

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ
TECHNIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VÝROBA POTRAVINÁŘSKÝCH PRODUKTŮ
S NÍZKÝM PODÍLEM LAKTÓZY

PRAHA 2019

Martina HLADÍKOVÁ

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hladiková** Jméno: **Martina** Osobní číslo: **424928**
Fakulta/ustav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Procesní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Výroba potravinářských produktů s nízkým podílem laktózy

Název diplomové práce anglicky:

Production of food products with a low content of lactose

Pokyny pro vypracování:

- Vypracujte literární rešerši zaměřenou na výrobu potravin s nulovým a velmi nízkým obsahem laktózy. Zaměřte se především na postupy k docilení nízkého obsahu laktózy ve výrobcích a technické řešení těchto zařízení.
- Vypracujte případovou technicko-ekonomickou studii, která bude obsahovat zejména projekční návrh technologie (výrobní linky) včetně PFD schématu (ve variantním řešení), nezbytně materiálůve a energetické bilance, ekonomické vyhodnocení návrhu včetně citlivostní analýzy vybraných parametrů na ekonomické ukazatele projektu a porovnání navržených variant.

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucího práce

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jaromír Štancl, Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **23.10.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **11.01.2019**

Platnost zadání diplomové práce: _____


Ing. Jaromír Štancl, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

30.10.2018

Datum převzetí zadání



Podpis studentky

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Výroba potravinářských produktů s nízkým podílem laktózy“ vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité zdroje a prameny.

V Praze dne: 25. ledna 2019

.....

Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jaromírovi Štanclovi, PhD., za velice cenné rady, věcné připomínky a obrovskou vstřícnost při konzultacích a v průběhu vypracovávání diplomové práce. Též bych mu ráda poděkovala za poskytnutí potřebné literatury. Mé poděkování patří také doc. Ing. Ladislavovi Čurdovi, CSc., za informace o hydrolýze a zpracování mléčných výrobků.

Zároveň bych chtěla poděkovat svojí rodině za nikdy neutuchající podporu během celého studia a nezdolnou víru ve zdárné zakončení mých studií.

Anotační list

Jméno autora:	Martina
Příjmení autora:	Hladíková
Název práce česky:	Výroba potravinářských produktů s nízkým podílem laktózy
Název práce anglicky:	Production of food products with a low content of lactose
Rozsah práce:	počet stran: 86 počet obrázků: 18 počet tabulek: 24 počet příloh: 4
Akademický rok:	2018/2019
Jazyk práce:	čeština
Ústav:	Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Studijní program:	Strojní inženýrství – Procesní technika
Vedoucí práce:	Ing. Jaromír Štancl, Ph.D.
Oponent práce:	doc. Ing. Pavel Hoffman, CSc.
Konzultant práce:	
Zadavatel:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ú12118
Anotace česky:	

Hlavním cílem této práce je vypracovat literární rešerši zaměřenou na výrobu potravin s nulovým a velmi nízkým obsahem laktózy. Dále na základě získaných informací navrhnout pro stávající fiktivní výrobu mléčného sortimentu výrobní linky určené k produkci rostlinných jogurtů z kokosového mléka a mléčných jogurtů z mléka hydrolyzovaného. Součástí je také hmotnostní a entalpická bilance a ekonomické vyhodnocení včetně citlivostní analýzy. V závěru jsou jednotlivé varianty porovnány.

Klíčová slova: laktóza, laktózová intolerance, veganství, membránové techniky, chromatografie, hydrolýza, jogurt, bilance

Anotace anglicky:

The aim of this thesis is to prepare a literature review focused on food production of lactose-free products and products with a very low content of lactose. On the basis of the information obtained production lines suited for manufacturing plant-based coconut yoghurts and yoghurts made from hydrolyzed milk are designed for an existing factory of milk products. Material and enthalpy balances are computed, economic evaluation of the projects including what-if analysis of selected parameters is carried out. Proposed variants are compared.

Klíčová slova anglicky: lactose, lactose intolerance, veganism, membrane techniques, chromatography, hydrolysis, yoghurt, balances

POUŽITÉ SYMBOLY

α_m	součinitel přestupu tepla 1. proudu	[W/m ² K]
$\alpha_{m,v,l,g}$	součinitel přestupu tepla 2. proudu	[W/m ² K]
δ	tloušťka desky	[m]
ξ	součinitel místních ztrát	[1]
λ	tepelná vodivost	[W/mK]
ν	kinematická viskozita mléka	[m ² /s]
ρ	hustota proudícího média	[kg/m ³]
A	velikost teplosměnné plochy	[m ²]
b	pracovní šířka desky	[m]
c	měrná tepelná kapacita média	[J/kgK]
c_m	měrné teplo mléka	[J/kgK]
D_{ek}	ekvivalentní průměr desky	[m]
h	vzdálenost mezi deskami	[m]
k	součinitel prostupu tepla	[W/m ² K]
k_I	součinitel prostupu tepla 1. sekce pasterizační jednotky	[W/m ² K]
k_{II}	součinitel prostupu tepla 2. sekce pasterizační jednotky	[W/m ² K]
k_{III}	součinitel prostupu tepla 3. sekce pasterizační jednotky	[W/m ² K]
k_{IV}	součinitel prostupu tepla 4. sekce pasterizační jednotky	[W/m ² K]
k_V	součinitel prostupu tepla 5. sekce pasterizační jednotky	[W/m ² K]
k_i	zvolený součinitel prostupu tepla v dané sekci	[W/m ² K]
l	pracovní výška zvolené deky	[m]
l_p	výparné teplo páry	[J/kg]
l_v	výparné teplo vody v mléce	[J/kg]
\dot{M}	hmotnostní průtok	[kg/s]
\dot{M}_p	potřebné množství páry	[kg/s]

\dot{M}_V	množství odpařené vody	[kg/s]
\dot{M}_{m0}	původní množství mléka před zahuštěním	[kg/s]
m	hmotnost média	[kg]
m_{NATM}	hmotnost natučněného mléka	[kg]
m_{ODST}	hmotnost odstředěného mléka	[kg]
m_{SM}	hmotnost smetany	[kg]
m_{VYP}	vypočítaný počet kanálů	[1]
m_z	zvolený počet kanálů	[1]
Pr	Prandtlovo číslo	[1]
P	celkový tlakový spád	[Pa]
P_I	tlakový spád v 1. regenerační sekci pasterizační jednotky	[Pa]
P_{II}	tlakový spád v 2. regenerační sekci pasterizační jednotky	[Pa]
P_{III}	tlakový spád v pasterizační sekci	[Pa]
P_{IV}	tlakový spád v 1. chladicí sekci pasterizační jednotky	[Pa]
P_L	tlakový součinitel	[1]
P_V	tlakový spád v 2. chladicí sekci pasterizační jednotky	[Pa]
P_i	tlakový spád v dané sekci	[Pa]
P_z	tlakové ztráty	[Pa]
$\left(\frac{P_r}{P_{rs}}\right)^{0,25}$	velikost neizotermního faktoru	[1]
Q	teplo	[J]
Re	Reynoldsovo číslo	[1]
S_I	teplosměnná plocha 1. sekce pasterizační jednotky	[m ²]
S_{II}	teplosměnná plocha 2. sekce pasterizační jednotky	[m ²]
S_{III}	teplosměnná plocha 3. sekce pasterizační jednotky	[m ²]
S_{IV}	teplosměnná plocha 4. sekce pasterizační jednotky	[m ²]
S_V	teplosměnná plocha 5. sekce pasterizační jednotky	[m ²]

S_i	teplosměnná plocha sekce	[m ²]
s_I	simplex podobnosti 1. sekce pasterizační jednotky	[1]
s_{II}	simplex podobnosti 2. sekce pasterizační jednotky	[1]
s_{III}	simplex podobnosti 3. sekce pasterizační jednotky	[1]
s_{IV}	simplex podobnosti 4. sekce pasterizační jednotky	[1]
s_V	simplex podobnosti 5. sekce pasterizační jednotky	[1]
s_i	simplex podobnosti dané sekce	[1]
T_2	teplota mléka vstupujícího do 2. regenerační sekce	[°C]
T_3	teplota mléka vystupujícího z 2. regenerační sekce	[°C]
T_4	teplota pasterizace	[°C]
T_6	teplota mléka vstupujícího do 1. sekce chlazení	[°C]
T_7	teplota mléka vystupujícího z 1. sekce chlazení	[°C]
T_8	teplota mléka vystupujícího z 2. sekce chlazení	[°C]
T_P	teplota topné páry	[°C]
T_{VSTUP}	vstupní teplota mléka	[°C]
$T_{VÝSTUP}$	výstupní teplota mléka	[°C]
T_g^1	vstupní teplota horké vody	[°C]
T_g^2	výstupní teplota horké vody	[°C]
T_l^1	vstupní teplota ledové vody	[°C]
T_l^2	výstupní teplota ledové vody	[°C]
T_v^1	vstupní teplota studené vody	[°C]
T_v^2	výstupní teplota studené vody	[°C]
ΔT	rozdíl teplot	[°C]
ΔT_I	střední teplotní diference 1. sekce pasterizační jednotky	[°C]
ΔT_{II}	střední teplotní diference 2. sekce pasterizační jednotky	[°C]
t	teplota	[°C]
u	rychlost mléka v příslušné sekci	[m/s]

\bar{u}	střední průtočná rychlost	[m/s]
\bar{u}_m	skutečná rychlost mléka	[m/s]
\dot{V}	objemový průtok	[m ³ /s]
x_0	obsah sušiny v mléce před zahuštěním	[% hm.]
x_1	obsah sušiny v zahuštěném mléce	[% hm.]
x_f	obsah tuku v mléce	[% hm.]
x_{f_ODST}	obsah tuku v odstředěném mléce	[% hm.]
x_{f_NATM}	obsah tuku v natučněném mléce	[% hm.]
x_{f_SM}	obsah tuku ve smetaně	[% hm.]

OBSAH

1	ÚVOD	14
2	REŠERŠNÍ ČÁST	16
2.1	Principy a metody odstraňování laktózy z mléčných výrobků	16
2.1.1	Hydrolýza laktózy	16
2.1.2	Odstraňování laktózy filtrací	18
2.1.3	Odstraňování laktózy s využitím mikrofiltrace	20
2.1.4	Chromatografická separace laktózy	23
2.1.5	Odstraňování laktózy z mléčné syrovátky	24
2.1.6	Kombinace hydrolýzy a membránových technik	25
2.2	Rostlinné jogurty	26
3	TEORETICKÁ ČÁST	28
3.1	Základní pojmy	28
3.2	Mléko a jeho základní ošetření	28
3.2.1	Kravske mléko	29
3.2.2	Požadavky na kvalitu syrového mléka	29
3.2.3	Odstředování mléka a standardizace tučnosti	30
3.2.4	Pasterizace mléka	30
3.2.5	Homogenizace mléka	31
3.2.6	Odpařování mléka	31
3.3	Výroba jogurtu	32
3.3.1	Typy jogurtů	32

3.3.2	Termofilní bakteriální kultury, zaočkování, zrání, chlazení	32
4	PRŮZKUM TRHU	34
5	JOGURTY Z HYDROLYZOVANÉHO MLÉKA	37
5.1	Základní informace.....	37
5.2	Postup procesu výroby.....	37
5.3	Hmotnostní bilance.....	38
5.4	Entalpická bilance.....	42
5.5	Návrh pasterizační jednotky	46
5.6	Návrh odparky	55
5.7	Funkční popis výrobní linky.....	56
6	JOGURTY Z KOKOSOVÉHO MLÉKA	58
6.1	Základní informace.....	58
6.2	Popis procesu výroby, blokové schéma.....	58
6.3	Bilance – hmotnostní a entalpická.....	60
6.4	Funkční popis výrobní linky.....	60
7	EKONOMICKÁ STUDIE	61
7.1	Jogurty z hydrolyzovaného mléka.....	61
7.1.1	Ceny a množství vstupních surovin včetně ceny energií	61
7.1.2	Cena a množství produktu.....	61
7.1.3	Fixní kapitálové investice.....	61
7.1.4	Oběžné kapitálové investice.....	62
7.1.5	Provozní náklady.....	63
7.1.6	Financování projektu.....	64

7.1.7	Odpisy	64
7.1.8	Toky hotovosti.....	65
7.1.9	Prostá doba návratnosti	65
7.1.10	Diskontovaná míra návratnosti.....	65
7.1.11	Shrnutí ekonomické studie	65
7.2	Jogurty z kokosového mléka	68
7.2.1	Ceny a množství vstupních surovin včetně ceny energií	68
7.2.2	Cena a množství produktu.....	68
7.2.3	Fixní kapitálové investice.....	68
7.2.4	Oběžné kapitálové investice.....	69
7.2.5	Provozní náklady.....	69
7.2.6	Financování projektu.....	71
7.2.7	Odpisy	71
7.2.8	Toky hotovosti.....	71
7.2.9	Prostá doba návratnosti	71
7.2.10	Diskontovaná míra návratnosti.....	71
7.2.11	Shrnutí ekonomické studie	71
8	CITLIVOSTNÍ ANALÝZA.....	74
8.1	Jogurty z hydrolyzovaného mléka	74
8.2	Jogurty z kokosového mléka	76
9	ZÁVĚR.....	78
10	SEZNAM CITACÍ	80
11	SEZNAM PŘÍLOH.....	86

1 ÚVOD

Se vzrůstajícím množstvím veganů a zároveň lidí, kterým způsobuje konzumace kravského mléka (též ovčího, kozího) a z něj vyrobených produktů zdravotní komplikace různé míry a charakteru, zvyšují se požadavky a nároky na potraviny, které nejsou živočišného původu, popř. neobsahují – pro některé jedince – dráždivé složky, jako jsou kasein (mléčná bílkovina), laktóza (mléčný cukr) atp. Neschopnost jedince tento mléčný cukr natrávit v důsledku absence enzymu laktázy je označována jako laktózová intolerance a celosvětově se jedná o velice rozšířený jev [1]. Avšak právě jogurty (resp. jejich rostlinné alternativy) jsou velmi vyhledávanou potravinou i pro lidi s těmito dietními omezeními, a to především pro svůj obsah probiotických kultur, které příznivě ovlivňují trávení a funkci lidského zažívacího traktu [1].

Cílem práce je shrnout metody odstraňování laktózy z mléčných výrobků, a to za účelem získání produktu se sníženým obsahem laktózy, popř. produktu bezlaktózového (viz kapitola 3.1), a zároveň nastínit postup výroby rostlinných alternativ. Na základě těchto informací pak navrhnout výrobu rostlinné alternativy jogurtu z kokosového mléka a výrobu jogurtu z hydrolyzovaného mléka pro fiktivní výrobu mléčných výrobků, která rozšiřuje svůj stávající sortiment za účelem uspokojení potřeb zákazníka.

Dostupnost kokosových jogurtů není na českém trhu příliš velká – v běžných obchodních řetězcích se téměř nevyskytují. Ze všech rostlinných alternativ jsou nejrozšířenější jogurty sójové. K dispozici jsou také rýžové a mandlové alternativy. Nicméně sója a mandle se řadí mezi běžné alergeny [2]. A proto je cílem fiktivní výroby produkovat čistě kokosové jogurty, jelikož riziko alergické reakce – popř. intolerance – je velmi nízké a není v běžné populaci časté [3]. Kokos je zároveň surovina rostlinného původu, a proto je vhodná též pro zmiňované vegany.

Pojmem kokosový jogurt je myšlen takový produkt, který neobsahuje žádnou sóju a jiné alergenní složky. Velice časté jsou totiž sójové jogurty, které obsahují pouze určité procento kokosového krému a jsou v názvu označovány jako kokosové, což může být značně matoucí. Z hlediska legislativy nelze tyto rostlinné alternativy označovat jako jogurty (viz kapitola 3.1), avšak v rámci této práce jsou produkty z kokosového mléka s přidáním probiotických kultur takto nazývány.

Dostupnost jogurtů z hydrolyzovaného mléka, resp. se sníženým obsahem laktózy či zcela bez laktózy, opět není příliš velká, povětšinou je lze zakoupit ve specializovaných prodejnách s výživou, ve větších městech – popř. ve velkých obchodních řetězcích. Snahou tedy bude dodávat tyto výrobky i do malých měst a menších obchodních řetězců.

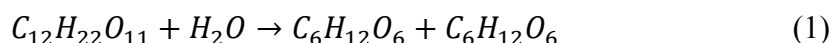
2 REŠERŠNÍ ČÁST

Odstraňování laktózy z mléčných produktů je v dnešní době již běžně praktikovaným procesem. Existují metody různého druhu a charakteru – a také finanční náročnosti. V následující, a tedy rešeršní části, jsou uvedeny nejčastější principy odstraňování laktózy z mléčných produktů. Jelikož se však tato práce zabývá výrobou bezlaktózových produktů obecně, v závěru této kapitoly jsou zmíněny běžně dostupné alternativy k mléčným produktům, a to alternativy rostlinného původu.

2.1 Principy a metody odstraňování laktózy z mléčných výrobků

2.1.1 Hydrolýza laktózy

Velice rozšířenou metodou odstraňování laktózy je právě hydrolýza, při které dochází k rozštěpení disacharidu laktózy na monosacharidy glukózu a galaktózu za přítomnosti vody a katalyzátoru ve formě enzymu laktázy (beta-galaktosidázy) [4]. Reakci popisuje rovnice 1.



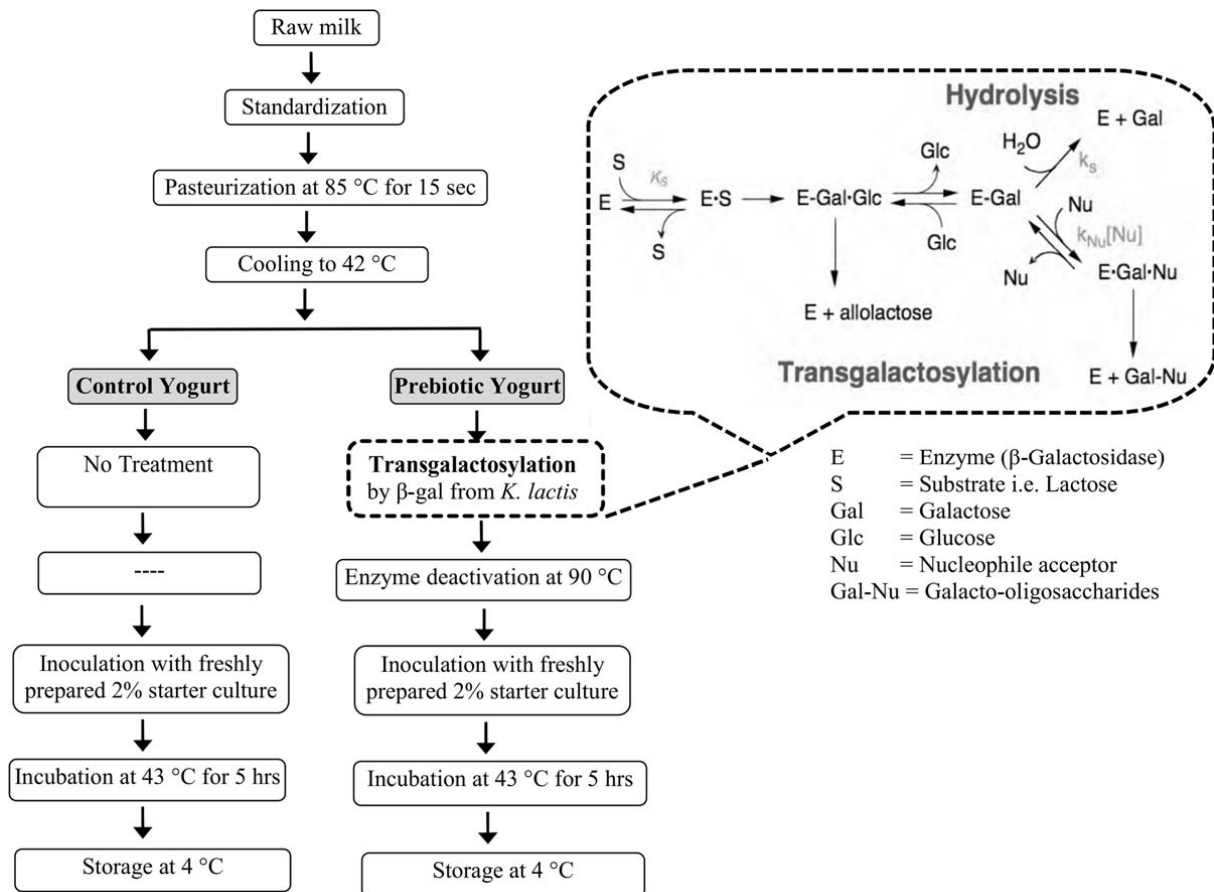
Tato metoda je finančně nenáročná a zásadní položkou při její aplikaci je právě enzym laktáza, který se získává různým způsobem, především pak z plísní [5]. Mezi nejběžněji používané zdroje tohoto enzymu patří plísně *Kluyveromyces fragilis* a *Kluyveromyces lactis* [5]. V lidském těle je laktáza běžně aktivní při teplotách okolo 37 °C [6] a optimální kyselosti 6 pH [7]. Průměrná cena běžně dostupného enzymu je 1 000 Kč/kg [8]. Volba optimálních podmínek, při kterých lze tento enzym aplikovat, je velice individuální a zároveň výrazně ovlivněna zdrojem tohoto enzymu. Při jeho použití je třeba vždy dbát přesných pokynů výrobce tohoto enzymu, jenž by měl veškeré informace dodat společně s enzymem [9]. V následující tabulce číslo 1 jsou uvedeny různé typy zdrojů enzymu a zároveň optimální podmínky použití dle [5].

Tabulka 1 Optimální podmínky – enzymy získané z různých zdrojů

Zdroj enzymu	pH	T [°C]
Aspergillus oryzae	4,5	50
Aspergillus niger		50
Escherichia coli	7	21
K. fragilis	6,9	43
K. marxianus	6,6	28

Při hydrolýze vznikají nejen monosacharidy glukóza a galaktóza, ale také oligosacharidy, což je skupina sacharidů, kterou můžeme obecně označit jako cukry. Jedná se o látky, které se skládají ze dvou až deseti monosacharidů spojených glykosidickou vazbou [10]. Tyto oligosacharidy jsou považovány za tzv. probiotika, což jsou mikroorganismy, které osidlují střevní mikroflóru a zároveň jsou prospěšné lidskému zdraví. Existují proto snahy dosáhnout při hydrolýze co největší eliminace laktózy a zároveň co největšího zisku lidskému zdraví prospěšných probiotik – oligosacharidů [11]. Nevýhodou této metody je však zvýšený obsah právě vzniklých monosacharidů (glukózy a galaktózy), což způsobuje nasládlou chuť výsledného produktu, která není vždy žádoucí a omezuje spektrum využití hydrolyzovaného mléka.

Na obrázku 1 je znázorněn postup výroby jogurtů z hydrolyzovaného mléka dle [1]. Nejprve dojde ke standardizaci obsahu tuku v mléce, následně je toto mléko pasterizováno po dobu 15 sekund při teplotě 85 °C, poté ochlazeno na teplotu 42 °C. U jogurtů bez sníženého obsahu laktózy dojde k naočkování jogurtovou kulturou, zrání při teplotě 43 °C po dobu 5 hodin, finálním krokem je chlazení. Při výrobě jogurtů se sníženým obsahem laktózy je nezbytné provést ještě hydrolýzu mléka. Po ochlazení pasterizovaného mléka na 42 °C dojde k hydrolýze, poté k deaktivaci enzymu zahřátím mléka na teplotu 90 °C. Postup výroby jogurtu je pak již stejný jako v případě jogurtů bez sníženého obsahu laktózy. Jiné zdroje [8] však uvádějí nevhodnost deaktivace enzymu při takto vysokých teplotách, protože dochází ke zvýšení Maillardovy reakce a k výrazným změnám organoleptických vlastností takto ošetřeného mléka.



Obrázek 1 Výroba jogurtů z hydrolyzovaného mléka [1]

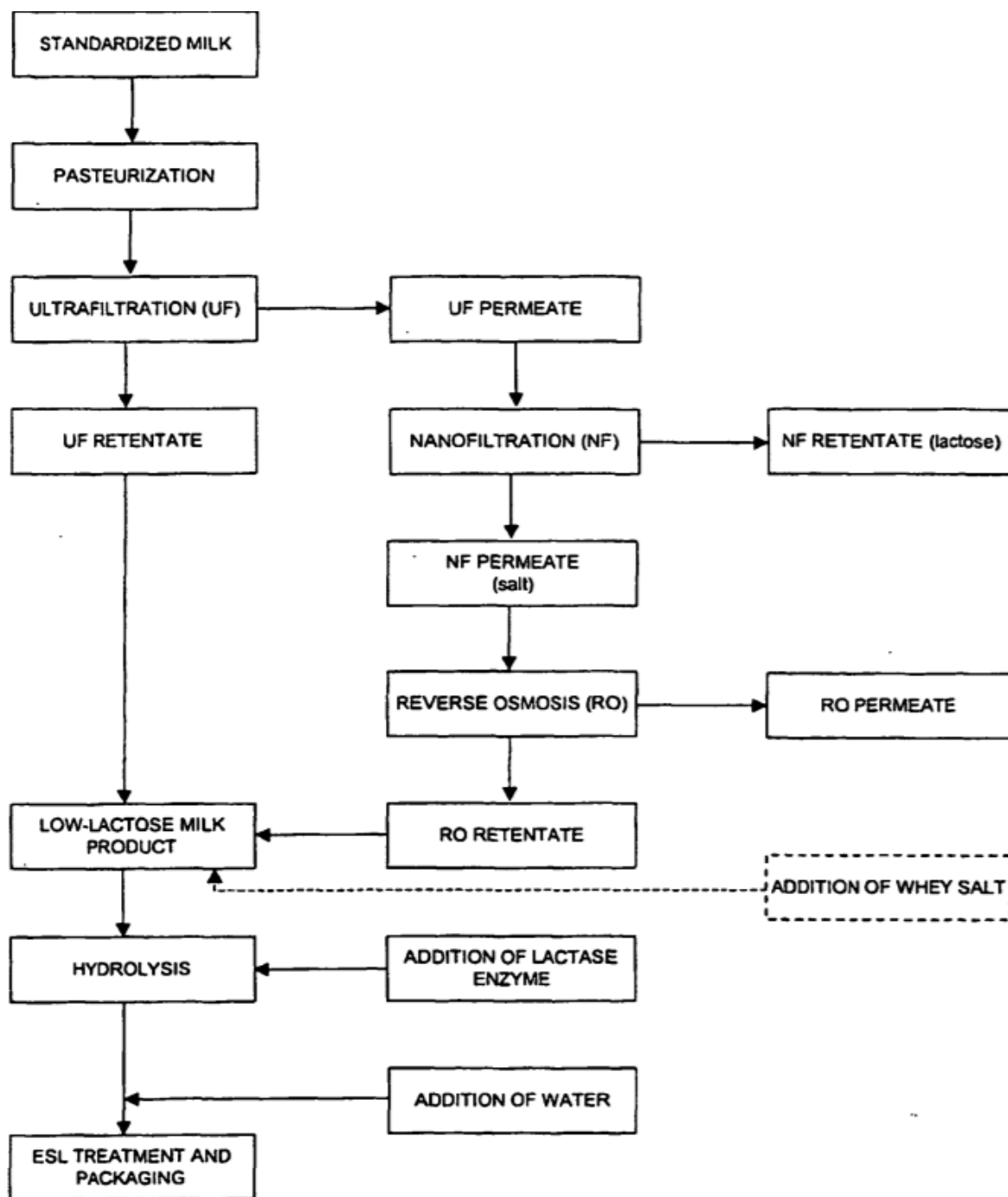
2.1.2 Odstraňování laktózy filtrací [12]

Jedná se o metodu extenzivního odstraňování laktózy vyvinutou finskou společností *Valio*. Stěžejní je pro tento princip využití membránových technik, které nevyžadují přílišnou energetickou spotřebu, jelikož v souvislosti s nimi nedochází ke změně fáze jako při kondenzaci a vypařování. Jedná se o separační techniky, při nichž se využívá polopropustných membrán, jež umožňují průchod malých molekul a jsou nepropustné pro makromolekulární látky [13].

Pronikání membránou se nazývá permeace a vzniklá směs po průchodu membránou a odváděná jako produkt je permeát. Směs vzniklá ze suroviny, která zbývá na vstupní straně membrány po oddělení permeátu, se nazývá retentát. [14]

Metoda je založena na překvapivém zjištění, a to že soli, které jsou eliminovány konvenční ultrafiltrací, mohou být navráceny zpět do mléčného produktu. Tento mléčný produkt je nejprve podroben ultrafiltrací (UF), následuje nanofiltrace (NF) UF permeátu a NF permeát je

pak koncentrován reverzní osmózou (RO). Soli získané RO ve formě retentátu jsou navraceny zpět do UF retentátu. Celý proces je znázorněn na obrázku 2.



Obrázek 2 Blokové schéma odstraňování laktózy filtrací [12]

UF permeát získaný ultrafiltrací mléka běžně obsahuje 4,3 % laktózy a přibližně 0,4 % popela, obsah sušiny se pohybuje v rozmezí 5,0 až 5,5 %. UF retentát tvoří 5 až 7 % bílkovin a přibližně 4,6 až 4,9 % laktózy a 1,0 až 1,2 % popela. Obsah sušiny UF retentátu je 11 až 14 %. NF permeát je složen převážně ze solí a močoviny, obsah sušiny je nízký – v rozmezí

0,1 až 0,3 %. NF retentát obsahuje 20 až 24 % sušiny – z toho je 90 % tvořeno laktózou. Permeát RO obsahuje z valné části pouze vodu a popel (0,5 až 2 %), obsah sušiny permeátu (RO) je v rozmezí 1 až 3 %.

Tento proces je vhodný zvláště pro kravské mléko. Tímto postupem lze získat celou škálu produktů – mléko, jogurt, sušené mléko, tvaroh či zakysaný mléčný nápoj. Proces také umožňuje přizpůsobit obsah sušiny požadovaným potřebám.

Výsledný produkt pak obsahuje již velmi malé množství laktózy. Tato zbytková laktóza je eliminována hydrolýzou. Jelikož je obsah laktózy po tomto procesu velmi nízký, následná hydrolýza a s ní související přeměna laktózy na glukózu a galaktózu nevede již k výrazně nasládlé chuti, což je jednou z výhod tohoto principu odstraňování laktózy.

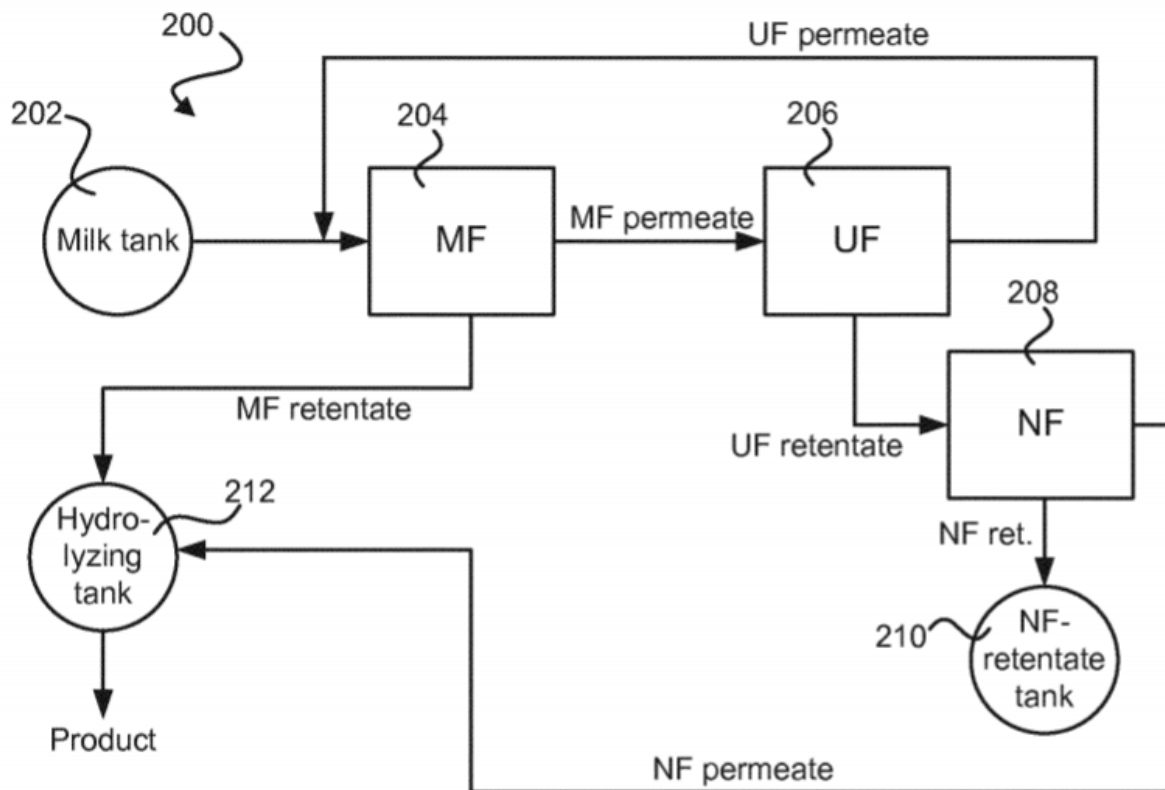
Další výhodou tohoto postupu je zachování organoleptických vlastností mléčného výrobku. Zároveň lze vzniklý nanofiltrační retentát a permeát reverzní osmózy opět zpracovat. Nanofiltrační retentát obsahuje převážně laktózu a permeát reverzní osmózy obsahuje v podstatě pouze vodu, a proto jej lze využít například jako mycí vodu v samotném zařízení.

2.1.3 Odstraňování laktózy s využitím mikrofiltrace [15]

Prvním krokem celé metody je mikrofiltrace (MF) mléka za účelem zisku MF permeátu a MF retentátu, takto vzniklý MF permeát následně putuje do ultrafiltračního (UF) zařízení, čímž je získán UF permeát a UF retentát. Posledním filtračním krokem je nanofiltrace. Následně dojde ke smíchání NF permeátu s MF retentátem za vzniku mléka s výrazně redukováným obsahem laktózy. Zbytkové množství laktózy je následně odstraněno hydrolýzou.

Jakmile je UF permeát vystaven nanofiltraci, dojde k vyfiltrování laktózy do NF retentátu, který je uskladněn v odděleném tanku, jenž je součástí nanofiltračního zařízení. Ultrafiltrací jsou nejprve odstraněny proteiny, jejichž molekuly jsou větší než molekuly laktózy, molekuly jednotlivých minerálů a molekuly vody. Zbývající laktóza, minerály a molekuly vody putují dále do nanofiltru, kde je odseparována laktóza, jejíž molekuly jsou větší než molekuly minerálů a vody. Nakonec jsou proteiny, minerály a voda smíchány dohromady za vzniku mléka s redukováným obsahem laktózy. Brzké odstranění proteinů během celého procesu a jejich následné smíchání s NF permeátem vede ke ztrátě určitého množství těchto proteinů během procesu, což zapříčiní, že poměr bílkovin a vápníku již není stejný jako u původního odstředěného mléka, z něhož je laktóza odseparována. To má za následek změnu vlastností výsledného produktu.

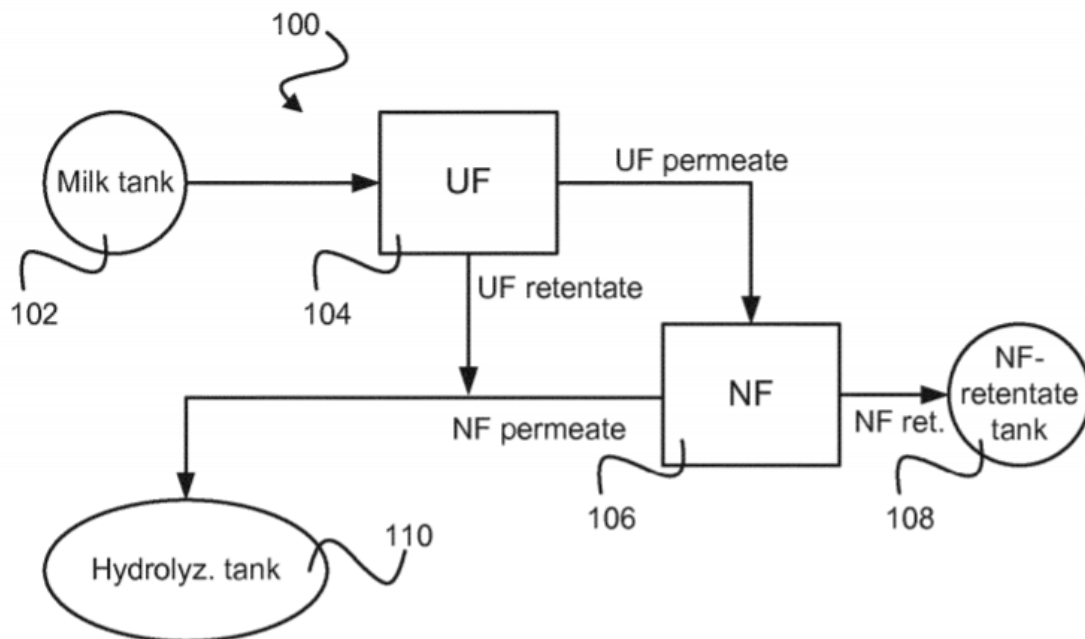
Jedna z možných variant odstraňování laktózy s využitím mikrofiltrace je demonstrována na obrázku 3.



Obrázek 3 Schéma odstraňování laktózy s využitím mikrofiltrace [15]

V tomto konkrétním případě je odstředěné mléko skladováno v tanku číslo 202, následuje mikrofiltrace v zařízení číslo 204 za vzniku MF permeátu a MF retentátu. MF permeát se přesune do ultrafiltračního zařízení 206. UF permeát se vrací zpět do mikrofiltračního zařízení jako diafiltrační médium. UF retentát je podroben nanofiltraci v zařízení číslo 208 za účelem odfiltrování laktózy. Tato laktóza získaná jako součást NF retentátu je uskladněna v tanku 210. NF permeát, který obsahuje veškeré minerály a vodu, skončí v hydrolyzačním tanku, kde dojde k hydrolyze zbývajících laktózy. Obsah laktózy se u výsledného produktu rovná přibližně 0,05 %.

Další princip s využitím mikrofiltrace je znázorněn na obrázku 4.



Obrázek 4 Schéma odstraňování laktózy s využitím mikrofiltrace [15]

V tanku číslo 102 je skladováno odstředěné mléko, které je filtrováno ultrafiltračním zařízením číslo 104. Nanofiltrační zařízení reprezentuje číslo 106. Číslo 108 je tank určený ke skladování NF retentátu. Na závěr dojde ke smíchání UF retentátu s NF permeátem. V tanku číslo 110 probíhá hydrolýza zbytkové laktózy.

Vedlejším efektem celého procesu je zvýšení obsahu proteinů, ke kterému dochází v ultrafiltračním zařízení, resp. UF retentát obsahuje podstatně vyšší obsah proteinů než původní odstředěné mléko, a tedy v UF permeátu je tento obsah naopak nižší.

Rozsah teplot mléka se pohybuje v rozmezí 5 až 60 °C. Preferovaná teplotní oblast je 8 až 12 °C. Velikost membrán MF, UF a NF zařízení by měla být volena tak, aby byl ve vzniklém mléce zachován poměr bílkovin vzhledem k vápníku. K dosažení požadovaného produktu celého procesu, a tedy mléka s redukováným obsahem laktózy, je nezbytná přítomnost zařízení, ve kterých k filtraci dochází. Doporučená velikost pórů membrán mikrofiltračního zařízení je 0,1 µm, ultrafiltračního zařízení 5 až 10 kD a nanofiltračního zařízení 150 až 300 kD.

2.1.4 Chromatografická separace laktózy [9]

Chromatografická separace umožňuje oddělit laktózu jako čistou frakci, zatímco soli zůstávají v chromatograficky ošetřeném mléce. Proces využívající chromatografii se běžně používá také k odstraňování sacharózy z melasy a fruktózy ze směsi glukózy a fruktózy. Původně byla tato metoda primárně využívána k odseparování čistých syrovátkových proteinů a laktózy – nikoliv k ošetření samotného mléka, a to protože byl tento proces spojen s celou řadou problémů, jako jsou náchylnost kaseinu k precipitaci, zachování micelové struktury kaseinu a extrémně vysoké požadavky na hygienu. Při této metodě separace se využívala tzv. kationtoměničová pryskyřice.

Předchozí metodiku tedy nahradila jiná, která již vyhovuje náročným požadavkům. Celý proces se skládá z následujících částí – nejprve dochází k obalení kolony kationtoměničovou pryskyřicí, pak je kationtoměničová pryskyřice vyvážena takovým způsobem, aby její složení kationtů odpovídalo složení kationtů mléka, následuje ošetření mléka v koloně zmiňovanou pryskyřicí, která prošla vyvážením, při teplotě v rozmezí 50 až 80 °C. Na konci dojde k vymytí kolony vodou za účelem získání jednotlivých frakcí z její spodní části – frakce tvořené proteiny, tukem a solemi a frakce obsahující laktózu.

Velikost částic běžně dostupné pryskyřice je 0,06 až 0,6 mm. Preferovaná velikost částic pryskyřice, která vyplňuje kolonu, je 0,4 mm. Pryskyřice je pak vyvážena takovým způsobem, aby dosáhla rovnováhy s iontovým uspořádáním mléka. Vyvažování pryskyřice lze provést aplikací solného roztoku, který je připraven ze solné směsi obsahující chlorid vápenatý, chlorid sodný, chlorid hořečnatý a chlorid draselný. K vyvážení pryskyřice povětšinou postačí příprava solného roztoku o objemu jedné kolony. Tento roztok je následně prohnán pryskyřičným lůžkem. Následuje přívod ošetřovaného mléka na lůžko tvořené pryskyřicí v množství nejméně desetkrát větším, než je objem tohoto lůžka.

Jakmile je pryskyřice pouze ve vápenaté formě, dojde k vysrážení mléka po jeho kontaktu s touto pryskyřicí a kolona se ucpe. Jakmile je pryskyřice v sodné formě, dojde k porušení micelární struktury kaseinu – a ten se rozpustí ve formě kaseinátu sodného. Mléko se pak stává průhledným a zároveň dochází ke změně chuti a dalších vlastností. Když je však použita vyvážená kationtoměničová pryskyřice, kasein si zachová svoji micelární strukturu a zároveň nedojde k jeho vysrážení.

Důležitým požadavkem při procesech spojených s mlékem je vysoká úroveň hygieny. Obecně lze regulovat míru hygieny adekvátní volbou pH a teploty. V tomto případě je rozmezí pH velice omezené, snahou je udržovat jej nad hodnotou 5, aby nedocházelo k přilnutí proteinů na samotnou pryskyřici. Teplota se pohybuje v rozmezí 50 až 80 °C, preferovaná oblast je 55 až 70 °C. Tímto způsobem lze ošetřit mléko s nízkým i s vysokým obsahem tuku.

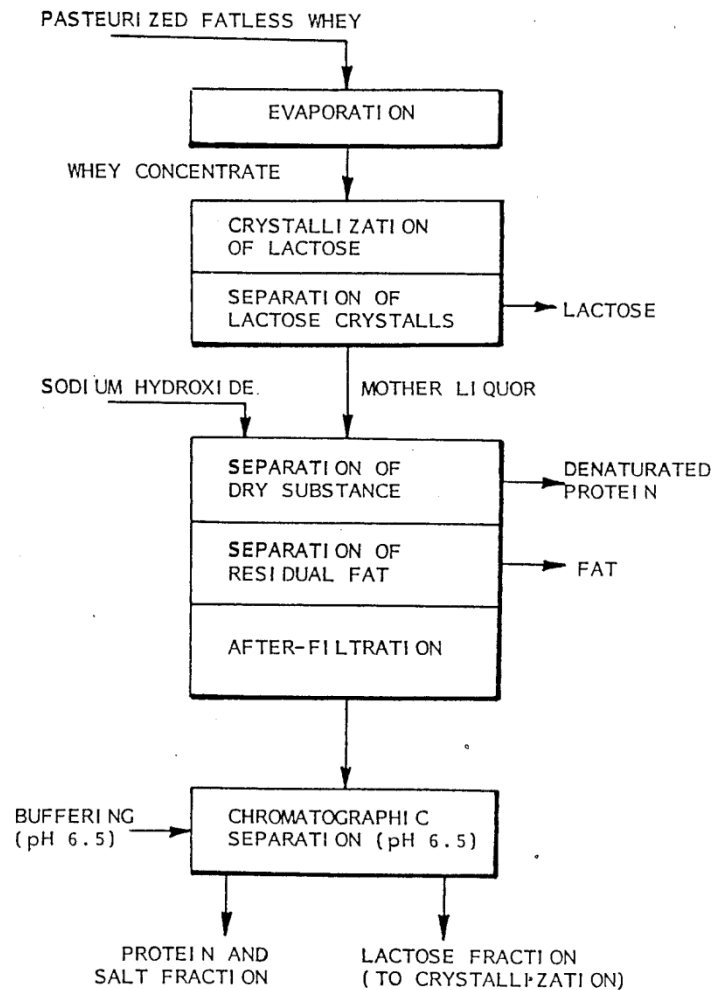
Náklady na vodu během tohoto procesu jsou velice nízké, protože eluce může být provedena zkondenzovanou vodou z odparky, ve které je mléko zahušťováno na požadovaný obsah sušiny, než dojde k samotné chromatografické separaci. Zkondenzovaná voda je více vhodná pro eluci než voda kohoutková, protože množství solí v ní obsažené je velmi nízké. Zároveň pokud je koncentrace jednotlivých frakcí zvyšována odpařováním, voda takto získaná během tohoto procesu může být také opět využita. S výjimkou mytí kolony celý proces neprodukuje žádnou zbytkovou vodu.

2.1.5 Odstraňování laktózy z mléčné syrovátky [16]

Celý proces začíná zvýšením koncentrace syrovátky. Následně dojde ke krystalizaci části laktózy. Tyto krystaly jsou pak odseparovány a vysušeny. Matečný louh, který zůstane po vykrytalizování laktózy, je ohřán na teplotu okolo 60 až 70 °C při kyselosti v rozmezí 5,8 až 7 a oddělí se vápník, tuk a proteiny. Další částí celého procesu je chromatografická separace, při které se využívají pryskyřice tvořené sulfonovaným polystyrenem. Velikost jednotlivých částic se pohybuje v rozmezí 0,2 až 1 mm, objemový průtok je přibližně 0,4 až 1,5 m³/h, teplota se pohybuje v rozmezí 50 až 70 °C a pH je přibližně 5,5 až 7.

Výsledkem jsou 3 frakce – frakce tvořená proteiny obsahující také soli, frakce, která je navracena do části procesu, kde probíhá chromatografická separace, a třetí část je právě frakce tvořená laktózou. Takto odseparovaná laktóza putuje do krystalizační části. K odstraňování krystalů se využívá odstředivka.

Celý proces je vyobrazen na obrázku 5.



Obrázek 5 Odstraňování laktózy z mléčné syrovátky [16]

2.1.6 Kombinace hydrolyzy a membránových technik [17]

Prvním krokem je hydrolyza mléka. Výsledným produktem je hydrolyzované mléko. Toto hydrolyzované mléko je následně rozděleno na jednotlivé frakce – proteiny, cukry a minerály – membránovou filtrací. Pokud je to nezbytně nutné, dochází k dalšímu zpracování jednotlivých frakcí buď opět membránovými technikami, nebo vypařováním (popř. chromatograficky). Smícháním adekvátního množství jednotlivých frakcí se získá mléko požadovaných vlastností a chuti, popř. se přidají další ingredience.

Jelikož došlo na začátku celého procesu k oddělení jednotlivých frakcí, je možné vytvářet nejen mléko různých vlastností (mléko s nízkým obsahem tuku, odstředěné mléko, ultrafiltrované mléko), ale také ostatní mléčné produkty, jako je například smetana.

V prvním kroku dochází k hydrolýze, a tedy přeměně laktózy na jednoduché cukry glukózu a galaktózu (viz kapitola 2.1.1). Dle zdroje [17] se nabízí dvě možnosti, jakým způsobem hydrolýzu během procesu aplikovat. Buď je uplatněna tzv. kompletní hydrolýza před samotnou membránovou filtrací, skrze niž jsou odseparovány jednotlivé složky v mléce, nebo dochází k hydrolýze částečné, kdy se hydrolýza provede nejprve před filtrací a zbytková laktóza je odstraněna hydrolýzou, která probíhá současně s filtrací částečně hydrolyzovaného mléka.

2.2 Rostlinné jogurty

K výrobě jogurtů rostlinného původu se běžně využívají sójové boby, kokos, rýže nebo mandle. Postup výroby rostlinného jogurtu je velice podobný výrobě jogurtu z mléka kravského. Avšak samotné úpravy rostlinného mléka a mléka živočišného před použitím na výrobu jogurtu, se výrazně liší. Zatímco mléko živočišného původu musí projít celou řadou operací – včetně standardizace obsahu tuku, pasterizace a zahuštěním v odparce, požadavky na mléko rostlinného původu nejsou takto markantní. Mléko rostlinného původu lze pouze pasterizovat, avšak není to vyloženě nutné [18].

Mléka rostlinného původu se připravují ze zmiňovaných surovin, a to sójových bobů, kokosu, rýže nebo mandlí, popř. různých dalších druhů semínek, jako jsou např. semínka konopná či semínka máku. Nejprve dojde k namočení suroviny – povětšinou přes noc – a následnému propláchnutí [19]. Surovina je pak smíchána s vodou, jejíž množství se odvíjí od požadované konzistence výsledného mléka, a rozmixuje se [19]. Takto připravené mléko lze dochutit dalšími ingrediencemi, jako jsou datle, lusk vanilky a další [20]. Poměr suroviny a mléka není jasně definovaný a je velice individuální, závisí vždy na konkrétním výrobcí. Mléko je pak třeba ještě přefiltrovat, a tedy zbavit pevných částic v něm obsažených [19].

Jelikož mléka rostlinného původu neobsahují žádnou laktózu, při výrobě jogurtů z těchto mlék se není třeba zabývat metodou její eliminace. Podmínky a postupy při výrobě jogurtů z rostlinných mlék kopírují výrobu jogurtů z mléka živočišného, a tedy nejprve dojde k zahřátí směsi na očkovací teplotu, následně se směs naočkuje jogurtovou kulturou a poté proběhne zrání [18]. Teploty korespondují s teplotami běžně používanými při výrobě jogurtů

z mléka živočišného, avšak opět nejsou optimální podmínky striktně definovány a záleží vždy na konkrétním výrobcí a také na složení použitého mléka. Konzistence jogurtů z rostlinného mléka povětšinou bývá velmi řídká, a proto se za účelem dosažení hustší konzistence přidává do rostlinného mléka škrob (kukuřičný, tapiokový), popř. jiná zahušťovadla, jako jsou karagenan, vláknina inulin a další (viz kapitola 4).

3 TEORETICKÁ ČÁST

V této kapitole jsou uvedeny informace nezbytné pro návrh celého postupu výroby jogurtů z hydrolyzovaného mléka, a to včetně optimálních podmínek a nezbytných požadavků na mléko samotné. Hydrolýza laktózy již v této kapitole uvedena není, jelikož je součástí kapitoly 2 – konkrétně pak 2.1.1.

3.1 Základní pojmy

Podle Vyhlášky č. 397/2016 Sbírky, v platném znění se jogurtem rozumí: *„kysaný mléčný výrobek získaný kysáním mléka, smetany, podmásli nebo jejich směsi pomocí protosymbiotické směsi *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* a *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* s mikroflórou 10^7 v 1 g, u kterého lze zvýšit obsah sušiny pouze přidáním mléčné bílkoviny, sušeného nebo zahuštěného mléka, nebo odebráním syrovátky, tepelně neošetřený po kysacím procesu. U jogurtových výrobků mohou být kromě základní jogurtové kultury přidávány kmeny produkující kyselinu mléčnou a pomáhající dotvářet specifickou chuťovou nebo texturovou charakteristiku výrobku. Musí však být zachován optimální poměr obou základních kmenů jogurtové kultury.“*

Podle Vyhlášky č. 54/2004 Sbírky, v platném znění se potravinami s nízkým obsahem laktózy rozumí: *„potraviny obsahující nejvýše 1 g laktózy ve 100 g nebo 100 ml potraviny ve stavu určeném ke spotřebě.“*

Podle Vyhlášky č. 54/2004 Sbírky, v platném znění se bezlaktózovými potravinami rozumí: *„potraviny obsahující nejvýše 10 mg laktózy ve 100 g nebo 100 ml potraviny ve stavu určeném ke spotřebě.“*

3.2 Mléko a jeho základní ošetření

Při výrobě jogurtů z hydrolyzovaného mléka je výchozí surovinou mléko kravské, které obsahuje 4,6 % laktózy (viz kapitola 3.2.1). Mezi základní ošetření mléka lze zařadit odstředování mléka, a tedy rozdělení syrového mléka na odtučněné (odstředěné) mléko a na smetanu, dále standardizace tučnosti, při které dochází ke zpětnému smíchání odstředěného mléka a části smetany. Dalším nezbytným ošetřením mléka je jeho pasterizace – základní tepelné ošetření. V případě potřeby pak mohou být zařazena další ošetření, jako jsou homogenizace mléka, deaerace (resp. odvětrávání mléka a smetany), baktofugace (odstranění

sporotvorných mikroorganismů odstředivou silou). V případě výroby jogurtů je nutné mléko zahustit na požadovaný obsah sušiny.

3.2.1 Kravské mléko [21]

Kravské mléko obsahuje v průměru 4 % tuku, 3,2 % bílkovin (2,6 % kaseinu a 0,6 % sérových bílkovin), 4,6 % laktózy a 0,7 % popelovin. Konkrétní hodnoty jsou ovšem značně variabilní, nejvíce obsah tuku. Odchytky obsahu bílkovin a laktózy nepřesahují obvykle několik desetin procenta.

3.2.2 Požadavky na kvalitu syrového mléka [21]

Nejvýznamnějším požadavkem na jakost syrového mléka je mikrobiální čistota. Má vliv nejen na trvanlivost, ale také na technologické vlastnosti suroviny. Rozhodující vliv na jakost mléka má i zemědělská prvovýroba. Kvalitu mléka totiž ovlivňuje nejen mikrobiální čistota, ale také výživa dojnice, zdravotní stav dojnice i hygiena získávání mléka. Mléko zdravé dojnice je prakticky sterilní, ale při dojení se nelze vyhnout jeho kontaminaci. Pro kvalitní mléko je proto nutné zajistit hygienické podmínky dojení (prostředí dojírny, dojícího zařízení, čistotu vemene a další). Nadojené mléko je také nezbytné vychladit, aby nedošlo k rozvoji nežádoucích kontaminujících mikroorganismů.

Mléko musí pocházet od zdravých dojnic, kritériem je počet somatických buněk, zároveň nesmí obsahovat žádná rezidua antibiotik nebo dezinfekční, či dokonce čistící prostředky. Celkový počet mikroorganismů by neměl překročit 100 000 JTK/ml. Velice zásadní je pro mléko teplota uchovávání, která by se měla pohybovat v rozmezí 4 až 6 °C. Dobrý stav mléka lze také posoudit na základě sensorických znaků, jako jsou barva, konzistence a vzhled, chuť a vůně.

Mléko musí být nejpozději do dvou dnů od nadojení pasterizováno, protože jinak pak nastává relativně rychlý rozvoj psychrotrofních mikroorganismů. Někdy je při skladování syrového mléka aplikována také tzv. ochranná dávka kultury (0,05 % mezofilní starterové kultury), která zlepšuje poměr nežádoucí mikroflóry v mléce. Sníží také nežádoucí účinky nízké teploty na kasein.

Jedním z nejdůležitějších technologických ukazatelů vlastností mléka je kyselost. Kyselost se vyjadřuje dvěma způsoby, a to aktivní kyselostí a titrační kyselostí. Aktivní kyselost vyjadřuje aktivitu H^+ iontů (pH). Čerstvé mléko má pH v rozmezí 6,6 až 6,8. Titrační kyselost vyjadřuje

celkový obsah kyselých skupin v mléce, a proto je citlivá na zvýšení obsahu kyseliny mléčné mikrobiální činností. Ve střední Evropě je stanovena metoda Soxhlet Henkela (SH), podle které titrační kyselost udává spotřebu 0,25 M NaOH na neutralizaci 100 ml mléka (nebo 100 g výrobku). Čerstvé neporušené mléko má titrační kyselost v rozmezí 6,8 až 7,2 dle SH. 0,1 % kyseliny mléčné odpovídá zvýšení titrační kyselosti o 4,4 dle SH.

3.2.3 Odstředování mléka a standardizace tučnosti [21]

Cílem odstředování je odtučnění (odsmetanění) mléka a získání smetany. Používají se talířové samoodkalovací odstředivky. Rozdělení mléka nastává na základě rozdílných měrných hmotností tuku a mléčné plazmy, tukové kuličky se účinkem odstředivé síly pohybují směrem do středu bubnu odstředivky, kde se shromažďují ve formě smetany (tučnost obvykle 40 %, 10 % hmotnosti zpracovávaného mléka). Odstředěné mléko má obvykle zbytkový obsah tuku 0,05 %. Při zpracování mléka pro většinu výrobků se provádí standardizace tučnosti mléka smícháním části smetany s odstředěným mlékem v požadovaném poměru (nejméně 0,5 %). Minimální obsah tukuprosté sušiny u jogurtových výrobků je 8,2 % a dosahuje hodnoty až 17 %.

3.2.4 Pasterizace mléka [21]

Pasterizací se rozumí záhřev mléka či smetany na teploty obvykle pod 100 °C, při kterém dochází k usmrcení převážné části vegetativních forem mikroorganismů a při kterém zároveň dochází jen k minimálním chemickým změnám, jež by výrazně ovlivňovaly chuť nebo nutriční vlastnosti. Pasterizace zároveň zajišťuje zdravotní nezávadnost mléka a zvýšení jeho trvanlivosti, a to zničením většiny vegetativních buněk kontaminujících mikroorganismů. Vysoce termorezistentní patogeny (sporotvorné) se v mléce buď nevyskytují, nebo se nemohou v mléce rozvíjet – popř. se rozmnožují tak pomalu, že dříve, než se dosáhne jejich nebezpečné denzity, dojde ke znehodnocení mléka jinými mikroorganismy. Zvýšení trvanlivosti mléka pasterizací není určeno jen zvolenými podmínkami záhřevu, ale také rozsahem kontaminace suroviny a charakterem kontaminujících mikroorganismů. Pasterizací by se mělo dosáhnout snížení počtu mikroorganismů pod 1 000 JTK/ml a inaktivace mléčné lipasy pod 1 % její původní aktivity.

Při výrobě jogurtů se používá vysoká pasterizace (85 až 95 °C po dobu 5 minut), kdy dochází k 80 až 85% denaturaci syrovátkových bílkovin. Denaturace bílkovin, resp. přeměna struktury bílkovin, je nezbytná pro vytvoření pevné struktury jogurtové sraženiny.

Pro tepelné ošetření mléka na pasterizační stanici se obvykle používají deskové výměníky tepla, protože je u nich dosaženo nejúčinnějšího přestupu tepla a umožňují jeho snadnou regeneraci, která umožňuje zpětné využití 70 až 90 % tepla potřebného na záhřev mléka. Pasterizační teplota je neustále zaznamenávána jako doklad o správně provedené pasterizaci. Pokud by nebylo dosaženo předepsané teploty, je nedostatečně ošetřené mléko automaticky vráceno na začátek pasterizační linky.

3.2.5 Homogenizace mléka [21]

Základním cílem homogenizace mléka je zmenšení velikosti tukových kuliček pod 1 μm . Snahou je minimalizovat vyvstávání mléčného tuku při skladování tekutých mléčných výrobků. Homogenizace se dosahuje protlačením mléka vysokým tlakem (5 až 25 MPa) úzkou štěrbinou (0,1 mm) homogenizační hlavy. Ke tříštění tukových kuliček dochází vlivem vysoké smykové rychlosti a náhlým poklesem rychlosti toku štěrbinou. Při homogenizaci musí být tuk v kapalném stavu, minimální teplota je tedy 35 $^{\circ}\text{C}$, obvykle se homogenizace provádí při teplotě 55 až 80 $^{\circ}\text{C}$.

Po homogenizaci je v mléce 100 až 1 000 krát více tukových kuliček. Pro úspěšnou homogenizaci musí mléko obsahovat dostatek bílkovin. Nedostatek bílkovin má za následek vznik větších tukových kuliček s širší distribucí velikostí. Výsledná velikost tukových kuliček je závislá na konstrukci homogenizační hlavy. Vzniklé tukové kuličky mají ovšem tendenci se při homogenizaci spojovat kaseinovými micelami do shluků, které zvyšují viskozitu mléka a mohou i urychlovat vyvstávání smetany. Tvorba shluků tukových kuliček se zvyšuje při vysokém obsahu tuku, nízkém obsahu bílkovin, vysokém homogenizačním tlaku a při vysokém obsahu bílkovin na obalech tukových kuliček (např. při nízké teplotě homogenizace). Homogenizace bývá prováděna přímo na pasterizační stanici po dosažení pro ni optimální teploty. Může být však zařazena až při dalším zpracování mléka. A její aplikace v rámci pasterizační stanice není proto nezbytně nutná.

3.2.6 Odpařování mléka [21]

Pro zahušťování mléka se využívá především vícestupňových trubkových vakuových odparek s klesajícím filmem. Mléko stéká za sníženého tlaku v tenkém filmu po vnitřním povrchu dlouhých svislých trubek vyhřívaných z druhé strany sytou parou a nastává zde rychlý odpar vody z mléka varem. Výhodou odparek s klesajícím filmem je umožnění nízkého rozdílu teplot na teplosměnné ploše, který by při zahušťování mléka neměl přesáhnout 5 $^{\circ}\text{C}$, aby

nedocházelo k destabilizaci bílkovin a jejich usazování v zařízení. Maximální stupeň zahuštění v odparce s klesajícím filmem je omezen vysokou viskozitou produktu a sníženou stabilitou bílkovin. Plnotučné mléko lze zahustit až na sušinu 50 %, odstředěné mléko až na 55 % a syrovátka až na 64 %.

3.3 Výroba jogurtu

V této kapitole jsou uvedeny typy jogurtů a zároveň optimální podmínky při jejich výrobě. Součástí je také kapitola o bakteriích, které zajišťují celý proces fermentace a vznik samotného fermentovaného výrobku – jogurtu.

3.3.1 Typy jogurtů [21]

Rozlišují se 2 základní typy jogurtů, a to s nerozmíchaným koagulátem (*Set Type*) a jogurty s rozmíchaným koagulátem (*Stirred Type*).

U jogurtů s nerozmíchaným koagulátem se do mléka zaočkovaného kvasnicovou kulturou přidávají přísady (ovocný podíl, aroma) a takto upravená směs se plní do drobných spotřebitelských obalů (plastové kelímky, skleněné lahve), které se skupinově přemísťují do zracích skříní, zracích tunelů nebo zracích místností, kde je udržována požadovaná teplota. Zde proběhne fermentace přímo v obalech. Některé typy zracích boxů pracují v režimu inkubace/chlazení, jiné pracují pouze jako inkubátory a chlazení se provádí po přemístění palet s výrobky do chladicích komor.

U výrobků s rozmíchaným koagulátem vzniká koagulát ve fermentačním tanku a struktura vzniklého gelu je rozrušena před nebo během procesu chlazení a balení. Chlazení koagulátu lze provádět buď přímo ve víceúčelovém tanku cirkulací vody v meziplášti, speciálními agregáty zabudovanými do zracího tanku nebo ve výměnících tepla (deskové, trubkové), kam se koagulát přečerpává.

3.3.2 Termofilní bakteriální kultury, zaočkování, zrání, chlazení [21]

Termofilní bakteriální kultury se využívají pro výrobu jogurtů, konkrétně se jedná o kombinaci bakterií *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* a *Streptococcus thermophilus*. Kombinace laktobacilů a *Streptococcus thermophilus* byla vyselektována přirozeným způsobem kvůli společné vysoké optimální teplotě kultivace a symbiotickému působení, kde laktobacily stimulují růst streptokoků uvolňováním aminokyselin a streptokoky

působí stimulačně na růst laktobacilů produkcí kyseliny mravenčí. Při fermentaci je třeba dodržet správný poměr laktobacilů a streptokoků a vytvořit podmínky pro vznik požadovaného množství metabolitů (obsah kyseliny mléčné přibližně 0,85 až 1,2 %).

Kroky procesu vedoucí k fermentaci mléka ve výrobě zahrnují tepelné ošetření média, ochlazení na teplotu zaočkování, inkubaci a chlazení po dosažení požadovaného stupně fermentace. Typická inokulační teplota pro termofilní bakterie je 42 až 45 °C. Teplota se liší podle typu bakteriální kultury a teplotu doporučenou výrobcem kultur je třeba dodržovat. I mírná odchylka od teplotního optima může podpořit růst jednoho druhu. Inkubace je zahájena, jakmile je inokulum promícháno s kultivačním médiem a bakterie se začnou množit. V průběhu inkubace se bakterie rychle pomnožují a fermentují přítomnou laktózu za vzniku kyseliny mléčné. Fermentace obvykle probíhá 3 až 4 hodiny ve spotřebitelských obalech (inokulum 1 až 2 %) a 16 až 18 hodin při tankové metodě výroby jogurtů (inokulum 0,05 až 0,1 %).

Zchlazení kultury po dosažení požadované úrovně kyselosti má zastavit bakteriální růst, a tak zachovat vysoký stupeň aktivity kultury. Chlazení jogurtů s nerozmíchaným koagulátem probíhá obvykle dvojstupňově (1. stupeň na 20 °C, 2. stupeň na 5 až 8 °C). U výrobků s rozmíchaným koagulátem dochází většinou k jedноступňovému chlazení.

4 PRŮZKUM TRHU

V tabulce číslo 2 jsou uvedeny příklady rostlinných kokosových jogurtů dostupných na českém trhu včetně složení a cen za jedno balení dle [22], [23], [24], [25], [26], [27] a [28].

Tabulka 2 Rostlinné jogurty dostupné na českém trhu

NÁZEV/VÝROBCE	SLOŽENÍ	VELIKOST BALENÍ	CENA (KUS)
Bílý kokosový/Kalma	voda, kokosové mléko (26 %), kukuřičný škrob, cukr, čekanková vláknina inulin, jogurtová kultura	125 g	19,90 Kč
Kokosový banánový/Kalma	voda, kokosové mléko (24 %), banánový koncentrát (9 %), kukuřičný škrob, cukr, čekanková vláknina inulin, jogurtová kultura	125 g	26 Kč
Harvest Moon přírodní/Harvest Moon	kokosové mléko, tapiokový škrob, veganské jogurtové kultury	125 ml	65 Kč
Harvest Moon čokoládový/Harvest Moon	kokosových květů, kakao (8 %), agáve, citrón, tapiokový škrob, veganské jogurtové kultury	125 ml	65 Kč
Harvest Moon vanilkový/Harvest Moon	kokosové mléko, tapiokový škrob, vanilka (1 %), veganské jogurtové kultury	125 ml	65 Kč
Harvest Moon mango & maracuja/Harvest Moon	kokosové mléko, mango (22 %), hrozno, maracuja (3 %), tapiokový škrob, veganské jogurtové kultury	125 ml	65 Kč
Veganz Hello Coco přírodní/Veganz	kokosové mléko (97%), (kokosový ořech, voda), modifikovaný kukuřičný škrob, zahušťovadlo: karagenan (startovací kultury: Streptococcus thermophilus, Lactobacillus bulgaricus)	250 g	79 Kč

V tabulce číslo 3 jsou uvedeny příklady bezlaktózových jogurtů a jogurtů s nízkým obsahem laktózy dostupných na českém trhu včetně složení a ceny za jedno balení dle [29], [30], [31], [32] a [33].

Tabulka 3 Jogurty bezlaktózové a s nízkým obsahem laktózy dostupné na českém trhu

NÁZEV/VÝROBCE	SLOŽENÍ	VELIKOST BALENÍ	CENA (KUS)
Krémový jogurt bílý 0,01 % laktózy/Hollandia	mléko, mléčná bílkovina, enzym laktáza, jogurtová kultura, kultura Bifidobacterium a Lactobacillus acidophilus, (10 ⁶ /g)	180 g	13,90 Kč
Lacto Zero jogurt řeckého typu jahoda/Ehrmann	jogurt s upraveným obsahem laktózy, cukr, 10 % jahody, smetana s upraveným obsahem laktózy, glukózo-fruktózový sirup, modifikovaný kukuřičný škrob, rostlinný koncentrát z červené řepy a mrkve, přírodní aroma, laktáza	135 g	23,90 Kč
Lacto Zero jogurt řeckého typu stracciatella/Ehrmann	jogurt s upraveným obsahem laktózy, cukr, smetana s upraveným obsahem laktózy, voda, kousky čokolády (kakaová hmota, kakaové máslo, cukr), glukózo-fruktózový sirup, modifikovaný kukuřičný škrob, zahuš'ovadla: pektin, guma guar, aroma, laktáza	135 g	23,90 Kč
Jihočeský nature bílý jogurt/Madeta	mléko, sušené mléko, jogurtová kultura, laktóza <0,01 %	150 g	12,90 Kč
Jihočeský nature jahodový jogurt/Madeta	mléko, 17 % jahodové složky (cukr, jahody 44 %, glukózo-fruktózový sirup, voda, koncentrát z černé mrkve, přírodní aroma, citrónová šťáva), sušené mléko, jogurtová kultura, laktóza <0,01 %	150 g	14,90 Kč

5 JOGURTY Z HYDROLYZOVANÉHO MLÉKA

5.1 Základní informace

Stávající fiktivní výrobní mléčných produktů rozšiřuje svoji nabídku sortimentu, a to o jogurty z hydrolyzovaného mléka, které jsou bezlaktóзовé (viz kapitola 3.1). Výrobní disponuje prostory pro rozšíření výroby (výrobní hala i sklad). Firma má dostatečnou rezervu na energetických zdrojích, nemá však dostatek chladicího výkonu na chlazení jednotlivých tanků, a to tanků se studenou a ledovou vodou, která je využívána v rámci pasterizační jednotky, a také tanku, ve kterém probíhá hydrolyza mléka a fermentace. Kotelna výrobní však plně dostačuje. Kapacita na odstředivce je vyhovující, a tedy denní zásoba odstředěného mléka a smetany je předimenzovaná. Nedostatečně nadimenzovány jsou však stávající pasterizační jednotka a odparka s klesajícím filmem, a proto je nezbytné zakoupit novou pasterizační jednotku a odparku. Výrobní nemá dostatek páry pro nově zakoupenou odparku.

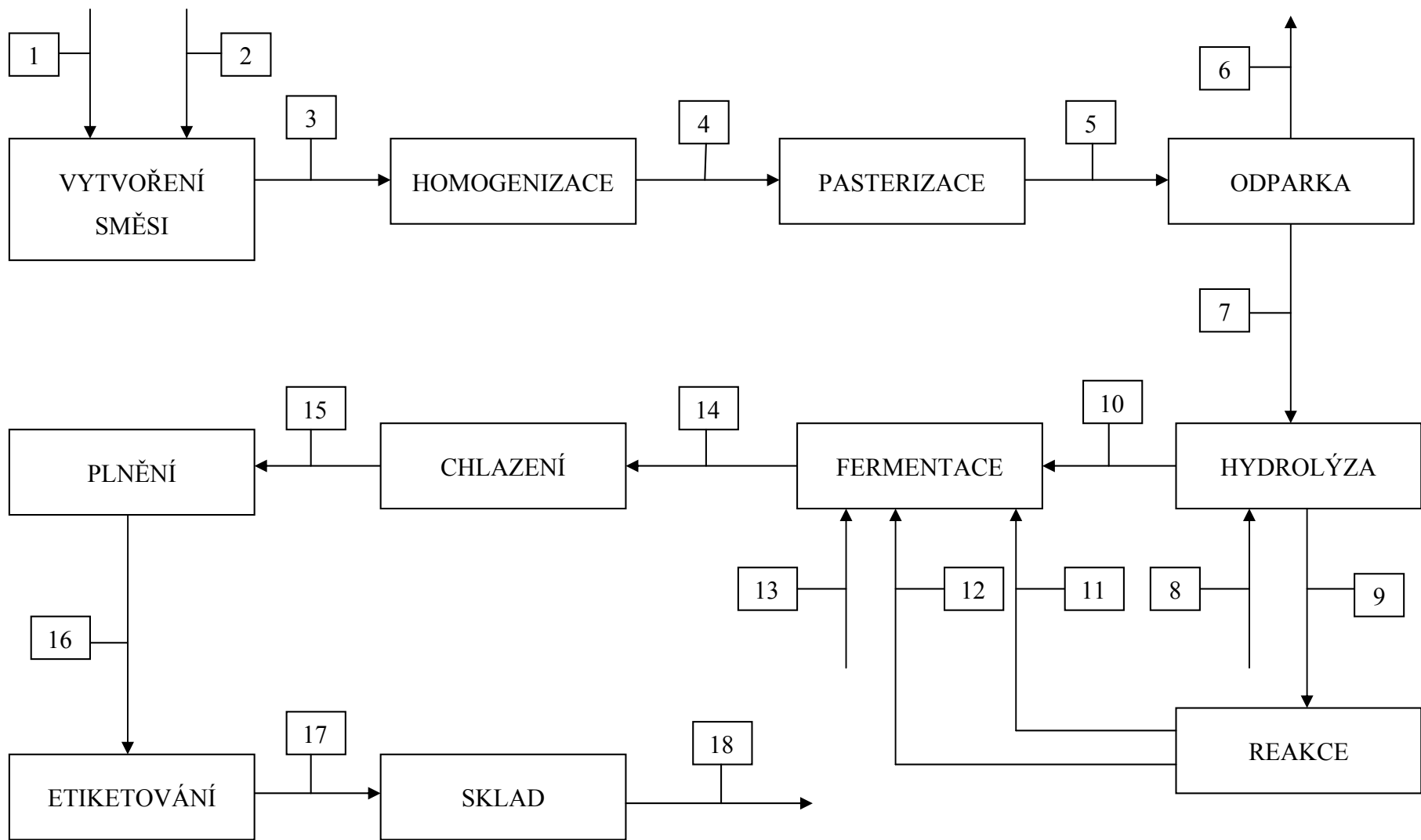
5.2 Postup procesu výroby

Při návrhu celého postupu výroby bylo čerpáno z informací uvedených v kapitole 3 a kapitole 2.1.1.

Nejprve dojde ke standardizaci tuku v mléce na požadovanou hodnotu 0,5 %, a to smícháním odstředěného mléka (tučnost 0,05 %) a smetany (tučnost 40 %). Standardizované mléko je homogenizováno a následně pasterizováno při teplotě 90 °C po dobu 5 minut, aby došlo k denaturaci syrovátkových bílkovin. Takto ošetřené mléko proudí do 1. chladicí sekce pasterizační jednotky, kde je ochlazen nejprve na 15 °C, v 2. chladicí sekci pak na 4 °C. Mléko je poté třeba zahustit na obsah sušiny 15 % z původního obsahu sušiny 10 %. Následně proběhne stěžejní část celého procesu – hydrolyza laktózy. Tato reakce probíhá při teplotě 30 °C. Po eliminaci laktózy hydrolyzou dojde k ohřevu mléka na teplotu zakysání (38 °C), poté proběhne zakysání hydrolyzovaného mléka jogurtovými kulturami. Po zakysání se mléko ohřeje na teplotu 42 °C a nastává fáze zrání. Zrání probíhá po dobu 10 hodin při udržování konstantní teploty vhodné pro činnost použitých probiotických kultur. Jogurt je pak ochlazen na teplotu 5 °C. Následuje plnění do papírových kelímků o objemu 0,215 l.

5.3 Hmotnostní bilance

Na obrázku číslo 6 je vyobrazeno blokové schéma hmotnostní bilance s očíslovanými proudy. Podrobný popis jednotlivých proudů je uveden v tabulce 5.



Obrázek 6 Blokové schéma – hmotnostní bilance

Proud číslo 1 obsahuje odstředěné mléko (0,05 %), proud číslo 2 40% smetanu. Proud číslo 3 je tvořen natučněným mlékem. Výsledné množství mléka (obsah tuku 0,5 %) v proudu 3 je stanoveno dle rovnice (2).

$$m_{ODST}x_{f_{ODST}} + m_{SM}x_{f_{SM}} = m_{NATM}x_{f_{NATM}}, \quad (2)$$

kde

- m_{ODST} = hmotnost odstředěného mléka,
- $x_{f_{ODST}}$ = obsah tuku v odstředěném mléce,
- m_{SM} = hmotnost smetany,
- $x_{f_{SM}}$ = obsah tuku ve smetaně,
- m_{NATM} = hmotnost natučněného mléka,
- $x_{f_{NATM}}$ = obsah tuku v natučněném mléce.

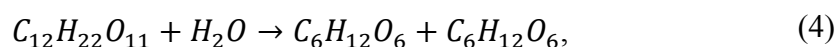
Aby bylo možné dopočítat množství natučněného mléka (resp. množství mléka v proudu číslo 3), je nutné stanovit množství smetany potřebné k natučnění. Toto množství je dopočítáno ze soustavy rovnic, která je tvořena rovnicí číslo (2) a číslo (3).

$$m_{ODST} + m_{SM} = m_{NATM}, \quad (3)$$

kde

- m_{ODST} = hmotnost odstředěného mléka,
- m_{SM} = hmotnost smetany,
- m_{NATM} = hmotnost natučněného mléka.

Množství mléka v proudu 3 je rovno množství mléka v proudu 4 a v proudu 5. Proud 6 je tvořen brýdovými parami – resp. vodou odpařenou ze zahušťovaného mléka. Výpočet daného množství je detailně popsán v kapitole 5.6. Proud číslo 7 obsahuje zahuštěné mléko – detailní postup výpočtu je opět uveden v kapitole 5.6. Následuje hydrolyza laktózy, kde proud číslo 9 tvoří reagující složky mléka a proud číslo 10 složky reakce se neúčastní. Mezi reagující složky mléka patří laktóza a voda, reakce probíhá dle rovnice (4).



Množství laktózy obsažené v mléce je 4,6 % hm. (viz kapitola 3.2.1). Konverze laktózy je uvažována 100 %, a tedy veškerá laktóza v mléce obsažená se rozloží na glukózu a galaktózu. Bilanci reakce popisuje tabulka (4).

Tabulka 4 *Bilance reakce - hydrolyza*

	VSTUP		VÝSTUP		
	hmotnost [kg]	látkové množství [mol]	hmotnost [kg]	látkové množství [mol]	molární hmotnost [kg/mol]
laktóza	4,79	13,98	0	0	0,342
voda	0,25	13,98	0	0	0,018
glukóza	0	0	2,52	13,98	0,18
galaktóza	0	0	2,52	13,98	0,18
BILANCE	5,04		5,04		

Zisk oligosacharidů je uvažován nulový. Aby hydrolyza mohla proběhnout v požadované míře, je do tanku s mlékem přidán katalyzátor v podobě enzymu beta-galaktosidázy, tento enzym je reprezentován proudem číslo 8. Hmotnost enzymu je uvažována jako zanedbatelná.

Produkty reakce jsou dle rovnice (4) monosacharidy glukóza a galaktóza. Proud 11 reprezentuje glukózu a proud 12 reprezentuje galaktózu.

Následuje fermentace – do hydrolyzovaného mléka je přidána směs jogurtových probiotických kultur (proud 13), v bilančním výpočtu je hmotnost těchto kultur uvažována opět jako zanedbatelná, protože jejich hmotnost se řádově pohybuje v desítkách gramů.

V proudech 14, 15, 16, 17, 18 je již produkt výsledný, a tedy jogurt.

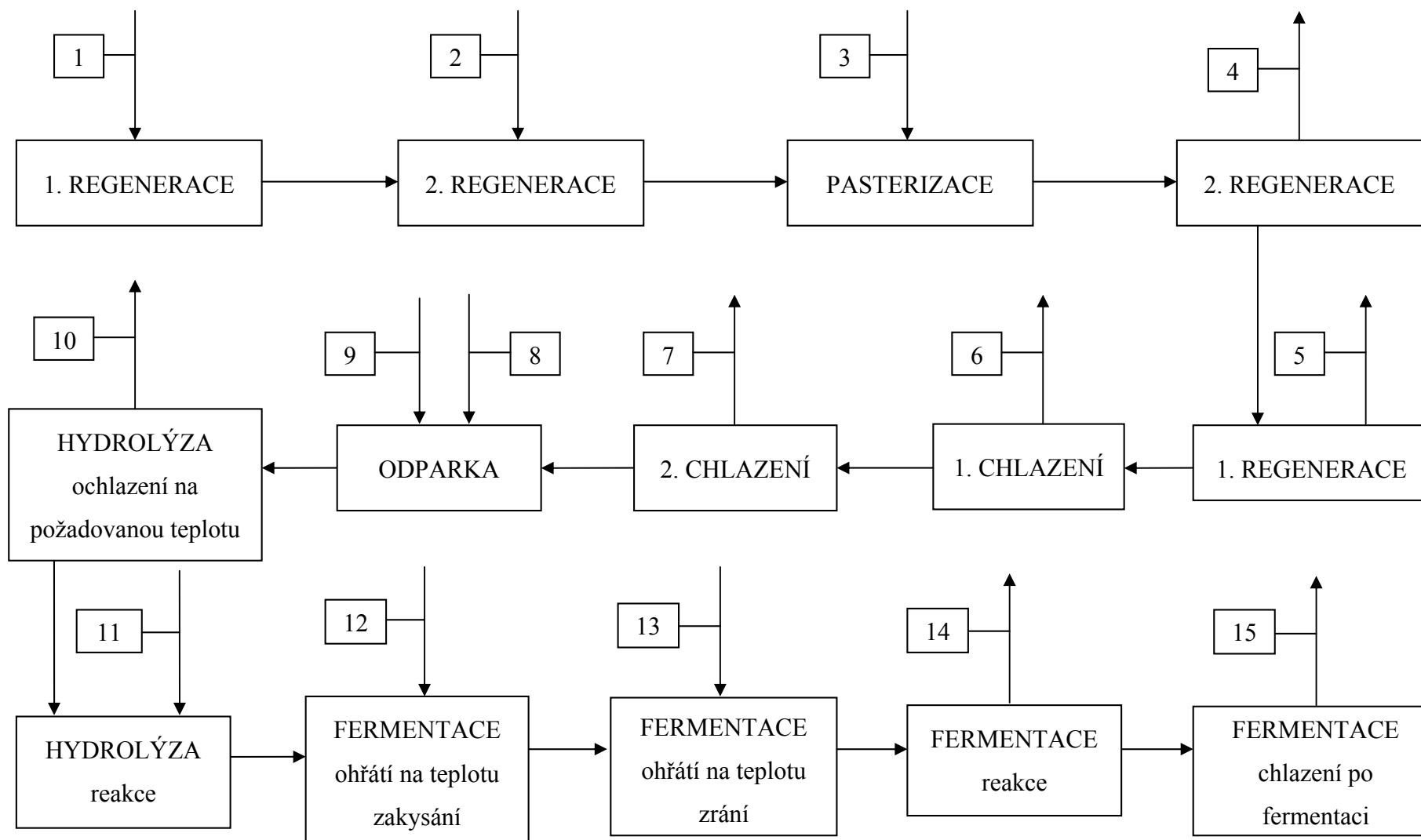
Následující tabulka 5 obsahuje seznam jednotlivých proudů společně s příslušnými hmotnostmi médií v nich proudících. Hmotnostní bilance je vztažena na 1 várku.

Tabulka 5 Hmotnostní bilance – shrnutí

PROUD 1	odstředěné mléko	154,26 kg/várka
PROUD 2	smetana 40%	1,76 kg/várka
PROUD 3	natučněné mléko	156,02 kg/várka
PROUD 4	směs po homogenizaci	156,02 kg/várka
PROUD 5	směs po pasterizaci	156,02 kg/várka
PROUD 6	odpar vody ze směsi - zahuštění mléka	52,01 kg/várka
PROUD 7	zahuštěné mléko	104,01 kg/várka
PROUD 8	množství přidaného enzymu	0,00 kg/várka
PROUD 9	reagující část mléka, reaktanty: laktóza + voda	5,04 kg/várka
PROUD 10	nereagující část mléka	98,98 kg/várka
PROUD 11	množství vzniklé glukózy	2,52 kg/várka
PROUD 12	množství vzniklé galaktózy	2,52 kg/várka
PROUD 13	směs bakterií	0,00 kg/várka
PROUD 14	směs po fermentaci - jogurt	104,01 kg/várka
PROUD 15	jogurt po chlazení	104,01 kg/várka
PROUD 16	množství jogurtu - plnění	104,01 kg/várka
PROUD 17	množství jogurtu - etiketování	104,01 kg/várka
PROUD 18	množství jogurtu - sklad	104,01 kg/várka

5.4 Entalpická bilance

Na obrázku číslo 7 je vyobrazeno blokové schéma entalpické bilance s očíslovanými proudy. Podrobný popis jednotlivých proudů je uveden v tabulce 6.



Obrázek 7 Blokové schéma – entalpická bilance

Veškeré děje jsou uvažovány jako izobarické, a tedy výsledná entalpie je rovna teplu.

V 1. regenerační sekci pasterizační jednotky dojde k ohřátí mléka z 10 °C na 50 °C, zdrojem tepla je pasterizované mléko, které je zároveň ochlazováno z teploty 65 °C na teplotu 25 °C. Následuje 2. regenerační sekce pasterizační jednotky, opět dojde k ohřátí mléka – tentokrát z teploty 50 °C na 75 °C a zároveň k ochlazení mléka již pasterizovaného. Toto mléko je ochlazen z teploty 90 °C na teplotu 65 °C. V sekci pasterizace je mléko ohřáto na teplotu 90 °C s výdrží 5 minut. Ohřev mléka na požadovanou pasterizační teplotu zajišťuje horká voda o teplotě 98 °C, u níž dojde ke snížení teploty vlivem pasterizace na teplotu 90,5 °C. Mléko putuje přes 2. regenerační sekci do 1. sekce regenerační a následně do chladicí části pasterizační jednotky, kde je ochlazen nejprve v 1. chladicí sekci z teploty 25 °C na teplotu 15 °C, k chlazení se využívá studená voda o teplotě 8 °C ohřátá vlivem chlazení na teplotu 10 °C. V 2. chladicí sekci se mléko ochladí z teploty 15 °C na teplotu 4 °C. K chlazení se tentokrát využívá ledová voda o počáteční teplotě 1 °C, která opouští pasterizační jednotku při teplotě 8 °C. Podrobný popis pasterizační jednotky je uveden v kapitole 5.5.

Mléko poté putuje do vyrovnávací nádrže, odkud je odčerpáváno do odparky s klesajícím filmem, kde je jeho teplota zvýšena na hodnotu 70 °C a zároveň je teplota tohoto mléka po průchodu odpařovací části celého procesu zvýšena vlivem fyzikálně-chemické deprese na teplotu 71,23 °C. Podrobný postup výpočtu je uveden v kapitole 5.6.

Proud 1 vyjadřuje teplo potřebné pro ohřev vstupujícího mléka do pasterizační jednotky – resp. 1. regenerační sekce, proud číslo 2 teplo potřebné k ohřátí mléka vystupujícího z 1. regenerační sekce, proud číslo 3 reprezentuje teplo, které je nezbytné pro ohřev mléka na pasterizační teplotu, proud číslo 4 vyjadřuje teplo mléku odebrané v 2. regenerační sekci, následuje proud 5 reprezentující teplo mléku odebrané v 1. regenerační sekci pastéru. Proud číslo 6 je teplo odebrané během 1. chlazení, proud číslo 7 je teplo odebrané během 2. chlazení. Proud číslo 8 vyjadřuje teplo potřebné pro odpar vody ze zahušťovaného mléka, aby bylo dosaženo požadovaného obsahu sušiny, a to jest 15 %. Protože je mléko třeba zahřát na teplotu 70 °C, aby docházelo k odparu vody při stanoveném podtlaku 31 160 Pa, je toto teplo, které je nezbytné mléku dodat, vyjádřeno proudem číslo 9. Teplo potřebné k ochlazení mléka na teplotu hydrolýzy vyjadřuje proud číslo 10.

Hydrolýza je endotermická reakce, a tedy při ní dochází ke spotřebování tepla, snahou však je udržovat mléko neustále při stanovené teplotě hydrolýzy. Mléku je proto potřeba dodat toto

teplo odebrané hydrolýzou, aby nedocházelo k jeho nežádoucímu ochlazení. Teplo dodané vyjadřuje proud číslo 11. Následně je mléku teplo opět dodáno (viz proud číslo 12), aby došlo k jeho ohřevu na zakysávací teplotu. Proud číslo 13 reprezentuje teplo potřebné k ohřevu na teplotu zrání. Fermentace je na rozdíl od hydrolýzy reakce exotermická, při níž dochází k ohřevu média – v tomto případě mléka. Toto teplo dodané reakcí je třeba kompenzovat odpovídajícím množstvím tepla odebraného (viz proud 14). Proud 15 koresponduje s teplem odebraným jogurtu během fáze chlazení.

Tepla v proudech 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13 a 15 jsou spočítána dle kalorimetrické rovnice

$$Q = mc\Delta T, \quad (5)$$

kde

Q = teplo dodané/odebrané,

m = hmotnost média (viz kapitola 5.3),

c = měrná tepelná kapacita,

ΔT = rozdíl teplot.

Měrná tepelná kapacita je v případě proudu 1, 5, 6, 7 stanovena 3 900 J/kgK (viz [34]). Měrná tepelná kapacita mléka v proudu 2, 3, 9, 10, 12, 13, 15 je dopočítána dle vztahu (6) (viz [34]).

$$c = 3932 + 1,51t - (22,78 - 0,0624t)x_f, \quad (6)$$

kde

c = měrná tepelná kapacita,

t = teplota,

x_f = obsah tuku v mléce,

Teplota t je spočítána jako průměr vstupní a výstupní teploty média.

Množství tepla v proudu 4 je rovno množství v proudu číslo 2. Přesný výpočet množství tepla v proudu 8 je popsán v kapitole 5.6. Výpočet tepla v proudu 11 je stanoven dle [35] a teplo obsažené v proudu 14 je stanoveno dle [36].

V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé proudy s příslušnými hodnotami tepla. Znaménko mínus značí teplo odebrané, hodnoty bez znaménka pak vyjadřují teplo dodané.

Tabulka 6 Entalpická bilance – shrnutí

PROUD 1	1. regenerace (dodané teplo)	24338,71 kJ
PROUD 2	2. regenerace (dodané teplo)	15667,79 kJ
PROUD 3	pasterizace (dodané teplo)	9472,81 kJ
PROUD 4	2. regenerace (odebrané teplo)	-15667,79 kJ
PROUD 5	1. regenerace (odebrané teplo)	-24338,71 kJ
PROUD 6	1. chlazení (odebrané teplo)	-6084,68 kJ
PROUD 7	2. chlazení (odebrané teplo)	-6693,15 kJ
PROUD 8	odparka - teplo potřebné na odpar	121329,53 kJ
PROUD 9	odparka - teplo potřebné k ohřátí mléka	163910,69 kJ
PROUD 10	hydrolýza - ochlazení na požadovanou teplotu	-17146,22 kJ
PROUD 11	hydrolýza - endotermická reakce	6,79 kJ
PROUD 12	fermentace - ohřátí na teplotu zakysání	3305,91 kJ
PROUD 13	fermentace - ohřátí na teplotu zrání	1656,80 kJ
PROUD 14	fermentace - exotermická reakce	-1756,43 kJ
PROUD 15	fermentace - chlazení po fermentaci	-15227,57 kJ

5.5 Návrh pasterizační jednotky

Pro účely výroby jogurtů z hydrolyzovaného mléka je zapotřebí navrhnout pasterizační jednotku vyhovující požadovaným podmínkám, a tedy aby výsledným produktem bylo mléko pasterizované při adekvátní teplotě a po adekvátní dobu a aby došlo ke zcela zásadnímu procesu nezbytnému při výrobě jogurtů, a to jest denaturaci syrovátkových bílkovin.

Zároveň je třeba stanovit teplosměnnou plochu pasterizační jednotky, jež je nezbytná při výpočtu ceny zařízení – nezbytné součásti ekonomické studie projektu (viz kapitola 7.1). Výpočet pasterizační jednotky je proveden dle [37].

Hodnoty využívané při výpočtu teplosměnné plochy jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7 Pasterizační jednotka

VÝKON ZAŘÍZENÍ	156 kg/hod
<i>1. regenerace</i> vstupní teplota mléka (teplo dodané)	10 °C
<i>1. regenerace</i> výstupní teplota mléka (teplo dodané)	50 °C
c_p mléko (teplo dodané)	3900 J/kgK
<i>1. regenerace</i> vstupní teplota mléka (teplo odebrané)	65 °C
<i>1. regenerace</i> výstupní teplota mléka (teplo odebrané)	25 °C
c_p mléko (teplo odebrané)	3900 J/kgK
<i>2. regenerace</i> vstupní teplota mléka (teplo dodané)	50 °C
<i>2. regenerace</i> výstupní teplota mléka (teplo dodané)	75 °C
c_p mléko (teplo dodané)	4016,935 J/kgK
<i>2. regenerace</i> vstupní teplota mléka (teplo odebrané)	90 °C
<i>2. regenerace</i> výstupní teplota mléka (teplo odebrané)	65 °C
c_p mléko (teplo odebrané)	4016,935 J/kgK
<i>pasterizace</i> vstupní teplota mléka (teplo dodané)	75 °C
<i>pasterizace</i> výstupní teplota mléka (teplo dodané)	90 °C
c_p mléko (teplo dodané)	4047,759 J/kgK
<i>pasterizace</i> vstupní teplota horké vody (teplo odebrané)	98 °C
<i>pasterizace</i> výstupní teplota horké vody (teplo odebrané)	90,5 °C
<i>1. chlazení</i> vstupní teplota mléka (teplo odebrané)	25 °C
<i>1. chlazení</i> výstupní teplota mléka (teplo odebrané)	15 °C
c_p mléko (teplo odebrané)	3900 J/kgK
<i>1. chlazení</i> vstupní teplota studené vody (teplo dodané)	10 °C
<i>1. chlazení</i> výstupní teplota studené vody (teplo dodané)	12 °C
<i>2. chlazení</i> vstupní teplota mléka (teplo odebrané)	15 °C
<i>2. chlazení</i> výstupní teplota mléka (teplo odebrané)	4 °C
c_p mléko (teplo odebrané)	3900 J/kgK
<i>2. chlazení</i> vstupní teplota ledové vody (teplo dodané)	1 °C
<i>2. chlazení</i> výstupní teplota ledové vody (teplo dodané)	8 °C

Pastér se skládá z 5 sekcí – 1. regenerace, 2. regenerace, pasterizace, 1. chlazení a 2. chlazení.

Při výpočtu pasterizační jednotky je nezbytné spočítat nejprve simplex charakterizující podmínky podobnosti. V poměru těchto simplexů dělených součiniteli prostupu tepla budou jednotlivé teplosměnné plochy (viz rovnice (7)).

$$S_I : S_{II} : S_{III} : S_{IV} : S_V = \frac{S_I}{k_I} : \frac{S_{II}}{k_{II}} : \frac{S_{III}}{k_{III}} : \frac{S_{IV}}{k_{IV}} : \frac{S_V}{k_V}, \quad (7)$$

kde

- S_I = teplosměnná plocha 1. sekce,
- S_{II} = teplosměnná plocha 2. sekce,
- S_{III} = teplosměnná plocha 3. sekce,
- S_{IV} = teplosměnná plocha 4. sekce,
- S_V = teplosměnná plocha 5. sekce,
- s_I = simplex podobnosti 1. sekce,
- s_{II} = simplex podobnosti 2. sekce,
- s_{III} = simplex podobnosti 3. sekce,
- s_{IV} = simplex podobnosti 4. sekce,
- s_V = simplex podobnosti 5. sekce,
- k_I = součinitel prostupu tepla 1. sekce,
- k_{II} = součinitel prostupu tepla 2. sekce,
- k_{III} = součinitel prostupu tepla 3. sekce,
- k_{IV} = součinitel prostupu tepla 4. sekce,
- k_V = součinitel prostupu tepla 5. sekce.

K výpočtu simplexů podobnosti je třeba spočítat nejprve tzv. střední teplotní diferenci.

Střední teplotní diference 1. regenerační sekce se vypočítá dle vzorce (8).

$$\Delta T_I = T_3 - T_2, \quad (8)$$

kde

- ΔT_I = střední teplotní diference 1. sekce,
- T_3 = teplota mléka vystupujícího z 2. regenerační sekce,
- T_2 = teplota mléka vstupujícího do 2. regenerační sekce.

Střední teplotní diference 2. regenerační sekce se vypočítá dle vzorce (9).

$$\Delta T_{II} = T_4 - T_3, \quad (9)$$

kde

ΔT_{II} = střední teplotní diference 2. sekce,

T_4 = teplota pasterizace,

T_3 = teplota mléka vystupujícího z 2. regenerační sekce.

Střední teplotní diference pasterizační sekce se vypočítá dle vzorce (10).

$$\Delta T_{III} = \frac{(T_g^2 - T_3) - (T_g^1 - T_4)}{\ln \frac{(T_g^2 - T_3)}{(T_g^1 - T_4)}}, \quad (10)$$

kde

T_g^2 = výstupní teplota horké vody,

T_3 = teplota mléka vystupujícího z 2. regenerační sekce,

T_g^1 = vstupní teplota horké vody,

T_4 = teplota pasterizace.

Střední teplotní diference 1. sekce chlazení se vypočítá dle vzorce (11).

$$\Delta T_{IV} = \frac{(T_6 - T_v^2) - (T_7 - T_v^1)}{\ln \frac{(T_6 - T_v^2)}{(T_7 - T_v^1)}}, \quad (11)$$

kde

T_6 = teplota mléka vstupujícího do 1. sekce chlazení,

T_v^2 = výstupní teplota studené vody,

T_7 = teplota mléka vystupujícího z 1. sekce chlazení,

T_v^1 = vstupní teplota studené vody.

Střední teplotní diference 2. sekce chlazení se vypočítá dle vzorce (12).

$$\Delta T_V = \frac{(T_7 - T_l^2) - (T_8 - T_l^1)}{\ln \frac{(T_7 - T_l^2)}{(T_8 - T_l^1)}}, \quad (12)$$

kde

- T_7 = teplota mléka vstupujícího do 2. sekce chlazení,
 T_l^2 = výstupní teplota ledové vody,
 T_8 = teplota mléka vystupujícího z 2. sekce chlazení,
 T_l^1 = vstupní teplota ledové vody.

Simplex podobnosti pak reprezentuje vzorec číslo (13).

$$S = \frac{T_{VÝSTUP} - T_{VSTUP}}{\Delta T}, \quad (13)$$

kde

- $T_{VÝSTUP}$ = teplota na výstupu,
 T_{VSTUP} = teplota na vstupu,
 ΔT = střední teplotní diference.

Nejprve je nezbytné součinitele prostupu tepla pro jednotlivé sekce zvolit (viz tabulka 8).

Tabulka 8 Zvolené hodnoty součinitelů prostupu tepla

k_I	2 500	W/m ² K
k_{II}	2 500	W/m ² K
k_{III}	3 200	W/m ² K
k_{IV}	2 100	W/m ² K
k_V	2 100	W/m ² K

Kontrola součinitelů prostupu tepla je stanovena dle vztahu (14).

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_m} + \sum_1^i \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{m,v,l,g}}}, \quad (14)$$

kde

- α_m = součinitel přestupu tepla 1. proudu,
 δ = tloušťka desky,
 λ = tepelná vodivost desky,
 $\alpha_{m,v,l,g}$ = součinitel přestupu tepla 2. proudu.

K výpočtu je nezbytné znát rozdělení celkového teplotního spádu na jednotlivé sekce. Toto rozdělení, se předpokládá, bude ve stejném poměru jako teplosměnné plochy (viz rovnice (7)),

kde

$$P_I = \frac{S_I}{k_I} = A, \quad (15)$$

$$P_{II} = \frac{S_{II}}{k_{II}} = B, \quad (16)$$

$$P_{III} = \frac{S_{III}}{k_{III}} = C, \quad (17)$$

$$P_{IV} = \frac{S_{IV}}{k_{IV}} = D \quad (18)$$

a

$$P_V = \frac{S_V}{k_V} = E. \quad (19)$$

Nejmenší hodnota získaná dosazením příslušných veličin do vzorců (15), (16), (17), (18) a (19) je položena rovna jedné, následně je třeba zjistit, jakým koeficientem byla tato hodnota přenásobena, aby nabyla jedné, tímto koeficientem jsou přenásobeny veškeré hodnoty P_I , P_{II} , P_{III} , P_{IV} a P_V .

Celkový tlakový spád pak bude rozdělen dle rovnice (20).

$$2P_I : 2P_{II} : P_{III} : P_{IV} : P_V = (P - P_Z), \quad (20)$$

kde

P_I = tlakový spád v 1. regenerační sekci,

P_{II} = tlakový spád v 2. regenerační sekci,

P_{III} = tlakový spád v pasterizační sekci,

P_{IV} = tlakový spád v 1. chladicí sekci,

P_V = tlakový spád v 2. chladicí sekci,

P = celkový tlakový spád,

P_z = tlakové ztráty.

V tomto případě jsou délky spojovacích částí potrubí malé, a proto je hodnota tlakové ztráty rovna 50 000 Pa.

K výpočtu tlakových ztrát v jednotlivých sekcích je třeba získat koeficient P_L , který lze dopočítat aplikací vzorce (21).

$$P_L = \frac{2P_I + 2P_{II} + P_{III} + P_{IV} + P_V}{(P - P_z)} \quad (21)$$

Tlakový spád v 1. regenerační sekci vyjadřuje rovnice (22).

$$P_I = 2AP_L \quad (22)$$

Tlakový spád v 2. regenerační sekci vyjadřuje rovnice (23).

$$P_{II} = 2BP_L \quad (23)$$

Tlakový spád v pasterizační sekci vyjadřuje rovnice (24).

$$P_{III} = CP_L \quad (24)$$

Tlakový spád v 1. chladicí sekci vyjadřuje rovnice (25).

$$P_{IV} = DP_L \quad (25)$$

Tlakový spád v 2. chladicí sekci vyjadřuje rovnice (26).

$$P_V = EP_L \quad (26)$$

Dalším stěžejním bodem je dopočet průtočných rychlostí, který je definován vztahem (27).

$$\bar{u}_i = \left(\frac{4k_i P_i l}{\rho^2 c_m s_i h \xi} \right)^{1/3}, \quad (27)$$

kde

k_i = zvolený součinitel prostupu tepla v dané sekci,

P_i = tlakový spád v dané sekci,

l = pracovní výška zvolené deky,

ρ = hustota proudícího média,

- c_m = měrné teplo mléka,
 s_i = simplex podobnosti dané sekce,
 h = vzdálenost mezi deskami,
 ξ = součinitel místních ztrát.

Z průtočných rychlostí v jednotlivých částech pastéru je dopočítána střední průtočná rychlost \bar{u} – jako průměr dílčích rychlostí (viz rovnice (28)).

$$\bar{u} = \frac{\bar{u}_I + \bar{u}_{II} + \bar{u}_{III} + \bar{u}_{IV} + \bar{u}_V}{5} \quad (28)$$

Se znalostí střední rychlosti lze dopočítat počet kanálů v jednom tahu (viz rovnice (29)).

$$m = \frac{\dot{V}}{bh\bar{u}}, \quad (29)$$

kde

- \dot{V} = objemový průtok,
 b = pracovní šířka desky,
 h = vzdálenost mezi deskami.

Počet kanálů je nezbytnou veličinou pro výpočet skutečné rychlosti mléka, které proudí pasterizační jednotkou (viz rovnice (30))

$$\bar{u}_m = \bar{u} \frac{m_{VYP}}{m_z}, \quad (30)$$

kde

- \bar{u}_m = skutečná rychlost mléka,
 \bar{u} = střední průtočná rychlost,
 m_{VYP} = vypočítaný počet kanálů,
 m_z = zvolený počet kanálů.

Pro každou složku je dopočítáno Reynoldsovo číslo dle vztahu (31).

$$Re = \frac{u_i D_{ek}}{\nu}, \quad (31)$$

kde

- Re = Reynoldsovo číslo,

- u_i = rychlost mléka v příslušné sekci,
 l = pracovní výška zvolené deky,
 ν = kinematická viskozita mléka.

Součinitel přestupu tepla definuje rovnice

$$\alpha = 0,1 \frac{\lambda}{D_{ek}} Re^{0,7} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25}, \quad (32)$$

kde

- λ = tepelná vodivost média,
 D_{ek} = ekvivalentní průměr desky,
 Re = Reynoldsovo číslo,
 Pr = Prandtlovo číslo,
 $\left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25}$ = velikost neizotermního faktoru.

Výsledná teplosměnná plocha je dopočítána jako součet teplosměnných ploch jednotlivých sekcí pasterizační jednotky. Teplosměnná plocha sekce viz rovnice (33).

$$S_i = \frac{\dot{M} c_m s_i}{k_i}, \quad (33)$$

kde

- S_i = teplosměnná plocha sekce,
 \dot{M} = hmotnostní průtok,
 c_m = měrná tepelná kapacita mléka,
 s_i = simplex podobnosti,
 k_i = součinitel prostupu tepla.

Výsledná teplosměnná plocha je dána vztahem (34).

$$S = \sum S_i \quad (34)$$

5.6 Návrh odparky

Pro stanovení entalpie a zároveň tepla potřebného k provozu odparky a k odhadu finální ceny jsou nezbytné následující výpočty požadovaných hodnot. Tepelné ztráty jsou uvažovány 1 %.

Množství tepla potřebného k odpaření vody z mléka vyjadřuje rovnice (35).

$$Q = \dot{M}_V \cdot l_v, \quad (35)$$

kde

Q = potřebné teplo,

\dot{M}_V = množství odpařené vody,

l_v = výparné teplo vody v mléce.

Množství vody, které se odpaří, vyjadřuje rovnice (36).

$$\dot{M}_V = \dot{M}_{m0} \cdot \left(1 - \frac{x_0}{x_1}\right), \quad (36)$$

kde

\dot{M}_V = množství odpařené vody,

\dot{M}_{m0} = původní množství mléka,

x_0 = obsah sušiny v mléce před zahuštěním,

x_1 = obsah sušiny v zahuštěném mléce.

Spotřeba páry se spočítá dle vztahu (37).

$$\dot{M}_P = \frac{Q}{l_p}, \quad (37)$$

kde

\dot{M}_P = potřebné množství páry,

Q = množství tepla potřebného k odparu,

l_p = výparné teplo páry.

Výpočet teplosměnné plochy je dán následující rovnicí

$$A = \frac{Q}{k(T_P - T_{VYS})}, \quad (38)$$

kde

- A = velikost teplosměnné plochy,
 Q = množství tepla potřebného k odparu,
 k = součinitel prostupu tepla,
 T_P = teplota topné páry,
 T_{VYS} = výstupní teplota mléka.

Součinitel prostupu tepla je uvažován $1\,900\text{ W/m}^2\text{K}$ [38].

5.7 Funkční popis výrobní linky

PFD schéma je součástí přílohy (P1). Výrobní linka se skládá z 5 částí. První je část natučňovací, následuje část pasterizační, část zahušťovací, hydrolyzační a fermentační část a finální je část balicí a paletizační. V první části dojde ke standardizaci mléka na požadovanou tučnost, děje se tak v tanku B-110, který je opatřen míchadlem. Natučněné mléko je pak čerpadlem P-111 přečerpáno do pasterizační jednotky W-210 – resp. pasterizační části celé výrobní linky.

Před samotnou pasterizací ještě dojde k homogenizaci mléka v homogenizátoru A-211. Do pasterizační jednotky vstupuje horká voda z kotelny nezbytná pro samotný proces pasterizace a po ochlazení mlékem se vrací zpět. Chlazení mléka v 1. chladicí sekci pasterizační jednotky zajišťuje studená voda, která je skladována v tanku B-220. Ochlazení vody na požadovanou teplotu zajišťuje chladicí agregát A-222. Dopravu vody do pasterizační jednotky obstarává čerpadlo P-221. Chlazení mléka v 2. pasterizační sekci pasterizační jednotky zajišťuje voda ledová, která je skladována v tanku B-230. Ochlazení vody na požadovanou teplotu zajišťuje chladicí agregát A-232. Dopravu vody do pasterizační jednotky zajišťuje čerpadlo P-231. Pasterizované mléko je pak pomocným čerpadlem P-212 přečerpáno do vyrovnávací nádrže B-240.

Z pasterizační části a vyrovnávací nádrže je mléko dopraveno čerpadlem P-241 do odparky s klesajícím filmem A-310. Na výstup inertů odparky je napojena vývěva V-311, která zajišťuje potřebný podtlak v odparce. Podtlak v brýdovém prostoru je vytvářen vývěvou V-312. Voda nezbytná pro vyvíječ páry D-315 je skladována v tanku B-320. Topná pára ještě na cestě do odparky projde přes expanzní ventil V-314. Kondenzát je z odparky odváděn čerpadlem P-321. Zahuštěné mléko je čerpadlem P-313 dopraveno do multifunkčního tříplášťového izolovaného tanku B-410, a tedy do hydrolyzační a fermentační části. Chlazení tanku zajišťuje mobilní chladič mléka A-411.

Výsledný jogurt je čerpadlem A-412 přiveden do poslední části celé výrobní linky, ve které probíhá plnění jogurtu do papírových kelímků s víčkem a etiketou. Celý proces zajišťují plnička A-510, zátkovačka A-520 a etiketovačka A-530.

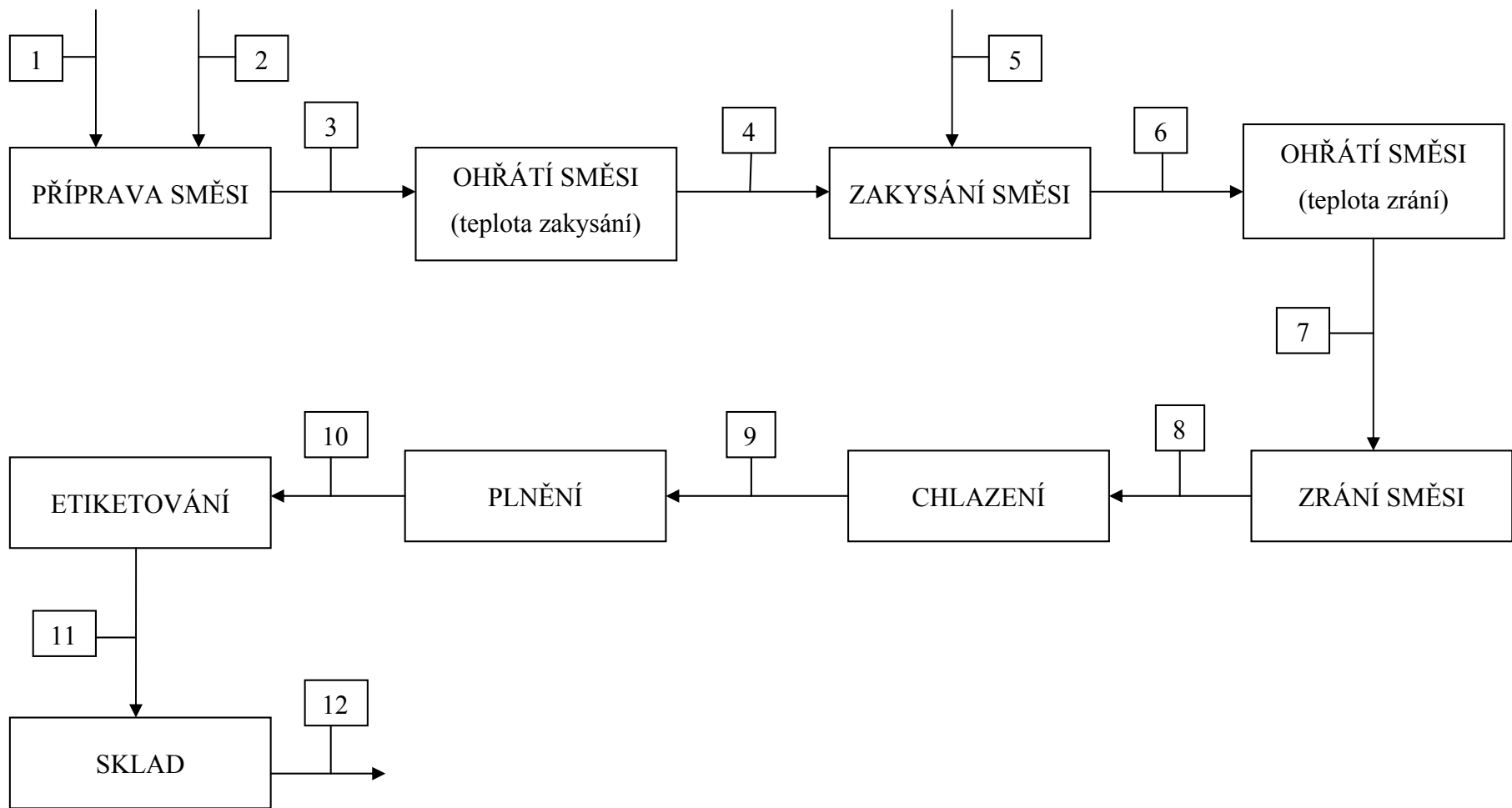
6 JOGURTY Z KOKOSOVÉHO MLÉKA

6.1 Základní informace

6.2 Popis procesu výroby, blokové schéma

Proces výroby kokosového bezlaktózového jogurtu se skládá z přípravy směsi – dochází ke smíchání kokosového mléka s tapiakovým škrobem, který zajistí výslednou hustotu jogurtu. Takto vytvořená směs se ohřeje na teplotu zakysání (38 °C), přidají se jogurtové/probiotické kultury, naočkovaná směs se ohřeje na 42 °C a při této teplotě zraje po dobu 10 hodin. Uzárlá směs se pak ochladí na teplotu 5 °C. Následuje plnění do papírových kelímků o objemu 0,215 l.

Na obrázku 8 je znázorněno blokové schéma výroby s jednotlivými proudy, jejichž podrobný popis je součástí kapitoly 6.3.



Obrázek 8 Jogurty z kokosového mléka – blokové schéma

6.3 Bilance – hmotnostní a entalpická

Hmotnostní bilance výroby je shrnuta v tabulce 9. Jednotlivé proudy korespondují s proudy uvedenými na obrázku 8.

Tabulka 9 Jogurty z kokosového mléka – hmotnostní bilance

PROUD 1	kokosové mléko	150 kg/várka
PROUD 2	tapiokový škrob	16,8 kg/várka
PROUD 3	připravená směs (kokosové mléko + škrob)	166,8 kg/várka
PROUD 4	ohřátá směs - teplota zakysání	166,8 kg/várka
PROUD 5	probiotické kultury	0 kg/várka
PROUD 6	zakysaná směs	166,8 kg/várka
PROUD 7	ohřátá směs - teplota zrání	166,8 kg/várka
PROUD 8	směs po uzrání	166,8 kg/várka
PROUD 9	jogurt po chlazení	166,8 kg/várka
PROUD 10	množství jogurtu - plnění	166,8 kg/várka
PROUD 11	množství jogurtu - etiketování	166,8 kg/várka
PROUD 12	množství jogurtu - sklad	166,8 kg/várka

Veškeré děje jsou uvažovány jako izobarické, a tedy výsledná entalpie je rovna teplu. Teplu je dopočítáno dle kalorimetrické rovnice (viz kapitola 5.4). Entalpická bilance je součástí tabulky 10.

Tabulka 10 Jogurty z kokosového mléka – entalpická bilance

teplo potřebné k ohřátí na teplotu zakysání	22 018 kJ
teplo potřebné k ohřátí na teplotu zrání	2 669 kJ
teplo potřebné k ochlazení směsi	-24 686 kJ

6.4 Funkční popis výrobní linky

PFD schéma je součástí přílohy (P2). Celá technologie je rozdělena do 2 částí. V první části dochází k výrobě samotného bezlaktóзовého kokosového jogurtu. Součástí je multifunkční tříplášťový izolovaný tank B-110, který je chlazen agregátem A-111. Výsledný produkt je pak čerpadlem P-112 hnán do dalších částí technologie, kde jsou umístěny plnička A-210, zátkovačka A-220 a etiketovačka A-230. Takto zabalený a oetiketovaný produkt putuje do skladu, kde je uchováván před jeho distribucí.

7 EKONOMICKÁ STUDIE

7.1 Jogurty z hydrolyzovaného mléka

Roční produkce jogurtu činí 27 043 kg/rok (resp. 520 kg za týden). Výrobna ročně vyrobí 122 200 jogurtů.

7.1.1 Ceny a množství vstupních surovin včetně ceny energií

Ceny pro jednotlivé suroviny jsou velkoobchodní (viz tabulka 11). Předpokládá se velký a trvalý odběr.

Tabulka 11 Jogurty z hydrolyzovaného mléka – ceny jednotlivých vstupních surovin a energií

odstředěné mléko	6	Kč/kg	[39]
40% smetana	6	Kč/kg	[39]
enzym	1 000	Kč/kg	[8]
probiotické/jogurtové kultury	256	Kč/balení	[40]
papírový kelímek s víčkem (0,215 l)	2	Kč/kus	[41]
etikety (1 kotouč = 1 000 etiket)	56	Kč/kotouč	[42]
elektřina	2,20	Kč/kWh	[41]
CIP - chemikálie	216	Kč/várka	[41]
náklady na teplo z kotelny	1,44	Kč/kWh	[41]

7.1.2 Cena a množství produktu

Produktem je bezlaktózový jogurt z hydrolyzovaného mléka o objemu 0,215 l, jehož prodejní cena je 28 Kč/kus.

7.1.3 Fixní kapitálové investice

Výše investice je 4 998 793 Kč. Krytí projektu zároveň zajišťuje úvěr v hodnotě 3 mil. Kč, jehož doba úročení je 5 let a úroková sazba 8,5 %. Shrnutí veškerých investic je uvedeno v tabulkách 12 a 13. Ceny jsou stanoveny dle [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53] a [41].

Cena pasterizační jednotky a odparky s klesajícím filmem je stanovena na základě znalosti teplosměnné plochy zařízení (viz kapitoly 5.5 a 5.6) a ceny za 1 m² této teplosměnné plochy [41].

Tabulka 12 Jogurty z hydrolyzovaného mléka – fixní kapitálové investice

POLOŽKA	POČET KUSŮ	CENA [Kč]
Multifunkční tříplášťový izolovaný tank	1	68 000
Mobilní chladič mléka	1	39 800
Pasterizační jednotka	1	1 500 000
Homogenizátor mléka	1	400 000
Odparka s klesajícím filmem	1	750 000
Nerezová nádrž (nádrž na mléko)	1	9 150
Nerezová nádrž (nádrž na ledovou vodu)	1	25 000
Nerezová nádrž (nádrž na studenou vodu)	1	37 600
Průtokový chladič ponorný - chladicí šnek	2	6 400
Chladicí agregát DH100	2	64 000
Nerezová nádrž (voda na topnou páru)	1	25 000
Vyvíječ páry	1	150 000
Vývěva	2	20 000
Čerpadlo – jogurt	1	10 000
Čerpadlo – mléko	4	24 160
Čerpadlo – voda	3	8 370
Plnička potravin	1	157 940
Zátkovačka na kelímky	1	210 900
Automatická etiketovačka na lahve, dózy a válcové obaly	1	50 000
Manipulační technika	1	250 000
Elektroinstalace, instalace potrubních rozvodů, uvedení do provozu	1	500 000
CELKEM TECHNOLOGIE		4 306 320

Tabulka 13 Jogurty z hydrolyzovaného mléka – fixní kapitálové investice celkem

POLOŽKA	POČET KUSŮ	CENA [Kč]
Technologie		4 306 320
Projekční a inženýrská činnost		454 435
Projektová rezerva		238 037
CELKEM FIXNÍ KAPITÁLOVÉ INVESTICE		4 998 793

7.1.4 Oběžné kapitálové investice

Oběžné kapitálové investice jsou rovny přímým provozním nákladům za týden a činí 40 107 Kč.

7.1.5 Provozní náklady

Provozní náklady jsou přímo spojené s výrobou po dobu životnosti a jsou rozděleny na přímé, nepřímé a distribuční. Do přímých provozních nákladů patří suroviny, energie, osobní náklady, dozor obsluhy, náklady na údržbu, spotřební materiál a rezerva. Do nepřímých provozních nákladů patří pojištění a podíl na podnikové režii. Hodnota pojištění byla stanovena jako 0,5 % z fixní kapitálové investice a hodnota režie jako 15 % z nákladů na obsluhu a dozor a 50 % nákladů na údržbu. Distribuční náklady jsou spočítány jako 2 % z příjmů z prodeje jogurtů. Je uvažována 19% daň z příjmu. Diskontní sazba je 8 %.

Tabulka 14 Jogurty z hydrolyzovaného mléka – provozní náklady

PROVOZNÍ NÁKLADY BEZ ODPISŮ A DANĚ	2 355 664 Kč/rok
přímé provozní náklady	2 085 575 Kč/rok
suroviny	576 860 Kč/rok
energie	213 092 Kč/rok
osobní náklady	1 157 760 Kč/rok
dozor obsluhy = mistři	0 Kč/rok
náklady na údržbu	39 990 Kč/rok
spotřební materiál	56 160 Kč/rok
rezerva	41 711 Kč/rok
nepřímé provozní náklady	201 657 Kč/rok
pojištění	24 994 Kč/rok
podíl na podnikové režii	176 663 Kč/rok
distribuční náklady	68 432 Kč/rok
transport a distribuce	68 432 Kč/rok

Suroviny zahrnují odstředěné mléko, 40% smetanu, enzym, probiotické/jogurtové kultury, papírové kelímky s víčkem (0,215 l) a etikety. Roční náklady na jednotlivé suroviny jsou uvedeny v tabulce 15.

Tabulka 15 Jogurty z hydrolyzovaného mléka – roční náklady na suroviny

odstředěné mléko	240 646 Kč/rok
40% smetana	2 742 Kč/rok
enzym	13 000 Kč/rok
probiotické/jogurtové kultury	69 230 Kč/rok
papírový kelímek s víčkem (0,215 l)	244 400 Kč/rok
etikety	6 843 Kč/rok

Celková spotřeba energie pro provoz výroby se skládá z energie potřebné na ohřev vody nutné k pasterizaci mléka (zdroj energie zemní plyn, účinnost 87 % [41], ztráty v rozvodech 10 % [41]), chlazení studené vody, k jejímuž ohřevu dojde vlivem chlazení mléka v 1. chladicí sekci pasterizační jednotky (chladicí faktor 2,7 [41], ztráty v rozvodech 10 % [41]), chlazení ledové vody, k jejímuž ohřevu dojde vlivem chlazení mléka v 2. chladicí sekci pasterizační jednotky (chladicí faktor 2,7 [41], ztráty v rozvodech 10 % [41]). Spotřeba energie zahrnuje teplo potřebné pro chod odpary (zdroj energie zemní plyn, účinnost 87 %, ztráty v rozvodech 10 %), ochlazení směsi na teplotu hydrolýzy (chladicí faktor 2,7), ohřátí směsi na teplotu zakysání a teplotu zrání (zdroj energie elektřina, účinnost 95 % [41]) a následné chlazení jogurtu (chladicí faktor 2,7). Součástí je také teplo, které je potřeba mléku dodávat během hydrolýzy – endotermická reakce (zdroj energie elektřina, účinnost 95 %), a také teplo nutné k chlazení směsi při samotné fermentaci – exotermická reakce (chladicí faktor 2,7). Dílčí výpočty tepla potřebného pro jednotlivé operace jsou součástí kapitoly 5.4. Do ceny energií je zahrnuta i cena energie potřebné pro chod čerpadel a vývěv.

Osobní náklady zahrnují platy pro zaměstnance výroby (4 zaměstnanci) + odvody zaměstnavatele na sociální (25 %) a zdravotní pojištění (9 %). Jako spotřební materiál jsou uvažovány chemikálie k sanitaci zařízení. Rezerva je dopočítána jako 2 % z přímých provozních nákladů.

7.1.6 Financování projektu

Investorem je stávající majitel výroby. Zároveň je projekt financován úvěrem ve výši 3 mil. Kč. Doba úročení je 5 let a úroková sazba 8,5 %.

7.1.7 Odpisy

Stroje a zařízení patří do 2. odpisové skupiny s odpisovou dobou 5 let. Odpisy v prvním roce tvoří 11 % a odpisy v dalších letech jsou 22 %. Vstupní cena pro výpočet odpisů je 4 306 320 Kč. Výše odpisů v jednotlivých letech jsou shrnuty v tabulce 16.

Tabulka 16 Jogurty z hydrolyzovaného mléka - odpisy

odpisy v 1. roce	473 695 Kč/rok
odpisy v roce 2 až 5	958 156 Kč/rok

7.1.8 Toky hotovosti

Toky hotovosti jsou součástí přílohy (P3).

7.1.9 Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti je 5 let (viz obrázek 9).

7.1.10 Diskontovaná míra návratnosti

Diskontovaná míra návratnosti je 7 let (viz obrázek 10).

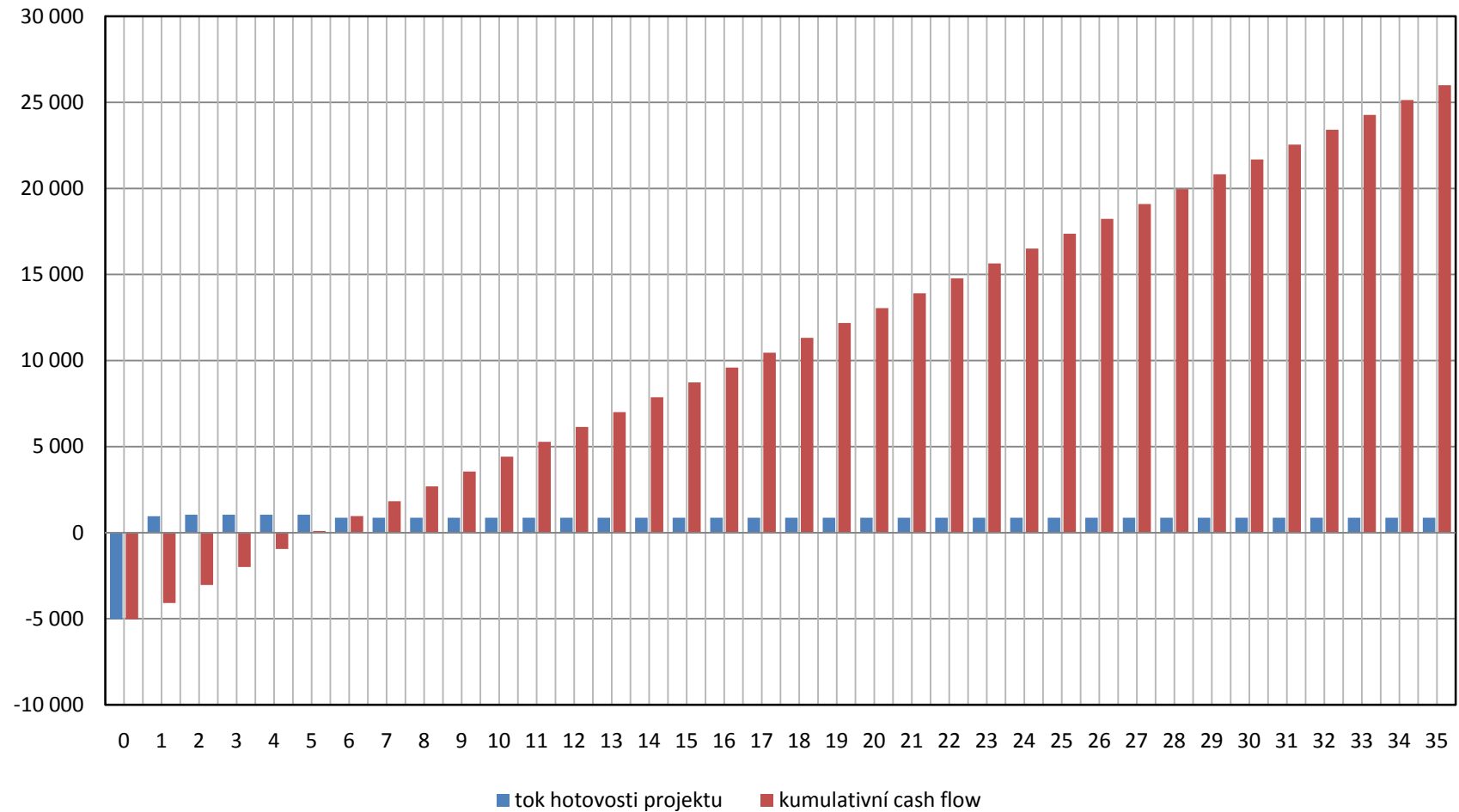
7.1.11 Shrnutí ekonomické studie

Shrnutí ekonomické studie je součástí tabulky 17.

Tabulka 17 Jogurty z hydrolyzovaného mléka – shrnutí ekonomické studie

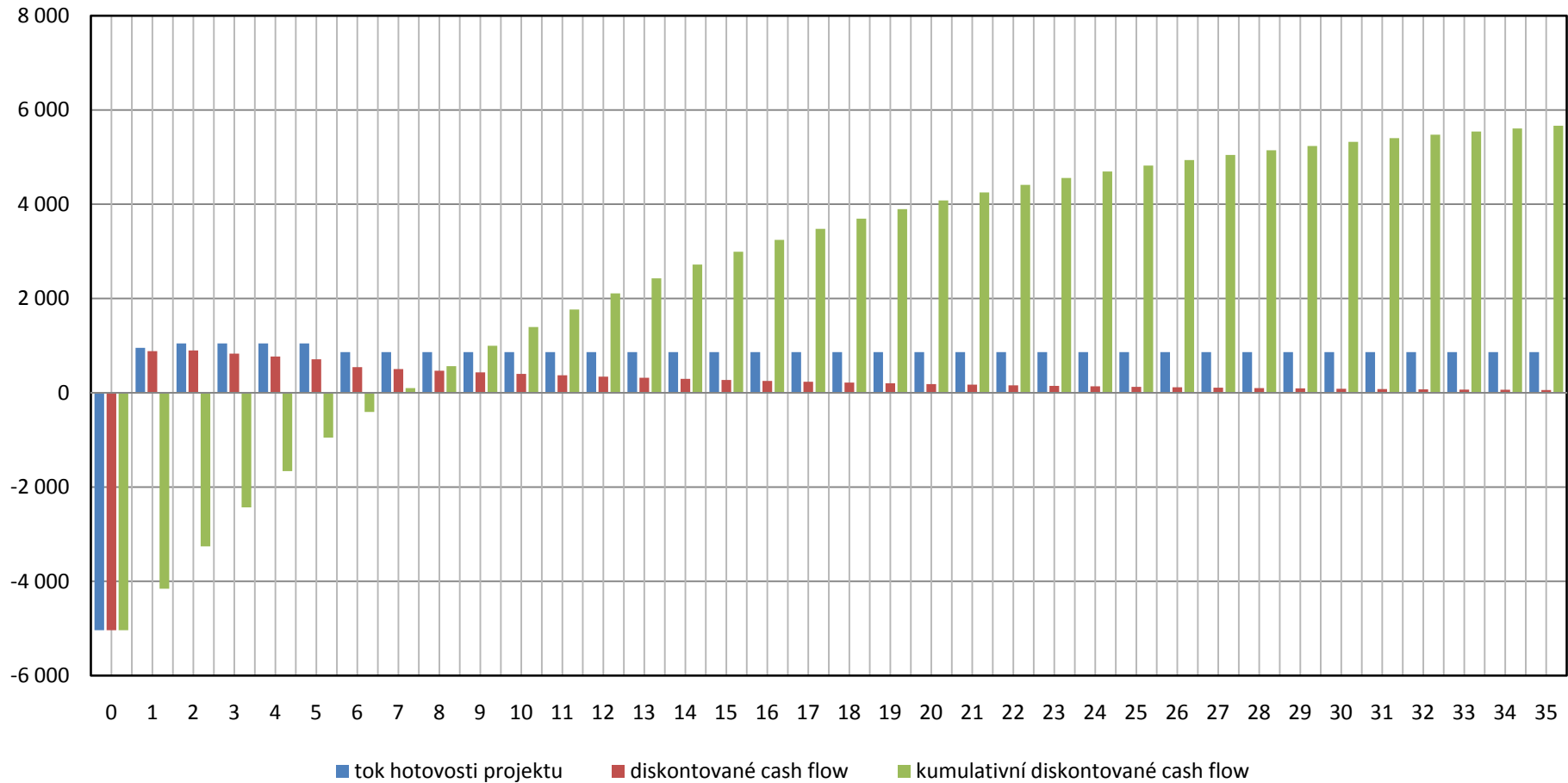
doba životnosti projektu	35 let
diskontní sazba	8 %
investice	5 038 901 Kč
PDN (prostá doba návratnosti)	5,47 let
NPV (čistá současná hodnota)	5 665 391 Kč
IRR - vnitřní výnosové procento	18,90 %
IRR - vnitřní výnosové procento vlastních zdrojů	23,89 %

Prostá doba návratnosti



Obrázek 9 Jogurty z hydrolyzovaného mléka – prostá doba návratnosti

Diskontovaná míra návratnosti



Obrázek 10 Jogurty z hydrolyzovaného mléka – diskontovaná míra návratnosti

7.2 Jogurty z kokosového mléka

Roční produkce jogurtu činí 43 368 kg/rok (resp. 834 kg za týden). Výrobna ročně vyrobí 182 000 jogurtů.

7.2.1 Ceny a množství vstupních surovin včetně ceny energií

Ceny pro jednotlivé suroviny jsou velkoobchodní (viz tabulka 18). Předpokládá se velký a trvalý odběr.

Tabulka 18 Jogurty z kokosového mléka – ceny jednotlivých vstupních surovin a energií

kokosové mléko	76	Kč/l	[41]
tapiokový škrob	73	Kč/kg	[41]
probiotické/jogurtové kultury	256	Kč/balení	[40]
papírový kelímek s víčkem (0,215 l)	2	Kč/kus	[41]
etikety (kotouč etiket - 1000 ks)	56	Kč/kotouč	[42]
elektřina	2,20	Kč/kWh	[41]
CIP - chemikálie	216	Kč/várka	[41]

7.2.2 Cena a množství produktu

Produkem je rostlinný jogurt z kokosového mléka, jehož prodejní cena je 31 Kč/kus (0,215 l).

7.2.3 Fixní kapitálové investice

Výše investice je 1 087 255 Kč. Krytí projektu zároveň zajišťuje úvěr v hodnotě 1 mil. Kč, jehož doba úročení je 5 let a úroková sazba 8,5 %. Shrnutí veškerých investic je uvedeno v tabulkách 19 a 20. Ceny jednotlivých zařízení jsou stanoveny dle [43], [46], [48], [51], [52], [53] a [41].

Tabulka 19 Jogurty z kokosového mléka – fixní kapitálové investice

POLOŽKA	POČET KUSŮ	CENA [Kč]
Multifunkční tříplášťový izolovaný tank	1	68 000
Mobilní chladič mléka	1	39 800
Čerpadlo – jogurt	1	10 000
Plnička potravin	1	157 940
Zátkovačka na kelímky	1	210 900
Automatická etiketovačka na lahve, dózy a válcové obaly	1	50 000
Manipulační technika	1	150 000
Elektroinstalace, instalace potrubních rozvodů, uvedení do provozu	1	250 000
CELKEM TECHNOLOGIE		936 640

Tabulka 20 Jogurty z kokosového mléka – fixní kapitálové investice celkem

POLOŽKA	POČET KUSŮ	CENA [Kč]
Technologie		936 640
Projekční a inženýrská činnost		98 841
Projektová rezerva		51 774
CELKEM FIXNÍ KAPITÁLOVÉ INVESTICE		1 087 255

7.2.4 Oběžné kapitálové investice

Oběžné kapitálové investice jsou rovny přímým provozním nákladům za týden a činí 97 835 Kč.

7.2.5 Provozní náklady

Provozní náklady jsou přímo spojené s výrobou po dobu životnosti a jsou rozděleny na přímé, nepřímé a distribuční. Do přímých provozních nákladů patří suroviny, energie, osobní náklady, dozor obsluhy, náklady na údržbu, spotřební materiál a rezerva. Do nepřímých provozních nákladů patří pojištění a podíl na podnikové režii. Hodnota pojištění byla stanovena jako 0,5 % z fixní kapitálové investice a hodnota režie jako 15 % z nákladů na obsluhu a dozor a 50 % nákladů na údržbu. Distribuční náklady jsou spočítány jako 2 % z příjmů z prodeje jogurtů. Je uvažována 19% daň z příjmu. Diskontní sazba je 8 %.

Tabulka 21 Jogurty z kokosového mléka – provozní náklady

PROVOZNÍ NÁKLADY BEZ ODPISŮ A DANĚ	5 380 009 Kč/rok
přímé provozní náklady	5 087 416 Kč/rok
suroviny	3 756 896 Kč/rok
energie	6 154 Kč/rok
osobní náklady	1 157 760 Kč/rok
dozor obsluhy = mistři	0,00 Kč/rok
náklady na údržbu	8 698 Kč/rok
spotřební materiál	56 160 Kč/rok
rezerva	101 748 Kč/rok
nepřímé provoní náklady	179 753 Kč/rok
pojištění	5 436 Kč/rok
podíl na podnikové režii	174 316 Kč/rok
distribuční náklady	112 840 Kč/rok
transport a distribuce	112 840 Kč/rok

Suroviny zahrnují kokosové mléko, tapiokový škrob, probiotické/jogurtové kultury, papírové kelímky s víčkem (0,215 l) a etikety. Roční náklady na jednotlivé suroviny jsou uvedeny v tabulce 22.

Tabulka 22 Jogurty z kokosového mléka – roční náklady na suroviny

kokosové mléko	2 964 000 Kč/rok
tapiokový škrob	318 864 Kč/rok
probiotické/jogurtové kultury	99 840 Kč/rok
papírový kelímek s víčkem (0,215 l)	364 000 Kč/rok
etikety	10 192 Kč/rok

Celková spotřeba energie pro provoz výroby se skládá z energie potřebné na ohřátí směsi na tzv. očkovací teplotu (zdroj energie elektřina, účinnost 95 %), ohřátí směsi (zdroj energie elektřina, účinnost 95 %) na teplotu zrání, ochlazení směsi (jogurtu) po dozrání (chladičí faktor 2,7) a energie potřebné pro chod čerpadla.

Osobní náklady zahrnují platy pro zaměstnance výroby (4 zaměstnanci) + odvody zaměstnavatele na sociální (25 %) a zdravotní pojištění (9 %). Jako spotřební materiál jsou uvažovány chemikálie k sanitaci zařízení. Rezerva je dopočítána jako 2 % z přímých provozních nákladů.

7.2.6 Financování projektu

Investorem je stávající majitel výroby. Zároveň je projekt financován úvěrem ve výši 1 mil. Kč. Doba úročení je 5 let a úroková sazba 8,5 %.

7.2.7 Odpisy

Stroje a zařízení patří do 2. odpisové skupiny s odpisovou dobou 5 let. Odpisy v prvním roce tvoří 11 % a odpisy v dalších letech jsou 22 %. Vstupní cena pro výpočet odpisů je 936 640 Kč. Výše odpisů v jednotlivých letech jsou shrnuty v tabulce 23.

Tabulka 23 Jogurty z kokosového mléka - odpisy

odpisy v 1. roce	103 030 Kč/rok
odpisy v roce 2 až 5	208 402 Kč/rok

7.2.8 Toky hotovosti

Toky hotovosti jsou součástí přílohy (P4).

7.2.9 Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti je 5 let (viz obrázek 11).

7.2.10 Diskontovaná míra návratnosti

Diskontovaná míra návratnosti je 7 let (viz obrázek 12).

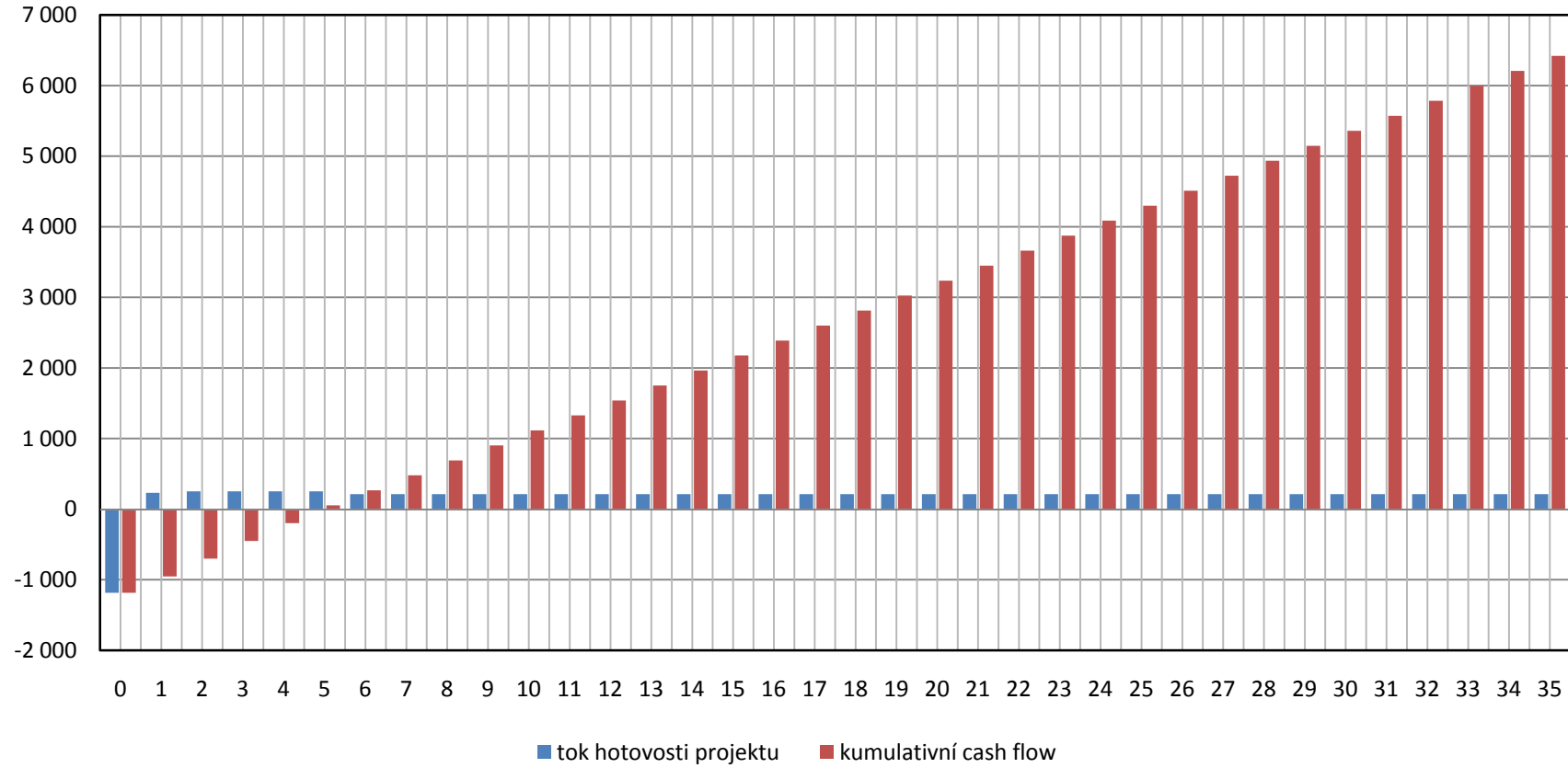
7.2.11 Shrnutí ekonomické studie

Shrnutí ekonomické studie je součástí tabulky 24

Tabulka 24 Jogurty z kokosového mléka – shrnutí ekonomické studie

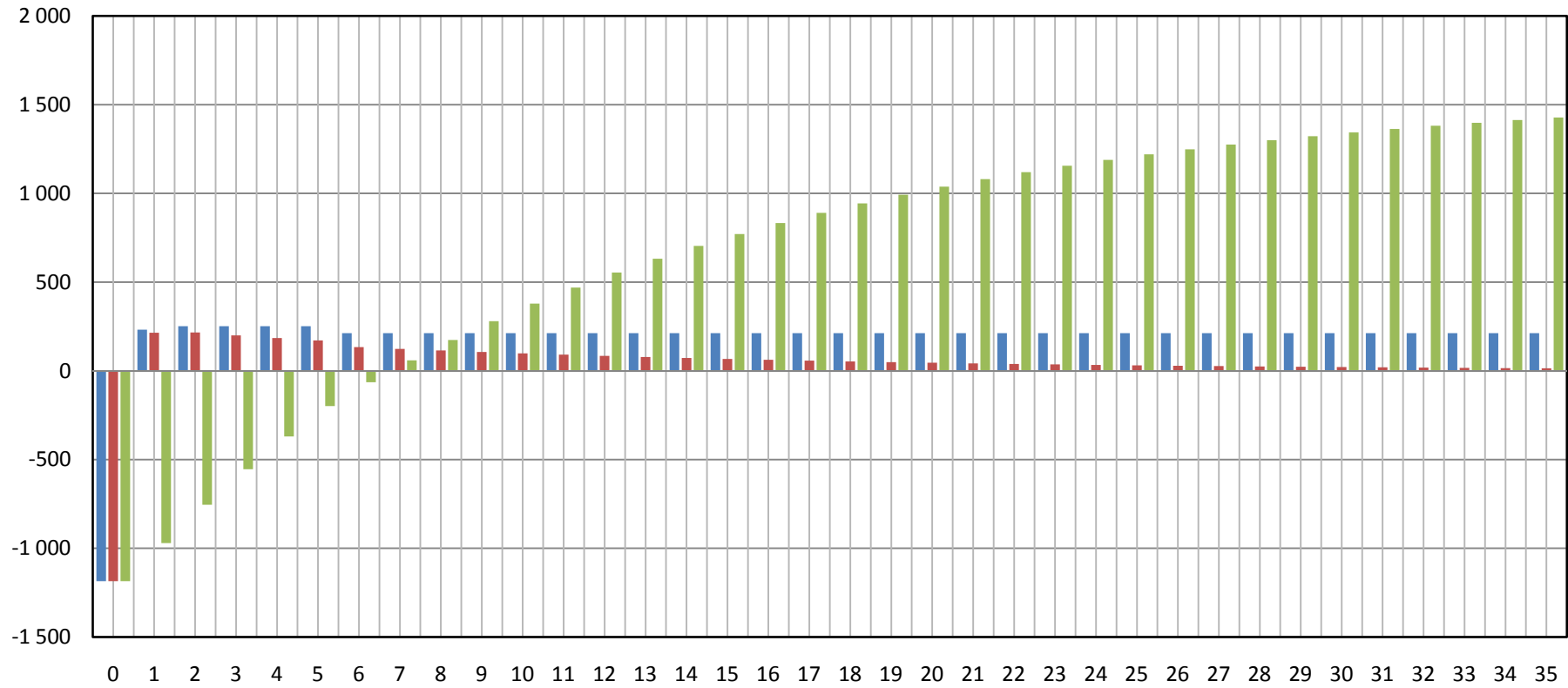
doba životnosti projektu	35 let
diskontní sazba	8 %
investice	1 185 090 Kč
PDN (prostá doba návratnosti)	5,26 let
NPV (čistá současná hodnota)	1 427 721 Kč
IRR - vnitřní výnosové procento	19,57 %
IRR - vnitřní výnosové procento vlastních zdrojů	31,05 %

Prostá doba návratnosti



Obrázek 11 Jogurty z kokosového mléka – prostá doba návratnosti

Diskontovaná míra návratnosti

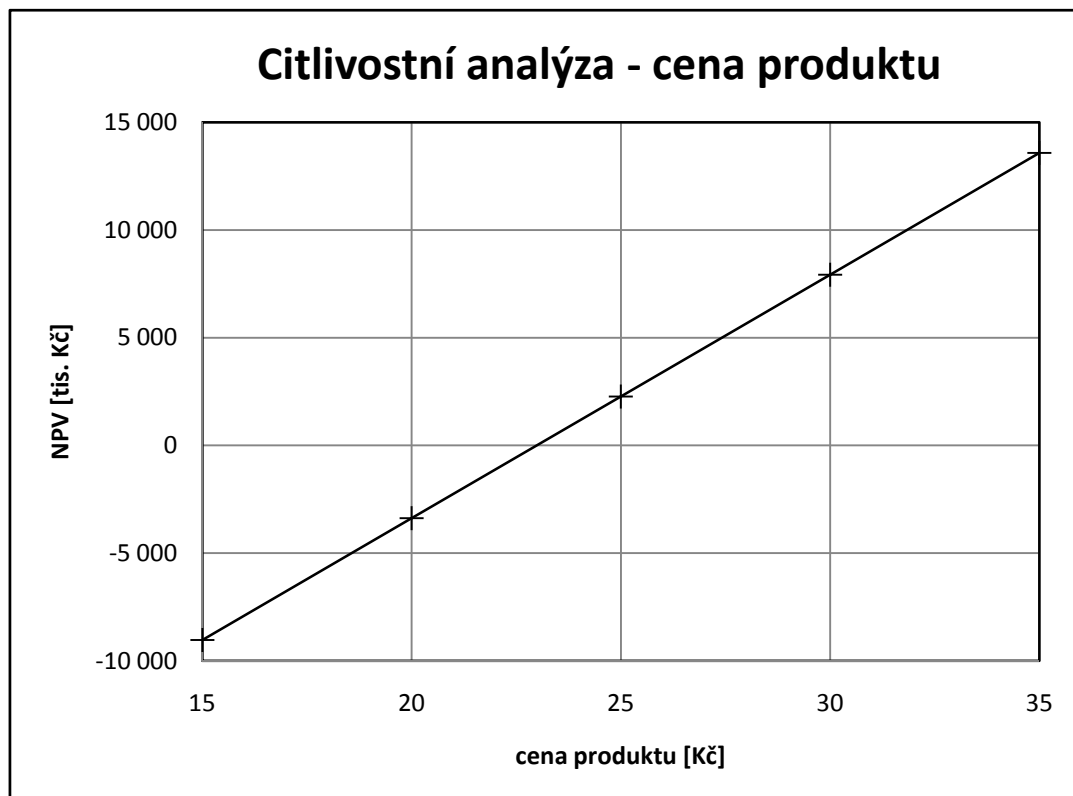


Obrázek 12 Jogurty z kokosového mléka – diskontovaná míra návratnosti

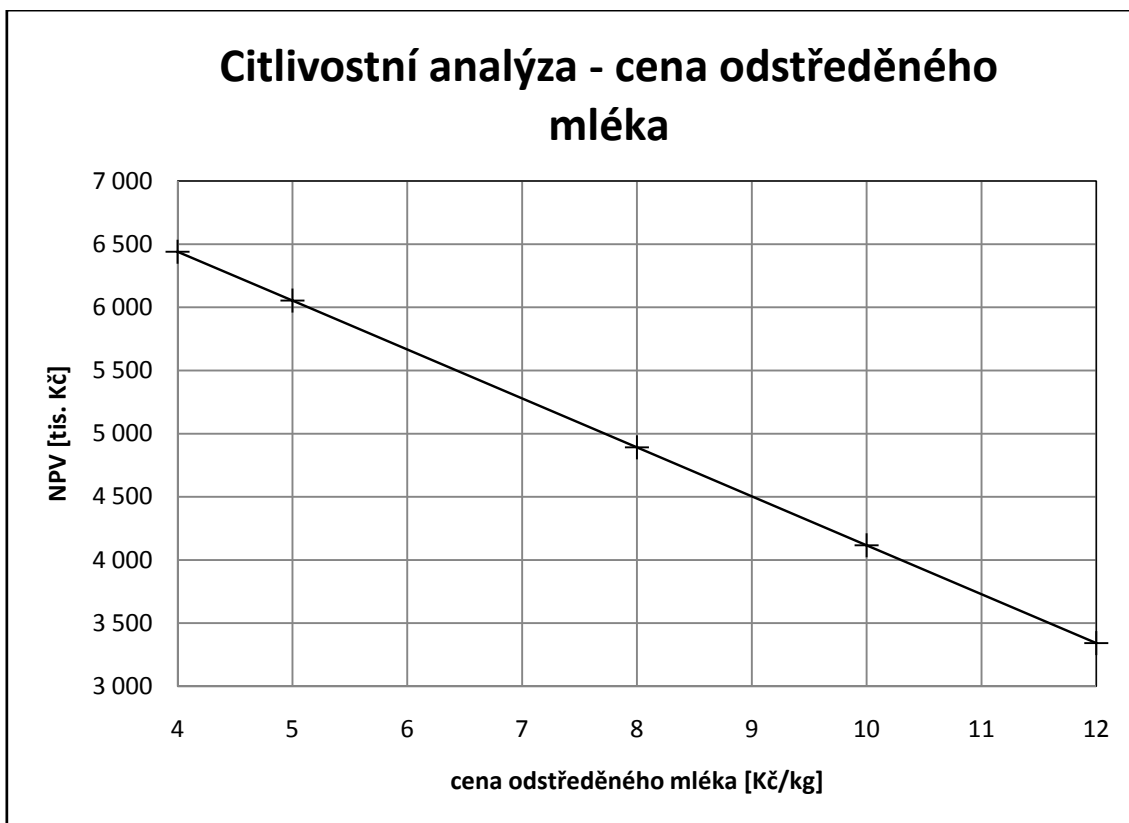
8 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA

8.1 Jogurty z hydrolyzovaného mléka

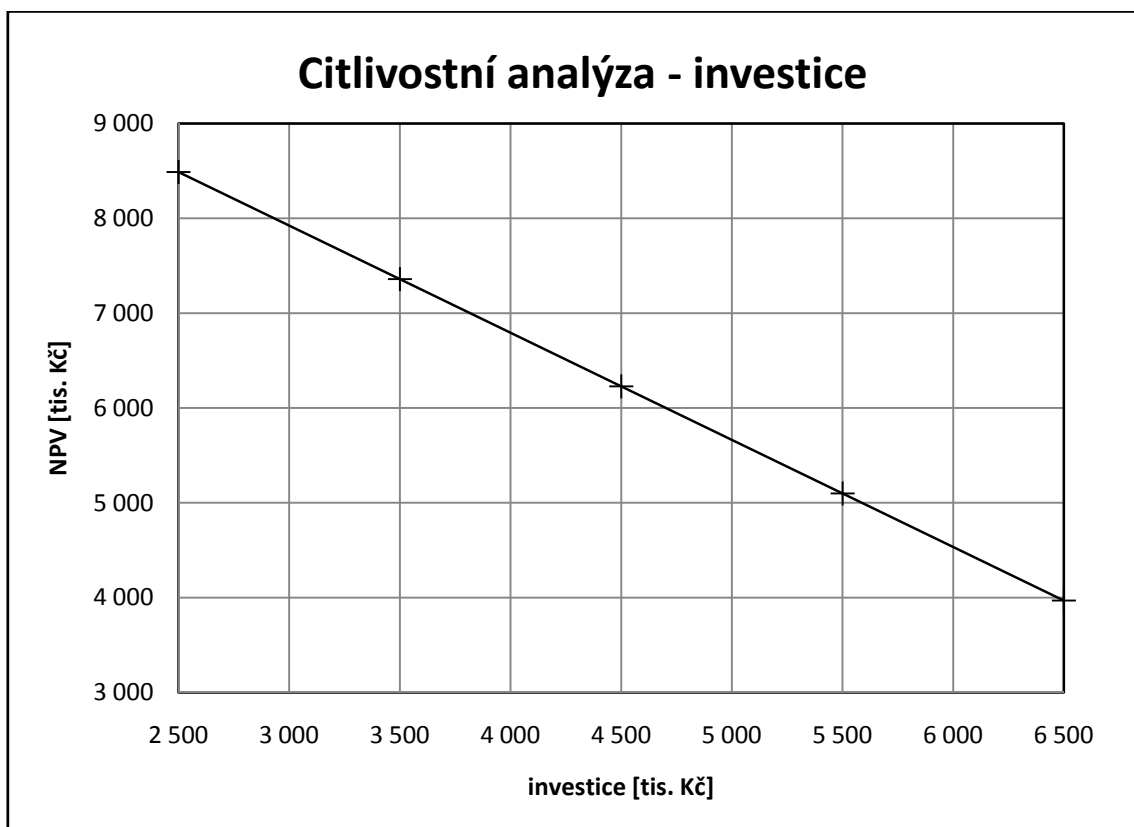
Citlivostní analýza se zaměřuje na 3 parametry, a to jest cenu produktu, cenu odstředěného mléka za 1 kg a výši investic. Obrázky 13, 14 a 15 vyjadřují závislost NPV na těchto vybraných parametrech.



Obrázek 13 Citlivostní analýza – cena produktu



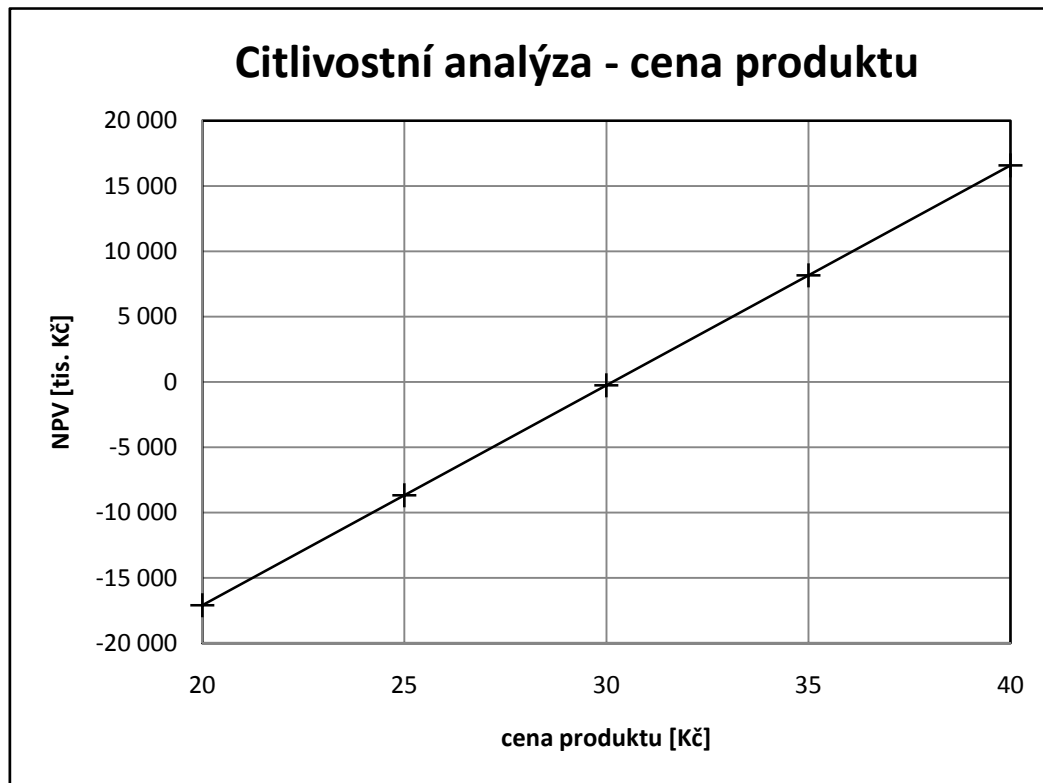
Obrázek 14 Citlivostní analýza – cena odstředěného mléka



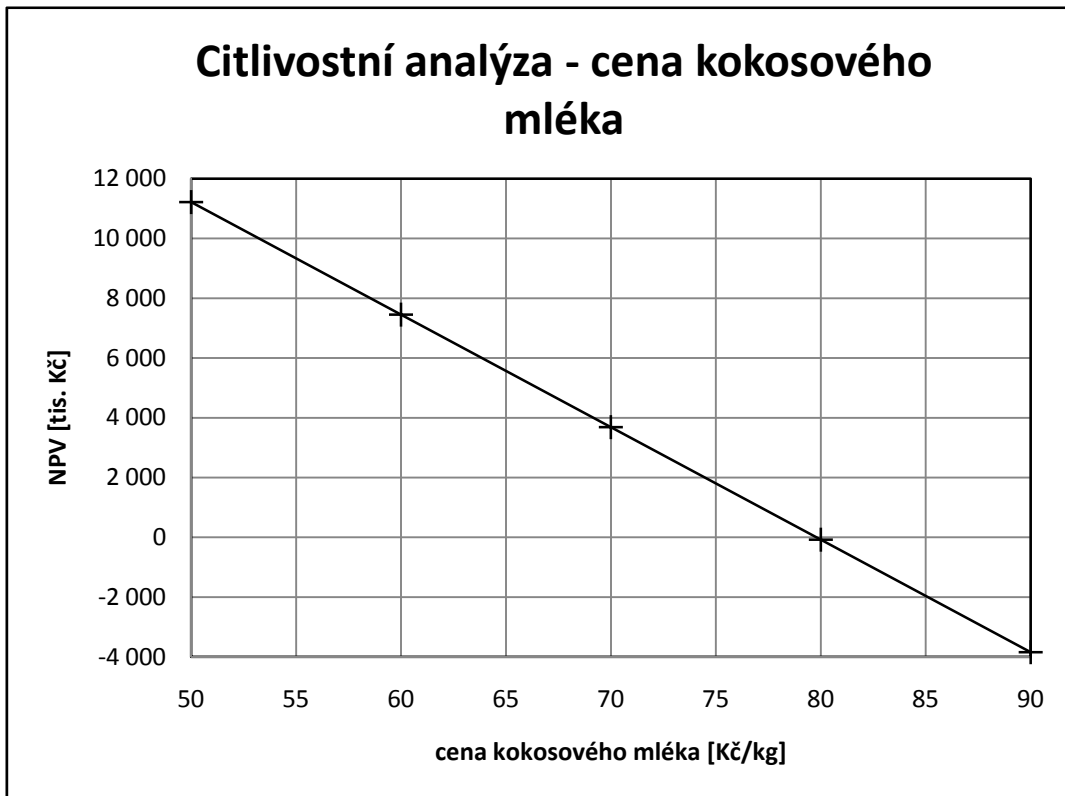
Obrázek 15 Citlivostní analýza - investice

8.2 Jogurty z kokosového mléka

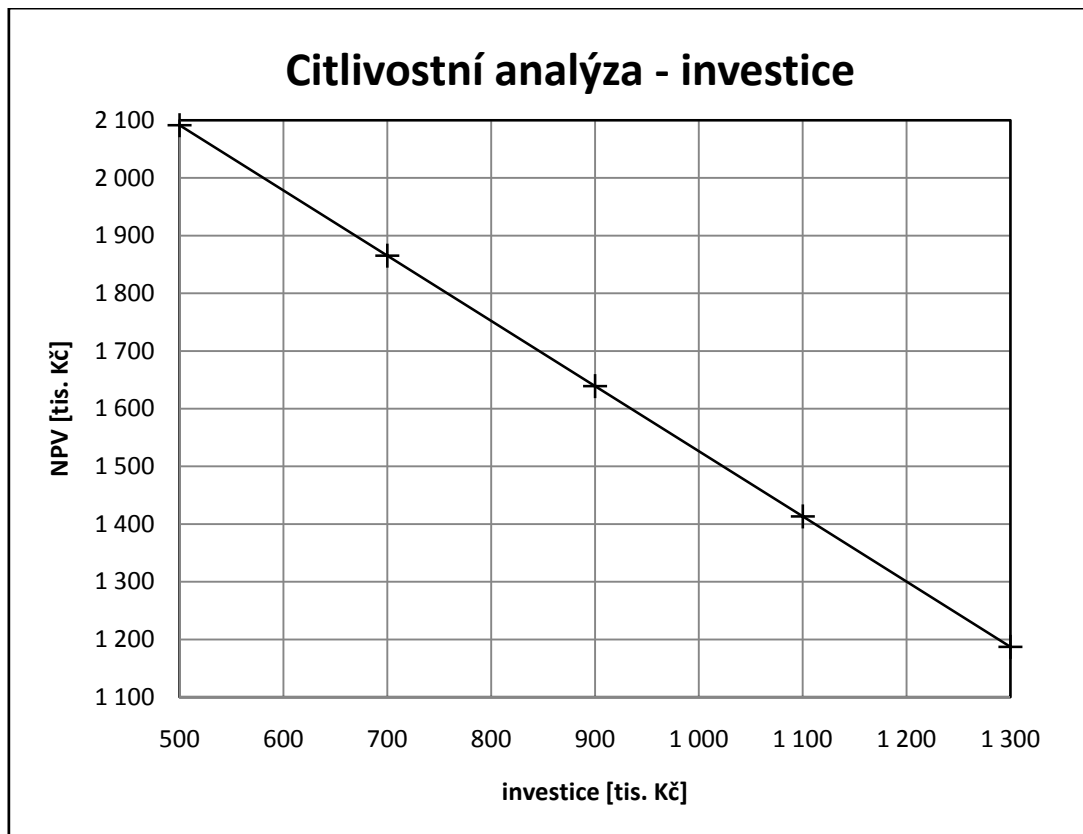
Citlivostní analýza se zaměřuje na 3 parametry, a to jest cenu produktu, cenu odstředěného mléka za 1 kg a výši investic. Obrázky 16, 17 a 18 vyjadřují závislost NPV na těchto vybraných parametrech.



Obrázek 16 Citlivostní analýza – cena produktu



Obrázek 17 Citlivostní analýza – cena kokosového mléka



Obrázek 18 Citlivostní analýza - investice

9 ZÁVĚR

V rámci diplomové práce byl navržen postup výroby jogurtů z hydrolyzovaného mléka a jogurtů rostlinných z mléka kokosového pro stávající fiktivní výrobní mléčných produktů, a to včetně PFD schématu, hmotnostních a entalpických bilancí, ekonomické studie a citlivostní analýzy. K rozšíření sortimentu výrobků došlo na základě rostoucího trendu veganství a rostoucího výskytu jedinců, kterým mléčný cukr laktóza způsobuje zdravotní komplikace. Cílem výroby je dodávat tyto produkty také do menších obchodních řetězců.

Při návrhu výrobní linky na jogurty z hydrolyzovaného mléka se vycházelo z požadavků investora a zároveň majitele výroby, a tedy že výrobní disponuje prostory pro rozšíření výroby (výrobní hala i sklad). Výrobní má dostatečnou rezervu na energetických zdrojích, nemá však dostatek chladicího výkonu na chlazení jednotlivých tanků, a to tanků se studenou a ledovou vodou, která je využívána v rámci pasterizační jednotky, a také tanku, ve kterém probíhá hydrolýza mléka a fermentace. Kotelna výroby plně dostačuje. Kapacita na odstředivce je vyhovující, a tedy denní zásoba odstředěného mléka a smetany je předimenzovaná. Součástí výrobní linky je také nová pasterizační jednotka a odparka s klesajícím filmem, včetně výroby páry pro tuto odparku, jelikož výrobní nedisponuje dostatečně nadimenzovanou stávající pasterizační jednotkou a odparkou s klesajícím filmem. Doba životnosti projektu je 35 let. Výrobní linku lze rozdělit na následující části – natučňovací část, pasterizační část, zahušťovací část, hydrolyzační a fermentační část a část balicí a paletizační.

Dle ekonomické analýzy projektu (jogurty z hydrolyzovaného mléka) je prostá doba návratnosti 5,47 let, návratnost investice 14,74 %, čistá současná hodnota (NPV) 5 665 391,27 Kč, vnitřní výnosové procento 18,90 % a vnitřní výnosové procento vlastních zdrojů 23,89 %. Dle ekonomické studie je projekt ziskový.

Výsledná cena produktu je 28 Kč za kus. Ročně se vyprodukuje 122 200 kelímků jogurtu o objemu 0,215 l. Ve srovnání s cenami běžně dostupných jogurtů s nízkým obsahem laktózy či bezlaktózovými (viz kapitola 4) se jedná o cenu vyšší. Vysoká cena může být způsobena tím, že v rámci rozšiřování výroby je nezbytné zakoupit novou pasterizační jednotku a novou odparku s klesajícím filmem, náklady na jejich pořízení jsou značně vysoké. V rámci rozšíření výroby je zakoupen nový homogenizátor, jehož pořízení též zvyšuje fixní kapitálové investice. Cenu lze snížit např. uvažováním nižší projektové rezervy, popř. oběžné kapitálové

investice a distribuci dotovat ze stávajících finančních zdrojů výroby. Pokud by nebylo nutné pořizovat novou pasterizační jednotku a odparku s klesajícím filmem, cena jogurtu by klesla na 20,20 Kč. Za tuto cenu je již produkt podstatně konkurenceschopnější.

Při návrhu výrobní linky na rostlinné jogurty z mléka kokosového se vycházelo z požadavků investora a zároveň majitele výroby, a tedy že výroba disponuje prostory pro rozšíření výroby (výrobní hala i sklad). Výroba nemá dostatek chladicího výkonu na chlazení tanku. Doba životnosti projektu je 35 let. Výrobní linku lze rozdělit na následující části – v první části dochází k výrobě samotného kokosového jogurtu, následuje balicí a paletizační část. Nároky na mléko rostlinného původu nejsou tak markantní jako v případě kravského mléka, což značně zjednodušuje celý proces výroby.

Dle ekonomické analýzy projektu (jogurty z kokosového mléka) je prostá doba návratnosti 5,26 let, návratnost investice 15,48 %, čistá současná hodnota (NPV) 1 427 720,68 Kč, vnitřní výnosové procento 19,57 % a vnitřní výnosové procento vlastních zdrojů 31,05 %. Dle ekonomické studie je projekt ziskový.

Výsledná cena produktu je 31 Kč za kus. Ročně se vyprodukuje 182 000 kelímků jogurtu o objemu 0,215 l. Tento výrobek je ve srovnání s ostatními produkty dostupnými na českém trhu (viz kapitola 4) konkurenceschopný.

10 SEZNAM CITACÍ

- [1] RAZA, Awais, Sanaullah IQBAL, Azmat ULLAH, Muhammad Imran KHAN a Muhammad IMRAN. Enzymatic conversion of milk lactose to prebiotic galacto-oligosaccharides to produce low lactose yogurt. *Journal of Food Processing* [online]. 2018 [cit. 2019-01-20]. DOI: 10.1111/jfpp.13586. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13586>
- [2] Food Allergies. *ACAAI Public Website* [online]. American College of Allergy, Asthma and Immunology, 2014 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://acaai.org/allergies/types/food-allergy>
- [3] Coconut allergy. *Australasian Society of Clinical Immunology and Allergy (ASCIA)* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.allergy.org.au/patients/food-allergy/coconut-allergy>
- [4] RUCH, Frank E. *LACTOSE HYDROLYSIS*. 2004. Spojené státy americké. US patent 6,833,260 B1. Zapsáno 21. 12. 2004.
- [5] JURADO, E., F. CAMACHO, G. LUZÓN a J. M. VICARIA. A new kinetic model proposed for enzymatic hydrolysis of lactose by a beta-galactosidase from *Kluyveromyces fragilis*. *Enzyme and Microbial Technology* [online]. 2002, (31), 300-309 [cit. 2019-01-20].
- [6] HERMIDA, C., G. CORRALES, F. J. CAÑADA, J. J. ARAGÓN a A. FERNÁNDEZ-MAYORALAS. Optimizing the enzymatic synthesis of beta-D-galactopyranosyl-D-xyloses for their use in the evaluation of lactase activity in vivo. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*[online]. July 2007, **15**(14), 4836-40.
- [7] SKOVBJERG, H., H. SJÖSTRÖM a O. NORÉN. Purification and characterisation of amphiphilic lactase/phlorizin hydrolase from human small intestine. *European Journal of Biochemistry / FEBS* [online]. March 1981, **114**(3), 653-661 [cit. 2019-01-20].
- [8] Čurda, Ladislav. (*ústní sdělení*). Praha, 8. listopadu 2018

- [9] HARJU, Matti. *PROCESS FOR THE SPECIFIC SEPARATION OF LACTOSE FROM MLK*. Spojené státy americké. US patent 4,820,348. Uděleno 11. dubna 1989.
- [10] LIPTÁKOVÁ, Ludmila a Jana PUČOVÁ. Oligosacharidy. *Webchemie* [online]. 1. 12. 2015 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z: <https://www.webchemie.cz/oligosacharidy.html>
- [11] RODRIGUEZ-COLINAS, Barbara, Lucia FERNANDEZ-ARROJO, Antonio O. BALLESTEROS a Francisco J. PLOU. Galactooligosaccharides formation during enzymatic hydrolysis of lactose: Towards a prebiotic-enriched milk. *Food Chemistry*[online]. 2014, 28 August 2013, **145**, 388-394 [cit. 2019-01-20].
- [12] TOSSAVAINEN, Olli. *PROCESS FOR PRODUCING A LACTOSE-FREE MILK PRODUCT*. Finsko. Evropský patent EP 1 503 630 B1. Uděleno 13. 05. 2003.
- [13] *Membránové procesy* [online]. In: . VŠCHT Praha, s. 218-239 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ii.text.k27.membranove.procesy.pdf>
- [14] KÁŠ, J., M. KODÍČEK a O. VALENTOVÁ. *Laboratorní techniky biochemie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-586-2.
- [15] LAURITZEN, Karsten. *METHODS AND APPARATUSES FOR PRODUCING LACTOSE REDUCED MILK*. International Patent. WO 2016/146472 A1. Uděleno 22. září 2016.
- [16] HARJU, Matti E. a Heikki O. HEIKKILI. *PROCESS OF RECOVERING LACTOSE FROM WHEY*. Spojené státy americké. US patent 4,955,363. Uděleno 11. září 1990.
- [17] Low-lactose and lactose-free milk product and process for production thereof. *Justia Patents Search* [online]. 2008 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://patents.justia.com/patent/8986768>
- [18] Kokosový jogurt. *Kitchenette* [online]. 15. února 2018 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://kitchenette.cz/clanek/kokosovy-jogurt>
- [19] HOUDEK, Pavel. Snadná domácí výroba rostlinného mléka. *Veganka.cz* [online]. 18. 2. 2014 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://veganka.cz/snadna-domaci-vyroba-rostlinneho-mleka/>

- [20] SLIMÁKOVÁ, Margit. Jak si připravit domácí rostlinné mléko?. *PharmDr. Margit Slimáková* [online]. 11. 11. 2015 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.margit.cz/jak-si-pripravit-domaci-rostlinne-mleko/>
- [21] KADLEC, Pavel, Karel MELZOCH a Michal VOLDŘICH. *Přehled tradičních potravinářských výrob: technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing, 2012. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-145-0.
- [22] Kalma Real Food Zakysaný bílý kokosový 125g. *Tesco Potraviny* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ/products/2001020230144>
- [23] Kokosový banánový zakysaný jogurt bez lepku a laktozy 125g. *Zdraví u cesty* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.zdraviucesty.cz/potraviny/kokosovy-bananovy-zakysany-jogurt-bez-lepku-a-laktozy-125g-426.html>
- [24] Harvest Moon přírodní. *Puroshop.cz - veganský e-shop - kamenný obchod - kvalitní rostlinné potraviny* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.puroshop.cz/eshop/bezlepkove/harvest-moon-prirodni>
- [25] Harvest Moon čokoládový. *Puroshop.cz - veganský e-shop - kamenný obchod - kvalitní rostlinné potraviny* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.puroshop.cz/eshop/bezlepkove/harvest-moon-cokoladovy>
- [26] Harvest Moon vanilkový. *Puroshop.cz - veganský e-shop - kamenný obchod - kvalitní rostlinné potraviny* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: https://www.puroshop.cz/eshop/list-all-products?keyword=harvest+moon+vanilko&limitstart=0&custom_parent_id=0&option=com_virtuemart&search=true&view=category
- [27] Harvest Moon mango & maracuja. *Puroshop.cz - veganský e-shop - kamenný obchod - kvalitní rostlinné potraviny* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.puroshop.cz/eshop/bezlepkove/harvest-moon-mango-maracuja>

- [28] Veganz Hello Coco přírodní, Bio. *Puroshop.cz - veganský e-shop - kamenný obchod - kvalitní rostlinné potraviny* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.puroshop.cz/eshop/bezlepkove/vegan-hello-coco-prirodni-bio>
- [29] Hollandia Krémový jogurt bílý 0,01 % laktózy 400g. *Košík.cz* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.kosik.cz/produkt/35542-hollandia-kremovy-jogurt-bily-0-01-laktozy-400g-aria-hidden>
- [30] Ehrmann Lacto Zero Jogurt řeckého typu - jahoda 135g. *Tesco Potraviny* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ/products/2001120503346>
- [31] Ehrmann Lacto Zero Jogurt řeckého typu 135g - stracciatella. *Tesco Potraviny* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ/products/2001120503346>
- [32] Madeta Jihočeský nature bílý jogurt 150g. *Tesco Potraviny* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ/products/2001020019559>
- [33] Madeta Jihočeský nature jahodový jogurt 150g. *Tesco Potraviny* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ/products/2001020157963>
- [34] HOUŠKA, Milan. *MILK, MILK PRODUCTS AND SEMIPRODUCTS: THERMOPHYSICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF FOOD*. Prague: Institute of Agricultural and Food Information, 1994. ISBN 80-85120-48-8.
- [35] GOLDBERG, Robert N. a YADU B. TEWARI. A Calorimetric and Equilibrium Investigation of the Hydrolysis of Lactose. *The Journal of Biological Chemistry*. 1989, **264**(17), 9897-9900.
- [36] FORREST, W. W. a D. J. WALKER. ENTHALPY CHANGES ASSOCIATED WITH THE LACTIC FERMENTATION OF GLUCOSE. *Journal of Bacteriology*. 1961, 685-691.
- [37] FILKOVÁ, Iva. *Tepelné pochody - příklady výpočtů I*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1979.
- [38] Hoffman, Pavel. (*ústní sdělení*). Praha, 12. prosince 2018

- [39] KÜTNER, Dušan. Výkupní ceny mléka se odrazily ode dna. *E15.cz* [online]. 31. ledna 2017 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/vykupni-ceny-mleka-se-odrazily-ode-dna-1328270>
- [40] JOGURTOVÁ PROBIOTICKÁ KULTURA GBIO BY37. *Bulgaricus* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <http://www.bulgaricus-eshop.cz/detail/bifido-jogurtova-kultura-gbio-by37>
- [41] Štancl, Jaromír. (*ústní sdělení*). Praha, 19. prosince 2018
- [42] Termoetikety 58/39/40. *Nejlevnější kotoučky.cz* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: https://www.nejlevnejsi-kotoucky.cz/termoetikety-58-39-40_z92/?gclid=Cj0KCQjw_vfcBRDJARIsAJafEnEnMCQ_YR0q4eRZOcdHfxMkS76M5dMTHzPrU53rOnMay7QVVkOXaqwaAjXFEALw_wcB#250
- [43] Multifunkční tříplášťový izolovaný tank, 200 litrů, 2000W pro fermentaci a chlazení. *Chovatelské potřeby Driml* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.driml-napajacky.cz/cz/zpracovani-mleka/jogurtovace/multifunkcni-triplastovy-izolovany-tank-200-litru-2000w-pro-fermentaci-a-chlazen-2014727.html>
- [44] Mobilní chladič mléka D270 s agregátem DH120 (do 300l mléka). *Chovatelské potřeby Driml* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.driml-napajacky.cz/cz/chlazen-ponorne-chlazen-2014448.html>
- [45] Ponorný chladič šnek. *Chovatelské potřeby Driml* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.driml-napajacky.cz/cz/chlazen-ponorne-chlazen-2014434.html>
- [46] Mobilní konvový chladič mléka 1D168/s agregátem DH100 (do 120l mléka). *Chovatelské potřeby Driml* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.driml-napajacky.cz/cz/chlazen-ponorne-chlazen-2014443.html>
- [47] *Vakuové pumpy a systémy Busch - Česká republika* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.buschvacuum.com/cz/cs>

- [48] Čerpadlo na jogurt a zakysané výrobky KIBER KS/KSF. *Inoxpa.cz* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://inoxpa.cz/potravinarske/cerpadlo-na-jogurt-a-zakysane-vyrobky-kiber-ksksf/>
- [49] ČERPADO SIGMA ČERPADO 1/2-LVM-9-2-BC-800. *SIGMAshop.cz* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.sigmashop.cz/potravinarska-cerpadla/cerpadlo-1/2-lvm-9-2-bc-800-jednosmerne?vypis=popis>
- [50] Werter JET S750. *Cerpadlabezstarosti.cz* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.cerpadlabezstarosti.cz/povrchova-cerpadla/965-werter-jet-s750>
- [51] Plnička potravin SGF 2 150-500. *Chovatelské potřeby Driml* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.driml-napajecky.cz/cz/zpracovani-mleka/plnici-a-uzaviraci-stroje/plnicka-potravin-sgf-2-150-500-2013398.html>
- [52] Zátkovačka na kelímky BP 600. *Chovatelské potřeby Driml* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.driml-napajecky.cz/cz/zpracovani-mleka/plnici-a-uzaviraci-stroje/zatkovacka-na-kelimky-bp-600-2013397.html>
- [53] Etiketovací stroje a technika, etiketovačky. *MAVET CZ s.r.o.* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <http://www.mavet.cz/etiketovaci-stroje>

11 SEZNAM PŘÍLOH

- (P1) PFD schéma výrobní linky – hydrolyzované jogurty (DP_MH_HYD_schema)
- (P2) PFD schéma výrobní linky – kokosové jogurty (DP_MH_KOK_schema)
- (P3) Výpočty – hydrolyzované jogurty (DP_MH_HYD_vypocty.xlsx)
- (P4) Výpočty – kokosové jogurty (DP_MH_KOK_vypocty.xlsx)