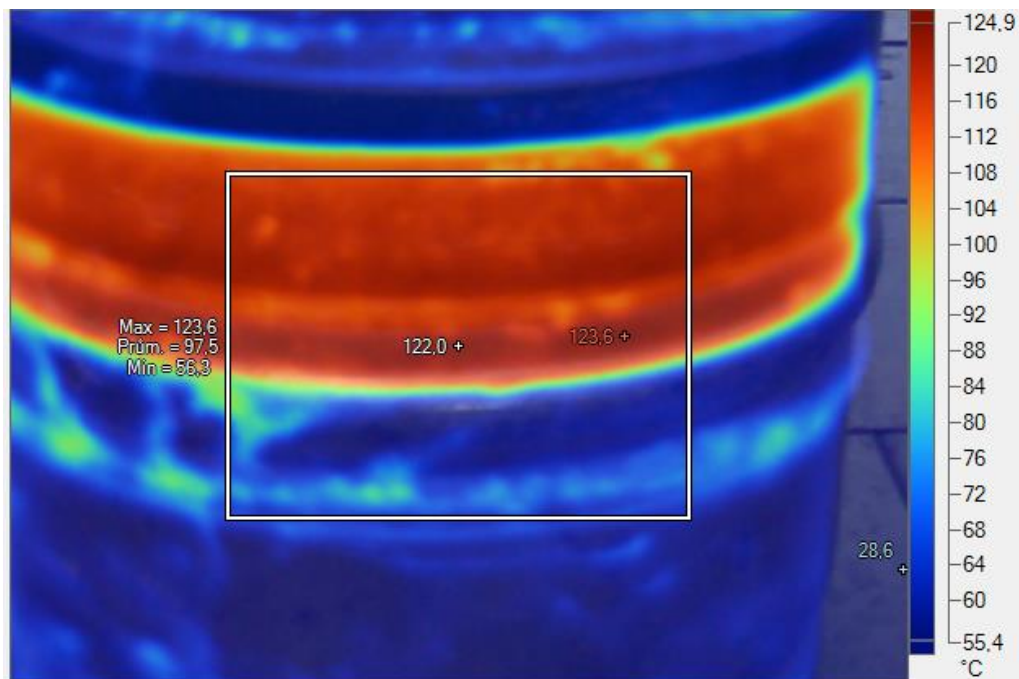
Aby se zjistilo, zda má vůbec smysl chladit, bylo provedeno měření, kdy sud chladl na vzduchu po dobu 30 minut. Tímto sud snížil teplotu z 135°C na 50°C. Po změření naplněného

objemu, jak je uvedeno v kapitole 3.1.2, se provedlo porovnání chlazených sudů s aktuálním stavem plnění. Naměřená data i grafy všech linek jsou opět v příloze, pro ukázkou je zde znázorněno plnění 50L sudů typu KEGP na plnicí hlavě 11.

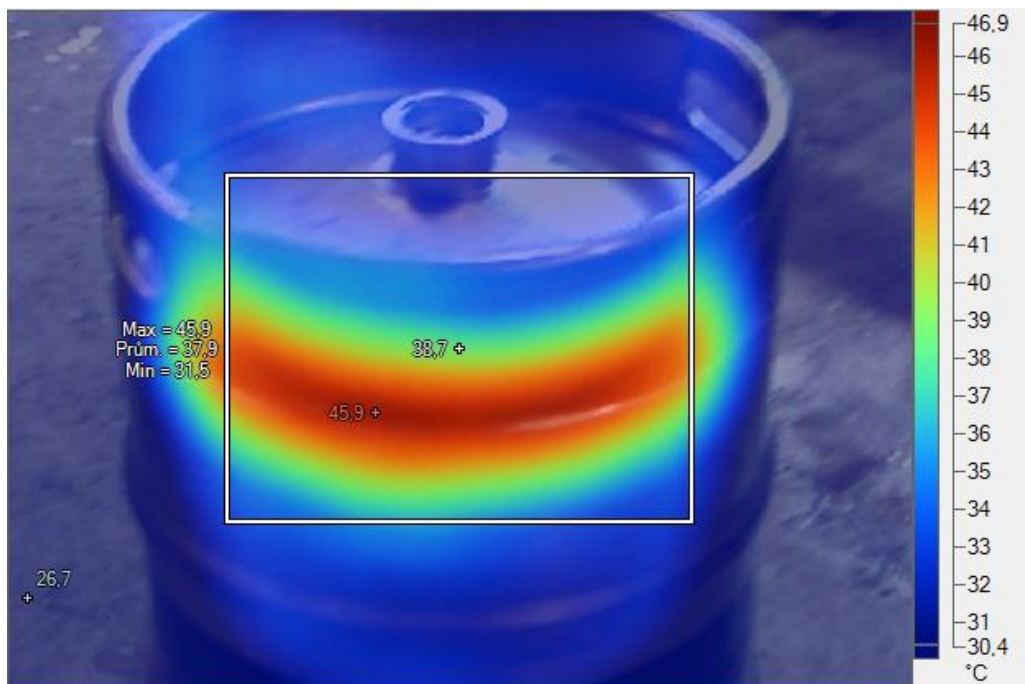
## Porovnání plnění před/po chlazení 50L (S11)



Obr.27 Graf srovnání objemu plnění 50L sudů v PVP po a před chlazením



Obr.28 Teplota sudu před chlazením



Obr.29 Teplota sudu po chlazením

### 3.4.5.2 Chlazení CO<sub>2</sub>

Chlazení za pomoci CO<sub>2</sub> by mělo přinést rapidní ochlazení sudů před plněním. Podle výpočtu v příloze, se musí čas profuku CO<sub>2</sub> navýšit přibližně 3 krát. Ovšem výpočet a nastavené provozní řízení se liší od testů a reality. V procesu řízení se jedná o profuk, který slouží k vyfouknutí kondenzátu ze sudu. Tímto jde vlastně plyn pryč bez užitku, nicméně tohoto plynu je dostatek a tak není problém navýšit jeho odběr. Naměřená data pro optimalizaci jsou v následující tabulce:

PL1		PL2		PL3	
Profuk čas [s]	Tlakov. čas [s]	Profuk čas [s]	Tlakov. čas [s]	Profuk čas [s]	Tlakov. čas [s]
3,00	1,90	3,06	1,72	3,18	1,62
3,07	1,91	3,06	1,67	3,05	1,68
2,94	2,06	2,99	1,74	2,97	1,74
3,01	1,92	3,01	1,78	2,98	1,77
3,16	1,72	3,06	1,68	2,98	1,73
3,05	1,73	2,97	1,93	3,01	1,87
3,00	1,78	3,08	1,65	3,01	2,28
3,08	1,56	3,02	1,78	3,01	2,31
3,00	1,52	2,99	1,84	3,04	2,20
3,04	1,44	2,98	2,14	3,04	2,24
3,04	1,75	3,02	1,79	3,03	1,94

<b>3,03</b>	1,83
-------------	------

Tabulka 6 Hodnoty profuků na jednotlivých linkách

Výsledný a zprůměrovaný čas pro optimalizace je tedy 3,03s.

Nastává zde ale problém, že při profuku pomocí CO<sub>2</sub> dochází rovnou i k tlakování. Do sudu jde tak velké množství CO<sub>2</sub>, že se nestačí plyn upouštět a probíhá rovnou k tlakování. Výsledné dotlakování je pak velmi rychlé. Tak rychlé, že se nedá změřit. Tabulka, která je zde naměřena, jsou data, která odpovídají řízení plynu CO<sub>2</sub> na řídicím panelu. V reálném provozu je to vlastně obdobně, pouze se nedá rozdělit profuk a tlakování. Proto je tento typ optimalizace nereálný.

Nastává tedy problém, jak dostat sud na plnění chladnější. Další návrhy byly:

- a) Zmenšit tlak CO<sub>2</sub> na vstupu před linkou a to za pomoci škrtící ventilu, který již je nainstalován.
  - Toto řešení je nemožné, jelikož CO<sub>2</sub> v potrubí na vstupu má 3 bary. Sud je tlakován na tlak 2,9 bar. Snížit tlak v potrubí je tedy nevhodné z důvodu tlakování sudů. Menším tlakem by se rozhodil celý proces plnění, sudy by nebyly doplněny a došlo by k velkým výtratám. Nejhorší by došlo k nekonečnému času tlakování sudů a linka KEG by stála a hlásila poruchu a kvůli překročení maximálního času by se celý objem vylil na kanál.
- b) Chladit CO<sub>2</sub> již někde po cestě k lince. To by zajistilo za stejný čas větší ochlazení sudů a tedy i zvýšení kvality plnění a následnou optimalizaci?
  - Bylo zjištěno, že ze strojovery, odkud je nám CO<sub>2</sub> dodáváno, má plyn teplotu 17,5°C. Venkovním potrubím jde plyn na stáčírnu, nejdříve vede potrubí k lince KRONES a z tohoto potrubí je odbočka na linku KEG. Mezitím co se plyn na KRONES nestačí ohřát a má 18°C, na linku KEG se po cestě, kdy jde potrubí halou ohřeje na 28,5°C. Znamenalo by to chladit potrubí o délce cca 35m. Problém, ale nastává, že ani chladnější CO<sub>2</sub> nám neochladí sudy o takovou teplotní diferenci v daném čase. Pro ochlazení sudu pomocí CO<sub>2</sub> z KRONES ze 105°C na 50°C je potřeba 268,27s. To nemá smysl.
- c) Držet se původního nápadu a vymyslet, jak obejít program řízení a tlaku v sudech.
  - Tento plán by šel nejspíše zrealizovat, ale po testu, kdy byl sud hned po šestém stanovišti odebrán a z ventilu na potrubí do něj byl vpuštěn plyn CO<sub>2</sub> se přišlo na to, že k ochlazení sudu, při daných podmínkách, které nejdou změnit, dojde za dlouhý čas, který nemá pro linku význam. Pro lepší vizualizaci jsou časy k nahlédnutí v následující tabulce:



$T_{\text{start}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{konec}} [^{\circ}\text{C}]$	čas [s]
108	91	70,14
110	93	70,51
110	91	70,56
110	91	71,75
106	50	347,78

Tabulka 7 Časy potřebné k ochlazení sudu

### 3.4.6 Optimalizace plnění sudů

Cílem je tedy zvýšení kapacity linky KEG v pivovaru Velké Popovice, dále zkvalitnění plnění sudů a při tom všem zachovat kvalitu mytí sudů. Původní nápad byl přivést chladný sud na modul plnění, to bylo prověřeno všemi možnými způsoby a bylo zjištěno, že není v silách této linky jakkoli navýšit kapacitu. Samozřejmě se zde bavíme, aby kvalita linky byla alespoň zachována. Pochopitelně zvýšit kapacitu jde, ale sudy se nebudou plnit do stanoveného objemu, budou hygienicky závadné a „špinavé“. Takže tímto směrem určitě NE.

### 3.4.7 Chod jednotlivých ventilů plnění

V postupu optimalizace se naskytla příležitost optimalizovat linku za pomoci chodu ventilů, přesně v jejich časování otevírání. Při plnění sudů 50L se postupně otevírají a zavírají 4 ventily, u sudů 30L se otevírají pouze ventily 3. Čtvrtý ventil je programově zablokován. Časy otevírání ventilů jsou shodné, ale nápad spočívá v tom, že při správném načasování chodu ventilu, by se sud mohl naplnit rychleji se stejnou kvalitou. Nastavit lze pouze čas otevření, zavření ventilů určuje program sám podle toho, kolik je piva v sudu. Abychom zabránili pění piva a znehodnocení plnění, musíme nastavit ventily tak, že největší průtok bude, když se sud ochladí na téměř konečnou teplotu.

Tímto bychom mohli ušetřit 2 vteřiny při plnění, je zde ale problém v procesu řízení. Vzhledem ke stavu a stáří linky, má proces řízení „vůli“ sud od sudu až 5 vteřin. V tomto ohledu se velmi špatně hledá nějaký časový prostor a je tak velmi nepravděpodobné potvrdit optimalizaci a navýšit tak kapacitu linky.

Pokud se bavíme o sudech 15L je to kapitola sama pro sebe. Tento typ plnění není absolutně vhodný pro tak nízké sudy. Zde pracují ventily pouze dva a to ještě plnění probíhá jejich střídavým otevíráním a zavíráním. Ventily se přepínají tak dlouho mezi sebou, dokud není sud naplněn. V tomto případě myslím, že linka pracuje na své maximum.

Jiné nastavení ventilů u sudů 30L, 50L bylo řádně prozkoumáno a přišlo se na jiné, možná vhodnější časování. Po nastavení a proměření se ověřovala kvalita plnění, která byla

zachována. Problém však je, jak bylo zmíněno, stavem linky. Stejně načasování bylo provedeno pro PL1 – S10 a pro PL3 – S11. Záměrně byla vybrána nejsilnější a nejslabší místa linky KEG. Výsledky tohoto experimentu jsou vidět v následujících tabulkách.

	<b>PL1 – S10, PL3 – S11</b>			
<i>50L, 30L</i>	Časy otevírá- ní standardně [s]	Časy otevírání po optimaliza- ci [s]	Časy otevírání stan- dardně [s]	Časy otevírání po op- timalizaci [s]
<b>1V</b>	2	2	2	2
<b>2V</b>	8	6	8	6
<b>3V</b>	2	1	2	2
<b>4V</b>	2	1	x	x

Tabulka 8 Časy otevírání ventilů

<i>50L</i>	Čas plnění standard- ně [s]	Čas plnění po opti- malizaci [s]	Úspora času [s]
<b>PL1 – S10</b>	32,90	29,93	2,97
<b>PL3 – S11</b>	31,94	31,46	0,48
<i>30L</i>			
<b>PL1 – S10</b>	31,04	29,25	1,79
<b>PL3 – S11</b>	30,11	28,87	1,24

Tabulka 9 Tabulka úspory času

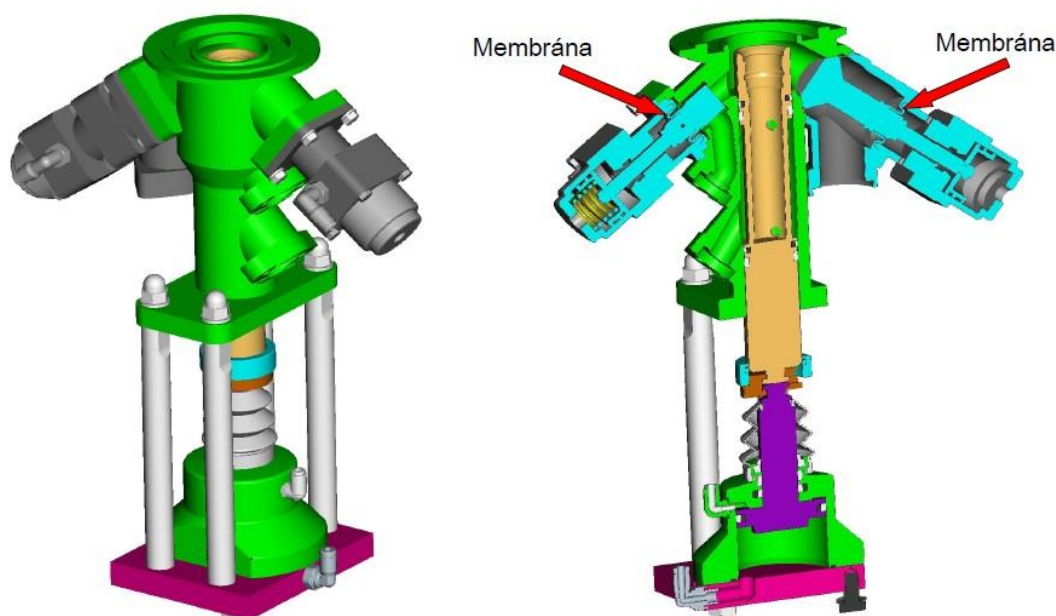
Z tabulky 8 je vidět nepravidelnost linky, velký rozdíl při plnění.

### 3.4.8 Nové plnicí hlavy

Abychom zajistili lepší kvalitu plnění a mohli tak navýšit kapacitu linky, protože máme zjištěno, že hlavní mytí lze o 1 vteřinu zrychlit bez ztráty kvality, bylo by dobré vyměnit hlavy plnění. Díky regulovatelnému průtoku zajistíme větší objem piva v sudech fyzicky. Tím zajistíme lepší kvalitu plnění → menší výtraty (více piva v sudu). Membránové ventily nám umožní kontinuální proces plnění, který bude říditelný a právě díky tomu můžeme plnit sudy rychleji a kvalitněji. Dále odpadá manuální doplňování sudů. Je zde menší příjem kyslíku, poloviční výtraty piva, možná částečná údržba hlavy, poloviční čas pro výměnu jiného typu fitinku, lepší hygienický design. Přesné hodnoty jsou vidět v následující tabulce:

	<b>Plnicí hlava 94</b>	<b>Plnicí hlava 98</b>	<b>Plnicí hlava 06</b>
<b>Příjem kyslíku</b>	Max. 0,08 ppm	Max. 0,05 ppm	Max. 0,05 ppm
<b>Výtraty piva</b>	58 ml/Keg	27 ml/Keg	27 ml/Keg
<b>Kompletní údržba hlavy</b>	Cca. 120 min.	Cca. 50 min.	Cca 50 min.
<b>Částečná údržba hlavy</b>	Není možná	Cca. 5 min.	Cca. 5 min.
<b>Čas výměny pro jiný typ fitinku</b>	Cca. 7 min.	Cca. 2 – 3 min.	Cca. 2 – 3 min.
<b>Hygienický design</b>	+	++	+++

Tabulka 10 *Parametry nových hlav KHS* [4]



Obr.30 *Plnicí hlava KHS FK 06* [4]

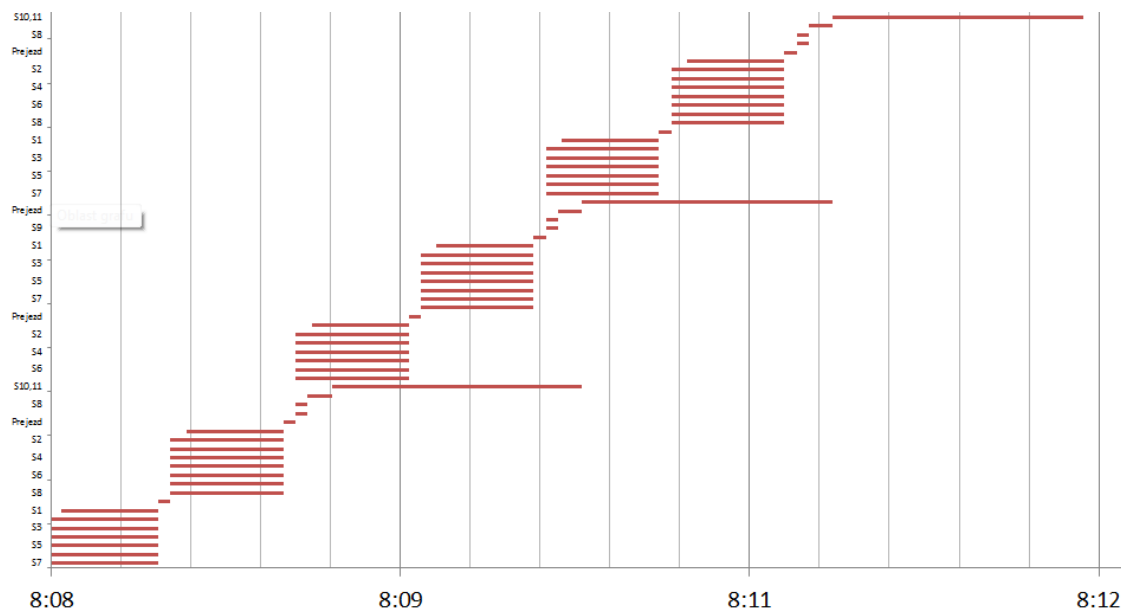
### 3.5 SMED analýzy

SMED analýza je časová simulace chodu linky po různých optimalizacích a je možné si tak ověřit, jak by linka vypadala po různých zásazích do programu řízení. V příloze jsou vidět SMED analýzy:

- a) Aktuální stav
- b) Optimalizace procesu pouze hlavního mytí

- c) Optimalizace procesu pouze plnění
- d) Optimalizace procesu hlavního mytí i plnění (část této analýzy je vidět na následujícím obrázku)

Tyto analýzy se dají přirovnat Ganttovu diagramu, který lze vytvořit v časové přímce v programu MS Project. Bohužel v té době, nebylo možné využít placenou licenci. Proto simulace chodu linky vznikla v MS Excel a tedy SMED analýzy.



Obr.31 Výsledný chod linky po optimalizaci

### 3.6 Kondenzát v sudech

#### 3.6.1 Vyhodnocení zbytkového kondenzátu v sudech dle typu sudů

Toto vyhodnocení probíhalo z důvodu aktualizace systému výpočtu pro objem sudů. Aktuální hodnoty byly přibližně 8 let staré a bylo tak nutné je upřesnit.

Výpočet objemu sudu vypadá následovně:

$$V = \frac{m_p - (m_{pr} - K)}{\rho} \quad (16)$$

Měření probíhalo následovně:

- 1) Sud byl odebrán ze šestého stanoviště, kde byl natlakován párou.
- 2) Probíhalo chladnutí sudu a kondenzování páry v sudu po dobu přibližně 3 hodiny.
- 3) Sud byl zvážen.
- 4) Proběhlo otevření sudu a vylití kondenzátu do odměrného válce.

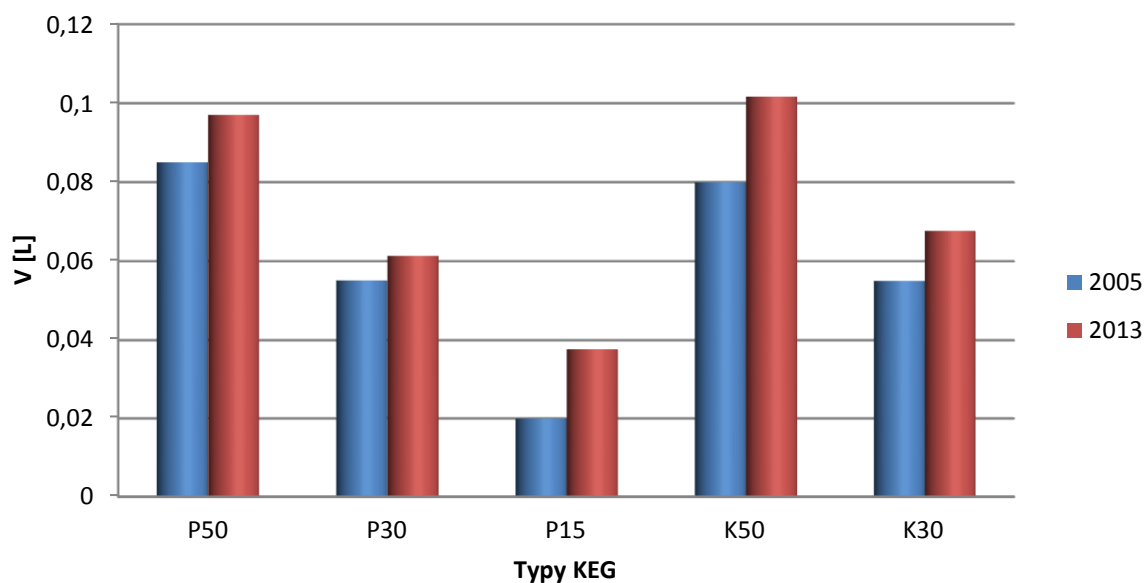
- 5) Následně byl sud zavřen a opět zvážen.
- 6) Odměrný válec byl položen na rovinnou desku a byla odečtena hodnota objemu kondenzátu.

Naměřené hodnoty jsou vidět v následující tabulce pro hlavní modul 3:

PL3										
	vzorek 1			vzorek 2			vzorek 3			Ø
Typ KEG	m [kg]	m [kg]	V [L]	m [kg]	m [kg]	V [L]	m [kg]	m [kg]	V [L]	V [L]
<b>K50</b>	12,40	12,36	0,100	12,44	12,38	0,105	12,31	12,26	0,105	<b>0,103</b>
<b>P50</b>	12,50	12,46	0,090	12,09	12,00	0,090	12,20	12,14	0,095	<b>0,092</b>
<b>K30</b>	10,97	10,92	0,060	10,52	10,48	0,065	10,72	10,66	0,065	<b>0,063</b>
<b>P30</b>	10,02	9,99	0,060	10,11	10,09	0,060	10,03	9,99	0,065	<b>0,062</b>
<b>P15</b>	7,82	7,80	0,040	7,94	7,91	0,040	8,00	7,97	0,040	<b>0,040</b>

Tabulka 11 Hodnoty zbytkového kondenzátu v sudech

## Rozdílný kondenzát v sudech



Obr.32 Graf rozdílného kondenzátu v sudech

Zde lze vidět, že změřený kondenzát neodpovídá rozdílu hmotností. Záleží tak, co brát v potaz při výpočtu objemu sudu. Zda být na straně bezpečnosti a uvažovat tak rozdíl váhy nebo vzít v úvahu opravdu to, co bylo fyzicky vylito a změřeno ze sudu. To, že rozdíl hmotností neodpovídá objemu, vylitého ze sudu, může být způsobeno například i tím, že váha ne-

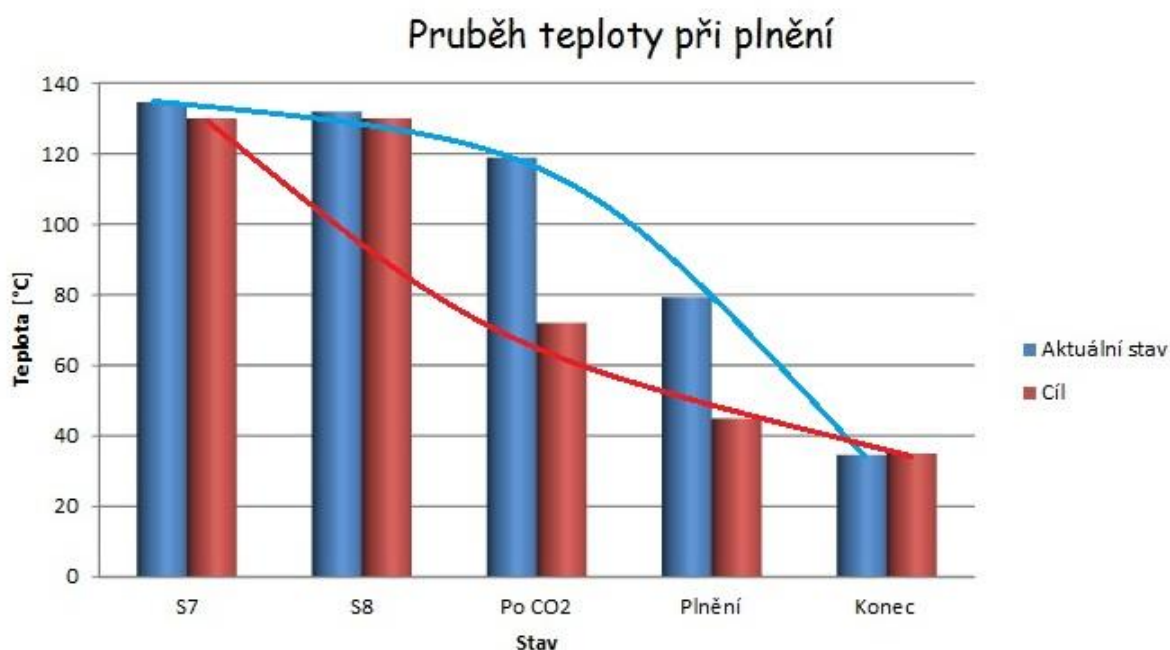
má v daném rozsahu měření správnou odchylku. Musíme si uvědomit, že pokud váha je schopna vážit až 100 kg a přesnost má pouze 2 desetinná místa, nemůžeme chtít, aby nám výsledek rozdílu váhy vyšel přesně, pokud se jedná pouze o gramy.

### 3.7 Průběh teploty plnění

#### 3.7.1 Monitorování teploty při plnění sudu

Teplota sudu byla měřena na stanovištích: 7, 8, 10/11 a na konci linky po plnění. Na stanovišti 10 bylo měření ještě rozděleno na stav po profuku CO<sub>2</sub> a na stav, kdy byly všechny ventily plnění právě otevřeny.

Toto měření nám pomohlo k tomu, že následoval výpočet o kolik je potřeba navýšit CO<sub>2</sub>, abychom uchlادili sud stejně, jako po půl hodině chlazení na vzduchu. To však nebylo přínosem. Nakonec toto monitorování přineslo přehled průběhu teplot, jak jsou časovány ventily a jak je optimalizovat.



Obr.33 Graf průběhu teplot při plnění sudů

Po vyzkoušení veškeré optimalizace s teplotou sudu a plněním bylo zjištěno, že teplota sudu má velký vliv na kvalitu a rychlost plnění, ale bohužel zde není jakákoli reálná možnost dosáhnout potřebné teploty sudu před plněním. Současná linka nám to nedovolí jak z důvodu provozních, tak hygienických.

Co se týká časování ventilů, ty byly zmíněny v kapitole 3.4.7.

### 3.8 Mytí dlouho deponovaných sudů

Tento postup je nestandardní, však opakovaný. Proto se vytváří pracovní instrukce, aby se za dalších pár let mohl tento opakovaný proces konat již ověřeně a účelně. Hlavní rozdíl je samozřejmě v časech předmytí, ale hlavně v tom, že místo kyselého mytí se přechází na mytí alkalické, aby se potrubí nekontaminovalo. Louh má lepší účinek pro odstranění mikroorganismů. [14]

Pro přebytečnost sudů na trhu, jsou sudy deponovány ve skladu na ČOV v hale. Sudy nebyly nijak ošetřeny nebo přemyty před deponací. Předpokládá se, že se mohou objevit sudy, které budou obsahovat stále zbytky piva. Tyto zbytky mohou být silně kontaminované plísními a ostatními mikroorganismy, tvořící celkem pevnou strukturu kožovitého charakteru. Sudy dosahovaly stáří až 5-ti let.

V případě zpracování takovýchto sudů, na standardním „kyselém“ procesu mytí, dojde ke kontaminaci mycího roztoku a následnou re kontaminaci ostatních sudů a případně celého systému mycích roztoků.

V minulosti, při zpracování těchto sudů, byl pozorován jev, kdy z přepadu nádrže roztoku předmytí vypadávaly chuchvalce hleny. Na přítomnost těchto sudů jsme nebyli připraveni a tak došlo k nárůstu výskytu mikrobiologické kontaminace umytých sudů.

Následně popsany postup má eliminovat možnost mikrobiologické kontaminace umytých sudů a zabezpečit 100 % kvalitu produktu. [19]

Charakteristika postupu:

Změna spočívá v použití louhového roztoku s aditivem na místo kyselého roztoku předmytí. Louh s aditivem má lepší schopnost odmyt zaschlý balast z vnitřku sudu. Nevýhoda je to, že se louhový roztok rychle vyčerpá a bude se snižovat jeho účinnost.

Bude rychle narůstat obsah soli a nečistot. Proto je prodloužen i čas na vytlačení prvního proplachu sudu tak, aby došlo k co největšímu vytlačení případnému CO<sub>2</sub> ze sudu.

Teplota roztoku se nebude zvyšovat, zůstane 75°C. Vyšší teplota by zapříčinila mineralizaci plísní, které by již nešlo běžnou metodou umýt.

Zvýšení hydromechanického účinku mytí zajišťuje, že zaschlé zbytky v sudu budou částečně uvolněny. A to hlavně díky prodloužení cyklu předmytí sudu vodou.

Tyto změny budou mít vliv na výkon předmytí. V současné době je výkon 330 ks/hod, úpravami dojde ke snížení cca na 285ks/hod. Teoreticky, prakticky cca na 260ks/hod, kvůli prázdným stanovištím na modulech hlavního mytí. Nestíhají dojíždět sudy a hlavy pracují na prázdno. [16]

Snížení kapacity způsobuje prodloužení času na předmytí:

Úpravu procesu na první mycí hlavě předmytí:

- Krok proplachu vodou – prodloužení z 5,5“ na 9,5“
- Krok vytlačení vzduchem – prodloužení z 5“ na 9“. [6]



Obr.34 Otevřený umytý sud z ČOV



## 4. ZÁVĚR

Cílem bylo provedení revize algoritmu mytí KEG sudů a dále optimalizace procesu plnění dle typu sudů.

Povedlo se zrevidovat celý proces mytí. Jak na modulu předmytí, tak na modulu hlavního mytí. Všechny cykly pracují na linkách shodně a správně. Na modulu hlavního mytí byl nalezen prostor pro uspoření času. Tento čas by vedl k navýšení kapacity linky.

Dále bylo zjištěno, že zbytková kyselina, která přejíždí v sudu z předmytí na hlavní mytí, nedosahuje takového objemu, jakého by měla. V literatuře se uvádí 5 – 7 litrů, praktickým změřením však byly zjištěny pouze 3 litry kyseliny.

Byl také upřesněn kondenzát v sudech před plněním, díky kterému došlo ke zpřesnění výpočtu objemu piva v sudu a ke zpřesnění naplněného objemu.

Problematika plnění sudů byla zmonitorována ve všech směrech, ať se bavíme o typech sudů nebo druhů piv. Po vyzkoušení několika, v textu uvedených, optimalizací stávající linky však nedošlo ke zlepšení nebo nebyly reálné. V tomto případě je linka nastavena na svoje maximum plnění. Z mojí práce vyplývá, že stávající linka bude vyžadovat rekonstrukci. Další problém nastává s kvalitou sudů. Jsou hodně po mláčené a zdeformované. To kvalitě plnění nenapomáhá.

### Doporučení:

- Nové plnicí hlavy s membránovými ventily (KHS FK06)
- Lepší manipulace se sudy
- Sudy by neměly být uskladněny několik let, ale měly by chodit častěji do trhu

### Výsledný efekt práce:

- Uspoření 1s/cyklus na modulech hlavního mytí
- S novými plnicími hlavami – rychlejší plnění a menší výtraty
- Navýšení kapacity linky o 9,1% - 330 ———> 360 KEG/hod  
- Roční výstav navýšen o 65000 hl

## SYMBOLY

A	–	plocha scezovacího dna	[m <sup>2</sup> ]
DT1, DT2, DT3	–	jednotlivé moduly linky předmytí	[1]
GA	–	označení piva Gambrinus	[1]
K	–	kondenzát v sudech	[L]
K <sub>A</sub>	–	průměrná propustnost mláta	[m <sup>2</sup> ]
KEG K	–	Kozelský typ sudu	[1]
KEG P	–	Plzeňský typ sudů	[1]
L	–	výška vrstvy mláta	[m]
m <sub>bk</sub>	–	hmotnost sudu bez zbytkového kondenzátu	[kg]
m <sub>k</sub>	–	hmotnost sudu se zbytkovým kondenzátem	[kg]
m <sub>p</sub>	–	hmotnost plného sudu	[kg]
m <sub>pr</sub>	–	hmotnost prázdného sudu	[kg]
p	–	tlak	[Pa]
p <sub>1</sub>	–	tlak pod scezovacím dnem	[Pa]
p <sub>2</sub>	–	tlak nad scezovacím dnem	[Pa]
PL1, PL2, PL3	–	jednotlivé moduly linky hlavního mytí	[1]
PU	–	označení piva Pilsner Urquell	[1]
Q	–	průtok sladiny	[m <sup>3</sup> /h]
S1 – S13	–	jednotlivé označení stanovišť na lince KEG	[1]
t	–	čas	[s]
T	–	teplota	[°C]
T1	–	teplota hvozdění	[°C]

$T_2$	–	teplota nad sladem	$[^{\circ}\text{C}]$
$V$	–	objem	$[\text{L}]$
$X$	–	chyba měření	$[1]$
$X_s$	–	vlhkost sladu	$[1]$
$\mu$	–	viskozita sladiny	$\left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right]$
$\rho$	–	hustota	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$

# LITERATURA

## Tištěné zdroje:

- [1] Basařová, G., Šavel, J., Basař, P., Lejsek T., *Pivovarství-teorie a praxe výroby piva*, VŠCHT, Praha, 2010.
- [2] Basařová, G., Psota V., Basař, P., Šavel, J., Paulů, R., Kosař, K., Dostálek, P., Basařová, P., Kellner, V., Mikulíková, R., Čejka, P., *Sladařství-teorie a praxe výroby sladu*, Havlíček brain team, Praha, 2015.
- [3] Janoušek, J., Basařová, G.,: *Význam pojmu pasterační jednotka v moderním pivovarnictví*, Kvasný průmysl, vydání 48, 2002.
- [4] KHS, Filling and packaging, *Technika KEG: Nová plnicí hlava FK06*, Dortmund, 2012.
- [5] Kosař, K., Procházka, S.,: *Technologie výroby piva a sladu*, Kvasný průmysl, vydání 11, Praha, 2000.
- [6] Novotný, J., *Metodika dlouho deponovaných sudů na lince KEG PVP*, Velké Popovice, 2013
- [7] *Výkresová dokumentace linky KEG PVP*, Velké Popovice, 2010.

## Elektronické zdroje:

- [8] *KHS Clean cycle-CIP Concept* [on-line]. Nedostupné mimo PPAS.
- [9] *KHS Packaging* [on-line]. [cit. 2011-09-08]. Nedostupné mimo PPAS.
- [10] *KHS Waher-cleaning technology* [on-line]. Nedostupné mimo PPAS.
- [11] *Kontrola mytí sudů - sudem s průhledítkem* [on-line]. [PI-VP-74-01-09]. Nedostupné mimo PPAS.
- [12] *Myčka povrchu sudů* [on-line]. [PI-VP-74-05-07]. Nedostupné mimo PPAS.
- [13] *Mytí a plnění sudů* [on-line]. [PI-VP-74-09-07]. Nedostupné mimo PPAS.
- [14] *Mytí sudů na nefiltrované pivo* [on-line]. [PI-VP-74-04-11]. Nedostupné mimo PPAS.
- [15] *Oplach fittingu* [on-line]. [PI-VP-74-11-07]. Nedostupné mimo PPAS.
- [16] *Pracovní postup mytí dlouho deponovaných sudů (> 2 roky)* [on-line]. [PI-VP-74-06-13]. Nedostupné mimo PPAS.
- [17] *Předmytí sudů* [on-line]. [PI-VP-74-07-07]. Nedostupné mimo PPAS.
- [18] *Složité postup vaření piva* [on-line]. [cit. 2012-06-18]. Dostupné z WWW:<  
<https://www.alkoholium.cz/slozity-postup-vareni-piva-plzenskeho-typu/>>

- [19] *Stanovení koncentrace NaOH a Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> kyselinou HCl potenciometricky* [on-line]. [PI-VP-74-04-10]. Nedostupné mimo PPAS.
- [20] *Váha sudů* [on-line]. [PI-VP-74-11-07]. Nedostupné mimo PPAS.
- [21] *Vičkování a značení sudů* [on-line]. [PI-VP-74-13-07]. Nedostupné mimo PPAS.

# **PŘÍLOHY**

## **SEZNAM PŘÍLOH:**

**Příloha č.1:** Naměřená data včetně zpracovaných grafů

**Příloha č.2:** Schéma KEG linky – výkres

**Příloha č.3:** Schéma KEG linky – procesy

**Příloha č.4:** Kontrola mytí sudů - sudem s průhledítkem

**Příloha č.5:** SMED analýzy

**Příloha č.6:** Potenciometrická titrace

**Příloha č.7:** Manuál mytí dlouho deponovaných sudů