



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

## KOMPLEXNÍ NÁVRH MINI SÝRÁRNY

COMPREHENSIVE DESIGN OF MINI CHEESE FACTORY

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Miroslav Kamarád

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Lošák, Ph.D.

BRNO 2019

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství  
Student: **Bc. Miroslav Kamarád**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Procesní inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Pavel Lošák, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Komplexní návrh mini sýrárny

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Cílem práce je komplexní návrh nové technologické linky pro výrobu speciálního druhu sýru. Výroba sýrů má svá specifika a výrobní proces bývá předmětem obchodního tajemství. Z technologického pohledu je potřeba připravit linku, která bude schopna splnit základní požadavky výrobce na kapacitu výroby, možnost dostatečného řízení procesu ale i další požadavky. Tato diplomová práce bude pokrývat návrh linky od základních energetických bilancí, volby použitých technologií po výběr dostupných zařízení či konstrukční návrh specifických částí. Součástí práce je také základní návrh měření a regulace.

### **Cíle diplomové práce:**

Rešerše z oblasti výroby sýra a příslušných technologií.  
Zpracování energetických bilancí procesu.  
Návrh základního technologického schématu.  
Volba či konstrukce jednotlivých zařízení linky.  
Měření a regulace linky.

### **Seznam doporučené literatury:**

SINNOTT, R. K. a Gavin P. TOWLER. Chemical engineering design. Fifth edition. Amsterdam: Elsevier, 2009. Coulson & Richardson's chemical engineering series. ISBN 978-0-7506-8551-1.  
KUTZ, Myer. Handbook of materials selection. New York: J. Wiley, c2002. ISBN 0-471-35924-6.

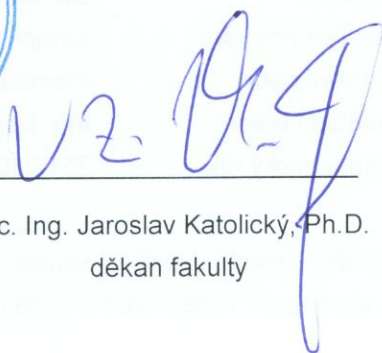
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 12. 12. 2018



  
\_\_\_\_\_

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.  
ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Potravinářský průmysl zaujímá významné místo v odvětví zvaném procesní inženýrství. Z pohledu návrhu procesních zařízení do potravinářství je nutné klást důraz na hygienické požadavky, přesnou výrobu, spolehlivost, a především bezpečnost navržené technologie.

Diplomová práce je zaměřena na Komplexní návrh mini sýrárny. Diplomová práce popisuje technologický a konstrukční návrh technologie. Součástí práce je také základní návrh měření a regulace, realizace návrhu, najetí technologie a následné odladění nedostatků.

## **ABSTRACT**

Food industry occupies a prominent place in branch of process engineering. From design process equipment point of view, great emphasis is placed on hygienic requirements, accuracy, reliability and above all safety.

The diploma thesis is focused on comprehensive design of milk heating technology for cheese production with high-temperature curd. The diploma thesis describes technological and constructional design of technology. The diploma thesis also contains basic design of measurement and regulation.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Mini sýrárna, výroba sýru, potravinářský průmysl, mlékárenský průmysl, návrh technologie

## **KEYWORDS**

Mini cheese factory, cheesemaking, food industry, dairy industry, design of technology

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KAMARÁD, M. *Komplexní návrh mini sýrárny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Lošák, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma *Komplexní návrh mini sýrárny* vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Pavla Lošáka, Ph.D. a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 20. 5. 2019

.....

Bc. Miroslav Kamarád

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval především svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Pavlovi Lošákovi, PhD za čas a cenné rady při vypracování této práce. Také bych rád poděkoval společnosti AUMETO s.r.o. a farmě Doubravský Dvůr za umožnění práce na reálném projektu z praxe. V neposlední řadě musím poděkovat rodině a přátelům, zejména své přítelkyni, která mě během studia podporovala v maximální možné míře.

# OBSAH

ÚVOD .....	11
1 MLÉKO JAKO VÝZNAMNÁ SUROVINA PRO LIDSTVO.....	12
1.1 Složení mléka .....	12
1.2 Význam mléka z hlediska výživy .....	13
2 MLÉČNÉ VÝROBKY .....	14
2.1 Mléčné výrobky – vyráběné bez přidání dalších složek .....	14
2.1.1 Konzumní mléko.....	14
2.1.2 Konzumní smetana .....	15
2.1.3 Máslo .....	15
2.1.4 Sušené mléčné výrobky .....	15
2.2 Mléčné výrobky – vyrobené s přidáním další složky.....	16
2.2.1 Sýr.....	16
2.2.2 Jogurty .....	16
3 ZAŘÍZENÍ VYUŽÍVANÁ V MLÉKÁRENSKÉM PRŮMYSLU.....	18
3.1 Nádoby s vyhříváním/ochlazováním vnitřním pláštěm.....	18
3.1.1 Duplikátor .....	18
3.1.2 Nádoba s půltrubkovým hadem na vnějším plášti .....	19
3.1.3 Nádoba s důlkovaným pláštěm .....	20
3.2 Pastéry .....	21
3.2.1 Kotlový (hrncový) pastér .....	21
3.2.2 Trubkový průtočný pastér .....	22
3.2.3 Deskový průtočný pastér .....	22
3.3 Výrobník smetany – odstředivka .....	25
3.4 Výrobníky másla – zmáselňovače.....	28
3.4.1 Diskontinuální výroba másla .....	28



3.4.2	Kontinuální výroba másla.....	29
4	MĚŘENÍ A REGULACE V MLÉKÁRENSKÉM PRŮMYSLU.....	31
4.1	Měření v mlékařství .....	31
4.2	Regulace v mlékařství .....	32
5	VÝROBA SÝRU.....	33
6	PRAKTICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	35
6.1	Zadání praktické části .....	35
6.2	Blokové schéma procesu mini sýrárny .....	36
6.3	Návrh základních technologií ohřevu/chlazení .....	37
6.3.1	Návrh technologie ohřevu.....	37
6.3.2	Návrh technologie chlazení .....	38
6.3.3	Návrh finální technologie .....	39
6.4	PID schéma navrhované mini sýrárny .....	41
6.5	Základní energetická bilance procesu .....	43
6.5.1	Energetická bilance ohřevu mléka.....	43
6.5.2	Energetická bilance chlazení mléka.....	47
6.6	Návrh výměníků tepla .....	47
6.7	Návrh čerpadel pro technologii.....	49
6.7.1	Čerpadlo horkovodního okruhu .....	50
6.7.2	Čerpadlo chladícího okruhu.....	53
6.7.3	Čerpadlo produktu .....	53
6.8	Návrh horkovodní stanice .....	55
6.9	Návrh vyrovnávací nádrže .....	57
6.10	Měření a regulace navržené technologie.....	60
6.10.1	Měření v navržené technologii .....	60
6.10.2	Regulace navržené technologie .....	64

6.11 Realizace navržené technologie .....	66
ZÁVĚR .....	67
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	69
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ, ZKRATEK A JEDNOTEK.....	72
SEZNAM PŘÍLOH.....	74
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	75
SEZNAM TABULEK .....	76
SEZNAM GRAFŮ .....	77

## ÚVOD

Procesní inženýrství zahrnuje širokou škálu různých průmyslových odvětví. Jedním z těchto odvětví je také potravinářský průmysl. Tradice potravinářství v České republice sahá až do Československa, kde bylo vyráběno mnoho zařízení do potravinářství. Tato práce se věnuje jednomu odvětví z potravinářského průmyslu, a to mlékárenství.

V rámci diplomové práce byla navržena komplexní technologie k ohřevu, resp. chlazení mléka. Práce popisuje celý postup návrhu od principu ohřevu i chlazení přes energetické bilance procesu až po výběr či návrh potřebných komponentů. Práce řeší také základní návrh měření a regulace, strategii řízení a realizaci.

Diplomová práce je rozdělena do dvou základních částí, kdy první část je zaměřena teoreticky, druhá část práce má čistě praktický charakter.

V teoretické části práce jsou nejprve popsány vlastnosti a složení mléka, následně jsou zde uvedeny také různé mléčné výrobky. Dále jsou zde popsána jednotlivá procesní zařízení, která jsou využívána v mlékárenském průmyslu, např. pastéry, vyhřívané nádoby atd. V závěru teoretické části se čtenář dočte o měření a regulaci v mlékárenském průmyslu, ale také o samotné výrobě sýru.

Druhá část se týká prakticky řešeného projektu, který byl řešen ve spolupráci se společností AUMETO s. r. o. a farmou Doubravský Dvůr (dále investor).

Farma Doubravský Dvůr produkuje aktuálně cca 9000 l kravského mléka denně, většina mléka je dodávána do velké mlékárny. Část produkce je zpracovávána přímo v mini mlékárně, která je součástí farmy. Tato produkce je prodávána přímo na farmě nebo rozvážena do obchodů po celém regionu. Mezi zde vyráběný sortiment patří jogurty, čerstvé přírodní sýry, pařené sýry, tvarohy a také zmrzlina. Stávající technologie výroby se skládá z průtočného deskového pastéru o výkonu 400 l/hod, sýrařské vany a zákysníku o objemu 500 l. Jelikož zájem o regionální produkty z malovýroby roste natolik, že převyšuje výrobní kapacity farmy, rozhodl se investor navýšit výrobní kapacitu, a navíc rozšířit nabízené produkty o sýr s vysokoteplotně dohřívanou sýřeninou.

V závěru diplomové práce je shrnut celý průběh návrhu technologie a také doporučení pro vylepšení funkce navržené linky.

# 1 MLÉKO JAKO VÝZNAMNÁ SUROVINA PRO LIDSTVO

Mléko je nedílnou součástí lidské potravy již několik tisíciletí. Lidé začali využívat mléko v době, kdy si domestikovali zvířata, což bylo v 7. tisíciletí př. n. l. v oblasti Asie a severovýchodní Afriky, ovšem důkazy o tom pocházejí z doby pozdější, např. sumerský reliéf z 3. tisíciletí př. n. l. Mléko se začalo následně zpracovávat do mléčných produktů, prvním takovým produktem bylo kyselé mléko a tvaroh, poté se začaly vyrábět kyselé sýry a máslo z kyselé smetany. S příchodem techniky bylo umožněno vyrábět mléčné výrobky v podnicích pro zpracování mléka – mlékárnách. [1]

V dnešní době se běžně využívá mléko od více druhů zvířat, hlavní roli však zaujímá kravské mléko, které tvoří přibližně 83 % ze zpracovaného mléka [2]. Zbývajících 17 % zůstává na mléko ovčí, kozí nebo také buvolí či koňské [2].

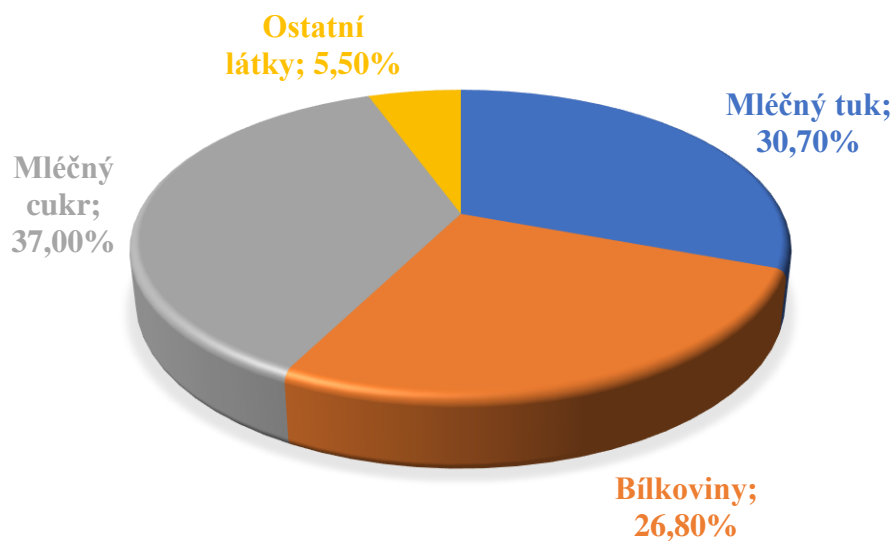
## 1.1 Složení mléka

Mléko se skládá z vody a sušiny, kde voda je hlavní složka mléka. Na vodu připadá přibližně 87 % objemu, zbylých 13 % tvoří sušina [3]. Sušina je dále tvořena třemi základními látkami, mléčným tukem, bílkovinami a mléčným cukrem (laktózou), zbytek objemu tvoří ostatní organické či anorganické látky [3]. Detailní složení mléka je uvedeno v grafu 1. V grafu 2 je zobrazeno detailní složení mléčné sušiny.



Graf 1: Rozložení vody a sušiny v mléku

## SLOŽENÍ SUŠINY MLÉKA



Graf 2: Složení mléčné sušiny

### 1.2 Význam mléka z hlediska výživy

Mléko a výrobky z něj tvořené obsahují téměř všechny důležité látky potřebné pro růst, vývoj a také činnost lidského těla. Mléko obsahuje lehce stravitelné bílkoviny a tuky [4]. Mléko je skvělým zdrojem vápníku, má dobré sytící schopnosti a je dobře stravitelné, také je zařazeno mezi potraviny s nízkým glykemickým indexem [5].

V této kapitole je ovšem nutné se také zmínit o intoleranci nebo alergii na mléko, přesněji řečeno pouze na některé jeho složky. Intolerance mléka je způsobena třemi základními příčinami. První je tzv. ABMK (alergie na bílkovinu kravského mléka), dalšími důvody jsou alergie na bílkoviny obsažené v mléku, jmenovitě se jedná o kasein a syrovátkové bílkoviny [6]. V případě nesnášenlivosti mléka je léčba řešena tzv. bezmléčnou dietou, kde nedochází k žádné konzumaci mléka, či mléčných výrobků [6].

## 2 MLÉČNÉ VÝROBKY

Velká část nadojeného mléka putuje cisternami do mlékáren, kde je příslušnými technologiemi zpracováno na další mléčné výrobky. Tyto produkty jsou vyráběny různými technologiemi, počínaje samotnou pasterací na začátku procesu, až po konečné zabalení finálního výrobku. V této kapitole jsou níže uvedeny některé příklady mléčných výrobků, se kterými je možno se setkat v každodenním životě. Poté v následujících kapitolách bude také detailněji představena technologie a zařízení, která jsou využívána v mlékárenském průmyslu.

Mléčné výrobky lze rozdělit do dvou následujících skupin. První skupinou jsou mléčné výrobky, které jsou vyráběny pouze technologickým zpracováním mléka, druhou skupinou jsou produkty, kde jsou navíc přidány další látky pro výrobu daného mléčného produktu.

### 2.1 Mléčné výrobky – vyráběné bez přidání dalších složek

První skupina produktů je tvořena mléčnými výrobky, které jsou vyráběny pouze technologickým zpracováním mléka bez přidání dalších látek, které by zásadně ovlivnily výrobu daného produktu.

#### 2.1.1 Konzumní mléko

Konzumní mléko je dle technologie výroby děleno do dvou skupin. První skupinou je čerstvé mléko, druhou mléko trvanlivé.

##### a. Čerstvé mléko

Čerstvé, neboli také pasterizované mléko je takové mléko, které prošlo krátkodobým zahřátím na teplotu vyšší než 71,7 °C po dobu alespoň 15 s [7]. Pasterované mléko je nutné skladovat v chladu, obvykle 4-6 °C [8]. Tento výrobek má trvanlivost v rozmezí 10-20 dní [8].

##### b. Trvanlivé mléko

Trvanlivé mléko je nejčastěji vyráběný mléčný produkt v této kategorii [8]. K výrobě se používají dva základní postupy. Prvním postupem je tzv. sterilace v obalu, kdy je mléko zahřáto na teplotu 115-120 °C po dobu 20-30 minut [8]. Druhým způsobem je vysokoteplotním ošetřením (UHT), což je krátkodobé

zahřátí na minimální teplotu 135-150 °C po dobu několika sekund [8]. Díky způsobu výroby jsou zničeny veškeré hnilobné mikroorganismy a jejich spory [7]. Skladování a distribuce tohoto typu mléka je možná při pokojové teplotě, trvanlivost mléka je přibližně 4-5 měsíců [8].

### **2.1.2 Konzumní smetana**

Platná legislativa definuje smetanu následujícím způsobem: „*Výrobek získaný z mléka ve formě emulze oleje ve vodě o obsahu mléčných tuků nejméně 10 %.* [9]“ Konzumní smetany jsou dále děleny na další druhy, např. sladké smetany, smetany ke šlehání, kysané smetany atd. [8].

### **2.1.3 Máslo**

Pod pojmem máslo se rozumí koncentrovaný mléčný tuk vyrobený z kravského mléka [8]. Tuk tvoří souvislou fázi s jemně rozptýlenou vodou [8]. Africká legenda praví, že máslo vzniklo náhodou, kdy vaky s mlékem putovaly na dlouhou cestu na koňském hřbetu, při které se stlouklo mléko do másla [10]. Cílená výroba másla se datuje do doby, kdy si lidé domestikovali první zvířata [10]. Údajně k tomu docházelo již před čtyřmi a půl tisíci lety, nicméně jasné důkazy o existenci másla máme pouze dva tisíce let [10].

Máslo dle legislativy musí obsahovat minimálně 82 % hmotnostních tuku a maximální podíl vody tvoří 16 % hmotnostních [9]. Zbývající 2 % hmotnostní tvoří obvykle laktóza, mléčné bílkoviny anebo minerální látky.

### **2.1.4 Sušené mléčné výrobky**

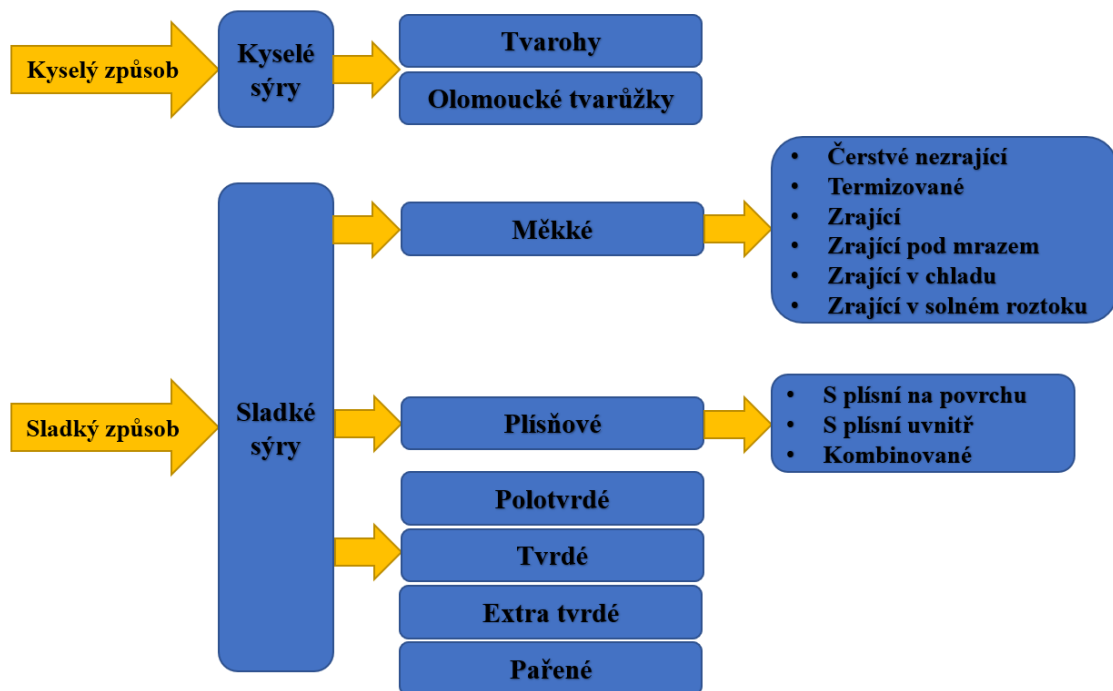
Sušené mléko je výrobek ve formě prášku, který je získáván sušením [11]. Předností tohoto produktu je vysoký hygienický standart a možnost dalšího obohacení složkami, např. chuťovými nebo nutričními [11]. Mezi sušené mléčné výrobky patří např. sušená mléka, sušené smetany a další...[11]. )

## 2.2 Mléčné výrobky – vyrobené s přidáním další složky

Druhou skupinou mléčných výrobků jsou ty, které potřebují pro svoji výrobu přidání další látky, např. kvasinky nebo syřidlo.

### 2.2.1 Sýr

Sýr je mléčný výrobek, který vzniká vysrážením mléčné bílkoviny přidáním syřidla nebo jiného vhodného koagulačního činidla a následným oddělením syrovátky a prokysáním [11]. Výroba sýru je náročný proces, který se skládá z několika jednotkových operací. Z nutričního hlediska jsou sýry výborným zdrojem využitelné energie [11]. Dále jsou také zdrojem vápníku a u tučných sýru vitamínu A, B a D [11]. Existuje mnoho druhů sýrů, některé druhy jsou zobrazeny v obrázku 1. Jedním z druhů je také tvaroh, jedná se o kyselý nezrající sýr, který je získáván kyselým srážením, které převládá nad srážením syřidlovým [11].



Obr. 1: Druhy sýru [12]

### 2.2.2 Jogurty

Jogurty patří do skupiny tzv. zakysaných mléčných výrobků [8]. Jogurt je charakteristický přeměnou části mléčného cukru za působení speciálních bakterií



mléčného kvašení na kyselinu mléčnou, vlivem kyselosti dochází navíc k vysrážení bílkovin [8]. Proces, kdy z mléka vzniká jogurt je nazýván fermentace [8]. Díky fermentaci je prodloužena trvanlivost výrobku [8].

Dle platné legislativy je jogurt definován následující definicí: „*Jogurt, kysaný mléčný výrobek získaný kysáním mléka, smetany, podmásli nebo jejich směsi pomocí mikroorganismů uvedených v příloze č. 1 k této vyhlášce, u kterého lze zvýšit obsah sušiny pouze přidáním mléčné bílkoviny, sušeného nebo zahuštěného mléka, nebo odebráním syrovátky, tepelně neošetřený po kysacím procesu*“ [13].

Jogurty mají svůj původ v zemích Středního východu, proces k výrobě jogurtů byl znám již 5000 let p. n. l. [14]. Samotné slovo jogurt pochází z turečtiny, kde původní slovo yogurt znamená „zkvašené mléko“ [14]. Jak již bylo zmíněno výše, fermentace prodlužuje trvanlivost výrobku, toto bylo hlavním důvodem výroby prvních jogurtů [14]. Dalším důvodem byla také jeho lahodná chuť [14]. Až o několik tisíciletí později byly rozpoznány pozitivní vliv na lidské zdraví, kde hlavní vliv na zdraví mají probiotika, která působí dobře na střevní flóru, ale také na obsah vápníku v kostech [14].

Aktuálně platná legislativa (Vyhláška č. 397/2016 Sb.) požaduje pro jogurty a jogurtová mléka 10 000 000 mléčné mikroflóry výrobku v 1 g [13]. Další požadavek na jogurty je kladen z hlediska obsahu tuku, kdy pro bílý smetanový jogurt je minimální obsah tuku 10 % hmotnostních a pro jogurt bílý nejméně 3 % hmotnostní [13].

## 3 ZAŘÍZENÍ VYUŽÍVANÁ V MLÉKÁRENSKÉM PRŮMYSLU

K výrobě mléčných výrobků je používána široká škála procesních zařízení. Nejvíce využívanými zařízeními jsou nádrže, využívají se nádoby tlakové anebo beztlaké.

K výrobě většiny mléčných výrobků je využíván ohřev, chlazení nebo také míchání. Z toho důvodu jsou velice často využívány duplikátorové nádoby nebo deskové výměníky. V případě potřeby míchání jsou využívány nádoby doplněné o míchadlo, které mechanicky promíchává médium.

V následující části kapitoly budou přiblíženy detailněji některá procesní zařízení, která se využívají v mlékárenském průmyslu.

### 3.1 Nádoby s vyhříváním/ochlazováním vnitřním pláštěm

Nádoby, kde je médium ohříváno/chlazené pomocí ohřívacího/chladícího média, které proudí ve vnějším procesním prostoru jsou hojně používány v různých odvětvích průmyslu (např. potravinářství nebo farmacie) pro tepelné zpracování média.

#### 3.1.1 Duplikátor

První takovou nádobou využívající výše popsaný systém ohřevu/chlazení je tzv. duplikátor. Již ze samotného názvu duplikátor vyplývá, že nádoba je v něčem duplikovaná (zdvojená). V tomto případě se jedná o plášť, kdy je nádrž tvořena dvěma plášti, díky tomu nádrž získává dva procesní prostory. Nádoba s duplikátorem je zobrazena na obrázku 2.

Prvním prostorem je samotná vnitřní část nádoby, kde je ohříváno nebo chlazené médium. Druhým prostorem je tzv. meziplášťový prostor, kde



Obr. 2: Duplikátor [14]

proudí ohřivací nebo chladící médium. Nejčastěji používanými médii meziplášťového prostoru jsou pro ohřev voda, vodní pára nebo také horký olej. Nejčastěji používaným chladícím médiem je voda o nízké teplotě. Pro zlepšení prostupu tepla jsou do vnějšího procesního prostoru přidány spirálové přepážky, viz. obrázek 3. Tyto přepážky mají za úkol usměrňovat tok ohřivacího/chladícího média tak, aby docházelo k lepšímu prostupu tepla přes plášť a byla efektivně využita energie tohoto média. Pro zlepšení celého procesu jsou navíc nádoby izolované, což zajistí minimalizaci tepelných ztrát do okolí.[15]



Obr. 3: Zobrazení přepážek v meziplášťovém prostoru [14]

### 3.1.2 Nádoba s púltrubkovým hadem na vnějším plášti

Dalším typem nádoby využívající ohřev/chlazení pomocí meziplášťového prostoru je nádoba, na kterou je po jejím obvodu přivařen púltrubkový had. Tento typ nádoby je zobrazen na obrázku 4.

Díky púltrubkovému hadu je možné lépe usměrnit tok ohřivacího/chladícího média, což má za následek vyšší turbulenci proudu, ta zlepšuje prostup tepla do vnitřního prostoru [15]. Navíc lze vnější procesní prostor rozdělit na několik částí skládajících se pouze ze zlomku celkového počtu otáček púltrubkového hadu okolo pláště, toto rovněž zlepšuje prostup tepla [15].

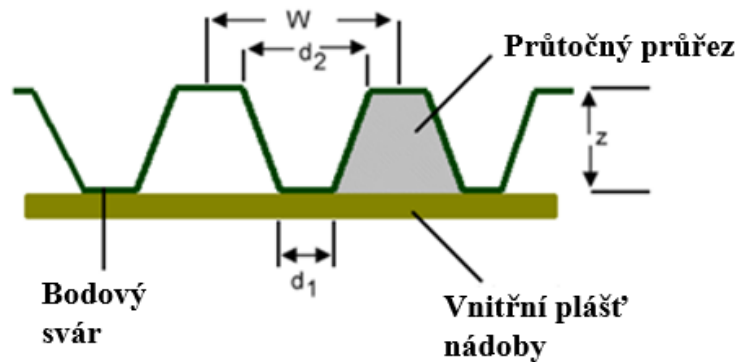


Obr. 4: Nádoba s púltrubkovým hadem [14]

Další obrovskou výhodou je také zpevnění samotné konstrukce. Púltrubkový had je přivařen v celé délce, to způsobí zlepšení pevnostních vlastností celé nádoby [15]. Nádoby s púltrubkovým hadem jsou dimenzovány až na cca 40 bar přetlaku [15]. Nádoba je opět na vnější straně dobře izolována pro minimalizaci tepelných ztrát.

### 3.1.3 Nádoba s důlkovaným pláštěm

Posledním typem nádoby, který je zmíněn v této práci jsou tzv. nádoby s důlkovaným pláštěm. Tyto nádoby fungují na stejném principu jako již zmiňované typy výše. Výhodou těchto nádrží je ovšem ušetření financí na materiálu [15]. Díky možnosti použití slabšího materiálu jsou nádoby s důlkovanými pláštěmi lehké, ale přesto dostatečně pevné [16]. Na následujících obrázcích je zobrazen řez důlkovaným pláštěm (viz. obrázek 5) a také nádoba, která byla vyrobena za pomoci důlkovaného pláště (viz. obrázek 6). Stejně jako u výše uvedených nádob je na vnější straně provedena izolace.



Obr. 5: Řez důlkovaným pláštěm [16]



Obr. 6: Nádoba s důlkovaným pláštěm [17]

Všechny typy nádob, které byly zmíněny výše jsou často doplňovány o míchadla. Díky míchadlům dochází k rovnoměrnějšímu prostupu tepla celým objemem ohřívaného nebo chlazeného média.

## **3.2 Pastéry**

Pasterizace mléka, proces kdy je mléko zahříváno za účelem zničení škodlivých mikroorganismů [18]. Tuto metodu ke konzervaci mléka objevil francouzský vědec Louis Pasteur v 19. století, když hledal metodu k zabránění octovatění vína [19].

Principem pasterizace je krátkodobý ohřev mléka na určitou teplotu, která je dána typem pasterace a následná výdrž na této teplotě [18]. S rostoucí teplotou klesá čas nutný pro zahubení nežádoucích mikroorganismů [19]. Druhým pozitivním přínosem pasterace je prodloužení trvanlivosti mléka [18].

Dle legislativních požadavků Nařízení Evropského parlamentu (ES) č. 853/2004 [20] a Nařízení komise (ES) č. 1662/2006 [21] se pasterizace dosahuje následujícími způsoby :

- a. Vysokou teplotou po krátkou dobu – 72 °C po dobu 15 sekund [21]
- b. Nízkou teplotou po dlouhou dobu – 63 °C po 30 min [21]
- c. Jakoukoliv kombinací času a teploty, která vede ke stejnému účinku [21]

Výrobky po pasterizaci musí vykazovat negativní reakci při testech na alkalickou fosfatázu [21].

K pasterizaci mléka se využívá procesní zařízení, které se nazývá pastér. Rozlišují se tři základní druhy pastérů. Prvním druhem je tzv. kotlový (hrncový) pastér, druhým druhem je tzv. trubkový průtočný pastér, tím posledním je deskový průtočný pastér.

### **3.2.1 Kotlový (hrncový) pastér**

Kotlový neboli hrncový pastér se využívá především v mini mlékárnách a farmách [11]. Tento typ pastéru je určen pro zpracování relativně malého množství mléka, přibližně do 100 l pasterovaného mléka na jednu dávku [22].

Konstrukčním řešením se jedná o duplikátorovou nádobu, která je vyhřívána pomocí horké vody [11]. Nádoba je navíc vybavena míchadlem pro lepší ohřev a teplotním čidlem

pro signalizaci či záznam dosažené teploty média [11]. Samozřejmě je regulace pro přesný ohřev. Kotlový pastér je vyobrazen na obrázku 7.



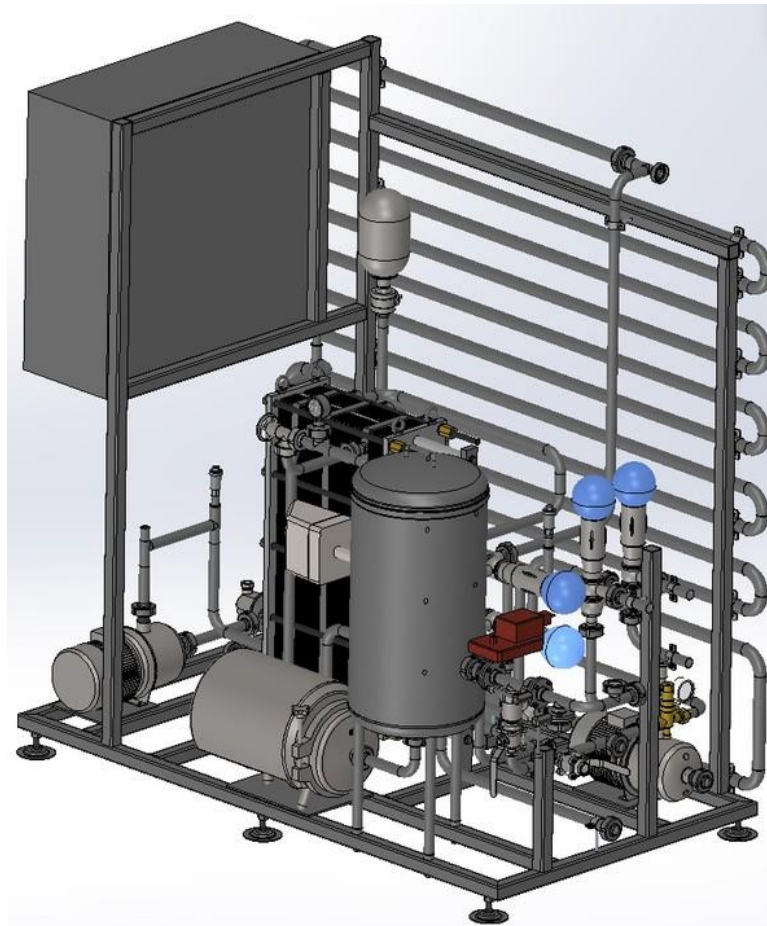
Obr. 7: Kotlový (hrncový) pastér [23]

### 3.2.2 Trubkový průtočný pastér

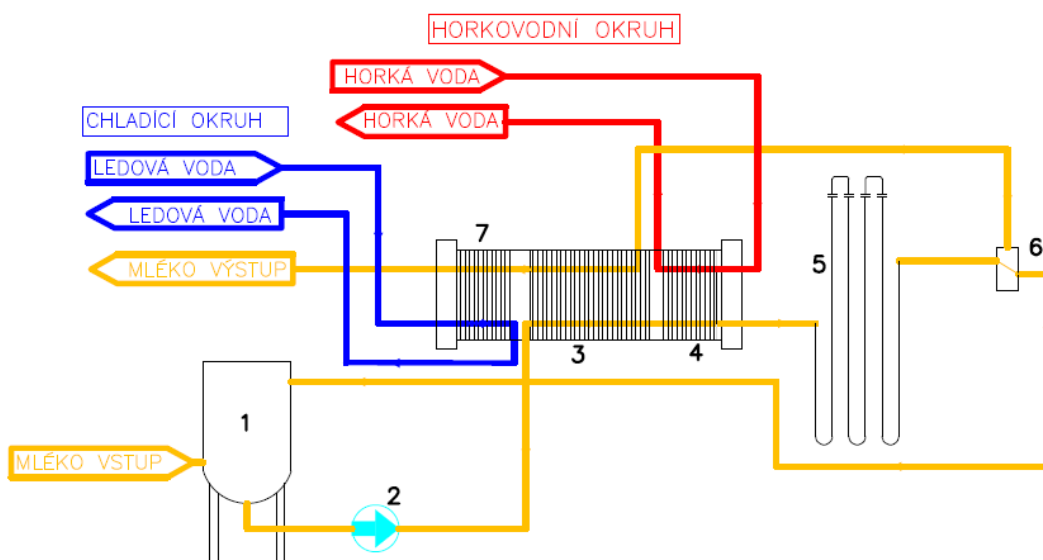
Trubkový pastér je složen z trubek, které jsou do sebe koncentricky zasunuty [11]. Mléko protéká mezikružím, které vzniká při koncentrickém zasunutí trubek, v tenké vrstvě, díky tomu je zahříváno ze dvou stran [11]. Mléko v trubkách proudí laminárně [11]. Nevýhodou tohoto typu pastéru je jeho čištění, které je vzhledem k jeho konstrukci velmi problematické [11]. Tento typ pastéru je využíván pro zahřívání mléka na teplotu přesahující 100 °C, toho se využívá při výrobě UHT mléka [11].

### 3.2.3 Deskový průtočný pastér

Deskový pastér je nejčastěji používaný typ pastéru, je využíván jak pro ohřev, tak i pro chlazení mléka vzájemnou výměnou tepla - regenerací [11]. Výhodou tohoto typu pastéru je šetření času a energie díky kontinuálnímu provozu [24]. V této diplomové práci je popsán proces pasterace mléka, kde není oddělována smetana. Jedná se zde o pasteraci mléka, která je používána v mini mlékárnách. Taková technologická linka je zobrazena na obrázku 8, pasterace probíhá dle schématu uvedeného na obrázku 9. Následně je v tabulce 1 uvedena legenda k diagramu šetrné pasterace.



Obr. 8: Technologická linka k průtočné deskové pasteraci [25]

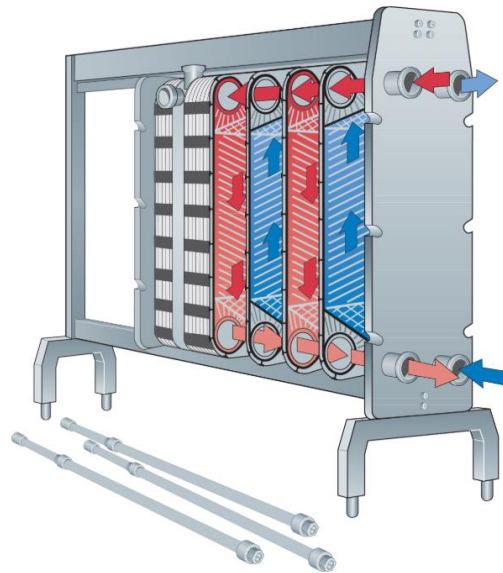


Obr. 9: Schéma šetrné pasterace

<i>Položka</i>	<i>Význam</i>
1	Vyrovňovací nádrž
2	Čerpadlo produktu
3	Regenerační část výměníku
4	Ohřívací část výměníku
5	Výdržník
6	Přepouštěcí ventil
7	Chladicí část výměníku

Tab. 1: Legenda schématu šetrné pasterace (Obr. 9)

Srdcem pastéru je deskový výměník s profilovanými deskami, který ohřívá mléko [24]. Výměník se skládá z několika desek z nerezové oceli, které jsou utěsněny a následně pevně sešroubovány dohromady v rámu, viz. obrázek 10 [24].



Obr. 10: Deskový výměník [26]

Proces pasterace začíná ve vyrovnávací nádrži, kam je čerpáno surové mléko ze zásobníku chlazeného mléka [11]. Následně je surové mléko o teplotě cca 4 °C čerpáno z vyrovnávací nádrže do regenerační části pastéru, zde se mléko ohřeje na teplotu přibližně 57 – 68 °C pomocí tepla odváděného horkým již pasteurizovaným mlékem [24]. Následně je mléko přiváděno na horkou část výměníku, kde horká voda zahřívá mléko na legislativou požadovanou teplotu [24]. Poté mléko prochází výdržníkem, aby byla splněna časová výdrž na dané teplotě, což je druhý požadavek legislativy k správnému provedení pasterace [24]. Za výdržníkem je snímána teplota pasteurizovaného mléka,



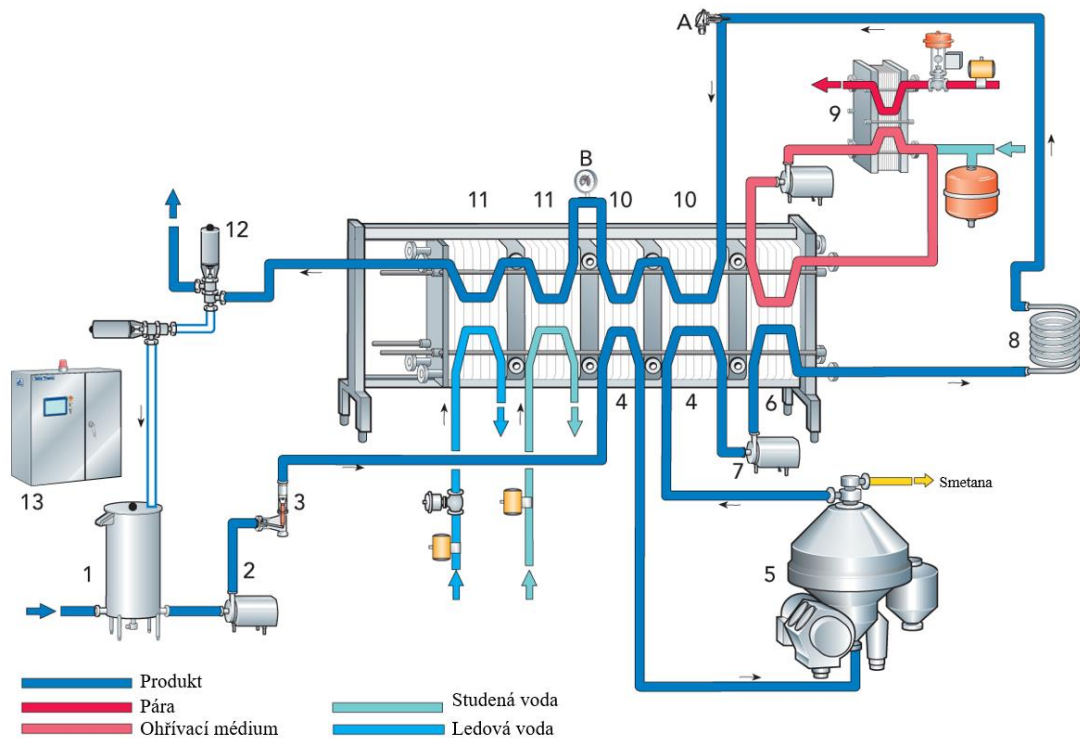
pokud mléko nedosahuje požadované teploty je pomocí automatického ventilu přepuštěno k opětovné pasterizaci [24]. Pokud mléko splňuje požadavek na teplotu putuje do sekce regenerace, kde při svém ochlazení odevzdá teplo surovému mléku na vstupu do pastéru [24]. Proces pasterizace končí ochlazením mléka na teplotu cca 6 °C, tohoto ochlazení je dosaženo v chladicí části výměníku pomocí vody o nízké teplotě (dále jen ledová voda) [11].

### **3.3 Výrobník smetany – odstředivka**

Smetana je vyráběna s různým obsahem tuku, prvním druhem je smetana s nižším obsahem tuku, 10 – 18 %, ta je označována jako smetana do kávy, či smetana k vaření [27]. Druhým druhem je smetana s vyšším obsahem tuku, většinou 35 – 40 %, ta se označuje jako tzv. smetana ke šlehání [27].

Smetana je vyráběna při procesu odstředování, tento proces probíhá na zařízení, které je nazýváno odsmetaňovací odstředivka [11]. Odstředování je jeden z velmi důležitých procesů, které jsou využívány v mlékárenském průmyslu [11]. Základní princip odstředování je rozdíl měrné hmotnosti částicek suspendovaných v kapalině a spojitě fáze emulze [11]. Pohonem tohoto procesu je odstředivá síla v bubnu odstředivky, který je otáčen frekvencí 6000–8000 ot/min. Existují odstředivky různých výkonů, ty nejmenší mají výkon 50 l/h (mini mlékárny či farmy), největší mají výkon až 25 000 l/h (průmyslová výroba ve velkých mlékárnách) [11].

Při odstředování dochází zároveň k odstraňování jemných mechanických nečistot a částí mikroorganismů a buněčných částic, tím dochází k čištění mléka [11]. Ideální teplota pro odstředování je v rozmezí 40-50 °C, z toho důvodu je velmi často odstředivka zařazena do procesu pasterace, kde se v první regenerační fázi mléko přehřeje na tuto teplotu, viz. schéma procesu na obrázku [27]. Následně v tabulce 2 je legenda ke schématu pasterace. Používají se i teploty 55 – 65 °C nebo 4-10 °C [11].



Obr. 11: Schéma pasterace – včetně výroby smetany [28]

<i>Položka</i>	<i>Význam</i>
1	Vyrovnávací nádrž
2	Čerpadlo produktu
3	Průtokoměr
4	Regenerační předehřívací sekce
5	Odstředivka
6	Ohřívací sekce
7	Čerpadlo produktu
8	Výdržník
9	Horkovodní okruh
10	Regenerační chladicí sekce
11	Chladicí sekce
12	Přepouštěcí ventil
13	Operátorský panel

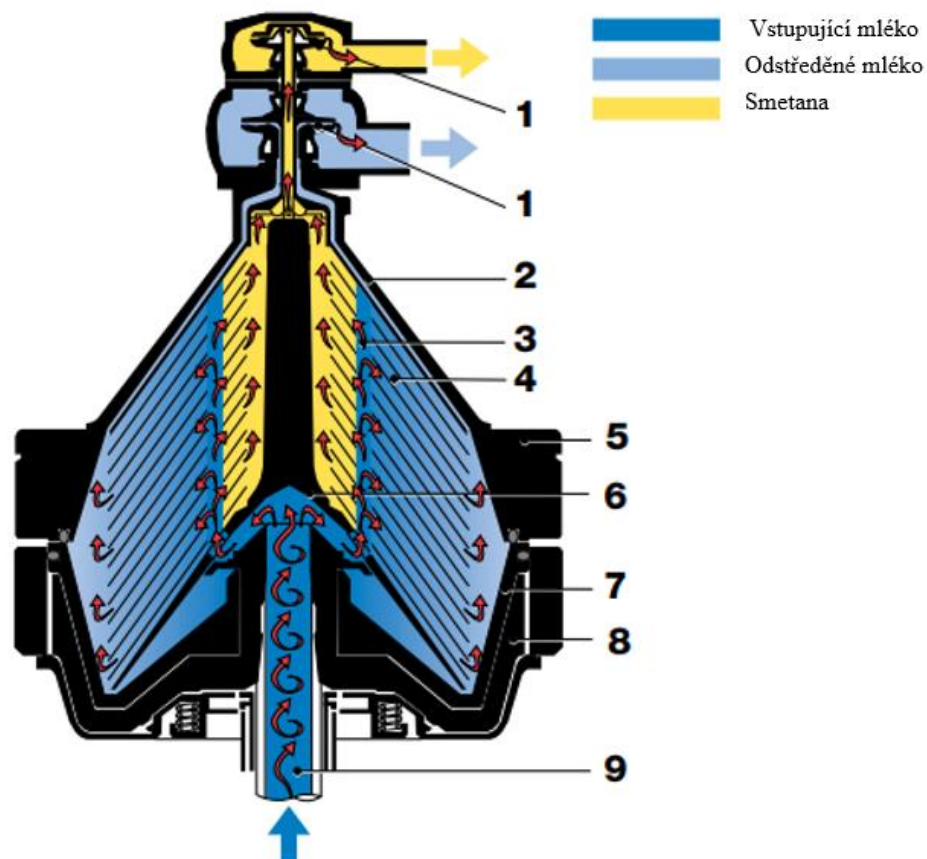
Tab. 2: Legenda schématu pasterace (Obr. 11)

Při odstředování dochází k separaci těžší složky mléka (odstředěné mléko), která se soustřeďuje ke stěně bubnu odstředivky a lehčí složky mléka (smetana), ta je vytlačována do středu bubnu k ose otáčení [11]. Těžké složky jsou vyneseny odstředivou silou až na stěnu bubnu, kde tvoří kal [11]. Kal je tvořen nečistotami, mikroorganismy anebo také buněčnými částicemi [11].

Odstředivka se skládá z několika základních součástí, které jsou popsány níže:

- Přítokové zařízení [11]
- Buben odstředivky – tvořen rozdělovacím talířem, soustavou talířů s otvory a vrchního talíře bez otvorů [11]
- Výtokové zařízení – tvořeno sběračem smetany a sběračem odstředěného mléka [11]
- Průtokoměr [11]
- Tlakoměr a regulační ventil k nastavení potřebného tlaku na výtoku odstředěného mléka [11]
- Pohon [11]
- Stojan [11]

Na následujícím obrázku (Obr. 12) je zobrazeno schéma odstředivky doplněné o průběh procesu odstředování, tabulka 3 zobrazuje legendu k schématu odstředivky.



Obr. 12: Schéma odstředivky a průběhu odstředování [22]

<i>Položka</i>	<i>Význam</i>
1	Výstupní čerpadla
2	Horní část bubnu
3	Separční kanálky
4	Mezitalířový prostor
5	Odkalovací štěrbin
6	Talíř rozdělovače
7	Posuvné dno
8	Dolní část bubnu
9	Dutá hřídel – přítok mléka

Tab. 3: Legenda schématu odstředivky (Obr. 12)

Existuje několik druhů odstředivek, mezi ně patří diskontinuální odstředivka, kontinuální odstředivka anebo také zařízení zvané baktofuga [11].

### 3.4 Výrobníky másla – zmáselňovače

Jak již bylo zmíněno výše máslo je tvořeno výhradně mléčným tukem, který je ve formě emulze v tuku [11].

Výroba másla může probíhat dvěma základními způsoby. Prvním způsobem výroby je tzv. diskontinuální výroba másla a druhým typem je kontinuální výroba másla [11]. Historicky byla první využívanou metodou diskontinuální výroba [10].

#### 3.4.1 Diskontinuální výroba másla

Diskontinuální výroba másla je v dnešní době málo využívaný proces výroby másla, který probíhá při procesu stloukání smetany, tento proces probíhá v máselnicích [11]. Původně byly využívány máselnice dřevěné (viz. Obr. 13), ty byly nahrazeny máselnicemi kovovými (viz. Obr. 14) [11].



Obr. 13: Dřevěná válcová máselnice [10]



Obr. 14: Kovová válcová máselnice [28]

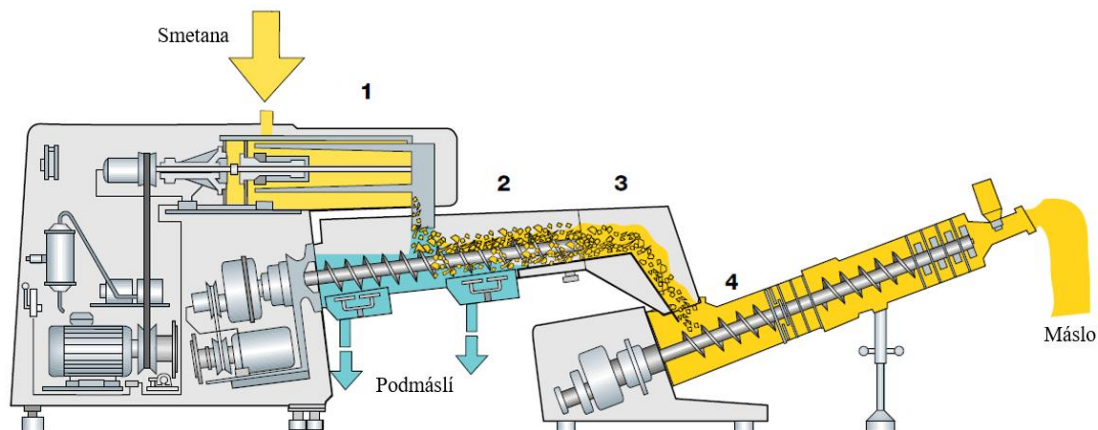
Máselnice jsou vyráběny v různých konstrukčních řešeních např. válcové, kuželové anebo krychlové [22]. Samozřejmostí je plynulá regulace otáček bubnu máselnice, tak aby bylo možné nastavit ideální provozní podmínky na základě parametrů zpracovávané smetany [22]. Nedílnou součástí moderní diskontinuální máselnice bývá vozík, který slouží k dopravě másla na balící linku [11].

Výroba stloukání začíná naplněním máselnice do cca 40 % objemu, větší náplň zhoršuje tvorbu pěny [11]. Poté výroba másla probíhá v několika cyklech, kdy se máselnice otáčí a následně je zastavena aby mohly být vypuštěny uvolněné plyny [11]. V procesu dochází k prasknutí obalu tukových kuliček, které se následně slepují [11]. Proces vzniku máselných zrn trvá přibližně 30-40 min [11]. Další částí výroby je vypuštění podmáslí, poté následuje praní másla pomocí pitné vody, kdy dochází k snížení obsahu netuků, kyselin i aromatických látek [11]. Výroba je dokončena hnětením, díky tomu jsou odstraněny zbytky prací vody, dokud máslo nezíská požadovaný obsah vody, který zaručí stejnorodou strukturu máselných zrn [11].

#### **3.4.2 Kontinuální výroba másla**

Kontinuální výroba másla je proces výroby, který probíhá v kontinuálním zmáselňovači [11]. Tato metoda výroby byla vyvinuta na konci 19. století, ale byla velmi omezená [22]. K rozmachu kontinuální metody došlo ve čtyřicátých letech 20. století [22].

Kontinuální zmáselňovač je tvořen několika základními částmi, mezi ně patří: kostra zmáselňovače, stloukací válec, odlučovací válec anebo také hnětač [11]. Dále je zmáselňovač vybaven výstrojí pro měření a regulaci, operátorským ovládacím panelem, atd. [11]. Základní části kontinuálního zmáselňovače jsou vyobrazeny na obrázku 15, v tabulce 4 je legenda k tomuto obrázku.

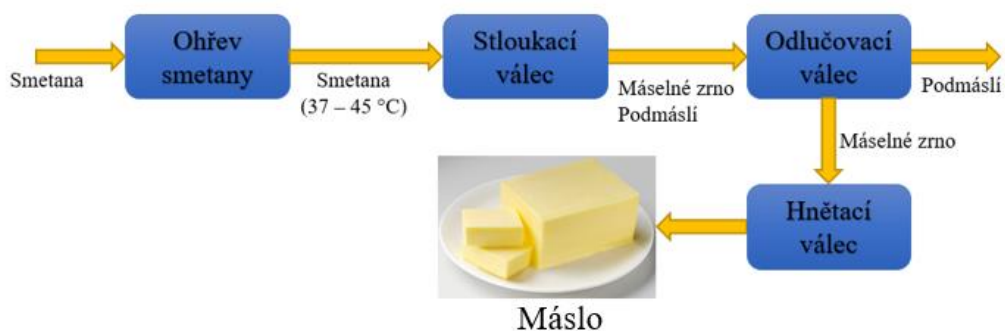


Obr. 15: Konstrukce kontinuálního zmáselňovače [22]

<i>Položka</i>	<i>Význam</i>
1	Stloukací válec
2	Odlučovací válec
3 a 4	Hnětač

Tab. 4: Legenda konstrukce kontinuálního zmáselňovače, Obr. 15

Kontinuální výroba másla probíhá na základě Fritzova pěnového způsobu, který byl zaveden v průběhu druhé světové války [11]. Hlavní výhody tohoto způsobu výroby jsou především vyrovnaná a vysoká jakost másla, vysoká výkonnost s vysokou výtěžností, energetickou úsporností anebo také dobrou čistitelností zařízení, která je vždy velkou výhodou [11]. Výroba másla probíhá dle blokového diagramu na obrázku 16.



Obr. 16: Blokové schéma kontinuální výroby másla

Vyrobené máslo je následně baleno a skladováno, kdy pro krátkodobé skladování je požadovaná skladovací teplota většinou 2–4 °C, pro dlouhodobé skladování se používají skladovací teploty cca -18 až -20 °C [11].

## **4 MĚŘENÍ A REGULACE V MLÉKÁRENSKÉM PRŮMYSLU**

Většina průmyslových odvětví se neobejde bez výstroje pro měření a následnou regulaci, ani mlékárenský průmysl netvoří výjimku. Měření a regulace zde tvoří jeden z nejdůležitějších faktorů pro provoz mlékárenských procesních zařízení.

### **4.1 Měření v mlékařství**

V tomto odvětví jsou nejčastěji měřenými veličinami především průtok, tlak, teplota a hladina. Hlavní důraz je kladen na hygienu, s tím je i spojen výběr správných měřících zařízení, která jsou vyhovující pro správnou sanitaci zařízení.

#### **Měření teploty**

Měření teploty má zásadní vliv na výrobu v mlékárenském průmyslu. Teplota je často měřena od samotného vstupu mléka do výroby až po měření teploty při skladování finálních výrobků [29]. Snímače teploty jsou často využívány ve spojení s jímkou pro měření anebo se používají teplotní čidla bez jímkou. Pokud jsou použity teploměry s jímkou, je zaručena dokonalá hygiena, navíc díky využití měřící jímkou není nutno provádět těsnění spoje. V případě využití teploměru bez jímkou je nutné využít těsnění, což není dokonalé z hlediska hygieny, ale získáváme rychlejší odezvu měření díky přímému kontaktu teplotního čidla s médiem.

#### **Měření tlaku a hladiny**

Pro měření tlaku v mlékárenském průmyslu jsou využívány tlakoměry, jejichž funkce je založená na membránovém tlaku, kde deformace membrány je převáděna na tlak [30]. Stejně tlakoměry jsou často využívány i pro měření hladiny v nádrži, kdy princip měření je založen na měření hydrostatického tlaku a následného přepočtu na výšku hladiny v nádrži [30].

#### **Měření průtoku**

Měřidlům průtoku připadá jedna z hlavních rolí. Ať už se jedná pouze o měření průtoku, kde žádáme pouze informaci o přítomnosti toku anebo samotné měření, kde obsluhu zajímá přesný průtok surovin nebo celkové množství zpracovaného média, navíc díky

průtokoměru jsou hodnoty průběžné zaznamenávány [31]. Veliký důraz je kladen především na správný výběr měřících rozsahů průtokoměru, tak aby bylo měření co nejpřesnější[31].

V mlékárenském průmyslu jsou nejčastěji voleny průtokoměry indukční [31]. Jak již bylo zmíněno v první kapitole, mléko obsahuje cca 87 % vody, tím je zaručena jeho vodivost, díky tomu je nejčastěji volen právě indukční průtokoměr [31]. Průtokoměry jsou často montovány mezi přírubové spoje s těsněním, nicméně z hygienického hlediska je ideální montáž průtokoměru pomocí svarových spojů, kde není třeba těsnění [31].

## **4.2 Regulace v mlékárenství**

Teplota má zásadní vliv při výrobě mléčných výrobků, proto je nejvíce zastoupeným procesem při výrobě ohřev nebo také chlazení. Z toho důvodu je nejčastěji regulovanou veličinou právě teplota, např. regulace teploty v meziplášti u duplikátorů nebo také regulace průtoku horké vody v průtočném pastéru. Regulací požadovaných veličin se zabývá technik měření a regulace, který blízce spolupracuje s technologem výrobní linky.



## 5 VÝROBA SÝRU

Sýr je známý lidstvu již několik tisíc let, první důkazy o sýru pocházejí z Mezopotámie, jejich staří se odhaduje na přibližně 8000 let [32]. Podle legendy sýr vznikl při bojových výpravách, kdy bojovníci nalévali mléko do kožených vaků ze žaludků domácích zvířat [33]. Mléko se za působení zbytků enzymů ze zvířecích žaludků, třesu z jízdy a slunečních paprsků přeměnilo na tekutinu v níž plavaly kusy sýřeniny, kterou považovali za výborný doplněk stravy, tekutina byla dobrá k hašení žízně [33].

V této diplomové práci bude popsán postup výroby tvrdého sýru v mini sýrárně. Výroba sýru se skládá z několika jednotkových operací.

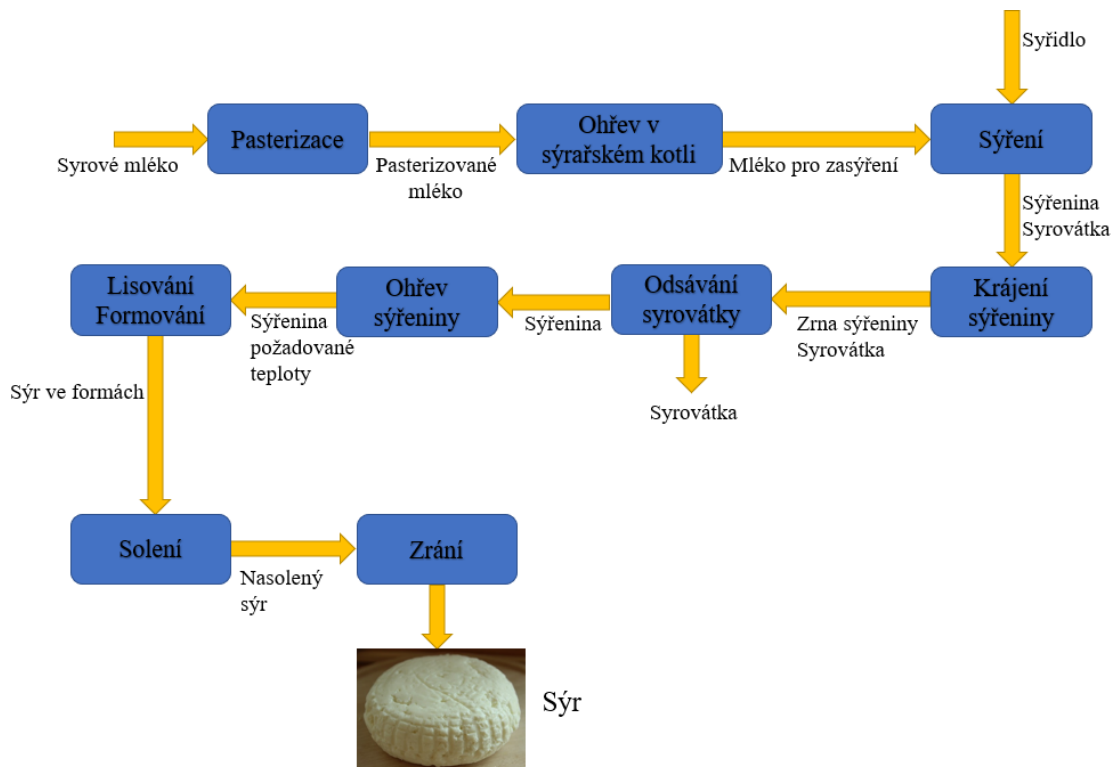
Výroba sýru začíná většinou pasterací mléka, existují také druhy sýru, které se vyrábějí ze syrového mléka [11]. Průběh pasterace je již popsán v předešlých kapitolách. Mléko připravené k dalšímu zpracování je napuštěno do sýrařského kotle, což je dvouplášťová nádoba s duplikátorem doplněná o systém míchacího zařízení [11]. Mléko se zde zahřívá na požadovanou teplotu, která je dána technologickým postupem [11]. Nezbytnou součástí výroby sýru je přidání čistých mlékařských kultur a syřidla [11]. Po přidání syřidla, promíchání a následném ustálení mléka dochází ke vzniku sýřeniny, ta je ovlivněna především teplotou, koncentrací syřidlového enzymu a kyselostí mléka [11]. Poté v sýrařském kotli vzniká sýřenina a syrovátka [11]. Následně je sýřenina rozkrájena, to se provádí pomocí harf (viz. Obr. 17), které se otáčejí v různých výškách [11].



Obr. 17: Sýrařská harfa ke krájení sýřeniny [34]

Po rozkrájení sýřeniny nastává proces vypouštění syrovátky a vymíchání [11]. Proces pokračuje pozvolným dohříváním sýřeniny, které probíhá za stálého pozvolného míchání

dokud není dosaženo požadované teploty [11]. Další fází výroby sýru je lisování, odkapávání a formování, tato část procesu výroby dává sýru jeho tvar a velikost [11]. Konečnými fázemi procesu výroby je solení sýru, které tvoří nezbytnou operaci všech druhů sýru, kdy dochází ke zpevnění povrchu, regulaci obsahu vody a úpravě chuti [11]. Poté již následuje zrání sýru, které se liší podle druhu sýru [11]. Poslední fází výroby sýru je jeho zabalení a následný prodej zákazníkovi. Proces výroby sýru je shrnut v blokovém schématu na obrázku 18.



Obr. 18: Blokové schéma výroby sýru

## 6 PRAKTICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

Praktická část této diplomové práce se věnuje komplexnímu návrhu technologie pro výrobu speciálního druhu sýru v mini mlékárně. Druh sýru a přesná technologie výroby není součástí této práce, jedná se o know-how investora.

### 6.1 Zadání praktické části

Základní požadavky investora jsou shrnuty v tabulce 5, která popisuje provozní stavy, které by měla nová technologie zvládat. Dalším požadavkem investora byl ohřev na libovolnou teplotu do maxima 98 °C a také chlazení na libovolnou teplotu do minima 24 °C.

Jeden z požadavků investora byl na minimální cenu díla, z tohoto důvodu byl minimalizován počet automaticky ovládaných klapků či kohoutů. Tento požadavek klade důraz na přesnou práci obsluhy, která musí základní úkony provádět manuálně. Řídící systém zahrnuje pouze základní funkce, které nelze provádět v manuálním režimu nebo úkony, které jsou nezbytné z pohledu funkčnosti jednotlivých komponentů.

<i>Provozní stav</i>	<i>Typ funkce</i>	<i>Procesní médium</i>	<i>Požadovaná ohřev/chlazení</i>
1	Ohřev	Mléko	4,0 °C → 98,0 °C
2	Ohřev	Mléko	35,0 °C → 98,0 °C
3	Chlazení	Mléko	98,0 °C → 24,0 °C
4	Chlazení	Mléko	98,0 °C → 35,0 °C
5	Sanitace	Sanitační roztok	20,0 °C → 70,0 °C

Tab. 5: Základní požadované provozní stavy

#### Provozní stav 1

Prvním provozním stavem je ohřev mléka, které bylo při dojení čerpáno do chladících tanků a následně zchlazeno na teplotu cca 4 °C. Při tomto provozním stavu je tedy sýr vyráběn přímo ze uskladněného mléka.

#### Provozní stav 2

Druhým provozním stavem je ohřev mléka, které je právě dojeno. V tomto případě je mléko čerpáno přímo z dojírny do technologie a okamžitě je použito na výrobu. Vstupní teplota mléka bude dle investora přibližně 35 °C, což je teplota čerstvě dojeného kravského mléka.

### Provozní stavy 3 a 4

Jedná se o provozní stavy, kdy je mléko chlazeno na teplotu 24 °C resp. 35 °C. Tento režim není využíván při výrobě sýru s vysokoteplotně dohřívanou sýřeninou, využívá se např. při výrobě jogurtů. Bližší informace k provoznímu stavu nejsou známy z důvodu know-how technologických postupů vyráběných produktů.

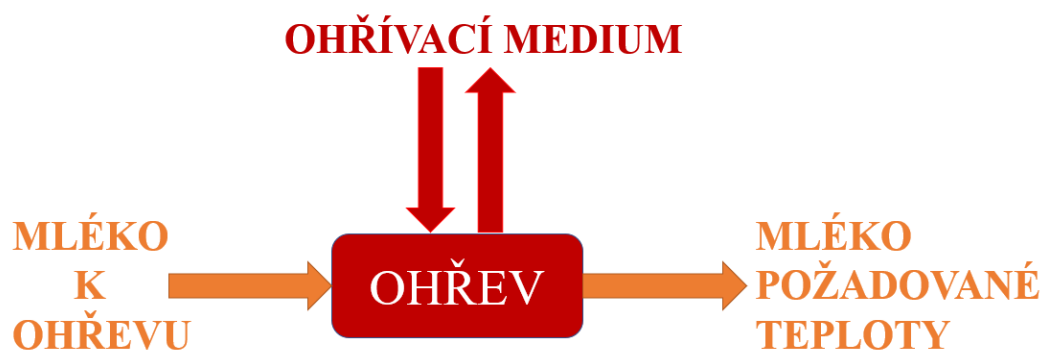
### Provozní stav 5

Posledním provozním stavem je sanitace. Mlékárenský průmysl podléhá přísným hygienickým nárokům, proto je sanitace nedílnou součástí technologie. V tomto případě je celá technologie proplachována sanitačním roztokem, který se ohřeje na teplotu 70 °C a následně je čerpán přes celou technologii, tak aby byly zničeny všechny škodlivé bakterie.

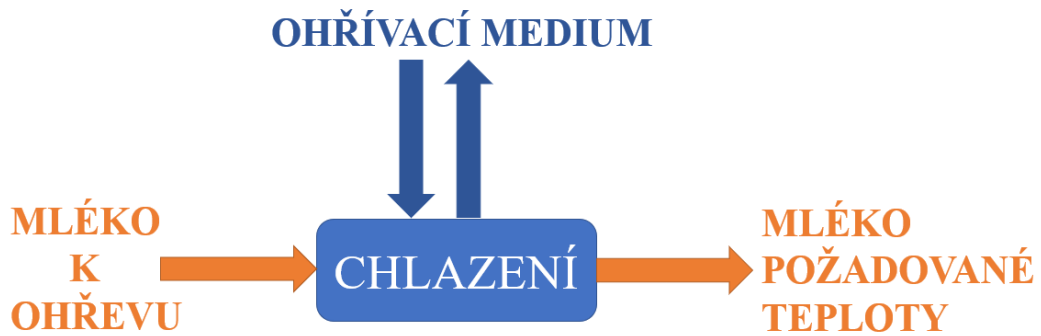
## **6.2 Blokové schéma procesu mini sýrárny**

Prvním krokem, který byl proveden při návrhu technologie je vytvoření blokového schématu procesu, které dává základní představu o požadavcích na navrhovanou technologii.

Blokové schéma bylo nutné vytvořit pro jednotlivé části technologie, (viz. Obr. 19, Obr. 20) tak, aby mohla být následně navržen samotný princip technologie.



Obr. 19: Blokové schéma ohřevu mléka



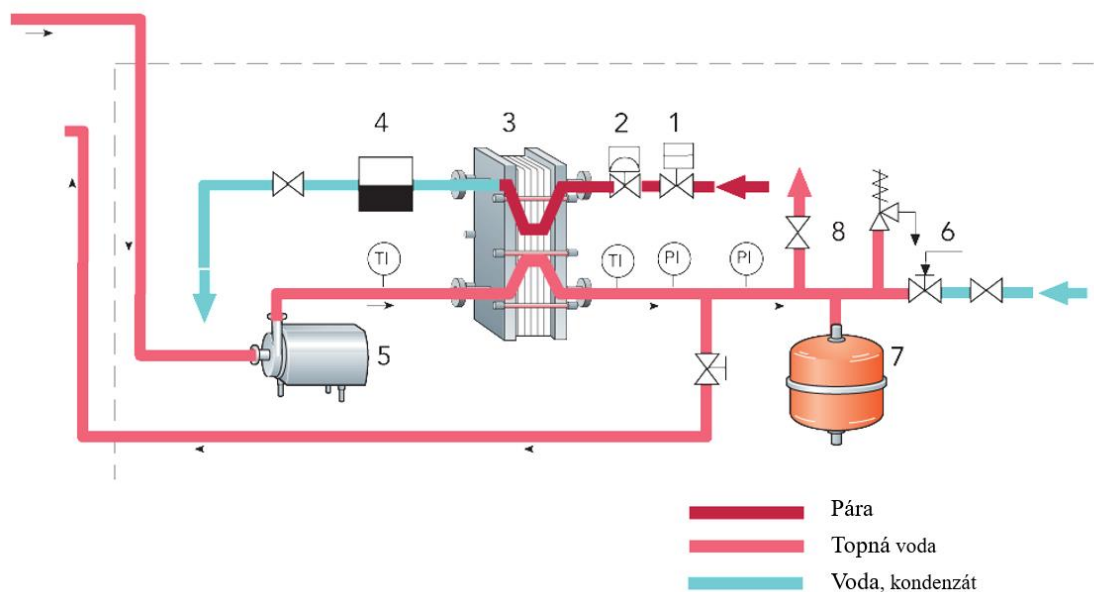
Obr. 20: Blokové schéma chlazení mléka

### 6.3 Návrh základních technologií ohřevu/chlazení

Dalším důležitým úkonem při návrhu nové technologie bylo vyřešit princip technologie ohřevu a chlazení. Pro obě tyto provozní varianty byly využity metody, které jsou standartně využívány v mlékárenském průmyslu.

#### 6.3.1 Návrh technologie ohřevu

Prvním úkolem bylo zvolení hlavního topného média pro celou technologii ohřevu. Na základě studia odborné literatury a běžné praxe byla za topné medium zvolena pára, zdrojem topné páry je parní vyvíječ. Schéma takového systému ohřevu je zobrazeno v obrázku 21, níže v tabulce 6 je legenda k schématu technologie ohřevu topné vody.



Obr. 21: Schéma technologie ohřevu topné vody pro následný ohřev mléka [22]

<i>Položka</i>	<i>Význam</i>
1	Uzavírací ventil páry
2	Regulační ventil páry
3	Deskový výměník
4	Odvaděč kondenzátu
5	Odstředivé čerpadlo
6	Solenoid dopouštění vody
7	Expanzní nádoba
8	Bezpečnostní ventil

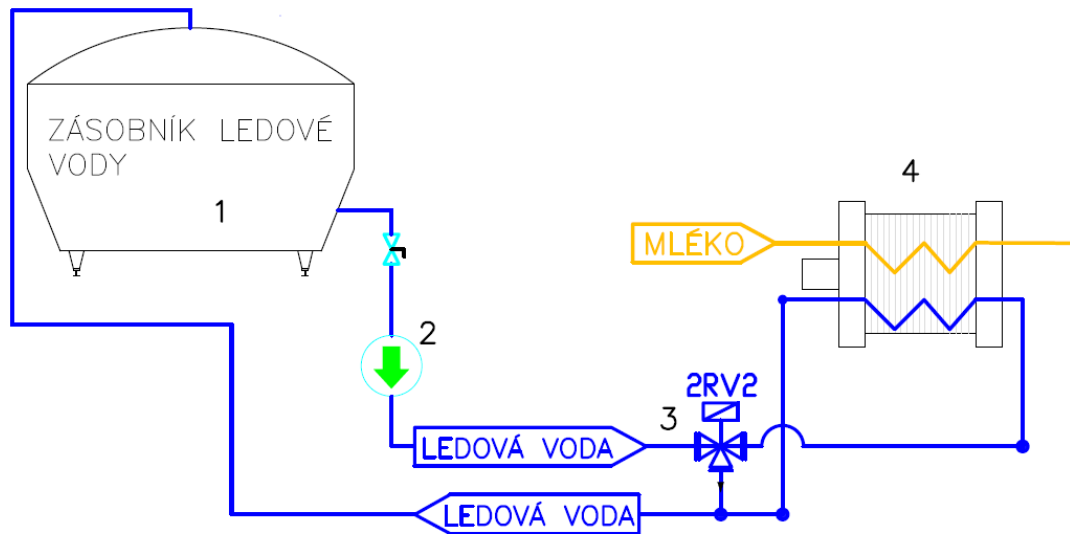
Tab. 6: Legenda Obr. 21

Topná voda následně proudí do deskového výměníku, kde ohřívá mléko. Samotná technologie ohřevu je rozdělena do dvou základních okruhů. V prvním okruhu dochází k ohřevu vody pomocí topné páry, pro tento účel byla navržena horkovodní stanice, kde probíhá zmiňovaný ohřev horké vody. Horká voda následně proudí v horkovodním okruhu, který již ohřívá mléko. Požadovaná teplota produktu je regulována množstvím páry, která proudí do horkovodní stanice. Okruh je dále doplněn o příslušné měřicí a regulační zařízení.

### 6.3.2 Návrh technologie chlazení

Pro technologii chlazení byl využit stávající zásobník s ledovou vodou, která je již využívána při výrobě mléčných výrobků v mini sýrárně. Ledová voda v okruhu je poháněna domácí vodárnou, která je využívána pro dodávku vody do rodinných domů. Následně tato voda proudí přes deskový výměník, kde vychladí mléko a poté se vrací zpět do zásobníku ledové vody. Regulace výstupní teploty zchlazeného produktu je prováděna systémem, kdy je rozdělován přírodní proud ledové vody. První část proudu vychladí mléko, druhá část proudu je ještě před výměníkem odkloněna v regulačním ventilu do zpětného potrubí. Poměr první a druhé části proudu je řízen softwarem dle výstupní teploty mléka.

Navržena technologie chlazení mléka je zobrazena ve schématu na obrázku 22, v tabulce 7 je legenda k tomuto obrázku.



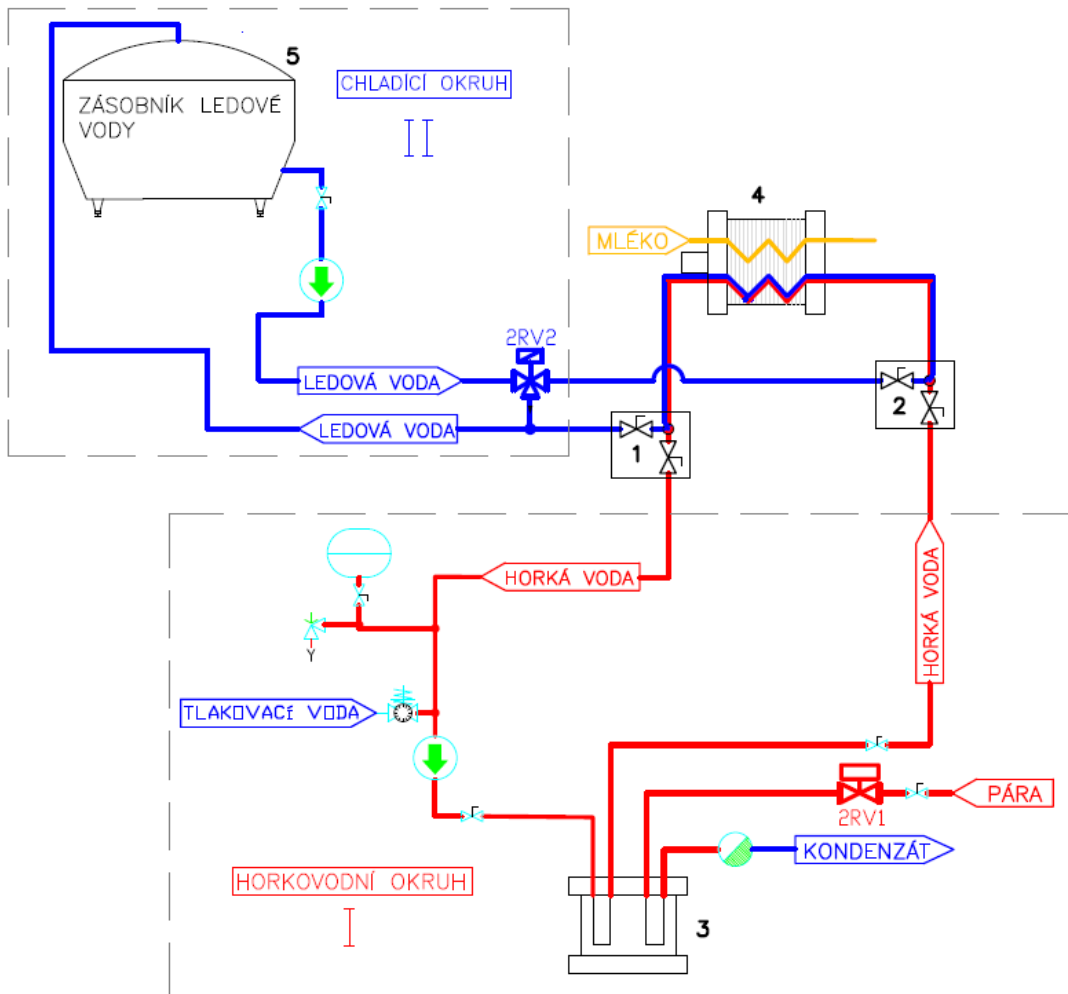
Obr. 22: Schéma technologie chlazení mléka

<i>Položka</i>	<i>Význam</i>
1	Zásobník ledové vody
2	Čerpadlo ledové vody
3	Regulační ventil
4	Deskový výměník

Tab. 7: Legenda k Obr. 22

### 6.3.3 Návrh finální technologie

Základní požadavek investora bylo využití obou výše zmíněných technologií na jednom zařízení, proto musel následovat krok, kdy byly sloučeny obě navržené technologie do jednoho zařízení. Schéma finální technologie navrhované mini sýrárny je zobrazena na obrázku 23 níže, které je doplněné o legendu v tabulce 8, ta obsahuje pouze základní části nově navržené technologie.



Obr. 23: Základní schéma celé technologie

<i>Položka</i>	<i>Význam</i>
<i>I</i>	Horkovodní okruh
<i>II</i>	Chladicí okruh
<i>1</i>	Kohouty výběru trasy
<i>2</i>	Kohouty výběru trasy
<i>3</i>	Výměník pára/voda
<i>4</i>	Výměník voda/mléko
<i>5</i>	Zásobník ledové vody
<i>2RV1</i>	Regulační ventil průtoku páry
<i>2RV2</i>	Regulační ventil průtoku ledové vody

Tab. 8: Legenda k Obr. 23



Sloučení technologie ohřevu a chlazení bylo provedeno pomocí dvojice kohoutů, kdy je možno manuálně přepínat mezi trasou pro ohřev nebo pro chlazení. Z důvodu minimalizace nákladů jsou zde voleny kohouty ruční, proto je zde kladen důraz na přesné provedení výběru trasy při používání nové technologie.

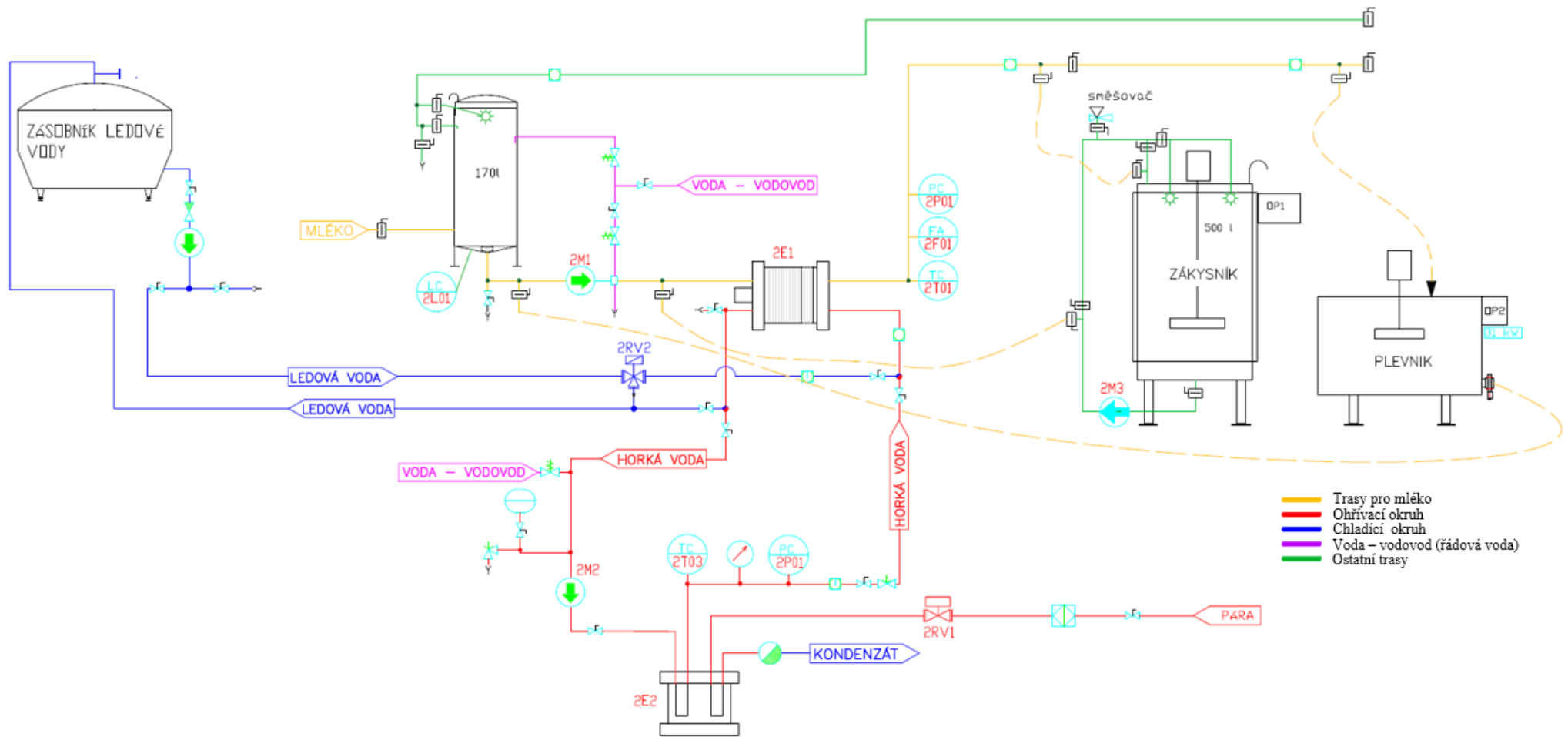
Hlavními členy celé technologie jsou dva regulační ventily 2RV1 a 2RV2, které slouží k regulaci daného procesu.

V další části návrhu celé technologie bylo již přistoupeno ke tvorbě PID (Piping and instrumentation diagram) schématu, tak aby následně mohlo dojít k návrhu jednotlivých částí celé technologie.

#### **6.4 PID schéma navrhované mini sýrárny**

Po navržení procesní technologie linky bylo vytvořeno PID schéma tak, aby byl celý proces navrhované technologie dobře popsán. PID schéma již také obsahuje potřebné snímače teploty, hladiny, průtoku či tlaku. Dále schéma zahrnuje nádrže, klapky, kohouty anebo ventily, které byly navrženy již při prvotní tvorbě PID. Nicméně v průběhu realizace celého investičního celku došlo k dalším úpravám, které byly postupně doplňovány do PID schématu. Kompletní PID schéma je přiloženo v příloze této diplomové práce. Základní část PID schématu, která plně vypovídá o navržené technologii je uvedena níže na obrázku 24.

## ZÁKLADNÍ PID SCHEMA NAVRŽENÉ TECHNOLOGIE



Obr. 24: Základní návrh PID schéma

## 6.5 Základní energetická bilance procesu

Po návržení samotného procesu bylo další nutností provedení energetické bilance procesu, aby bylo možné následně vybrat správné prvky, které tvoří celou technologii. Pro účely energetické bilance postačí základní energetická bilance, která podá základní náhled na energetickou náročnost procesu. Energetická bilance procesu byla zpracována v softwaru MS Excel.

### 6.5.1 Energetická bilance ohřevu mléka

Prvním úkolem energetické bilance bylo určit potřebné množství páry k ohřevu mléka na požadovanou teplotu. Pro výpočet byl vybrán energeticky nejnáročnější provozní stav, kdy ohříváme mléko z 4 °C na 98 °C. K dispozici pro ohřev je sytá pára o tlaku 4 bar(a), nicméně tato pára se redukuje v regulačním ventilu na hodnotu cca 1,5 bar(a), proto do výpočtu byla počítána pára o tlaku 1,5 bar(a). Níže v tabulce 9 jsou uvedeny základní vstupní hodnoty pro výpočet. Průtok ohřívaného mléka byl zvolen na hodnotu 820 kg/h, tato hodnota byla zvolena z důvodu požadované doby ohřevu, kde za optimální hodnotu bylo zvoleno cca 40 min na ohřev 500 l mléka. Při průtoku 820 kg/h bude doba ohřevu přibližně 37 min, takže zde zůstává malá rezerva pro případné odchylky v průtoku.

<i>Charakteristika</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Vstupní teplota</i>	4	°C
<i>Výstupní teplota</i>	98	°C
<i>Průtok ohřívaného média</i>	820	kg/h

Tab. 9: Vstupní parametry výpočtu množství páry

Následně bylo nutné určit měrnou tepelnou kapacitu mléka ( $c_{p_{mléko}}$ ) tak, aby bylo možné určit množství tepla potřebného k ohřevu mléka o výše uvedených parametrech. Pro výpočet měrné tepelné kapacity mléka bylo využito literatury [35], ze které byl využit následující vzorec pro výpočet  $c_{p_{mléko}}$ , v tabulce 10 jsou uvedeny konstanty potřebné pro výpočet.

$$c_{p_{mléko}} = (1 - c_v) \cdot c_{ps} + c_{p_{voda}} \cdot c_v = c_s \cdot c_{ps} + c_{p_{voda}} (1 - c_s) \quad [35]$$

<i>Charakteristika</i>	<i>Značka</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Podíl vlhkosti</i>	$c_v$	87,5	hmot %
<i>Měrná tep. kapacita sušiny</i>	$c_{ps}$	1,1	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
<i>Měrná tep. kapacita vody</i>	$c_{pvoda}$	4,18	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
<i>Hmotnostní koncentrace sušiny</i>	$c_s$	12,5	hmot %

Tab. 10: Hodnoty pro výpočet měrné tepelné kapacity mléka

Po dosazení veškerých konstant do výpočtu byla vypočtena hodnota měrné tepelné kapacity mléka.

$$c_{p_{mléko}} = 3,79 \text{ kJ} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}^{-1}$$

Poté již bylo vypočteno teplo, které je třeba dodat pro požadovaný ohřev. Pro výpočet bylo využito následující rovnice, do které bylo dosazeno číselné zadání.

$$Q = \dot{m}_{mléko} \cdot c_{p_{mléko}} \cdot (t_{mléko_1} - t_{mléko_2}) \text{ (kW)}$$

$$Q = 81,26 \text{ kW}$$

Nyní již bylo možné vypočítat množství páry potřebné k ohřevu mléka o požadovaných parametrech. Pro výpočet bylo využito měrné skupenské teplo kondenzace. V tabulce 11 jsou uvedeny základní parametry páry.

<i>Charakteristika</i>	<i>Značka</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Tlak</i>	$p_{pára}$	1,5	bar(a)
<i>Teplota</i>	$t_{pára}$	111,35	°C
<i>Měrné skupenské teplo kondenzace</i>	$\Delta h_{kon}$	2226,033	kJ/kg

Tab. 11: Parametry páry k ohřevu

Následně po dosazení potřebných hodnot do rovnice níže již bylo vypočteno potřebné množství páry.

$$\dot{m}_{pára} = \frac{Q}{\Delta h_{kon}} = \frac{81,26}{2226,033} = 0,0365 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 131,4 \text{ kg/hod}$$

Na základě vypočteného množství potřebné páry k ohřevu mléka o požadovaných parametrech byl zvolen parní vyvíječ pro navrhovanou technologii. Zvolený parní vyvíječ dokáže vyrobit až 200 kg/h páry, což je o cca 34 % větší výkon než požadovaný vypočtený výkon. Takto výkonný parní vyvíječ byl zvolen z důvodu možnosti využití zbývajících výkonu pro další technologie, které mohou být v budoucnu vybudovány.

Pro energetickou bilanci dvojice deskových výměníků, kde dochází k ohřevu mléka pomocí horké vody bylo využito v první řadě výsledků dosažených výše. Výpočet množství páry dává již základní pohled na energetickou náročnost celého procesu.

Dalším krokem energetické bilance je výpočet teplot a proudů v jednotlivých výměnících. Dvojici výměníků lze rozdělit na tři základní proudy, protože jeden proud je sdílený pro oba výměníky. Prvním proudem je ten, kde pára z parního vyvíječe kondenzuje ve výměníku, ohřeje topnou vodu a následně jako kondenzát proudí zpět do nádoby v parním vyvíječi, kde kondenzát předehřívá vodu, která je následně přeměněna na páru. Druhým proudem je horkovodní okruh, který nejprve přijme teplo od páry a následně toto teplo předá mléku. Posledním proudem je proud samotného produktu, kde je mléko ohříváno dle požadovaných parametrů.

Jako první byl řešen parní proud, v tomto případě byla uvažována kompletní kondenzace vstupující páry. K výpočtu byly využity parní tabulky.

Následně byly dopočteny zbývající proudy. První základní rovnicí pro výpočet je rovnost tepla přijatého a odevzdaného, druhou je tzv. kalorimetrická rovnice. Obě tyto rovnice jsou uvedeny níže. V rámci základní bilance byly zanedbány energetické ztráty.

$$Q_{\text{přijaté}} = Q_{\text{odevzdané}}$$

$$Q = \dot{m}_{\text{mléko}} \cdot c_{p_{\text{mléko}}} \cdot (t_{\text{mléko}_1} - t_{\text{mléko}_2}) = \dot{m}_{\text{hv}} \cdot c_{p_{\text{hv}}} \cdot (t_{\text{hv}_1} - t_{\text{hv}_2})$$

V první fázi výpočtu energetické bilance pro styk horkovodního okruhu a produktu byla odhadnuta teploty na vstupu do výměníku, kde je ohříván produkt. Dle konzultace s odborníky z oboru by tato teplota měla být maximálně o 0,5 °C vyšší než požadovaná teplota produktu, z toho důvodu byla zvolena teplota na vstupu horké vody na hodnotu 98,5 °C.

Následně již pomocí kalorimetrické rovnice bylo dopočteno teplo přijaté, resp. odevzdané. Veškeré tabulky byly propojeny tak, aby bylo možné využít funkci „řešitel“ k nalezení zbývajících neznámých. Posledními neznámými byla teplota na výstupu z výměníku produktu a průtok média v horkovodním okruhu, tyto dvě neznámé byly nalezeny právě díky využití řešitele. Účelová funkce řešitele je uvedena níže.

$$F = (\dot{Q}_{\text{přijaté}} - \dot{Q}_{\text{odevzdané}})^2 = 0$$

Proměnnými hodnotami jsou výše zmíněné neznámé. Dále byla přidána jedna omezující podmínka na průtok, tak aby byl minimální průtok v horkovodním okruhu vyšší jak cca 1000 kg/h, to bylo provedeno z důvodu dosažení vhodné rychlosti proudění média v potrubí.

Všechny výsledky jsou uvedeny níže v tabulce 12 pro výměník se stykem mléko – horká voda a v tabulkách 13 a 14 pro výměník s médií pára – horká voda.

<b>Výměník mléko – horká voda</b>				
<b>Charakteristika</b>	<b>Teplá strana – horká voda</b>		<b>Studená strana – mléko</b>	
	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>
<i>Vstupní teplota</i>	98,5	°C	4,0	°C
<i>Výstupní teplota</i>	39,7	°C	98,0	°C
<i>Průtok média</i>	1191	kg/h	820	kg/h
<i>Měrná tepelná kapacita média</i>	4,18	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	3,79	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
<i>Teplo odevzdané/ přijaté</i>	81,26	kW	81,26	kW

Tab. 12: Výsledky energetické bilance výměník mléko – horká voda

<b>Teplá strana – pára</b>		
<b>Charakteristika</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>
<i>Vstupní teplota (Vapour)</i>	111,35	°C
<i>Suchost</i>	1	-
<i>Výstupní teplota (Liquid)</i>	111,35	°C
<i>Suchost</i>	0	-
<i>Průtok topného média</i>	131,41	kg/h
<i>Měrné skupenské teplo kondenzace</i>	2226,03	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
<i>Teplo odevzdané</i>	81,26	kW

Tab. 13: Výsledky energetické bilance výměník pára – horká voda; teplá strana

<b>Studená strana – voda</b>		
<b>Charakteristika</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>
<i>Vstupní teplota</i>	39,7	°C
<i>Výstupní teplota</i>	98,5	°C
<i>Průtok ohřívajícího média</i>	1190	kg/h
<i>Měrná tepelná kapacita vody</i>	4,18	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
<i>Teplo potřebné k ohřátí</i>	81,26	kW

Tab. 14: Výsledky energetické bilance výměník pára – horká voda; studená strana

### 6.5.2 Energetická bilance chlazení mléka

Jelikož se k chlazení mléka používá pouze jeden výměník tepla byla tato bilance o poznání jednodušší. Celá bilance chlazení je založená na rovnosti odevzdaného a přijatého tepla.

Pro výpočet chlazení byl opět využit případ s největší energetickou náročností, a to proces, kdy bude mléko chlazeno z 98 °C na 24 °C. Průtok mléka je opět stejný jako v případě ohřevu, 820 kg/h.

Pro chlazení je k dispozici ledová voda o minimální teplotě 2 °C. Postup samotného výpočtu byl totožný s již popsáním výše. Pomocí kalorimetrické rovnice a řešitele byly dopočteny všechny neznámé. Výsledky energetické bilance jsou shrnuty tabulce 15.

<i>Charakteristika</i>	<i>Výměník mléko – ledová voda</i>		<i>Teplá strana – mléko</i>	
	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Vstupní teplota</i>	2,0	°C	98,0	°C
<i>Výstupní teplota</i>	93,8	°C	24,0	°C
<i>Průtok média</i>	600	kg/h	820	kg/h
<i>Měrná tepelná kapacita média</i>	4,18	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	3,79	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
<i>Teplota odevzdané/přijaté</i>	63,97	kW	63,97	kW

Tab. 15: Výsledky energetické bilance chlazení výměník mléko – studená voda

### 6.6 Návrh výměníků tepla

Výměníky tepla plní stěžejní funkci v celé technologii, zaručují proces ohřevu a chlazení. Nejčastěji využívaným typem výměníku v mlékárenském průmyslu je deskový výměník s profilovými deskami. Jinak tomu není ani v případě nově navrhované technologie. Mezi hlavní výhody deskového výměníku patří vysoký výkon při poměrně malé hmotnosti. Další výhodou lze sledovat v jednoduchosti zvýšení výkonu, to je provedeno přidáním dalších profilovaných desek.

V případě navrhované technologie byly oba výměníky tepla poptány a navrženy výrobcem Alfa Laval. Na základě energetické bilance byly dodány potřebné údaje do společnosti Alfa Laval, která následně provedla detailní návrh dvojice výměníku. Dodavatelem byl navržen výměník s označením M3 – BASE pro ohřev, resp. chlazení mléka a výměník CB30 – 18M pro ohřev horké vody pomocí páry.

## 1. Výměník M3 – BASE

Jedná se o typ tzv. šroubovaného výměníku, jednotlivé profilované desky jsou naskládány za sebou a následně staženy mezi hlavními deskami. Mezi deskami je vždy vloženo těsnění, v tomto případě se jedná o těsnění z ethylen – propylen pryže (EPDM). Tento typ těsnění vyniká svojí odolností proti zestárnutí, ozónu, ultrafialovým paprskům anebo také teple [36]. EPDM těsnění lze využít v rozmezí teplot od -30 °C až do 140 °C [36]. Těsnění je běžně využíváno v mlékárenském průmyslu [36]. Připojení deskového výměníku na další potrubí je provedeno pomocí závitových hrdel, která jsou vyhotovena dle normy DIN 11851 [37]. Výměník je vyroben z nerezové oceli s označením ALLOY 316, což odpovídá materiálu s označením 1.4404.

V tabulce 16 jsou uvedeny základní provozní parametry výměníku. Výkres a výpočtový protokol jsou součástí přílohy 2.

<i>Provozní stav</i>		<i>Průtok (kg/h)</i>	<i>Médium</i>	<i>Vstupní teplota (°C)</i>		<i>Výstupní teplota (°C)</i>	<i>Tlaková ztráta (kPa)</i>	<i>Výkon (kW)</i>
1	Ohřev	819	Mléko	6,00	→	98,00	54,00	82,35
		1200	Horká voda	98,40	→	39,30	113,00	
2	Ohřev	819	Mléko	35,00	→	98,00	54,00	56,39
		1200	Horká voda	98,20	→	57,80	112,00	
3	Chlazení	819	Mléko	98,00	→	24,00	54,00	66,24
		602	Ledová voda	2,00	→	96,60	30,00	
4	Chlazení	819	Mléko	98,00	→	35,00	54,00	56,39
		1200	Horká voda	2,00	→	97,80	113,00	

Tab. 16: Základní parametry výměníku M3 – BASE

## 2. Výměník CB30 – 18M

Konstrukčně se jedná o tzv. pájený deskový výměník. Desky jsou k sobě pájeny, není zde tedy žádné těsnění. Díky své konstrukci jsou schopny odolávat vysokým tlakům a teplotám [38]. Využívají se často v oblasti centrálního zásobování teplem, vytápění, chlazení anebo také v oblasti, která je předmětem právě navrhované technologie, kondenzace a přípravy teplé vody. Připojení výměníku k potrubí je provedeno pomocí trubkových závitů, kde horká voda je v dimenzi G1“ a parní strana výměníku je vyhotovena v dimenzi G5/4“. Výměník je vyroben nerezové oceli ALLOY 316, která odpovídá materiálu 1.4404, navíc zde



je ovšem využita měď k pájení jednotlivých desek. Výměník CB30 – 18M je navíc doplněn o izolační kryt, který minimalizuje únik tepla do okolí.

V tabulce 17 jsou uvedeny základní údaje z výpočtového protokolu. Výkres výměníku a výpočtový protokol jsou součástí přílohy 3.

<i>Médium</i>	<i>Průtok (kg/h)</i>	<i>Vstupní/výstupní tlak (bar(a))</i>	<i>Vstupní teplota (°C)</i>		<i>Výstupní teplota (°C)</i>	<i>Tlaková ztráta (kPa)</i>	<i>Výkon (kW)</i>
<i>Pára/Kond.</i>	130,3	1,5/1,41	143,60	→	109,6/99,6	8,54	82,35
<i>Horká voda</i>	1200	3/2,98	39,30	→	98,40	2,17	

Tab. 17: Základní parametry výměníku CB30 – 18M

Je důležité zmínit skutečnost, kdy vstupní teplota páry (143,60 °C) z výpočtu neodpovídá vstupní hodnotě z energetické bilance a stejně tak výkresu tohoto výměníku. Na základě konzultace s dodavatelem lze konstatovat, že se nejedná o chybu, Alfa Laval pouze touto cestou udává teplotu zdroje páry, která je právě 143,6 °C. Tato teplota odpovídá páře o tlaku 4 bar(a). Jak již bylo zmíněno výše tato pára je redukována ve regulačním ventilu na 1,5 bar(a), které odpovídají teplotě 111,4 °C, tak jak je uvedeno v energetické bilanci a rovněž ve tabulce teplot ve výkresu výměníku.

## 6.7 Návrh čerpadel pro technologii

V technologii se nacházejí celkem tři čerpadla, jedno pro čerpání mléka po trase ohřevu/chlazení a další dvě pro dopravu ohřívacího, resp. chladičího média. Všechna tato čerpadla bylo nutné navrhnout vzhledem k požadavkům navrhované technologie. Důležitou součástí návrhu čerpadla byla základní představa o potrubních trasách, tak aby bylo možné spočítat co nejpřesněji tlakové ztráty. Tato základní představa byla získána na místě realizace, kde byly předběžně navrženy trasy jednotlivých potrubí. Výstupem z tohoto návrhu jsou délky potrubí, množství armatur a potřebné výtlačné výšky čerpadel. Průtok média plyne z energetické bilance, která byla provedena v předešlých kapitolách. Samotné finální potrubní trasy byly vyhotoveny a navrženy až při finální montáži díla.

Návrh čerpadel byl prováděn v softwaru MS Excel, konstanty potřebné pro výpočet byly získány z online zdrojů nebo odborné literatury [39]–[41]. Výpočet prvního čerpadla je

uveden včetně kompletního postupu, pro následující čerpadla jsou uvedeny pouze dosažené výsledky, jelikož postup návrhu je shodný.

### 6.7.1 Čerpadlo horkovodního okruhu

Prvním z navrhovaných čerpadel je to, které pohání ohřívací médium v horkovodním okruhu. Při samotném návrhu bylo nutné vypočítat celkovou tlakovou ztrátu potrubí. Poté již bylo navrženo samotné čerpadlo. Z energetické bilance je známo, že průtok ohřívacího média bude cca 1200 kg/h. V tabulce 18 jsou uvedeny základní vstupní parametry výpočtu.

Charakteristika	Značka	Hodnota	Jednotka	Poznámka	Zdroj
Průtok média	$\dot{m}_{H_2O}$	1200	kg/h	z en. bilance	
Hustota média	$\rho_{H_2O}$	988,2	kg/m <sup>3</sup>	při 50 °C	[42]
Dynamická viskozita média	$\eta_{H_2O}$	$0,547 \cdot 10^{-3}$	Pa·s	při 50 °C	[39]

Tab. 18: Základní vstupní hodnoty pro výpočet čerpadla horkovodního okruhu

Následujícím krokem byl výpočet rychlosti proudění v potrubí, návrh průměru potrubí a poté také výpočet Reynoldsova čísla pro určení charakteru proudění.

Dimenze potrubí byla zvolena DN25 dle ISO normy, což odpovídá trubkám o rozměru 33,7 x 2. Z toho plyne vnitřní průměr potrubí horkovodního okruhu ( $D$ ), který je 29,7 mm. S touto hodnotou je dále počítáno při návrhu čerpadla.

$$c_{H_2O} = \frac{4 \cdot \dot{m}_{H_2O}}{\rho_{H_2O} \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot \frac{1200}{3600}}{988,2 \cdot 3,14 \cdot 0,0297^2} \doteq 0,5 \text{ m/s}$$

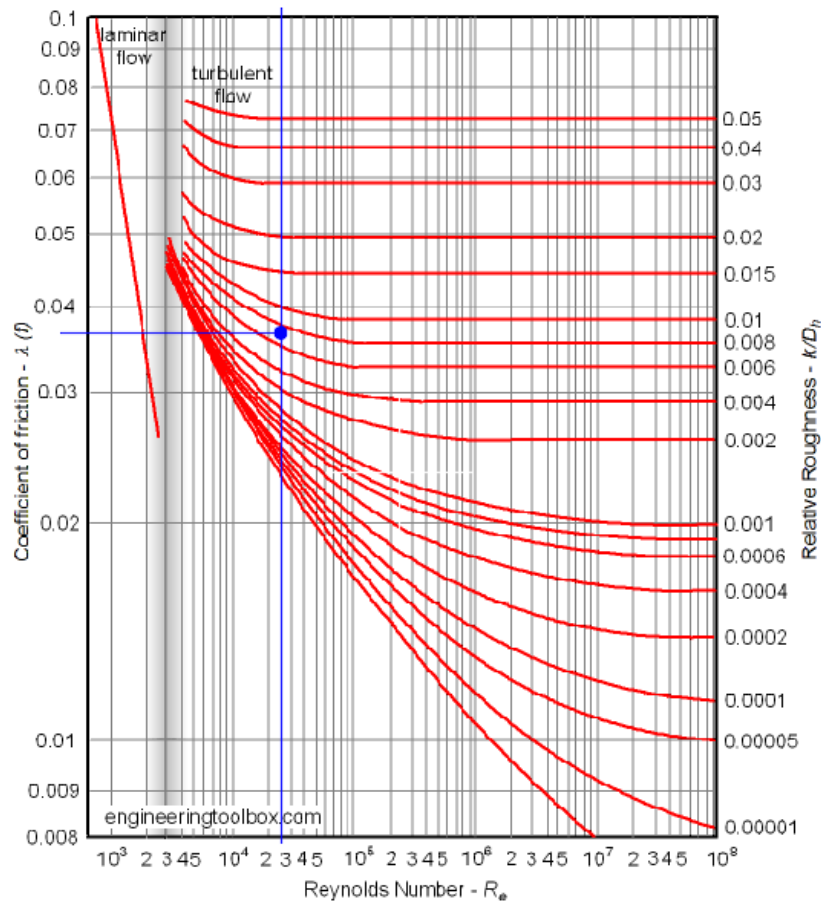
$$Re = \frac{c_{H_2O} \cdot D \cdot \rho_{H_2O}}{\eta_{H_2O}} = \frac{0,5 \cdot 0,0297 \cdot 988,2}{0,547 \cdot 10^{-3}} \doteq 2,6 \cdot 10^4 \text{ (-)}$$

Z hodnoty Reynoldsova čísla plyne, že v tomto případě se jedná o turbulentní proudění. V následujícím kroku je třeba získat hodnotu součinitele ztráty třením  $\lambda$ , poté již bude možné vypočítat tlakové ztráty třením v potrubí.

Pro získání součinitele ztráty třením je třeba znát absolutní drsnost potrubí  $\varepsilon$ , která je závislá na materiálu potrubí. V tomto případě se jedná o novou ocel, kde hodnota  $\varepsilon$  je 0,2 mm [40]. Poté je nutné vypočítat podíl absolutní drsnosti potrubí a průměru potrubí, v dalším kroku je již určen součinitel ztráty třením. Tento součinitel se odečte z Moodyho diagramu (viz. Obr. 25). Poslední potřebnou hodnotou pro výpočet je délka potrubí,

ta byla přibližně odhadnuta na místě, kde bude nová technologie umístěna. Délka potrubí nové technologie ( $l$ ) je odhadována na hodnotu cca 16 m.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,2}{0,0297} = 0,007 (-)$$



Obr. 25: Moodyho diagram – určení hodnoty  $\lambda$  [43]

Z Moodyho diagramu je vidět, že hodnota součinitele odporu třením ( $\lambda$ ) odpovídá přibližně 0,038. Nyní již lze dopočítat tlakovou ztrátu třením ( $p_{zt}$ ), dle následující rovnice.

$$p_{zt\_č1} = \frac{\lambda}{D} \cdot \rho_{H_2O} \cdot \frac{c_{H_2O}^2}{2} \cdot l = \frac{0,038}{0,0297} \cdot 988,2 \cdot \frac{0,5^2}{2} \cdot 16 \doteq 2529 \text{ Pa} = 2,529 \text{ kPa}$$

Pro výběr čerpadla byla tlaková ztráta přepočítána na metry vodního sloupce ( $m H_2O$ ).

$$h_{zt\_č1} = \frac{p_{zt\_č1}}{\rho_{H_2O} \cdot g} = \frac{2529}{988,2 \cdot 9,81} = 0,25 \text{ m } H_2O$$

Další částí celkové tlakové ztráty je místní tlaková ztráta od jednotlivých kolen, kohoutů či dalších armatur. Pro výpočet je nutné znát hodnotu součinitele místního odporu ( $\zeta$ ),

tento součinitel byl čerpán z odborné literatury či příslušných online zdrojů [41]. V první fázi návrhu místní tlakové ztráty byly odhadnuty počty jednotlivých armatur, které budou montovány v technologii, tyto počty byly opět odhadnuty na základě zkoumání místa, kde bude technologie umístěna, všechny tyto místní odpory jsou shrnuty v tabulce 19.

Typ armatury	Součinitel místního odporu $\zeta$ (-)	Počet	Zdroj
Koleno 90 °	1,5	20	[41]
T-kus	1	4	[44]

Tab. 19: Hodnoty součinitelů místních odporů  $\zeta$

$$p_{zmo\_č1} = \sum \xi_i \cdot \frac{c_{H_2O}^2}{2} \cdot \rho_{H_2O} = 34 \cdot \frac{0,5^2}{2} \cdot 988,2 \doteq 3983 \text{ Pa} = 3,983 \text{ kPa}$$

Následně byla opět tlaková ztráta přepočtena na výšku vodního sloupce.

$$h_{zmo\_č1} = \frac{p_{zmo\_č1}}{\rho_{H_2O} \cdot g} = \frac{3983}{988,2 \cdot 9,81} = 0,41 \text{ m H}_2\text{O}$$

Dalšími tlakovými ztrátami, které jsou uvažovány při výpočtu celkové tlakové ztráty jsou tlakové ztráty výměníku tepla. Tyto tlakové ztráty jsou součástí výpočtu výměníků od dodavatele Alfa Laval. Poslední tlakovou ztrátou, kterou je nutné uvažovat při výpočtu je výtlačná výška čerpadla, v tomto případě se jedná o uzavřený okruh, kde čerpadlo musí překonat převýšení cca 80 cm. Všechny tlakové ztráty jsou shrnuty níže v tabulce 20, hodnoty jsou vždy uvedeny v jednotce výška vodního sloupce.

Typ tlakové ztráty	Značka	Hodnota	Jednotka
Ztráty třením	$h_{zt\_č1}$	0,25	m H <sub>2</sub> O
Místní ztráty	$h_{zmo\_č1}$	0,41	m H <sub>2</sub> O
Ztráta výměníku CB30	$h_{CB30}$	0,22	m H <sub>2</sub> O
Ztráta výměníku M3-BASE	$h_{M3-BASE}$	11,65	m H <sub>2</sub> O
Výtlačná výška	$h_{výtl\_č1}$	1	m H <sub>2</sub> O

Tab. 20: Tlakové ztráty – návrh čerpadla horkovodní stanice

Celková tlaková ztráta je součtem jednotlivých dílčích tlakových ztrát.

$$h_{celk\_č1} = h_{zt\_č1} + h_{zmo\_č1} + h_{CB30} + h_{M3-BASE} + h_{výtl\_č1}$$

$$h_{celk\_č1} = 0,25 + 0,41 + 0,22 + 11,65 + 1 \doteq 14 \text{ m H}_2\text{O}$$

V tuto chvíli jsou již určeny všechny potřebné parametry pro návrh samotného čerpadla. Pro danou aplikaci bylo zvoleno odstředivé čerpadlo Calpeda s označením MXHM 202E, které plně splňuje požadované parametry.

### 6.7.2 Čerpadlo chladícího okruhu

Pro technologii chlazení byla zvolena technologie čerpání pomocí tzv. domácí vodárny. Detailní výpočet čerpadla nebyl prováděn, čerpadlo bylo zvoleno na základě praktických zkušeností zákazníka, takže návrh tohoto čerpadla nebyl součástí dodávaného díla ani součástí diplomové práce.

### 6.7.3 Čerpadlo produktu

Druhým a posledním čerpadlem, které bylo nutné navrhnout je čerpadlo produktu. Toto čerpadlo je využíváno při ohřevu i při chlazení, jeho úkolem je doprava mléka do příslušných nádrží. Pro zjednodušení byl uvažovaný produkt voda o teplotě cca 35 °C.

V následující tabulce 21 jsou uvedeny důležité parametry pro návrh čerpadla, výpočet byl proveden stejným postupem jako v případě čerpadla horkovodního okruhu, z toho důvodu zde detailní výpočet již není uveden.

<i>Charakteristika</i>	<i>Značka</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Poznámka</i>	<i>Zdroj</i>
<i>Průtok media</i>	$\dot{m}_{mléko}$	820	kg/h	-	viz. en. balance
<i>Průměr potrubí</i>	$d_{mléko}$	25	mm	-	-
<i>Rychlost media</i>	$c_{mléko}$	0,47	m/s	-	-
<i>Hustota media</i>	$\rho_{voda}$	994,03	kg/m <sup>3</sup>	při 35 °C	[42]
<i>Dynamická viskozita media</i>	$\eta_{H_2O}$	0,000719	Pa·s	při 35 °C	[45]
<i>Reynoldsovo číslo</i>	$Re$	$1,6 \cdot 10^4$	-	-	-
<i>Absolutní drsnost potrubí</i>	$\varepsilon$	0,2	mm	-	[40]
<i>Součinitel odporu tření</i>	$\lambda$	0,038	-	-	Moodyho diagram

Tab. 21: Základní parametry pro návrh čerpadla produktu

Dalším krokem návrhu byl odhad délky potrubní trasy produktu. Délka potrubní trasy ( $l_{produkt}$ ) byla odhadnuta na hodnotu 15 m. Poté byly odhadnuty počty armatur, tak aby mohly být určeny místní tlakové ztráty (viz. Tab. 22). Výtlačná výška čerpadla ( $h_{výtl\_čprodukt}$ ) je cca 2 m. V tuto chvíli jsou známy všechny potřebné parametry pro výpočet celkové tlakové ztráty čerpadla. Opět všechny hodnoty jsou uvedeny v tabulce 23 níže.

<i>Typ armatury</i>	<i>Součinitel místního odporu <math>\zeta</math> (-)</i>	<i>Počet</i>	<i>Zdroj</i>
<i>Koleno 90 °</i>	1,5	10	[41]
<i>T-kus</i>	1	2	[44]

Tab. 22: Počty armatur na potrubní trase produktu

<i>Typ tlakové ztráty</i>	<i>Značka</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Ztráty třením</i>	$h_{zt\_čprodukt}$	0,26	m H <sub>2</sub> O
<i>Místní ztráty</i>	$h_{zmo\_čprodukt}$	0,20	m H <sub>2</sub> O
<i>Ztráta výměníku M3-BASE</i>	$h_{M3-BASE}$	5,50	m H <sub>2</sub> O
<i>Výtlačná výška</i>	$h_{výtl\_čprodukt}$	2,00	m H <sub>2</sub> O
<i>Celková tlaková ztráta</i>	$h_{celk\_čprodukt}$	8,00	m H <sub>2</sub> O

Tab. 23: Tlakové ztráty čerpadla produktu

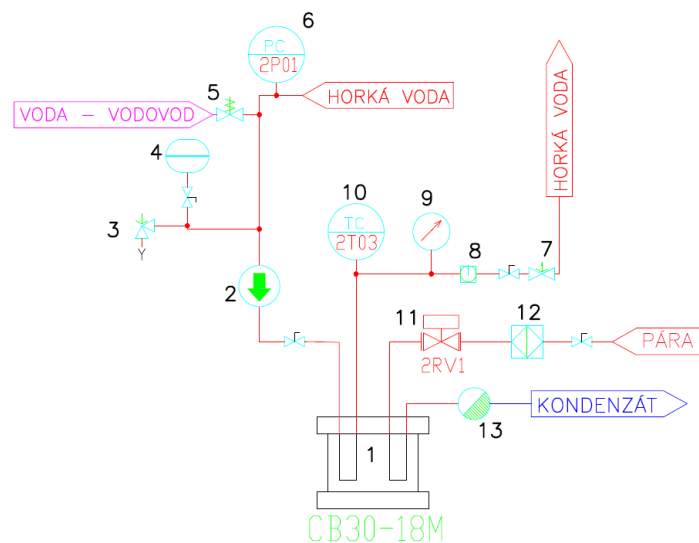
V tento okamžik jsou určeny všechny parametry, které jsou nutné pro určení typu čerpadla pro danou aplikaci. Pro navrhovanou technologii bylo nutné zvolit čerpadlo, které je určeno pro využití v potravinářském průmyslu. Nejvhodnější čerpadlo pro tento účel je čerpadlo typu NPB, jedná se o nerezové odstředivé čerpadlo, které je určeno právě pro potravinářský průmysl. Tato čerpadla jsou hojně používána v mlékárenském průmyslu. Důležitou součástí tohoto typu čerpadla je ucpávka, v tomto případě se jedná o ucpávku chlazenou, proto je nutné uvažovat s připojením čerpadla na zdroj vody. Důležitým parametrem chlazení ucpávky je průtok chladicí vody, tak aby probíhalo správně chlazení. Pokud je tlak chladicí vody vysoký dochází k vytlačení těsnícího břitového těsnění. Výrobce čerpadla udává hodnotu průtoku chladicí vody v rozmezí 0,08 – 0,02 l/s [46].

Dle vypočtených parametrů, zkušeností a doporučení dodavatele bylo zvoleno čerpadlo Sigma 50-NPB-150-12,5-YC-04. Výkon tohoto čerpadla převyšuje požadavky technologie, proto je čerpadlo doplněno o frekvenční měnič, tak aby mohl být průtok upraven na požadovanou hodnotu. Nicméně v případě provozního stavu sanitace je využit plný výkon čerpadla pro správnou sanitaci produktové potrubní trasy.

## 6.8 Návrh horkovodní stanice

V kapitolách výše byl navržen princip ohřevu mléka. Úkolem horkovodní stanice je dodávat dostatečně teplou vodu pro následný ohřev mléka. Horkovodní stanice zahrnuje dva základní procesní proudy, prvním je pára z parního vyvíječe, která ohřeje topnou vodu. Druhým procesním proudem je právě topná voda, která následně ohřívá mléko.

Horkovodní stanice se skládá z několika základních součástí (viz. Obr. 26 ), kdy všechny tyto součásti jsou soustředěny na jeden rám, tak aby byla zaručena dobrá manipulovatelnost a obsluha. Rám horkovodní stanice byl vyroben z nerezového jeklu o rozměrech 50x50x3 mm.



Obr. 26: Schéma horkovodní stanice [22]

<i>Položka</i>	<i>Význam</i>
1	Deskový výměník CB30 – 18M
2	Odstředivé čerpadlo Calpeda MXHM 202E
3	Bezpečnostní ventil
4	Expanzní nádoba
5	Solenoidový ventil dopouštění vody
6	Snímač tlaku topné vody
7	Odvzdušňovací ventil
8	Průhledítko se signalizací průtoku
9	Ručíčkový manometr
10	Snímač výstupní teploty topné vody
11	Regulační ventil průtoku páry
12	Filtr
13	Plovákový odvaděč kondenzátu

Tab. 24: Legenda schématu horkovodní stanice Obr. 26

Součástí horkovodní stanice je deskový výměník, který již byl navržen v předchozích kapitolách, to samé platí pro čerpadlo, které zaručuje proudění topné vody v okruhu. Další součástí, která zatím nebyla specifikována je bezpečnostní ventil, ten byl zvolen od dodavatele Regulus s otevíracím tlakem 6 bar, veškeré součásti vydrží tlak 6 bar, proto nebyl problém se zvoleným otevíracím tlakem. Poté bylo nutné navrhnout expanzní nádobu, zde bylo nutno provést výpočet dle postupu doporučeného výrobcem expanzní nádoby.

### Výpočet expanzní nádoby:

Objem potřebné expanzní nádoby se vypočítá pomocí následujícího vzorce.

$$V_e = \frac{1,3 \cdot V \cdot \Delta v \cdot (p_{h,dov} + 1)}{(p_{h,dov} - p_{h,min})} \quad (l)$$

kde příslušné symboly mají následující význam:

$V_e$	Objem tlakové expanzní nádoby (l)
$V$	Vodní objem celé otopné soustavy (l)
$\Delta v$	Poměrné zvětšení objemu vody při jejím ohřátí z 10 °C na maximální teplotu vody v otopném systému (-)
$p_{h,dov}$	Maximální provozní tlak v otopné soustavě (bar)
$p_{h,min}$	Minimální požadovaný tlak v otopné soustavě (bar)

Objem otopné soustavy byl odhadnut dle předpokládané konstrukce celého zařízení, hodnoty tlaků vystupujících ve vzorci byly navrženy tak, že minimální dovolený tlak je 2 bary a maximální dovolený tlak 5 barů, tak aby nebyl překročen otevírací tlak bezpečnostního ventilu. Poslední neznámou je poměrné zvětšení objemu vody, tato hodnota byla nalezena v příslušném grafu. Následně již bylo dosazeno do vzorce a vypočten požadovaný objem expanzní nádoby.

$$V_e = \frac{1,3 \cdot V \cdot \Delta v \cdot (p_{h,dov} + 1)}{(p_{h,dov} - p_{h,min})} = \frac{1,3 \cdot 40 \cdot 0,045 \cdot (5 + 1)}{(5 - 2)} = 4,68 \text{ l}$$

Dle výpočtu plyne, že je třeba expanzní nádoba o přibližném objemu 5 l, v případě navrhované technologie byla zvolena expanzní nádrž o objemu 8 l, tato nádrž byla zvolena z důvodu možného nepřesného výpočtu objemu otopné soustavy a konzultace

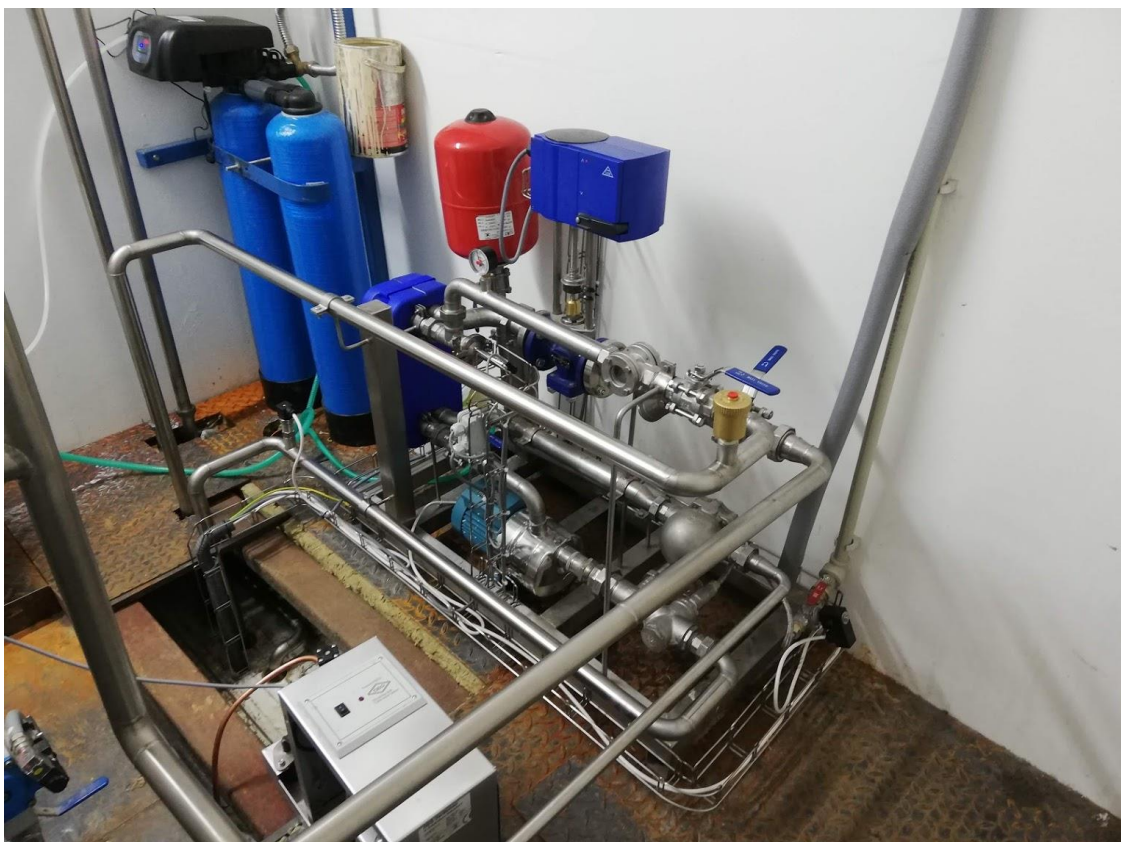


s odborníkem od dodavatele. Finální zvolenou expanzní nádobou je tedy nádoba od dodavatele Regulus s označením HS008.

Regulační ventil průtoku páry a snímače tlaku a teploty budou popsány dále v práci.

Ostatní součásti horkovodní stanice již nepotřebují výpočet pro jejich dimenzi, proto zde již není blíže specifikován jejich výběr. Byly vybrány pouze poptáním dle požadované dimenze potrubí.

Na obrázku 27 je již zobrazena finální verze horkovodní stanice, včetně umístění na místo, kde bude provozována.



Obr. 27: Horkovodní stanice navrhované technologie

## 6.9 Návrh vyrovnávací nádrže

Součástí navrhované technologie je také vyrovnávací nádrž, která slouží k pokrytí výkyvů přitékajícího mléka z velkoobjemové chladicí nádrže anebo přitékajícího mléka přímo z dojírny.

Při návrhu nádrže bylo nutné splnit několik základních požadavků:

1. Volba dostatečné velikosti nádrže – zvoleno na základě konzultace s investorem technologie.
2. Minimální zástavbové prostory, při maximální výšce cca 160 cm – zvolen vnitřní průměr nádrže na hodnotu 550 mm.
3. Zařízení k sanitaci nádrže – nádrž je doplněna o mycí kouli o průměru 28,6 mm. Výběr a požadavky na mycí kouli jsou specifikovány níže.
4. Přítomnost průlezu k případné ruční sanitaci nádrže – zvolen průlez o vnitřním průměru 400 mm.
5. Zařízení k měření hladiny v nádrži – doplněno o návarek k připojení hladinového snímače. Snímání hladiny bude upřesněno v kapitole Měření a regulace.

Pro splnění všech požadavků uvedených výše byla navržena nádrž dle následujících parametrů v tabulce 25:

		MAX	MIN
KONSTRUKČNÍ ÚDAJE	PROVOZNÍ TLAK (bar(g))	0,1	0
	MAX. DOVOL. PRACOVNÍ TLAK (bar(g))	MAX	0,1
		MIN	0
	KONSTRUKČNÍ TLAK (bar(g))	MAX	0,1
		MIN	0
	PROVOZNÍ TEPLOTA (°C)	MAX	100
		MIN	4
	MAX. DOVOL. PRACOVNÍ TEPLOTA (°C)	MAX	100
		MIN	4
	KONSTRUKČNÍ TEPLOTA (°C)	MAX	100
MIN		4	
OBJEM TLAKOVÉHO PROSTORU (L)		180	
MEDIUM	-	MLÉKO	
HMOTNOST APARÁTU (kg)		52,53	
ÚDAJE O MATERIÁLU	PLÁŠŤ		1.4301
	DNA-VÍKA		1.4301
	LÍMEC		1.4301
	PŘÍPOJOVACÍ HRDLA		1.4301
	TĚSNĚNÍ		EPDM

Tab. 25: Základní parametry vyrovnávací nádrže

Výpočet vyrovnávací nádrže byl proveden pomocí softwaru Visual Vessel Design, dle normy ČSN EN 13 445 (je součástí přílohy) [47]. Tato norma se využívá pro tlakové nádoby, což není případ navrhované nádrže, norma je použita z důvodu výpočtu ve vybraném softwaru, který podporuje právě tento předpis. Díky tomu byl samotný výpočet jednodušší při zachování jeho platnosti z hlediska pevnosti dané nádrže. Pro hodnotu výpočtového tlaku nádrže byl použit hydrostatický tlak, který vzniká na dně nádrže působením mléka. Hydrostatický tlak byl vypočten dle následujícího vztahu.

$$p_{hydr} = h_{max} \cdot \rho_{mléko} \cdot g = 0,90 \cdot 1030 \cdot 9,81 = 9094 \text{ Pa} \doteq 0,1 \text{ bar}$$

kde příslušné symboly mají následující význam:

$p_{hydr}$	Hydrostatický tlak u dna vyrovnávací nádrže (Pa)
$h_{max}$	Maximální hladina mléka v nádrži (m)
$\rho_{mléko}$	Hustota mléka (kg/m <sup>3</sup> )
$g$	Gravitační zrychlení (m/s <sup>2</sup> )

V dalším kroku bylo nutné zvolit umístění a počet připojovacích hrdel. Pro správnou funkci vyrovnávací nádrže bylo nutné doplnit následující hrdla:

1. Výstup mléka z nádrže – DN 40 dle DIN 11851
2. Vstup mléka do nádrže – DN 25 dle DIN 11851
3. Vratná větev potrubí – DN 25 dle DIN 11851
4. Připojení sanitační sprchovací koule – DN 25 dle DIN 11851

Dalším důležitým požadavkem, který je nutné uvažovat při návrhu vyrovnávací nádrže je technologické hledisko výroby. Z tohoto důvodu byla již na začátku zvolena minimální tloušťka plechových dílů na 2,5 mm.

Nyní již byl proveden samotný výpočet. Protokol z výpočtu je součástí diplomové práce v příloze č. 4. Na základě technologických požadavků výroby a výpočtu byla zvolena tloušťka na 2,5 mm pro plášť, průlez a kuželovou část nádrže, pro klenuté dno byla zvolena na 3 mm.

Na obrázku 28 je zobrazena navržená vyrovnávací nádrž. Výrobní výkres nádrže je přiložen v příloze 5.



Obr. 28: Vyrovnávací nádrž 180 L

## **6.10 Měření a regulace navržené technologie**

Jak již bylo zmíněno v teoretické části této diplomové práce, měření a regulace tvoří nedílnou součást navrhované technologie. Při nesprávném měření nebo regulaci může velmi lehce dojít k znehodnocení mléka, proto byl při návrhu kladen velký důraz na volbu měřících čidel či regulačních ventilů.

### **6.10.1 Měření v navržené technologii**

V technologii pro výrobu sýru se vyskytuje měření průtoku, teploty, tlaku a také hladiny. Hlavním cílem linky je dosažení požadované teploty produktu, proto hlavní roli v oblasti měření má teplotní čidlo produktu. Umístění jednotlivých čidel je zobrazeno na PID schématu, které je přiloženo v příloze 1.

## Měření teploty:

V celé technologii se vyskytují dva teploměry, oba tyto teploměry jsou stejného typu a informace z obou teploměrů směřují do řídicího systému.

Teploměry mají následující funkci:

1. Měření teploty produktu na výstupu z výměníku – pravděpodobně jedno z nejdůležitějších měřidel v rámci celé technologie. Měří teplotu ohřátého mléka a tím dává informaci o správnosti či nesprávnosti funkce navržené linky
2. Měření teploty horké vody na výstupu z horkovodní stanice – zde je měřena teplota ohřívacího média. Teplotní čidlo je součástí horkovodní stanice.

Pro výše zmíněné funkce byl zvolen teploměr od společnosti Endress+Hauser s výrobním označením TMR35. Jedná se o odporové čidlo, které je umístěno do potrubí bez jímky. Základní data jsou uvedena níže v tabulce 26.

<i>Charakteristika</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Typ měřidla</i>	Pt100	-
<i>Měřicí rozsah</i>	-50–200	°C
<i>Délka stonku</i>	100	mm
<i>Materiál</i>	1.4404	-
<i>Doba odezvy t50</i>	1	s
<i>Výstup</i>	4...20	mA
<i>Připojení</i>	Clamp dle DIN 32676	

Tab. 26: Základní data – TMR35

## Měření průtoku:

Technologie obsahuje jeden průtokoměr. Díky průtokoměru je dovoleno obsluze měnit výkon navržené technologie, což je velmi důležité z pohledu využitelnosti linky. Pro měření průtoku byl zvolen průtokoměr od českého výrobce COMAC CAL s označením FLOW 38. Tento průtokoměr se dá použít pouze pro vodivé kapaliny, protože se jedná o indukční (magnetický) průtokoměr, který díky měřicím elektrodám snímá indukované napětí, které vzniká protékáním vodivé kapaliny. V následující tabulce 27 jsou uvedena základní data o průtokoměru.

<i>Charakteristika</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Typ měřidla</i>	Indukční	-
<i>Měřicí rozsah</i>	0,24-14,2	m <sup>3</sup> /h
<i>Dovolená teplota</i>	max 150	°C
<i>Výstup</i>	4...20	mA
<i>Připojení</i>	DN20 dle DIN 11851	

Tab. 27: Základní data COMAC CAL FLOW38

### **Měření průtoku, hladiny:**

Měření tlaku je využito v rámci navrhované technologie na třech místech.

1. Měření tlaku produktu na výstupu z výměníku – v tomto případě je měřen tlak vystupujícího média. V tomto případě musí být tlakoměr v hygienickém provedení, protože je v přímém styku s mlékem.
2. Měření tlaku v horkovodním okruhu – tento tlakoměr již není v přímém styku s produktem, proto zde není žádný požadavek z pohledu hygieny. Tlakoměr měří tlak na vratné větvi horkovodního okruhu. Zasílá informaci o tlaku do systému a v případě nízkého tlaku systém zasílá povel k otevření solenoidového ventilu, který doplňuje horkovodní okruh tlakovací vodou tak, aby byl pořád dosažen požadovaný tlak v horkovodním okruhu.
3. Měření hladiny ve vyrovnávací nádrži – hladina je rovněž měřena pomocí tlakoměru, tlakoměr je umístěn ve dně nádoby, kde snímá hydrostatický tlak kapaliny. Systém následně přepočítává tlak na hladinu, které je poté hlídána, aby nedošlo k přetečení nádrže nebo naopak k úplnému vyprázdnění nádrže. Opět je zde důležitým požadavkem hygiena, tudíž je nutno zvolit tlakoměr pro potravinářský průmysl.

Na základě výš zmíněných požadavků byla zvolena následující měřidla:

1. Pro měření produktu na výstupu z výměníku a hladiny byl zvolen tlakoměr od společnosti IFM s označením PM1689, což je tlakoměr určený pro hygienicky čisté provozy. V následujících tabulkách 28 a 29 jsou uvedena základní data pro případ měření tlaku a hladiny.

<i>Tlak produktu na výstupu z výměníku</i>		
<i>Charakteristika</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Typ měřidla</i>	keramicko- kapacitní tlaková měřící buňka	-
<i>Měřicí rozsah</i>	0-5	bar
<i>Dovolená teplota</i>	-25–125	°C
<i>Výstup</i>	4...20	mA
<i>Připojení</i>	návarek IFM – těsnění kov/kov	

Tab. 28: Základní data PL1689 – tlak produktu na výstupu z výměníku

<i>Hladina produktu ve vyrovnávací nádrži</i>		
<i>Charakteristika</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Typ měřidla</i>	keramicko- kapacitní tlaková měřící buňka	-
<i>Měřicí rozsah</i>	0-0,1	bar
<i>Dovolená teplota</i>	-25–125	°C
<i>Výstup</i>	4...20	mA
<i>Připojení</i>	návarek IFM – těsnění kov/kov	

Tab. 29: Základní data PL1689 – hladina produktu ve vyrovnávací nádrži

Obě tato čidla byla doplněna o návarek pro připojení. Návarek neobsahuje žádné těsnění, dochází zde k těsnění kov na kov, kdy na sebe dosedají přesné plochy.

2. Pro měření tlaku na vratné větvi horké vody bylo zvoleno měřidlo od výrobce BD Sensors s označením DMP 331. V tabulce 30 níže jsou uvedeny základní parametry zvoleného snímače.

<i>Charakteristika</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
<i>Typ měřidla</i>	kapacitní tlaková měřící buňka	-
<i>Měřicí rozsah</i>	0-10	bar
<i>Dovolená teplota</i>	-40–125	°C
<i>Výstup</i>	4...20	mA
<i>Připojení</i>	G 1/2"	-

Tab. 30: Základní data DMP 331 - měření tlaku horkovodního okruhu

Tento tlakoměr je našroubován přímo do mufny G1/2“, těsnění je zde provedeno pomocí těsnící pásky na závity, navíc samotný tlakoměr obsahuje těsnící kroužek z materiálu EPDM.

### **6.10.2 Regulace navržené technologie**

Součástí této diplomové práce je také návrh strategie řízení technologie, kde byl navržen princip řízení a regulace. Strategie řízení byla následně předána programátorovi, který vytvořil software pro řízení celé technologie.

V celé technologii se vyskytují celkem 3 regulované veličiny. Nyní budou představeny jednotlivé regulace linky.

#### **1. Regulace teploty výstupu horké vody**

První regulovanou veličinou je teplota výstupní teploty horké vody z horkovodní stanice. Tato regulace je využita v případě, kdy je technologie využita k ohřevu na požadovanou teplotu. V PID schématu je regulovaná veličina označena jako 2T02. Na základě zkušeností z provozu je známo, že rozdíl mezi teplotou produktu a teplotou horké vody je cca 0,5 °C, to plyne rovněž z energetické bilance a také z výpočtu výměníku M3 – Base, který dodala společnost Alfa Laval.

Teplota 2T02 je regulována pomocí změny průtoku páry do pájeného deskového výměníku CB30-18M. K regulaci průtoku páry byl využit dvoucestný regulační ventil od dodavatele LDM. Ventil je doplněn o elektropohon, který řídí průtok ventilem. K prvotnímu návrhu regulačního ventilu byl využit software od LDM, finální typ ventilu byl zvolen po konzultaci s odborníky z LDM. Zvolený ventil je v přírubovém provedení.

Zvolený regulační ventil: [Regulační ventil RV 102 DN32](#)

#### **2. Regulace výstupní teploty produktu**

Druhou regulovanou veličinou v technologii je výstupní teplota produktu, tato teplota je v PID schématu označena jako 2T01. Regulace na základě výstupní teploty produktu je využita v případě, kdy je technologie využita k chlazení produktu na požadovanou teplotu. Regulace teploty probíhá pomocí regulování množství ledové vody, který protéká výměníkem. Pro regulování byl využit opět ventil od LDM, nicméně v tomto případě byl využit třícestný ventil, který dělí vstupující proud tak, že část vstupujícího proudu je přímo oddělena na výstup vody z výměníku. Regulační ventil je stejně jako v předchozím případě doplněn



o elektropohon. Ventil je v přírubovém provedení. Samotný návrh probíhal stejně jako v případě již zmiňovaného ventilu průtoku páry.

Zvolený ventil: Regulační ventil RV113 DN 20

### **3. Regulace průtoku produktu**

Třetí regulovanou veličinou je průtok media. V PID schématu je označen jako 1F01. Regulace průtoku byla využita z důvodu možnosti změny výkonu technologie, díky tomu si může obsluha libovolně volit průtok média až do maxima cca 1900 l/h, které je využito např. při sanitaci technologie. Druhým důvodem nutnosti regulování průtoku technologie je také různorodost potrubních tras, kdy pro každý provozní režim je jiná provozní trasa, rovněž se mění materiál potrubí. V některých provozních stavech jsou využívány k vedení potrubí gumové hadice, které mají různou délku dle potřeby. Regulace průtoku probíhá pomocí frekvenčního měniče, který řídí otáčky čerpadla produktu (2M1 v PID schéma). Frekvenční měnič byl zvolen na základě výkonu produktového čerpadla.

Při samotném provozu jsou aktivní vždy dvě paralelní regulace, protože je nutné řídit jak požadovanou teplotu, tak i průtok produktu technologií. V případě ohřevu je nutné, aby teplota produktu byla větší jak 72 °C, což je legislativou daná pasterační teplota.

Při ohřevu je celá technologie navíc doplněna o ohřev produktu v Plevníku, tato nádrž má svůj ohřevný systém, který dohřívá produkt na požadovanou teplotu. Tento systém dohřevu je nutný využít z důvodu tepelných ztrát v průběhu doby, kdy je produkt ohříván.

Při chlazení je technologie závislá na množství a teplotě ledové vody v zásobníku ledové vody, který je umístěn v prvním patře objektu.

## 6.11 Realizace navržené technologie

Realizace navržené technologie probíhala v několika krocích. Prvním krokem byl samotný návrh, kde byly postupně navrženy jednotlivé části problému, tak jak jsou výše členěny v celé praktické části diplomové práce. Výstupem z první části realizace byly vyspecifikované či navržené součásti (např. čerpadla, výměníky, nádrže), výrobní výkresy pro následnou výrobu některých komponent navržené technologie (např. horkovodní stanice, vyrovnávací nádrž).

V dalším kroku realizace byly vyhotoveny dle výrobních výkresů jednotlivé komponenty, zde bylo hlavním úkolem dohlédnout na průběh výroby a správnost vyrobených komponent.

Po zhotovení komponent bylo přistoupeno k montáži u investora. Ta zahrnovala dvě části – strojní a elektro. Strojní část montáže zahrnovala umístění jednotlivých součástí na své pozice. Její stěžejní částí pak byla montáž potrubí. V tomto kroku bylo nutné již detailně navrhnout a vyrobit veškeré potrubní trasy dle PID schématu s ohledem na dané místo realizace. Potrubí muselo obsahovat veškeré předepsané armatury (např. klapky, průhledítka), aby byla splněna správná funkce navržené technologie. Úkolem elektromontáže bylo rozvedení veškerých žlabů pro kabelové trasy a následné natažení kabelových tras ke všem snímačům, čerpadlům a také regulačním ventilům. Druhým úkolem elektromontáže bylo připojení veškerých elektro součástí do rozvaděče.

Po fyzickém vyhotovení linky bylo přistoupeno k najíždění. Tato část byla prováděna ve spolupráci s programátorem měření a regulace. Nejprve bylo vše manuálně odzkoušeno, poté již bylo přistoupeno k postupnému rozjíždění v automatickém režimu.

Dále již byly zkoušeny jednotlivé provozní stavy navržené technologie tak, aby vše bylo plně funkční.

Poslední fází realizace technologie bylo zaškolení obsluhy a předání díla investorovi.

V průběhu celé realizace probíhaly konzultace s odborníky z praxe tak, aby celá technologie dokázala správně plnit svoji funkci. Jednotlivé kroky strategie řízení byly konzultovány s investorem.

## ZÁVĚR

V několika úvodních kapitolách byly nejprve přiblíženy mléčné produkty, jako např. jogurty, sýry atd. Dále byly také popsány základní procesní zařízení používaná v mlékárenském průmyslu. V další části teoretické části bylo popsáno měření a regulace v mlékárenství. Teoretická část této diplomové práce byla zakončena popisem postupu výroby sýru.

Po dokončení teoretické části již bylo přistoupeno k praktické části, která se zabývala komplexním návrhem mini sýrárny (technologie pro ohřev, resp. chlazení mléka). Nejprve byly popsány jednotlivé provozní stavy technologie, které plynuly z požadavků, které dodal investor. Poté již byla řešena chronologicky celá technologie, kde v první fázi byl navržen princip ohřevu mléka pomocí páry a princip chlazení mléka pomocí ledové vody. Dalším krokem byly tyto dva principy spojeny do jedné technologie, díky tomu již mohlo být vytvořeno základní PID schéma celého procesu. Poté již bylo postupně přistoupeno k řešení jednotlivých částí návrhu. Nejprve byla vytvořena energetická bilance procesu, kde jejím základním výstupem bylo potřebné množství páry k ohřevu mléka. Energetická bilance také poskytla základní pohled na tepelnou stránku řešené problematiky. Poté již následoval návrh jednotlivých čerpadel technologie. Jakmile byla navržena všechna čerpadla technologie mohlo být přistoupeno k návrhu horkovodní stanice, která tvoří „srdce“ ohřevu mléka a také k návrhu vyrovnávací nádrže. Poslední částí praktické části této diplomové práce byl návrh měření a regulace, v rámci praktické části byla navržena jednotlivá měřidla dle požadovaných parametrů. Z oblasti regulace byly navrženy regulační ventily páry a ledové vody. Současně byla vymyšlena strategie řízení procesu, která byla předána programátorovi k vytvoření softwaru pro ovládání celé technologie. Tímto bodem končil návrh technologie.

Jak již bylo zmíněno v úvodu této diplomové práce, technologie byla následně také realizována. V rámci realizace byla nejprve vyhotovena strojní částí technologie, ta obsahovala především příslušné potrubní propojení dle PID schématu. Poté byla provedena elektro montáž potřebných kabelových tras. Následně již bylo přistoupeno ke zkušebnímu provozu, kdy byla prvně celá technologie zkoušena v manuálním provozu a poté i v automatickém provozu.

Na základě několikaměsíčního provozu byly vyvozeny kroky, které by měly nadále být provedeny k zdokonalení linky. Prvním a nejzásadnějším krokem je automatizace přítoku mléka z dojírny tak, aby nemohlo dojít k výpadku mléka. Toto by bylo provedeno pomocí osazení veškerých nádrží v dojárně a mléčnici hladinovými snímači a následnou úpravou softwaru, aby dokázal reagovat na množství mléka v příslušné nádrži. Druhou úpravou by bylo přidání další klapky na potrubí pro vypouštění sanitačního roztoku z potrubí. Poslední navrhovanou úpravou je izolace výstupního potrubí, kde proudí ohřáté mléko, díky tomuto kroku by byly minimalizovány tepelné ztráty do okolí.

Technologie navržená v rámci této diplomové práce je plně funkční a používána investorem.

Výše zmíněná vylepšení nemají zásadní vliv na samotnou funkci technologie, jsou to spíše doporučení pro zdokonalení samotného procesu.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] „Mléko v každé škole". [Online]. Dostupné z: <http://umtk.vscht.cz/ESO/EM/1/11.htm>. [Viděno: 15-led-2019].
- [2] M. Pločková a Š. Horáčková, „Co je mléko? (Co není mléko?)", s. 25.
- [3] „Print page". [Online]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/print.php?page=1685&typ=html](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=1685&typ=html). [Viděno: 15-led-2019].
- [4] „Nutriční význam mléčných výrobků | CZ TEST - SVĚT POTRAVIN | podporováno Potravinářskou komorou České republiky". [Online]. Dostupné z: <https://www.svet-potravin.cz/clanek/nutricni-vyznam-mlecnych-vyrobku>. [Viděno: 15-led-2019].
- [5] „Nutriční význam mléka", *celostnimedicina*. [Online]. Dostupné z: <https://www.celostnimedicina.cz/nutricni-vyznam-mleka.htm>. [Viděno: 15-led-2019].
- [6] „Intolerance kravského mléka | Pro Alergiky". [Online]. Dostupné z: <https://www.proalergiky.cz/magazin/clanek/intolerance-kravskeho-mleka>. [Viděno: 15-led-2019].
- [7] „Bezpečnost potravin A-Z". [Online]. Dostupné z: <https://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/76688.aspx>. [Viděno: 15-led-2019].
- [8] J. Kopáček, *Mléko a mléčné výrobky: jak poznáme kvalitu?* Praha: Sdružení českých spotřebitelů : Potravinářská komora ČR, 2014.
- [9] „LexUriServ.pdf". .
- [10] „Máslo známe už tisíce let. Na chleba se ale maže teprve pár století", *Regiony*, 13-říj-2017. [Online]. Dostupné z: <https://regiony.rozhlas.cz/maslo-zname-uz-tisice-let-na-chleba-se-ale-maze-teprve-par-stoleti-7412831>. [Viděno: 18-úno-2019].
- [11] „Janstova-skripta-web.pdf". .
- [12] „Sýry a jejich druhy". [Online]. Dostupné z: <https://www.stobklub.cz/clanek/syry-a-jejich-druhy/>. [Viděno: 15-led-2019].
- [13] A. C.- info@aion.cz, „397/2016 Sb. Vyhláška o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje", *Zákony pro lidi*. [Online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-397>. [Viděno: 04-úno-2019].
- [14] „Historie jogurtů a probiotik", *Babinet.cz*. [Online]. Dostupné z: <HTTP://babinet.cz/clanek-3930-historie-jogurtu-a-probiotik.html>. [Viděno: 04-úno-2019].
- [15] „Jacketed Vessel Design - Heat Transfer - Articles - Chemical Engineering - Frontpage - Cheresources.com", *Cheresources.com Community*. [Online]. Dostupné z: <https://www.cheresources.com/content/articles/heat-transfer/jacketed-vessel-design?pg=1>. [Viděno: 04-úno-2019].
- [16] „Dimple Jackets - RUTEK". [Online]. Dostupné z: [http://www.rutek.dk/en/\\_components/dimple-jackets.html](http://www.rutek.dk/en/_components/dimple-jackets.html). [Viděno: 04-úno-2019].
- [17] „6-foot-dimple-tank.jpg (580×650)". [Online]. Dostupné z: <http://54waf4aa2j43uxomd3367hpy-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/11/6-foot-dimple-tank.jpg>. [Viděno: 04-úno-2019].
- [18] „Pasteurization | heating process", *Encyclopedia Britannica*. [Online]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/pasteurization>. [Viděno: 05-úno-2019].
- [19] Radek, „Pasterizace mléka", *Naše rodina*, 17-čvc-2012. .

- [20] *Nariadení Evropského Parlamentu a Rady (ES) č. 853/2004 ze dne 29. dubna 2004, kterým se stanoví zvláštní hygienická pravidla pro potraviny živočišného původu*, roč. 03, 045. 2004.
- [21] *Nariadení Komise (ES) č. 1662/2006 ze dne 6. listopadu 2006, kterým se mění nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 853/2004, kterým se stanoví zvláštní hygienická pravidla pro potraviny živočišného původu (Text s významem pro EHP)*, roč. 320. 2006.
- [22] „Dairy Processing Handbook | Gösta Bylund | download". [Online]. Dostupné z: <https://b-ok.cc/book/2866963/c42990>. [Viděno: 12-úno-2019].
- [23] „Vat / Batch Pasteurizer | Schuller.us". [Online]. Dostupné z: <https://www.schuller.us/products/vat-batch-pasteurizer>. [Viděno: 18-úno-2019].
- [24] „Methods of Pasteurization". [Online]. Dostupné z: <https://www.uoguelph.ca/foodscience/book/export/html/1912>. [Viděno: 05-úno-2019].
- [25] „Pastery | TENEZ a.s." [Online]. Dostupné z: <http://www.tenez.cz/produkty/pastery#lightbox>. [Viděno: 05-úno-2019].
- [26] „Heat exchangers", *Dairy Processing Handbook*, 28-dub-2015. [Online]. Dostupné z: <https://dairyprocessinghandbook.com/chapter/heat-exchangers>. [Viděno: 05-úno-2019].
- [27] „PASTEURIZED MILK PRODUCTS", *Dairy Processing Handbook*, 04-kvě-2015. [Online]. Dostupné z: <https://dairyprocessinghandbook.com/chapter/pasteurized-milk-products>. [Viděno: 12-úno-2019].
- [28] „DESIGNING A PROCESS LINE", *Dairy Processing Handbook*, 04-kvě-2015. [Online]. Dostupné z: <https://dairyprocessinghandbook.com/chapter/designing-process-line>. [Viděno: 12-úno-2019].
- [29] „Snímače teploty pro potravinářství | SENSIT extend your senses". [Online]. Dostupné z: <https://www.sensit.cz/cz/snimac-segment/snimace-teploty-pro-potravinarstvi/>. [Viděno: 18-úno-2019].
- [30] „Časopis Automa Měření tlaku a výšky hladiny v potravinářství". [Online]. Dostupné z: [http://automa.cz/cz/casopis-clanky/mereni-tlaku-a-vysky-hladiny-v-potravinarstvi-2009\\_06\\_39161\\_4603/](http://automa.cz/cz/casopis-clanky/mereni-tlaku-a-vysky-hladiny-v-potravinarstvi-2009_06_39161_4603/). [Viděno: 18-úno-2019].
- [31] „Časopis Automa Měření průtoku v potravinářství". [Online]. Dostupné z: [http://automa.cz/cz/casopis-clanky/mereni-prutoku-v-potravinarstvi-2010\\_08\\_41768\\_5507/](http://automa.cz/cz/casopis-clanky/mereni-prutoku-v-potravinarstvi-2010_08_41768_5507/). [Viděno: 18-úno-2019].
- [32] L. výživový poradce, „Historie výroby sýrů", *LifeUp výživový poradce*. [Online]. Dostupné z: <http://www.lifeup.cz/clanek/prastare-umeni-vyroby-syru.html>. [Viděno: 18-úno-2019].
- [33] „Historie výroby sýra | Cheesy Brno". .
- [34] „898\_harfa-syrarska-strunova--30x17cm-rukojet-28-5cm.jpg (1024×768)". [Online]. Dostupné z: [https://cdn.myshoptet.com/usr/www.dobrykolonial.cz/user/shop/big/898\\_harfa-syrarska-strunova--30x17cm-rukojet-28-5cm.jpg?5586e376](https://cdn.myshoptet.com/usr/www.dobrykolonial.cz/user/shop/big/898_harfa-syrarska-strunova--30x17cm-rukojet-28-5cm.jpg?5586e376). [Viděno: 18-úno-2019].
- [35] Jiří Blahovec, „Tepelné vlastnosti zemědělských produktů", *Českoslov. Časopis Fyziku*, roč. 2014, č. 3.
- [36] „specifikace-tesnicich-materialu-epdm-silikon-ptfe-viton-nbr.pdf". .
- [37] „sroubeni-din-11851.pdf". .

- [38] „Pájené deskové výměníky tepla". [Online]. Dostupné z: <https://www.alfalaval.cz/produkty/penos-tepla/deskove-vymniky-tepla/pajene-deskove-vymeniky-tepla/>. [Viděno: 12-bře-2019].
- [39] „Viskozita vody (kinematická a dynamická)". [Online]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/viskozita-vody.htm>. [Viděno: 05-bře-2019].
- [40] „Absolutní drsnost potrubí pro různé materiály". [Online]. Dostupné z: <http://uchi.vscht.cz/uploads/etabulky/drsnost.html>. [Viděno: 05-bře-2019].
- [41] „Hodnoty součinitelů místních ztrát - zdroje tepla a základní tvarovky potrubí", *TZB-info*. [Online]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/21-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-zdroje-tepla-a-zakladni-tvarovky-potrubu>. [Viděno: 05-bře-2019].
- [42] „tabulky.pdf". .
- [43] „Moody Diagram". [Online]. Dostupné z: [https://www.engineeringtoolbox.com/moody-diagram-d\\_618.html](https://www.engineeringtoolbox.com/moody-diagram-d_618.html). [Viděno: 05-bře-2019].
- [44] „Hodnoty součinitelů místních ztrát - T-kusy a křížení - přehled", *TZB-info*. [Online]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/23-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-t-kusy-a-krizeni-prehled>. [Viděno: 05-bře-2019].
- [45] „tabulky.pdf". .
- [46] „npb-nop-cz.pdf". .
- [47] „ČSN EN 13445-1 - Náhled". [Online]. Dostupné z: [http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html\\_nahledy/69/67387/67387\\_nahled.htm](http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/69/67387/67387_nahled.htm). [Viděno: 23-dub-2019].

# SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ, ZKRATEK

## A JEDNOTEK

<i>Symbol</i>	<i>Význam</i>	<i>Jednotka</i>
$c_{H_2O}$	Rychlost proudění vody v horkovodním okruhu	m/s
$c_{mléko}$	Rychlost proudění mléka	m/s
$c_{p_{hv}}$	Měrná tepelná kapacita horké vody	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$c_{p_{mléko}}$	Měrná tepelná kapacita mléka	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$c_{p_{voda}}$	Měrná tepelná kapacita vody	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$c_{ps}$	Měrná tepelná kapacita sušiny	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$c_s$	Hmotnostní koncentrace sušiny	hmot. %
$c_v$	Podíl vlhkosti	hmot. %
$D$	Vnitřní průměr horkovodního potrubí	mm
$d_{mléko}$	Vnitřní průměr produktového potrubí	mm
$F$	Účelová funkce	-
$g$	Gravitační zrychlení	$\text{m/s}^2$
$h_{CB30}$	Ztrátová výška výměníku CB30	m H <sub>2</sub> O
$h_{celk_{č1}}$	Celková ztrátová výška čerpadlo horkovodní stanice	m H <sub>2</sub> O
$h_{celk_{čprodukt}}$	Celková ztrátová výška čerpadla produktu	m H <sub>2</sub> O
$h_{M3-BASE}$	Ztrátová výška výměníku M3 – BASE	m H <sub>2</sub> O
$h_{max}$	Maximální hladina mléka v nádrži	m H <sub>2</sub> O
$h_{výtl_{č1}}$	Výtlačná výška čerpadla horkovodní stanice	m H <sub>2</sub> O
$h_{výtl_{čprodukt}}$	Výtlačná výška čerpadla produktu	m H <sub>2</sub> O
$h_{zmo_{č1}}$	Ztrátová výška čerpadla horkovodní stanice místními odpory	m H <sub>2</sub> O
$h_{zmo_{čprodukt}}$	Ztrátová výška čerpadla produktu místními odpory	m H <sub>2</sub> O
$h_{zt_{č1}}$	Ztrátová výška čerpadla horkovodní stanice třením	m H <sub>2</sub> O
$h_{zt_{čprodukt}}$	Ztrátová výška čerpadla produktu třením	m H <sub>2</sub> O
$\dot{m}_{H_2O}$	Průtok vody horkovodním čerpadlem	kg/h
$\dot{m}_{hv}$	Průtok horké vody	kg/h
$\dot{m}_{mléko}$	Průtok mléka produktovým čerpadlem	kg/h
$\dot{m}_{pára}$	Průtok páry	kg/h
$p_{h,dov}$	Maximální provozní tlak v otopné soustavě	bar
$p_{h,min}$	Minimální požadovaný tlak v otopné soustavě	bar



$p_{hydr}$	Hydrostatický tlak	bar
$p_{pára}$	Tlak páry na vstupu do horkovodní stanice	bar
$p_{zt}$	Tlaková ztráta třením	bar
$p_{zt\_č1}$	Tlaková ztráta třením čerpadla horkovodní stanice	bar
$p_{zmo\_č1}$	Tlaková ztráta čerpadla horkovodní stanice místními odpory	bar
$\dot{Q}$	Požadovaný tepelný výkon	kW
$\dot{Q}_{odevzdané}$	Teplo odevzdané	kW
$\dot{Q}_{přijaté}$	Teplo přijaté	kW
$Re$	Reynoldsovo číslo	-
$t_{hv_1}$	Teplota horké vody na vstupu do výměníku M3 – BASE	°C
$t_{hv_2}$	Teplota horké vody na výstupu z výměníku M3 – BASE	°C
$t_{mléko_1}$	Teplota mléka na vstupu do výměníku M3 – BASE	°C
$t_{mléko_2}$	Teplota mléka na výstupu z výměníku M3 – BASE	°C
$t_{pára}$	Teplota páry na vstupu do výměníku CB30	°C
$V$	Celkový objem otopné soustavy	l
$V_e$	Vypočtený objem expanzní nádoby	l
$\varepsilon$	Absolutní drsnost potrubí	mm
$\lambda$	Součinitel odporu třením	-
$\Delta h_{kon}$	Měrné skupenské teplo kondenzace	kJ/kg
$\Delta v$	Poměrné zvětšení objemu vody při jejím ohřátí z 10 °C na maximální teplotu vody v otopném systému	-
$\eta_{H_2O}$	Dynamická viskozita vody	Pa·s
$\rho_{H_2O}$	Hustota vody	kg/m <sup>3</sup>
$\zeta$	Součinitel místního odporu	-

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1: PID schéma navrženého procesu

Příloha 2: Výkres a výpočtový protokol šroubovaného výměníku M3 – BASE

Příloha 3: Výkres a výpočtový protokol pájeného výměníku CB30 – 18M

Příloha 4: Výpočet vyrovnávací nádrže

Příloha 5: Výkres vyrovnávací nádrže

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Druhy sýru [12] .....	16
Obr. 2: Duplikátor [14] .....	18
Obr. 3: Zobrazení přepážek v meziplášťovém prostoru [14].....	19
Obr. 4: Nádoba s púltrubkovým hadem [14] .....	19
Obr. 5: Řez důlkovaným pláštěm [16].....	20
Obr. 6: Nádoba s důlkovaným pláštěm [17] .....	20
Obr. 7: Kotlový (hrncový) pastér [23] .....	22
Obr. 8: Technologická linka k průtočné deskové pasteraci [25] .....	23
Obr. 9: Schéma šetrné pasterace .....	23
Obr. 10: Deskový výměník [26] .....	24
Obr. 11: Schéma pasterace – včetně výroby smetany [28].....	26
Obr. 12: Schéma odstředivky a průběhu odstředování [22].....	27
Obr. 13: Dřevěná válcová máselnice [10] .....	28
Obr. 14: Kovová válcová máselnice [28] .....	28
Obr. 15: Konstrukce kontinuálního zmáselňovače [22] .....	30
Obr. 16: Blokové schéma kontinuální výroby másla.....	30
Obr. 17: Sýrařská harfa ke krájení sýřeniny [34].....	33
Obr. 18: Blokové schéma výroby sýru .....	34
Obr. 19: Blokové schéma ohřevu mléka.....	36
Obr. 20: Blokové schéma chlazení mléka .....	37
Obr. 21: Schéma technologie ohřevu topné vody pro následný ohřev mléka [22].....	37
Obr. 22: Schéma technologie chlazení mléka.....	39
Obr. 23: Základní schéma celé technologie.....	40
Obr. 24: Základní návrh PID schéma .....	42
Obr. 25: Moodyho diagram – určení hodnoty $\lambda$ [43].....	51
Obr. 26: Schéma horkovodní stanice [22] .....	55
Obr. 27: Horkovodní stanice navrhované technologie .....	57
Obr. 28: Vyrovnávací nádrž 180 L .....	60

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Legenda schématu šetrné pasterace (Obr. 9).....	24
Tab. 2: Legenda schématu pasterace (Obr. 11) .....	26
Tab. 3: Legenda schématu odstředivky (Obr. 12) .....	28
Tab. 4: Legenda konstrukce kontinuálního zmáseľňovače, Obr. 15.....	30
Tab. 5: Základní požadované provozní stavy .....	35
Tab. 6: Legenda Obr. 21 .....	38
Tab. 7: Legenda k Obr. 22 .....	39
Tab. 8: Legenda k Obr. 23 .....	40
Tab. 9: Vstupní parametry výpočtu množství páry.....	43
Tab. 10: Hodnoty pro výpočet měrné tepelné kapacity mléka .....	44
Tab. 11: Parametry páry k ohřevu .....	44
Tab. 12: Výsledky energetické bilance výměník mléko – horká voda.....	46
Tab. 13: Výsledky energetické bilance výměník pára – horká voda; teplá strana.....	46
Tab. 14: Výsledky energetické bilance výměník pára – horká voda; studená strana .....	46
Tab. 15: Výsledky energetické bilance chlazení výměník mléko – studená voda .....	47
Tab. 16: Základní parametry výměníku M3 – BASE.....	48
Tab. 17: Základní parametry výměníku CB30 – 18M.....	49
Tab. 18: Základní vstupní hodnoty pro výpočet čerpadla horkovodního okruhu.....	50
Tab. 19: Hodnoty součinitelů místních odporů $\zeta$ .....	52
Tab. 20: Tlakové ztráty – návrh čerpadla horkovodní stanice.....	52
Tab. 21: Základní parametry pro návrh čerpadla produktu .....	53
Tab. 22: Počty armatur na potrubní trase produktu .....	54
Tab. 23: Tlakové ztráty čerpadla produktu .....	54
Tab. 24: Legenda schématu horkovodní stanice Obr. 26 .....	55
Tab. 25: Základní parametry vyrovnávací nádrže .....	58
Tab. 26: Základní data – TMR35.....	61
Tab. 27: Základní data COMAC CAL FLOW38 .....	62
Tab. 28: Základní data PL1689 – tlak produktu na výstupu z výměníku.....	63
Tab. 29: Základní data PL1689 – hladina produktu ve vyrovnávací nádrži.....	63
Tab. 30: Základní data DMP 331 - měření tlaku horkovodního okruhu .....	63

## **SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1: Rozložení vody a sušiny v mléku .....	12
Graf 2: Složení mléčné sušiny .....	13