

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Využití membránových technologií v potravinářství

Bakalářská práce

Autor: Pozdeeva Yulia
Vedoucí práce: Ing. Vladimír Doležal, Ph.D
2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Yulia Pozdeeva

Technologická zařízení staveb

Název práce

Využití membránových technologií v potravinářství

Název anglicky

Application of Crossflow filtration technology in the Food industry

Cíle práce

Provést rešerši na aplikace membránových technologií v potravinářství a vybrat modelovou aplikaci ve vybraném oboru a zvoleném konkrétním provozu.

Metodika

1. úvod
2. cíl práce a metodika
3. literární rešerše
4. návrh řešení membránové technologie ve vybraném provozu
5. diskuze a závěr
6. seznam použité literatury

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

filtrát- keramická membrána- nápojový průmysl

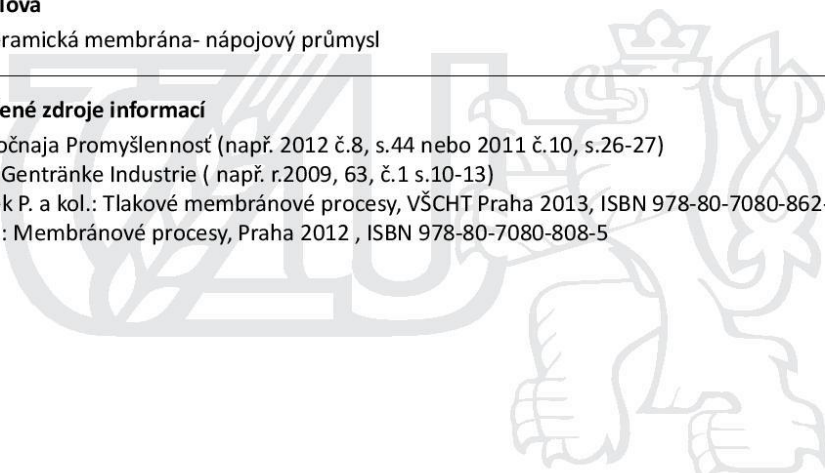
Doporučené zdroje informací

čas. Moločnaja Promyšlennost' (např. 2012 č.8, s.44 nebo 2011 č.10, s.26-27)

časopisy Gentränke Industrie (např. r.2009, 63, č.1 s.10-13)

Mikulášek P. a kol.: Tlakové membránové procesy, VŠCHT Praha 2013, ISBN 978-80-7080-862-7

Palatý Z. : Membránové procesy, Praha 2012 , ISBN 978-80-7080-808-5



Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Vladimír Doležal, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 3. 5. 2016

doc. Ing. Jan Malafák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 5. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 20. 03. 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Využití membránových technologií v potravinářství vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědoma, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědoma že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne.....

Podpis autora.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Vladimírovi Doležalovi Ph.D. za odborné rady a cenné připomínky. Dále děkuji mé rodině za podporu během celého studia.

Abstrakt: Bakalářská práce se především zabývá uplatněním membránových technologií v potravinářství. Cílem je se seznámit s jednotlivými membránovými procesy, s použitím současných modulů a vhodných materiálů pro každý separační proces zvlášť. Práce řeší uplatnění těchto procesů v různých odvětvích potravinářství. Praktická část se zabývá návrhem řešení demineralizace syrovátky v mlékárenském provozu Moravia Lacto a.s a seznámením se s dodavateli na tuzemském trhu.

Klíčová slova: filtrát, keramická membrána, nápojový průmysl

Application of Crossflow filtration technology in the Food industry

Summary: This bachelor thesis is dedicated to applying membrane technologies in the food industry. The main aim is to get acquainted with particular membrane processes by using current modules and suitable materials for each separation process individually. The thesis gives the solution of the problem of applying these processes in various branches of food industry. The practical part is related to proposing the solution of whey demineralization in the Moravia Lacto a.s and getting acquainted with suppliers on the Czech market.

Keywords: filtrate, ceramic membrane, beverage industry

Obsah

1. Úvod	9
2. Cíle práce a metodika	10
2.1 Cíl práce.....	10
2.1 Metodika	10
3. Membránové technologie	11
3.1 Membrána	11
3.2 Historie	11
3.3 Typy membrán	12
3.3.1 Rozdělení podle struktury	12
3.3.2 Rozdělení podle morfologického hlediska	12
3.3.3 Rozdělení podle materiálu	13
3.4 Membránové moduly.....	15
3.4.1 Plošné moduly	15
3.4.2 Tubulární moduly.....	16
3.4.3 Rotační moduly.....	17
3.5 Membránové technologie v potravinářství.....	18
3.5.1. Tlakové membránové procesy.....	20
3.5.2 Elektromembánové procesy	25
3.5.3 Ostatní membránové procesy.....	26
3.6 Aplikace membránových procesů v potravinářství	27

3.6.1 Mlékárenský průmysl	27
3.6.2 Vinařství.....	29
3.6.3 Pivovarství	30
3.6.4 Masný průmysl	31
3.6.5 Cukrovarnictví.....	31
3.6.6 Ovocné šťávy	32
3.6.7 Rostlinné oleje	32
3.6.8 Výroba škrobu	32
3.7 Uplatnění membránových procesů v dalších oborech.....	32
3.7.1 Úprava vody	32
3.7.2 Automobilový průmysl	33
3.7.3 Papírenství	33
3.7.4 Energetický průmysl	33
3.7.5 Chemický průmysl	33
3.7.6 Farmaceutický průmysl.....	34
4. Návrh řešení membránové technologie ve vybraném provozu	34
4.1 Základní informace o podniku	35
4.2 Řešení membránových technologií na demineralizaci syrovátky	38
5. Diskuze a závěr	45
6. Seznam použitých zdrojů.....	46

1. Úvod

Membránové technologie za posledních 60 let dosáhly neuvěřitelného rozvoje. Můžeme se s nimi v dnešní době setkat prakticky všude. Rozvoj membránových procesů neustále zlepšuje kvalitu životů a dokonce může i život zachránit. Pro některé země je použití membránových procesů předmětem krajní nouze. Jedná se zejména o odsolování mořské vody. Obrovské uplatnění tyto procesy našly v potravinářském průmyslu.

2. Cíle práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem práce bylo provést rešerši na aplikace membránových technologií v potravinářství a vybrat modelovou aplikaci ve vybraném oboru a zvoleném konkrétním provozu.

2.1 Metodika

Praktická část bakalářské práce byla vypracována na základě všech informací, které jsem získala různými způsoby:

– studium odborné literatury, která úzce souvisí s tématem mé závěrečné práce. Veškerá použitá literatura je uvedena na konci práce v seznamu použité literatury.

– práce s poskytnutými vnitropodnikovými materiály, které mi poskytli jak závody, které využívají membránové procesy, tak firmy, které membrány vyrábí.

– práce s informacemi z internetových stránek firem.

3. Membránové technologie

Membránové technologie našli v dnešní době široké uplatnění v různých oborech. Základem membránových technologií je membrána.

3.1 Membrána

Membrána neboli tenká přepážka slouží pro dělení kapalin a plynů pomocí rozdílné rychlosti přenosu složek přes tuto membránu. Základní požadavek na membránu je takový, aby její struktura byla dostatečně selektivní pro separované látky a měla minimální hydraulický odpor vůči toku permeátu. Zároveň je důležité, aby membrána disponovala dostatečnou mechanickou pevností. (Mikulášek, 2013)

3.2 Historie

Systematické studium fenoménu membrán můžeme datovat osmnáctým stoletím. V roce 1784 vědec Abbé Nollet provedl experiment ve kterém zjistil, že vlhký prasečí měchýř má schopnost propouštět vodu lépe než ethanol. (Palatý, 2012)

Abbé Nollet prostoupení vody přes vlhký měchýř popsal slovem „osmosis“, to byla první zmínka o permselektivní membráně. (Baker, 2004)

Téměř o půl století později skotský vědec Thomas Graham, který se zabýval difuzí plynů provedl experiment s rybím měchýřem. Ten naplnil z částí metanem a vložil ho do nádoby s oxidem uhličitým a vodou. Oxid uhličitý pak vstupoval do měchýře, dokud nepraskl. Tímto dějem Thomas Graham objevil dialýzu. (Palatý, 2012)

V roce 1907 Bechhold vyvinul metodu třídění nitrocelulózních membrán podle velikostí póru. (Baker, 2004)

Martin Knudsen byl dánský fyzik, který v roce 1909 zjistil, že počet molekul plynů, které projdou úzkým pórem v membráně, je úměrný tlaku plynu a nepřímo úměrný jeho molekulové hmotnosti. Knudsenův zákon se dodnes využívá. (Bernauer, 2012)

Do roku 1960 byly vyvinuty elementy moderní membránové vědy. Tyto membrány byly příliš pomalé, drahé, nespolehlivé a neselektivní. Začátkem

šedesátých let Sidney Loeb a Srinivasa Sourirajan připravili první výkonné membrány ze syntetických polymerů. Membrány byly anizotropní, reverzní, osmotické a bezdefektové, což umožnilo odsolování vody. (Rothenberg, 2008)

3.3 Typy membrán

Základní rozdělení membrán podle Schreibera. Rozdělení je uvedeno na obrázku číslo 1.

3.3.1 Rozdělení podle struktury

Základní klasifikace membrán podle struktury rozděluje membrány na dvě velké skupiny a to buď polopropustné porézní, nebo neporézní. Porézní membrány přepravují rozpustné, tekuté látky kontinuálně skrz dutiny v membránové struktuře. Neporézní membrány dopravují rozpustné tekuté látky pomocí rozpouštění a difuze přes membránu. Hustota póru je definována pojmem pórovitost. Pórovitost se vyjadřuje jako podíl membránového povrchu nebo objemu membrány obsazeného póry, ku celkovému povrchu membrány nebo objemu membrány. (Baker, 2004)

Asociace IUPAC (The International Union of Pure and Applied Chemistry) póry v porézních membránách dále třídí na makropóry, diametr by měl být větší, než 50 nm, mesopóry diametr mezi 2 nm a 50 nm a mikropóry diametr menší než 2 nm. Dále rozlišuje ultramikropóry a supermikropóry. Ultramikropóry mají nejužší póry, jejich diametr je menší, než 0,7 nm a supermikropóry mají diametr blíže k hranici s mesopóry a to menší než 2 nm. (Institute of Chemical Process Fundamentals – Textura porézních látek [online]. Copyright © [cit. 11.02.2018]. Dostupné z: <http://uchp.icpf.cas.cz/transtex/textbooks/Skripta-textura%202007.pdf>).

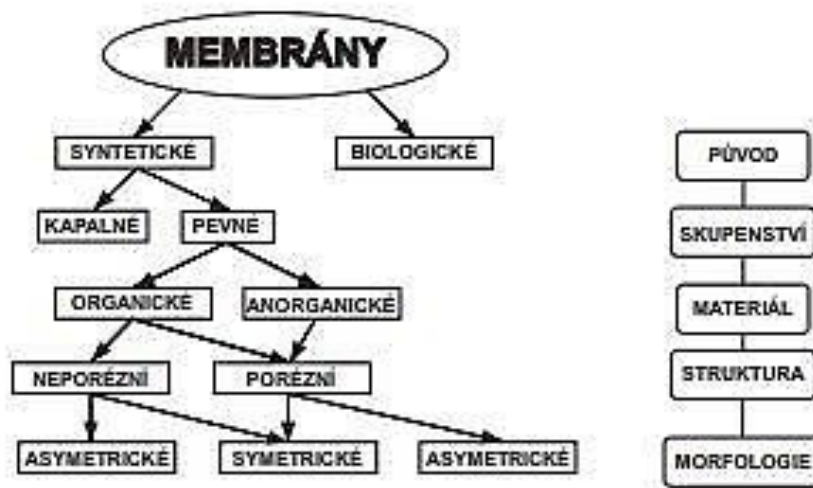
Dle struktury membrány také dělíme na homogenní, které jsou složeny z jednoho materiálu a heterogenní (kompozitní) složeny z více materiálů. (Rothenberg, 2008)

3.3.2 Rozdělení podle morfologického hlediska

Z morfologického hlediska můžeme membrány rozdělit podle typu pór na izotropní a anizotropní. Izotropní membrány mají symetricky stejnou strukturu pór po

celé své tloušťce na rozdíl od anizotropních, které mají asymetrickou strukturu pór. (Rothenberg, 2008)

Obrázek 1 - Rozdělení membrán



Zdroj: (Schreiberová, 2011)

3.3.3 Rozdělení podle materiálu

V dnešní době se můžeme setkat s membránami z nejrůznějších druhů materiálů. Důležité je, aby membrána splňovala požadované vlastnosti. K takovým vlastnostem můžeme přiřadit velkou selektivitu, velkou permeabilitu a co nejdelší životnost. Selektivita neboli dělicí schopnost, popřípadě separační koeficient membrány, určuje účinnost dělení, regeneraci a čistotu produktu. Permeabilita neboli propustnost ovlivňuje rychlost procesu. Nízká propustnost se kompenzuje zvětšením plochy membrány. Životnost membrány je podmíněna odolností na vlivy mechanické, chemické a tepelné. Je přímo úměrná s náklady na údržbu a případnou výměnou membrány. Membrány můžeme rozdělit na materiály organického nebo anorganického původu. (Bernauer, 2012)

Organické membrány

Pod pojmem organické membrány se ukrývají polymery. Polymery jsou vysokomolekulární sloučeniny, což znamená, že v jejich molekule se několikrát násobně vyskytuje jedna nebo několik elementárních stavebních jednotek. Polymery patří mezi látky s vysokým polymeračním stupněm. Jedná se o pevný

amorfní, ale ne křehký termoplast s teplotou skelného přechodu více než 50 °C nad očekávanou teplotou použití. Komerční polymery vyrobené pro vstřikování mají molekulovou hmotnost v rozmezí 30000 až 40000 daltonů, ale pro srážení roztoků se obvykle upřednostňují polymery s vyšší molekulovou hmotností. Pokud je polymer krystalický, výsledná membrána může být příliš křehká a může být poškozena během pozdějšího používání. Jedná se o polymery, jako jsou acetát celulózy, polysulfon, polyvinylidenfluorid, polyetherimid a aromatické polyamidy. (Baker, 2004)

Polymery se dále rozdělují na homopolymery a kopolymery. Homopolymer se skládá s makromolekul, které mají jednotky stejné struktury. V kopolymerech je makromolekula složena dvěma nebo více nestejnými jednotkami. (Bernauer, 2012)

Anorganické membrány

Anorganické membrány představují velkou skupinu membrán. Patří mezi ně skleněné, keramické a kovové membrány. (Rothenberg, 2008)

Kovové membrány

Kovové membrány na bázi palladia slouží většinou pro separaci vodíku. Hlavní velkou nevýhodou je cena, která je někdy až padesátkrát vyšší, než cena typické polymerní membrány. Z tohoto důvodu se výrobce snaží k samotnému palladiu přidat například vrstvu tantalu nebo vanadia, která bude chránit tenkou vrstvu palladia i při vysokých teplotách. Zároveň se výrazně sníží konečná cena. Další nevýhodou je, že když tlak nástřiku převyšuje 3 MPa, musí být membrána provozována nad teplotou 370 °C, aby dosáhla požadovaného transmembránového toku. Dále se zde také uplatňují membrány z niklu, stříbra, zirkonia a dalších slitin. (Bernauer, 2012)

Keramické membrány

Keramické membrány na bázi oxidů kovů jsou chemicky inertní a stabilní při vysokých teplotách a podmínkách, při kterých polymerní membrány selhávají. Keramické membrány se vyrábí buď metodou slinování nebo metodou sol-gel. Mezi další keramické membrány patří mikroporézní uhlíkové membrány. Tyto membrány se vyrábí pyrolýzou předem vytvořených polyamidů nebo polyakrylonitrilu membrán v inertní atmosféře a vakuu při teplotách 500 až 800 °C. Za těchto podmínek se

polymer přemění na uhlík. Uhlíkové membrány mají póry v rozmezí od 1 nm do 2 nm. Jedná se o těžce vyrobitelné membrány ve velkých objemech. (Rothenberg, 2008)

Skleněné membrány

Mikroporózní skleněné membrány se nachází nejčastěji ve formě trubic a vláken. Základním materiálem je sklo, které obsahuje 30 – 70% křemíku, dále oxid zirkoničitý, oxid hafnia, oxid titanu a extrahovatelné materiály. Dutá skleněná vlákna se vyrábějí vytlačováním taveniny. Poté se zpracovávají zředěnou kyselinou chlorovodíkovou při 90 °C po dobu 2 – 4 hodin, aby se extrahovatelné materiály vyplavily, pročistily a aby se odstranila zbytková kyselina, která se posléze vysuší. (Baker, 2004)

3.4 Membránové moduly

Průmyslové využití membrán často vyžaduje až tisíce metrů čtverečných membrány k provedení požadované separace. Z tohoto důvodu pro úspěšnou aplikaci membránového procesu je potřebné vhodné uspořádání membrán do pouzdra. Toto pouzdro je centrální částí celého membránového zařízení a označujeme ho jako membránový modul. Membránové moduly můžeme rozdělit na tabulární a plošné. (Baker, 2004) V tabulce číslo 1 nalezneme volbu modulu podle membránového procesu.

3.4.1 Plošné moduly

Plošné moduly se dělí na deskové a spirálně vinuté moduly. (Hasal, 2007)

Deskové moduly

Uspořádání deskového modulu je založeno na principu sendviče. Spacer tzv. distanční vložka je umístěna mezi dvěma membránami. Modul dále obsahuje těsnění a koncové desky. Proudění suroviny je kolmé k uspořádané membráně a dále ke směru proudění odváděného permeátu. Hustota povrchu je zhruba 100 m² m⁻³ až 400 m² m⁻³. (Mikulášek, 2013)

Spirálně vinuté moduly

Podstata modulu spočívá v navinutí membrány a rozdělovací sítě kolem centrální sběrné trubice. Hustota povrchu membrány je větší než $900 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$. Přetlak suroviny může být až 10 MPa. Surovina prochází prostorem vymezeným membránou a proudí ve směru osy aparátu. Permeát proniká membránou kolmo ke směru proudění suroviny a dostává se až ke sběrné trubici v ose modulu. Trubicí se pak permeát odvádí z aparátu. Velkým mínusem tohoto modulu je obtížnost čištění. (Hasal, 2007)

Skládané moduly

Kvůli velké membránové ploše (plochy membrány jsou poskládané kolem jádra mikrofiltrační svíčky) se skládané moduly používají jen pro způsob uspořádání toku Dead-end. (Palatý, 2012)

3.4.2 Tubulární moduly

Tabulární moduly se rozdělují na moduly trubkové, kapilární a moduly s dutými vlákny U modulů trubkových a u modulů s dutými vlákny jsou jednotlivé membrány většinou řazeny paralelně do svazků. (Bernauer, 2012)

Trubkové moduly

Je to svazek porézních či perforovaných tuhých plastových trubek o průměru 10 až 30 mm. Počet trubek v modulu obvykle leží v rozmezí 4-18 někde i více. Membrána pokrývá vnitřní povrch trubky. Surovina se přivádí do středu trubek pod tlakem, permeát prochází porézním nosičem a je odváděn v kolmém směru k trubicím. Velkou nevýhodou je malá hustota povrchu menší, než $300 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$. Tato plocha lze rozšířit díky samonosným polymerním trubkám, které se ukládají ve vzájemném dotyku. Používá se především pro kapaliny obsahující pevné částice nebo kapaliny, z nichž se může pevná fáze vylučovat. Je jediným modulem, který nevyžaduje předúpravu nástřiku. (Bernauer, 2012)

Kapilární moduly

Moduly jsou složeny z velkého množství úzkých kapilár. Membrána pokrývá vnitřní stěnu porézní trubky, která má vnitřní průměr 0,2 až 1,5 mm. Modul obsahuje velký počet trubek a jeho průměr bývá mezi 50 až 150 mm. Hustota povrchu membrán v modulu pohybuje se v rozmezí 600-1200 m² m⁻³ a přetlak uvnitř kapiláry může být až 1 MPa. Volné konce jsou často spojeny epoxidovou pryskyřicí. Existují dva způsoby uspořádání přívodu nástřiku a to inside-out a nebo outside-in. (Mikulášek, 2013)

Moduly s dutými vlákny

Tyto moduly fungují na stejném principu jako moduly kapilární. Vlákna jsou zde kapiláry z plastického materiálu. Moduly mají stejný způsob uspořádání přívodu nástřiku. Volné konce jsou opět spojeny epoxidovou pryskyřicí. Hlavním rozdílem je rozměr vláken, které jsou v modulu uspořádány ve tvaru vlásečnice. Vnitřní průměr vláken leží v rozmezí 0,01 za 0,04 mm. Hustota povrchu tady může dosahovat až 3000-6000 m² m⁻³. Přetlak dosahuje 8 MPa. Modul se využívá zejména u reverzní osmózy. (Hasal, 2007)

3.4.3 Rotační moduly

Tento modul funguje na principu vynucené rotační membrány. Výhody těchto modulů spočívají v nízkém zanášení membrán při malých rychlostech průtoku retentátu. Z tohoto plynou nižší náklady na čerpací techniku a nižší tlakové ztráty. (Přidal, 1999)

Tabulka 1 - Volba modulu podle membránového procesu

<i>membránový proces</i>	<i>typ modulu</i>				
	<i>trubkový</i>	<i>kapilární</i>	<i>s dutými vlákny</i>	<i>deskový</i>	<i>vinutý</i>
reverzní osmóza	+	-	++	+	++
ultrafiltrace	++	+	-	++	+
mikrofiltrace	++	+	-	-	-
nanofiltrace	+	0	+	+	++
pervaporace	0	0	++	++	++
permeace plynů	-	0	++	-	++
elektrodialýza	-	-	-	++	-

Symbole: ++ doporučuje se; + lze použít; 0 nejsou informace; - nelze použít

Zdroj: (Hasal, 2007)

3.5 Membránové technologie v potravinářství

Za posledních třicet let se membránové procesy staly jednou z klíčových technologií v potravinářství a zejména v nápojovém průmyslu. Hlavní úspěch byl dosažen v průmyslu mlékařském, nápojovém a ve výrobě potravinářsky přidatných látek. Základem membránových technologií jsou membránové procesy. (Rothenberg, 2008)

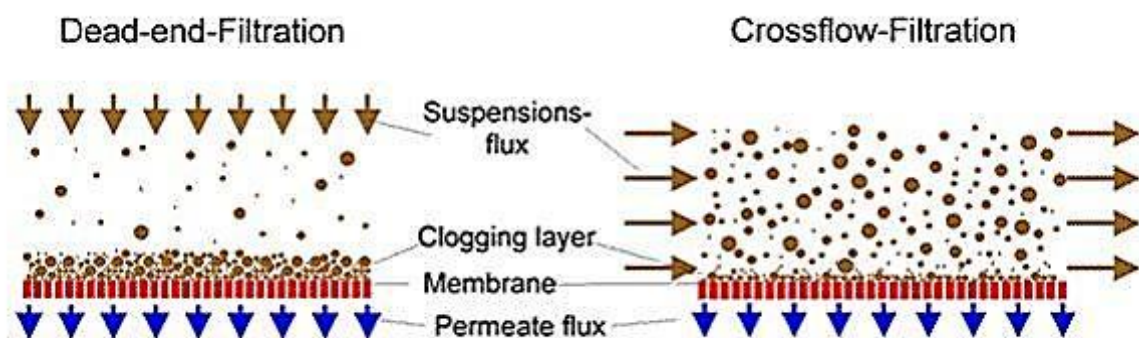
Jako základní separační element membránové procesy používají polopropustnou membránu. Princip separace spočívá v přivádění vstupní suroviny (nástříku) do membrány, nástřík zde bude v kontaktu s aktivní vrstvou membrány, tento proud se poté rozdělí na dva proudy. První proud, retentát, neboli koncentrát bude membránou zadržován a druhý proud, permeát bude membránou procházet. (Mikulášek, 2013)

Existují dva způsoby procesního uspořádání toku a to způsob dead - end a cross - flow. Schematické znázornění uvedeno na obrázku číslo 2.

Při způsobu Dead-end je průtok aplikován kolmo na povrch membrány. Částice menší než účinná velikost pórů odcházejí jako permeát a částice, které jsou větší vytvářejí na povrchu membrány vrstvu koláče. (Synder filtration - *Cross flow membrane operations*. [online]. Copyright © [cit. 15.02.2018]. Dostupné z: <http://synderfiltration.com/learning-center/articles/module-configurations-process/cross-flow-membrane-operations/>).

Základním způsobem uspořádání toku při membránových procesech je způsob příčného toku cross-flow. Princip funguje na základě proudění nástříku o vysoké rychlosti rovnoběžně s povrchem membrány a permeát odtéká ve směru kolmém k povrchu. (Terminology for membranes and membrane processes – *International union of pure and applied chemistry*. Copyright © 1996 [cit. 20.02.2017]. Dostupné z: <http://old.iupac.org/publications/pac/1996/pdf/6807x1479.pdf>).

Obrázek 2 - Uspořádání toku

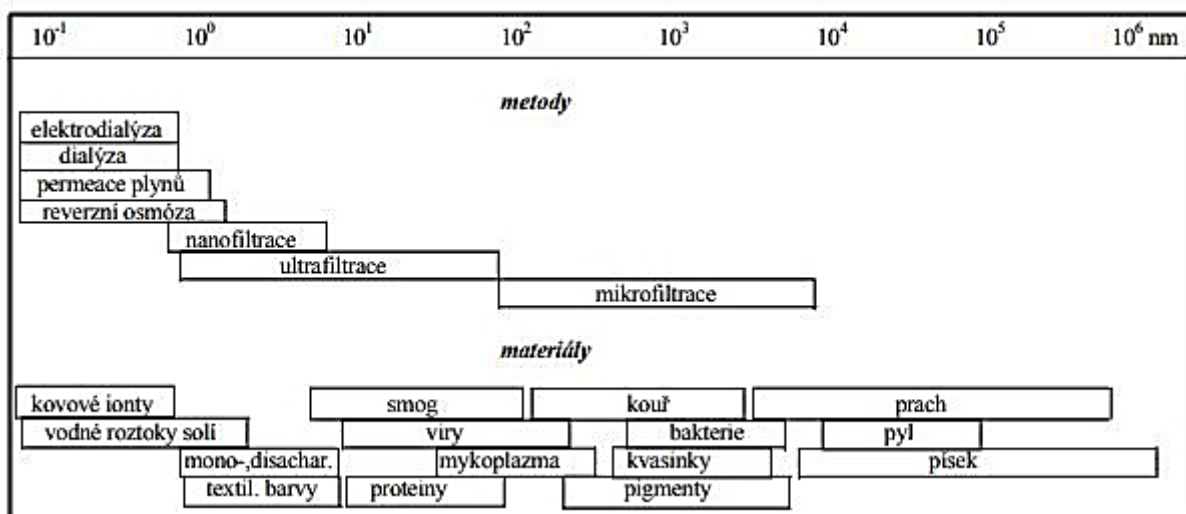


Zdroj: <http://www.southteksystems.com>

Na rozdíl od klasické filtrace je membránová separace pomocí systému Cross-flow složitější, ale má delší životnost. Delší životnost se zaručuje tím, že v průběhu filtrace se částice skoro nezachycují na povrchu membrány a tím pádem nevzniká filtrační koláč. Tento proces se využívá pro zahušťování nebo promývání suspenzí koloidů a dále pro dělení emulzí. (Baker, 2004)

Membránové procesy můžeme rozdělit do několika kategorií. Na obrázku číslo 3 je zobrazeno základní rozdělení membránových procesů podle velikosti pór. Tlakové membránové a elektromembránové procesy, které se v potravinářství uplatňují ve větší míře, budou popsány podrobněji. Všechny zbylé procesy budou rozepsány pod ostatními membránovými procesy. (Bernauer, 2012)

Obrázek 3 - Rozmezí velikostí částic dělených membránovou separací a způsoby jejich dělení



Zdroj: <http://www.vscht.cz>

Hlavní faktor, který ovlivňuje výkonost membrán je zanášení neboli fouling. Zanášení probíhá, buď při srovnatelné velikosti póru membrán a separovaných částic nebo při mnohem menším rozměru částic, než je rozměr póru membrány. (Mikulášek, 2013)

Jednou z možností pro omezení zanášení membrány lze například provést předúpravu nástřiku. Při předúpravě nástřiku se upravují teploty, pH a probíhá předfiltrace, aby byl rozdělen materiál podle frakce. Další možností je provést čištění, ať už mechanicky, chemicky, elektricky nebo hydraulicky.

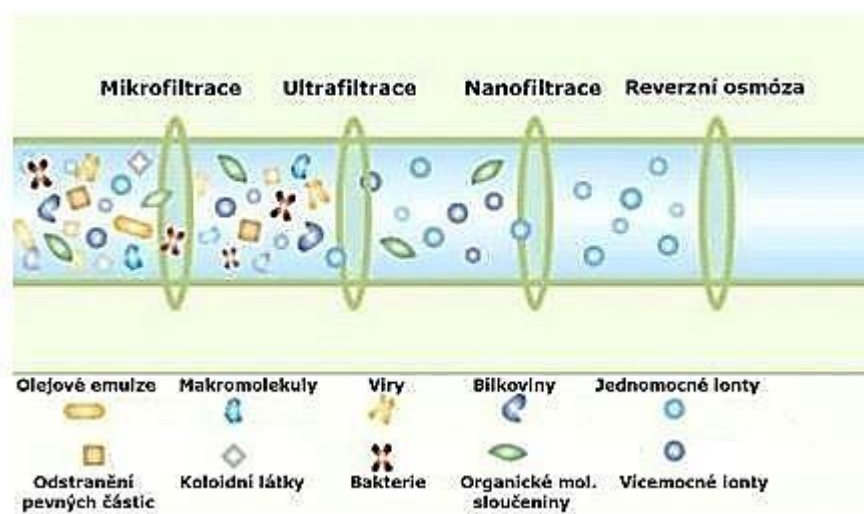
Důležitou podmínkou pro zamezení zanášení je volba vhodného materiálu membrány a vhodného modulu, například u rotačního modulu je nižší zanášení membrány.

Obecně platí, že zanášení membrány je přímo závislé na rychlosti nástřiku, čím je vyšší rychlost nástřiku, tím zanášení probíhá pomaleji. (Palatý, 2012)

3.5.1. Tlakové membránové procesy

Tlakové membránové procesy lze rozdělit do čtyř typů separačních technik: mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace, reverzní osmóza. Pro všechny tyto techniky je společným znakem použití tlakového rozdílu přes polopropustnou membránu. Na obrázku číslo 3 znázorněn proces separaci jednotlivých elementů pomocí tlakových membránových procesů. (Rozdělení membránových procesů – *Česká membránová platforma*. [online]. Copyright © 2018 [cit. 20.02.2018]. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/cs/rozdeleni-membranovych-procesu>)

Obrázek 4 - Schematické znázornění mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmózy



Zdroj: <http://www.czemp.cz/sites/default/files/clanek/312/prilohy/tmp.pdf>

Mikrofiltrace

V procesu mikrofiltrace separace probíhá na základě síťového efektu, při kterém se velikost póru filtračních membrán pohybuje v rozmezí od 0,05 μm do 10 μm . Při mikrofiltraci se používá nízký rozdíl tlaků do 0,4 MPa. (Tlakové membránové procesy – Česká membránová platforma. [online]. Copyright © 2018 [cit. 20.02.2018]. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/sites/default/files/clanek/312/prilohy/tmp.pdf>)

Mikrofiltrace slouží pro oddělení částic koloidního charakteru a mikroorganismů, makromolekul a bakterií z kapalin. Často se používá jako stupeň předúpravy před RO a NF. (Rothenberg, 2008)

Polymerní membrány se vyrábí třemi metodami. Metoda inverze fází polymerního roztoku nebo mechanickým strečováním polymerního filmu. Poslední metoda spočívá v ozáření polymerního filmu zářením o vysoké energii a následným leptáním ozářených míst. (Baker, 2012)

Mikrofiltrace se využívá v potravinářství především pro odstraňování bakterií a kvasinek z piva, vína a mléka. Dále pro čištění a sterilizaci ovocných šťáv, při výrobě velmi čisté vody. (Bernauer, 2012)

Ultrafiltrace

Ultrafiltrace je charakteristická tím, že velikost póru se zde pohybuje v rozmezí od 100 nm do 1 nm. Taková velikost pór napomáhá se zachytit makromolekulárním a koloidním látkám z roztoku. (Baker, 2012)

Mezi membrány pro ultrafiltraci se řadí metoda inverze fází. Metoda spočívá v odlití roztoku polymeru v organickém rozpouštědle ve slabé vrstvě na inertní podložku, což může být sklo nebo nerezavějící ocel. Tato podložka se s tenkou vrstvou polymeru ponoří do koagulační lázně. Jako koagulační lázeň se nejčastěji používá voda. Rozpouštědlo vnikne do vodní lázně a voda proniká do odlité polymerní vrstvy. Dosáhne-li polymer určité koncentrace ve vodě, dochází k přeměně polymeru do tuhé porézní membrány. Následuje samovolné odlepení membrány od inertní podložky. Membrány pro ultrafiltraci se vyrábí z polysulfonu nebo polyethersulfonu. Tyto membrány mají dobré mechanické vlastnosti, jsou pevné, jsou dostatečně selektivní a při tom mají vysokou produktivitu. Pohybují se v širokém spektru pH, konkrétně 1 – 14 a udržují svoji funkčnost i při teplotách do 90 °C. Další velká výhoda je, že mohou být čištěny velice agresivními chemickými prostředky. (Tlakové membránové procesy – Česká membránová platforma. [online]. Copyright © 2018 [cit. 20.02.2018]. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/sites/default/files/clanek/312/prilohy/tmp.pdf>)

Do ultrafiltračních membrán dále patří membrány z acetátu celulózy. Takové membrány jsou odolnější ke znečišťování pórů a mohou být využívány jen při nízkých pracovních teplotách, méně než 35 °C. Membrána může být použita jen pro látky, které mají hodnotu pH v intervalu 4 – 6. (Mikulášek, 2013)

Membrány z regenerované celulózy jsou dalším typem ultrafiltračních membrán. Tyto membrány se používají tam, kde je nezbytné, aby cenné látky byly zachovány. (Baker, 2012)

Pro membrány z polyvinylidenfluoridu je typická vysoká tepelná a chemická odolnost. Naproti tomu odolnost vůči alkalickým roztokům je velice malá. Membrány z polyakrylonitrilu jsou velice odolné proti zanášení. (Baker, 2004)

Největší zastoupení v potravinářství má ultrafiltrace v mlékárenském průmyslu. Používá se při zahušťování bílkovin a demineralizace syrovátky. Mléko zpracované ultrafiltrací se může přímo použít k výrobě sýrů, zmrzlin a jogurtů. Pomocí této metody lze vyrobit jak sýry nízkotučné, tak i smetanové sýry.

Další uplatnění se nachází u čiření piva, vína nealkoholických nápojů. Sterilizace, zahušťování želatiny, jablečných a citrusových pektinu, agaru, karagenanu, vaječných bílků. (Baker, 2012)

Nanofiltrace

Nanofiltrace umožňuje zachycení látek s nízkou molekulovou hmotností od 200 do 1000 Da. Rovněž mohou být roztříděny i vícevalentní soli od jednovalentních solí a kromě toho i od molekul rozpouštědla. Velikost pórů je zde menší než 2 nm. U nanofiltrace dochází vždy k překonání osmotického tlaku, k tomu je zapotřebí, aby se tlak pohyboval v intervalu $10 - 40 \times 10^5$ Pa. Pro výrobu membrán se nejčastěji využívají polyamidy. Selektivní vrstva je zde porézní, na rozdíl od reverzní osmózy. (Mikulášek, 2013)

Kompozitní membrána s polyamidovou selektivní vrstvou se skládá z mikroporézní polysulfonové membrány, která zde tvoří mikroporézní vrstvu. Selektivní vrstva je zde polyamidová a má slabý záporný náboj.

U kompozitní membrány s kationtově selektivní vrstvou je mikroporézní vrstva rovněž tvořena nejčastěji z polysulfonu. Pro selektivní vrstvu je zde typický silný záporný náboj. Kompozitní membrány s aniontově selektivní vrstvou se průmyslově nevyrábí. Selektivní vrstva zde nese kladný náboj. (Baker, 2004)

Nanofiltrace se využívá při změkčování vody a další úpravou vody, konkrétně eliminováním dusičnanových iontů. (Baker, 2004)

Reverzní osmóza

Při reverzní osmóze se separují nízkomolekulární látky i jednovalentní ionty většinou z vodných roztoků. Hnacím mechanismem je zde osmotický tlak. Jeho velikost ovlivňuje koncentrace rozpuštěné sloučeniny, její schopnost disociovat a v neposlední řadě teplota roztoku. Při reverzní osmóze se používá polopropustná

asymetrická nebo polopropustná kompozitní membrána s vysokým hydrodynamickým odporem. Reverzní osmotická membrána, stejně jako nanofiltrační membrána, se skládá ze tří vrstev. Jedná se o vrstvy selektivní, mikroporézní a vrstvu z netkané textilie. (Mikulášek, 2013)

Asymetrická membrána má slabou selektivní vrstvu, která plynule přechází do silnější mikroporézní vrstvy, jež jsou vyrobeny z totožného polymeru. V kompozitní membráně je vrstva mikroporézní a selektivní vyrobena z různých polymerů.

Tlak při RO musí být vyšší, než osmotický tlak systému, nejčastěji 20 – 100 $\times 10^5$ Pa. Z tohoto důvodu se jedná o vysoce energeticky náročný proces. Velikost pórů je zde menší než 1 nm.

V současnosti je nejpoužívanější reverzní osmotická membrána. Jedná se o kompozitní membránu s polyamidovou selektivní vrstvou. Tato membrána má selektivní vrstvu vyrobenou z aromatického polyamidu. Vrstva má tloušťku 0,1 – 0,2 μm . Mikroporézní vrstva je zde vyrobena z polysulfonu a z netkané textilie. Teplota separované látky by neměla přesahovat 45 °C. Rozsah pH při dlouhodobém používání je 2 – 11, při krátkodobém 1 – 13 pH. Selektivní schopnost těchto membrán se vysoce poškozuje při práci s oxidačními činidly (chlór, chlornany a peroxidy). (Baker, 2004)

Další využívaná membrána je kompozitní membrána s polyetherovou selektivní vrstvou. Hlavním rozdílem oproti kompozitní membráně s polyamidovou selektivní vrstvou spočívá v nanesení směsi monomeru na povrch polysulfované mikroporézní asymetrické membrány. Účinnost této membrány při demineralizace vody dosahuje až 99,9 %.

Asymetrická membrána z acetátu celulózy. Výhodou je nízká pořizovací cena, odolnost vůči chlorované vodě a odlonost proti zanášení organickými látkami. Naproti tomu má nižší schopnost zadržovat soli, než membrána s polyetherovou selektivní vrstvou. Rozsah pH u filtrovaných látek je pouze 4-6 a teploty do 45 °C. (Palatý, 2012)

3.5.2 Elektromembánové procesy

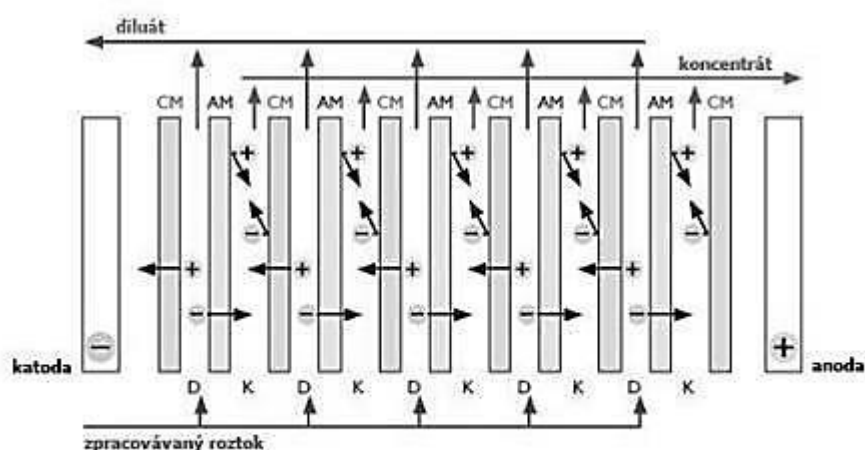
Hlavním principem těchto procesů je gradient elektrického potenciálu, který se aplikuje na iontovýměnné nebo bipolární membrány. Mezi tyto procesy se řadí především elektromembánové separační procesy, elektromembránové syntézní procesy a elektromembránové systémy pro konverzi energie. Iontovyměnné membrány zde se rozdužují podle typu fixovaných iontovýměnných skupin na katexové a anexové. Katexové membrány umožňují prostup kladně nabitým částicím. Anexové naproti tomu propouští jenom záporně nabitě částice. V potravinářství mají elektromembránové procesy široké uplatnění zejména ve výrobě piva, vína a ve zpracování syrovátky. (Strathmann, 1995)

Elektromembánové separační procesy

Tyto procesy můžeme rozdělit na elektrodialýzu a elektrodeionizaci. U elektrodialýzy se látky oddělují vlivem stejnosměrného elektrického pole a vlivem rozdílné propustnosti iontovýměnných membrán. Proces funguje na základě uspořádání cross-flow. Proud nástriku se tady rozděluje na proud odsoleny – diluát a proud koncentrovaný – koncentrát. Při vhodném uspořádání membrán s diulátem odchází ionizované látky a voda. V koncentrátu jsou pak zachyceny neionogenní látky ve vodném roztoku. Jednoprůchodový režim provozu se téměř nepoužívá. Proces elektrolýzy je znázorněn na obrázku číslo 5.

Elektrodeionizace probíhá na základě kombinace elektrodialýzy s ionexy v jednom zařízení. Ionexy představují směs katexu a anexu v určitém poměru a jsou uloženy v diulátové komoře. Diulátová komora představuje komoru, která je z jedné strany ohraničena anodou s anexovou membránou a na druhé straně katodou s katexovou membránou. (Membránové procesy – *Aplikovaná chemie*. [online]. Copyright © 2014 [cit. 19.02.2018]. Dostupné z: <http://aplchem.upol.cz/predmety/ZCHT/SKRIPTA/2014/Kapitola9.pdf>)

Obrázek 5 - Schéma elektrodiálýzy



CM – kationvýměnná membrána, D – diluátová komora,
AM – anionvýměnná membrána, K – koncentrátová komora

Zdroj: <http://www.czemp.cz>

Elektromembránové syntézní procesy

K těmto procesům patří vícekomorová elektrodiálýza, elektrodiálýza s bipolárními membránami, elektroforéza a membránová elektrolyza. Při elektroforéze iontovýměnná membrána se nachází v elektrickém poli. Membránová elektrolyza má kalolisové nejčastěji bipolární uspořádání. Jednotlivé části jsou zde tvořeny ve formě rámu. Při bipolárním uspořádání je napětí přiváděno na koncové elektrody, poté elektrody uvnitř svazku plní funkce elektrod obou polarit. Tyto procesy doposud nenašly využití v potravinářství. (Palatý, 2012)

Elektromembránové systémy pro konverzi energie

Vzhledem ke skutečnosti, že se tyto procesy v potravinářství nevyužívají, nebudou zde popsány. Více o těchto této metodě lze nalézt například v učebnici Palatý, 2012.

3.5.3 Ostatní membránové procesy

Pod ostatními membránovými procesy se ukrývají separace směsí plynů nebo par, pervaporace, membránové reaktory a dialýza. V potravinářství pervaporace se používá pro odstraňování alkoholu z piva i vína a také pro odstranění aromat. (Mikulášek, 2013)

Pervaporace

U pervaporace je hnací silou gradient chemického potenciálu. Na rozdíl od ostatních membránových procesů zde může docházet k fázovému přechodu přes membránu. V důsledku těchto separací s permeátem odchází těkavé malé molekuly a voda. Membránou jsou zachyceny netěkavé molekuly. (Baker, 2004)

Dělení směsi plynu a pár

Hnací silou je tady gradient tlaku. Separace probíhá na základě, buď porézních, nebo neporézních membrán. Pomocí separace plynu a par lze oddělit vodík, helium, oxid uhličitý, vzduch, páru z organických látek, vodní páru, zemní plyn a bioplyn. (Separace plynů a par – Česká membránová platforma. [online]. Copyright © 2011 [cit. 22.02.2018]. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/cs/membranove-procesy/separace-plynu-a-par>).

Membránové reaktory

Membránové reaktory jsou takové aparáty, které spojují v jednom zařízení pro membránovou separaci a chemickou reakci. (Membránové reaktory – Česká membránová platforma. [online]. Copyright © 2011 [cit. 22.02.2018]. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/cs/membranove-procesy/membranove-reaktory>)

Dialýza a její modifikace

U dialýzy stejně jako u pervaporace je hnací silou rozdíl chemického potenciálu. Používají se zde iontovýměnné membrány z polymeru.

Rozdělují se na difuzní dialýzu, neutralizační dialýzu a Donnanovu dialýzu. Velké molekuly tady zůstávají na povrchu membrány a pak odchází s retentátem. S permeátem odchází voda a malé molekuly. (Palatý, 2012)

3.6 Aplikace membránových procesů v potravinářství

3.6.1 Mlékárenský průmysl

Na světě je více než 6 miliard spotřebitelů mléka a mléčných produktů. Přes 750 milionů lidí žije na mléčných farmách. Průměrná spotřeba mléka k roku 2011

byla 730 milionů tun od 260 milionů krav. V roce 2013 byla spotřeba už 782 milionů tun mléka. S tímto stoupajícím trendem spotřeby mléka rostou i požadavky na kvalitu mléčných výrobků. (Navrátilová, 2012)

Těmto požadavkům spolehlivě vyhovují tlakové membránové procesy. Proces základní separace mléka podle membránových procesů je zobrazen na obrázku číslo 6. Pomocí metody mikrofiltrace lze jednoduše odstranit nežádoucí bakterie ze syrového mléka. Mikrofiltrací lze rovněž odstranit smetana ze syrového mléka, tato metoda se ale ve velkém měřítku nepoužívá a tato činnost se uskutečňuje pomocí centrifugy. (Mikulášek, 2013)

Po zpracování syrového mléka nám v permeátu zůstane laktóza, dvouvalentní ionty, monovalentní ionty a syrovátkové bílkoviny. Zároveň jsou membránou zachyceny bakterie a spory, tukové globule a kaseinové micely. Takto zpracované mléko má mnohem delší trvanlivost. Chemické vlastnosti mléka, stejné jako organoleptické nejsou změněny. Permeát z mikrofiltrace můžeme využít pro následovné zpracování mléka pomocí ultrafiltrace a tím získat proteinový koncentrát. (Rothenberg, 2008)

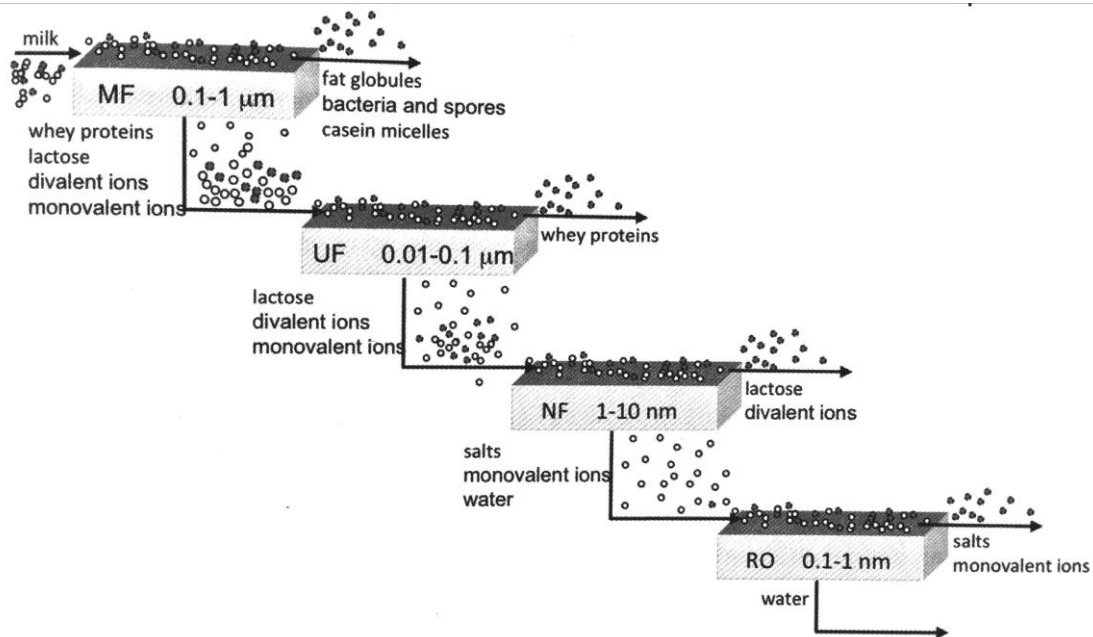
Dalším krokem ve zpracování mléka je tedy ultrafiltrace. Ta umožňuje čistit, zahušťovat a separovat jednotlivé složky mléka. Zahuštěné mléko slouží jako surovina pro výrobu sýrů, jak nízkotučných, tak i smetanových. Dále ultrafiltrace slouží pro normalizaci proteinu a sušiny, která se pak využívá pro výrobu tvarohu, smetany nebo jogurtů. Permeát z ultrafiltrace je složen především z laktózy a je většinou dále zpracováván reverzní osmózou nebo nanofiltrací. Ultrafiltrací lze získávat cenné proteiny nebo tuky z doposud nevyužité syrovátky získané při výrobě sýrů. (Mikulášek, 2013)

Při použití nanofiltrace se primárně ze syrovátky odstraňují soli a snižuje se obsah minerálních látek a kyselin. Rovněž tento proces se využívá k zahuštění mléka nebo syrovátky, kterou čeká přeprava nebo následující zpracování. Pomocí nanofiltrací se ze suroviny odstraní voda, ale i další monovalentní ionty. (Zadow, 1992)

Reverzní osmóza se stejně tak jako nanofiltrace používá k zahušťování mléka nebo syrovátky před přepravou, nebo dalším zpracováním. Dále se RO

využívá k demineralizace nanofiltračního permeátu. Výhodou je, že se odsolená voda vrací zpět do technologického procesu a tím očistí povrch membrány od nežádoucích látek. (Suková, 2006)

Obrázek 6 - Základní separace syrového mléka pomocí membrán



Zdroj: <http://www.ctpp.cz>

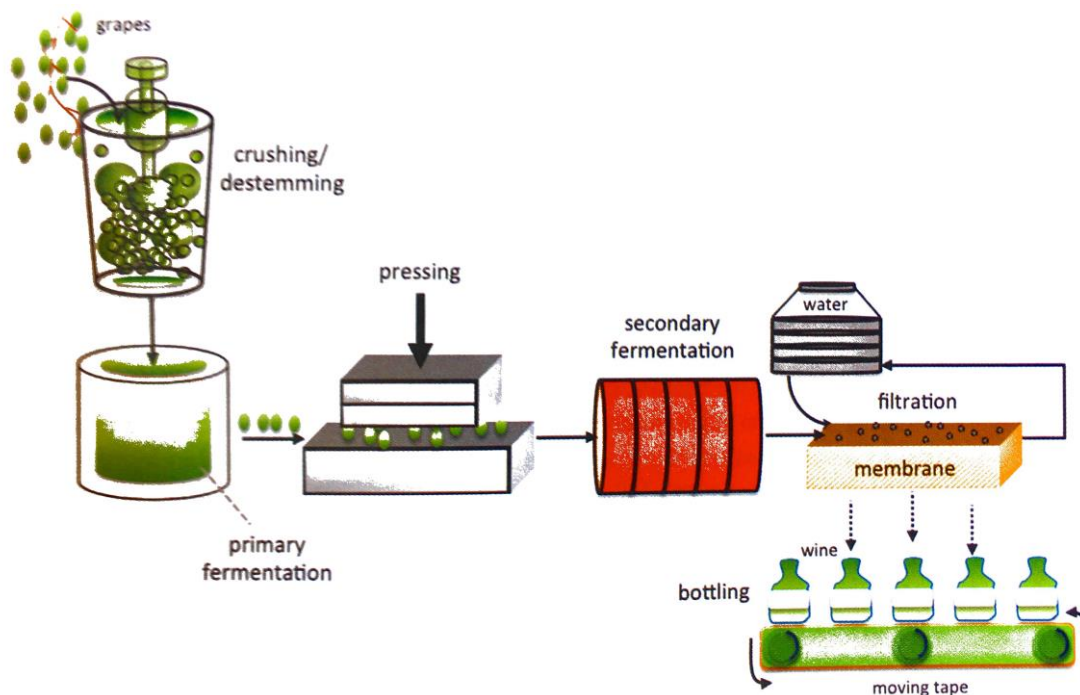
3.6.2 Vinařství

Ve výrobě vína mikrofiltrace většinou slouží jako koncová filtrace, jejím cílem je zajistit mikrobiologickou stabilitu. Při tomto procesu musíme zabránit styku vína se vzduchem a taktéž s vodou. Na obrázku číslo 7 je uveden celkový proces výroby vína. (Palatý, 2012)

Široké uplatnění zde našli elektromembranové separační procesy a to především elektrodialýza. Elektrodialýza je v dnešní době hojně používaná. Firma MemBraine s.r.o aktivně využívá tento proces pro odstranění vinného kamene t.j. hydrogenvinanu draselného. Elektrodialýza zároveň slouží k úpravě pH vína. Nevýhodou je, že ovlivňuje složení vína a je nutné zvážit vhodnost pro určitý druh

vína. (Elektrodialýza – *membrain.cz* [online]. Copyright © 2018 [cit. 09.02.2018]. Dostupné z: <https://www.membrain.cz/elektrodialyza.html>)

Obrázek 7 - Schéma použití membrán ve vinařství



Zdroj: (Rothenberg, 2008)

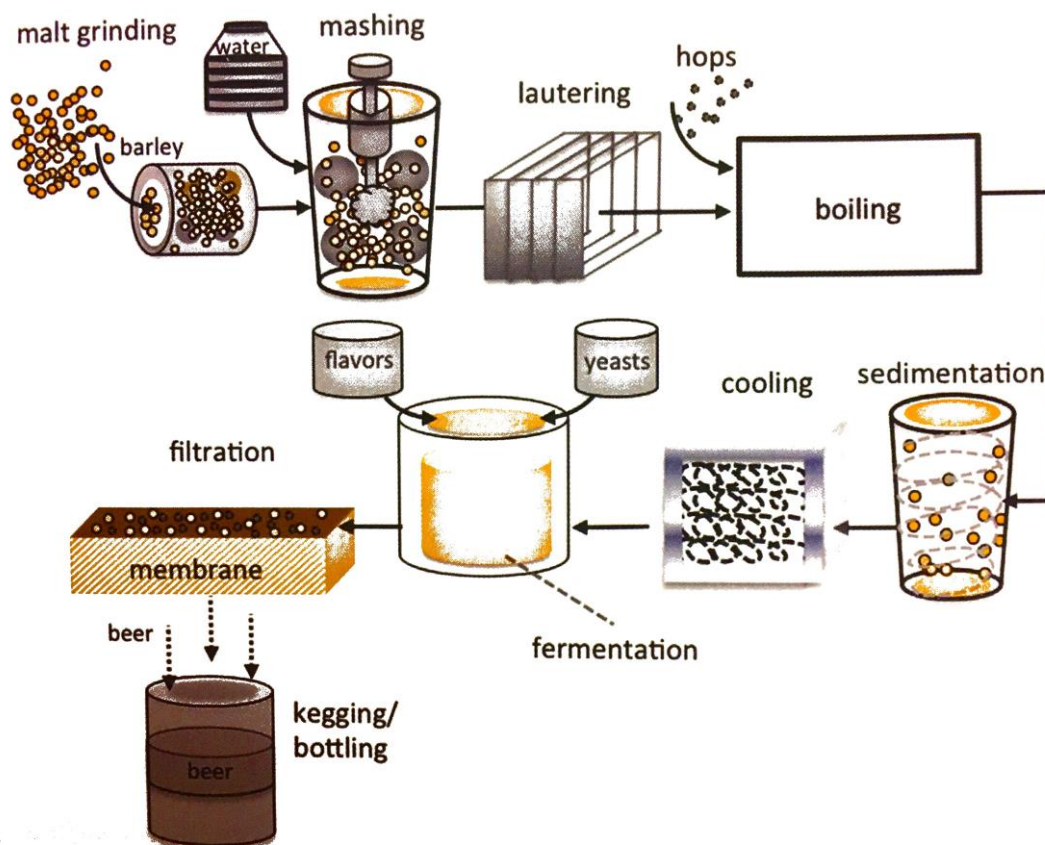
3.6.3 Pivovarství

Moderní membránové technologie přinesly do pivovarství revoluci. A to s odstraněním těžko zužitkovatelné odpadní směsi z kvasnic a křemeliny, což snižuje náklady na jejich likvidaci. (Basářová, 2010)

V pivovarnictví se z membránových technologií nejvíce používá mikrofiltrace a ultrafiltrace. Tyto metody zde slouží pro odstraňování bakterií a uchovávají chuť a aroma. Pomocí mikrofiltrace lze zaručit delší dobu skladování a to bez tepelné úpravy, která by mohla ovlivnit chuť piva a taky jeho mikrobiální složení. (Rothenberg, 2008)

Vysoká kvalita vody v pivovarství se zaručuje reverzní osmózou se spirálně vinutými membránami. RO se zde rovněž uplatňuje pro výrobu nealkoholického piva. (Mikulášek, 2013)

Obrázek 8 - Schéma použití membrán v pivovarství



Zdroj: (Rothenberg, 2008)

3.6.4 Masný průmysl

Masný průmysl využívá membránové technologie k transformaci odpadních vod, které vznikají při zpracování masa a ryb. Pomocí metody ultrafiltrace lze z odpadních vod odstranit bílkoviny, oleje a tuky. Následně lze pomocí metody reverzní osmózy získat čistou vodu. Nanofiltrací se zde získávají aromatické látky. Ultrafiltrací se separuje krev nebo krevní plazma jatečných zvířat a lze koncentrovat krev až na obsah sušiny. Také je možné ultrafiltrací získat kolagen, elastin a zkoncentrovat extrakty. (Mikulášek, 2013)

3.6.5 Cukrovarnictví

V potravinářství patří výroba cukru k nejvíce energeticky náročným procesům. Membránové procesy pomáhají snížit náklady na energetický provoz. Použití membránových technologií je však omezené a to hlavně díky vysokému osmotickému tlaku a velké viskozitě.

Ultrafiltrace nebo mikrofiltrace se využívá k čištění surové šťávy získané z řízků. Membránové technologie tedy nahrazují dřívější používání vápna, oxidu siřičitého a oxidu uhličitého. Těmito látkami se získávala odbarvená čistá šťáva.

Dále se v cukrovarnictví používá elektrodialýza k odsolení cukrů na diluát a umožňuje regeneraci kyselin použitých při hydrolýze.

3.6.6 Ovocné šťávy

Ovocné šťávy se čistí pomocí mikrofiltrace a ultrafiltrace. Čisté šťávy se před transportem zahustí na 10% původního objemu pomocí nanofiltrace a reverzní osmózy. NF a RO nahrazují dříve používanou, více energeticky náročnou odparku. (Mikulášek, 2013)

3.6.7 Rostlinné oleje

Proces rafinace lze nahradit dvakrát opakující se ultrafiltrací. Velkou výhodou při použití ultrafiltrace je to, že nejsou za potřebí žádné další přísady (sorpční a jiná činidla). Retentát z ultrafiltrace se může dále zpracovávat běžnou filtrací. (Babenyšev, 2007)

3.6.8 Výroba škrobu

Z odpadních vod potravinářské výroby lze pomocí metody ultrafiltrace získat škrob a ostatní látky. (Mikulášek, 2013)

3.7 Uplatnění membránových procesů v dalších oborech

Membránové procesy nemají uplatnění jen v potravinářství, ale i v níže zmíněných odvětvích.

3.7.1 Úprava vody

Pomocí mikrofiltrace a ultrafiltrace lze odstranit nerozpustné látky z pitné vody a také je možné provést dezinfekce a to bez přidaných látek. Při nanofiltraci nebo reverzní osmóze lze vodu změkčit a rovněž odstranit zbarvení. Reverzní osmóza hraje důležitou roli v demineralizaci vody.

Při likvidaci olejových odpadních vod se používá buď mikrofiltrace nebo ultrafiltrace. (Palatý, 2012)

3.7.2 Automobilový průmysl

Membránové filtrace se zde uplatňují pro likvidaci odpadních olejových vod, obsahující vodné disperze polymerů a také pro odstraňování těžkých kovů z průmyslových odpadních vod. (Palatý, 2012)

Ultrafiltrace dále slouží pro recyklaci elektroforézních barev z oplachových vod.

3.7.3 Papírenství

Zde se jedná se především o čištění odpadních vod. Použitím kombinace ultrafiltrace a nanofiltrace se úspěšně oddělují a zahušťují barevné látky z papírenských odpadních vod. (Strathmann, 1995)

3.7.4 Energetický průmysl

Pro konverzi energie by v budoucnu mohly být využity průtočné baterie a membránové superkondenzátory. Dalším využitím jsou palivové články, které slouží pro konverzi chemické energie na elektrickou a naopak. (Palatý, 2012)

3.7.5 Chemický průmysl

Pomocí elektrolýzy solanky lze vyrobit chlór a hydroxid sodný. Při regeneraci chromovacích lázní lze získat peroxid vodíku a ozon. (Palatý, 2012)

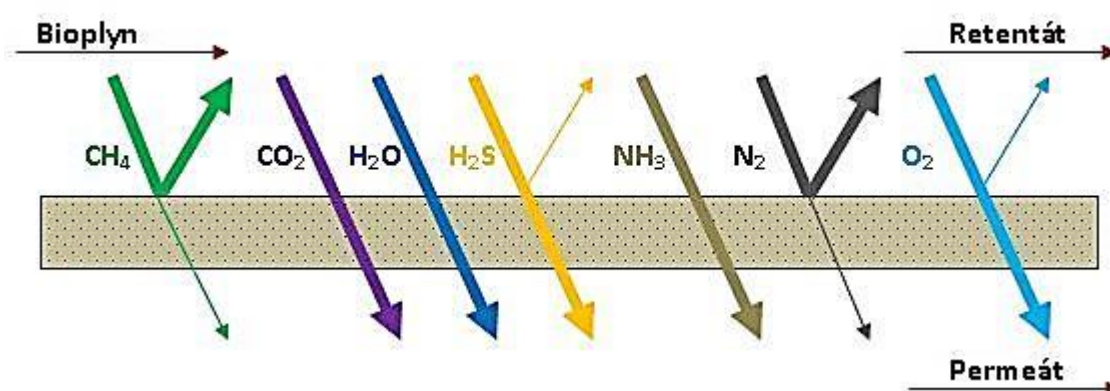
Ultrafiltrace slouží pro recyklaci elektroforézních barev z oplachových vod.

Úprava bioplynu na biometan

Existuje hned několik technik pro upgrading bioplynu na biomethan. Mezi metodu s nejvíce výhodami patří membránová separace. Výhody jsou nízké energetické nároky, jednoduchost procesu, nezávislost na složení bioplynu, nejsou používány žádné kapaliny a není je tedy potřeba regenerovat nebo likvidovat. Membránová separace je šetrná k životnímu prostředí.

Principem membránové separace je různá průchodnost molekul skrz membránu. Některé molekuly, jako CO_2 prochází skrz membránu a nachází se na permeátové stranu membrány. CH_4 neprojde membránou a zůstává na retentátové straně. Tím vzniká proud bohatý na CH_4 . Membránová separace bioplynu – *membrain.cz* [online]. Copyright © 2018 [cit. 09.02.2018]. Dostupné z: <https://www.membrain.cz/elektrodialyza.html>

Obrázek. 9 - Schéma membránové separace bioplynu



Zdroj: <https://www.membrain.cz>

3.7.6 Farmaceutický průmysl

Mikrofiltrace se používá pro výrobu injekčních roztoků, léků a také slouží pro sterilizaci. Tyto metody separují látky na základě relativní molekulové hmotnosti.

Pro výrobu antibiotik, aminokyselin jsou vhodné membránové reaktory. (Palatý, 2012)

4. Návrh řešení membránové technologie ve vybraném provozu

Prvním krokem při vypracování praktické části bylo vyhledání firem v České republice, které se zabývají navrhováním membránových technologií. Vyhledaná data byla zpracována do tabulky. Pro jednotlivé společnosti je uvedeno jaké membránové procesy nabízí a kde mohou být uplatněny nebo kde se již v oboru potravinářství využívají.

Tabulka 2 - Přehled dodavatelů membránových procesů v České republice

Stát	výrobce	Tlakové membránové procesy				Elektromembránové procesy					PV	MBR	
		MF	UF	NF	RO	ED	EDI	EF	ME	CEDI			
Česká republika	Blek Filtry s.r.o.	Pivovarství: úprava vody: Prazdroj a.s., Polička a.s. úprava piva: Bernard s.r.o., Svijany a.s., PM company s.r.o., zámecký pivovar Frydlant, maxdrinks s.r.o., pivovar Antoš. Víno: Chateau Valtice, víno Hruška, víno Masaryk, Chateau Marco, vinařství Vajbar, vinařství Gotberg.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MemBrain s.r.o. (dceřiná společnost Mega a.s)	Stabilizace vína, zajištění mikrobiální stability ovocných šťáv a moštů	Bohušovická mlékárna	-	Úprava vody pro potravinářský průmysl	Interlacto Groupe s.r.o., Moravia Lacto a.s., mlékárna Olešnice + zajištění vinanové stabilizace + zpracování cukrů	-	-	-	-	-	-	-
	Culligan s.r.o.	-	-	-	Úprava vody v pivovaru Antoš Slaný	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mikropur, s.r.o.	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-
	Eurow ater spol s.r.o.	-	-	Slouží pro úpravu pitné vody	Úprava vody	-	Demineralizace vody vysoké kvality	-	-	-	-	-	-
	VWS Memsep s.r.o	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-
	Watek, s. r. o.	-	-	-	Úprava vody pro Nestlé Česko s.r.o.	-	-	-	-	-	-	-	-

Vzhledem ke skutečnosti, že nejvíce podkladů jsem získala pro obor mlékárenství, rozhodla jsem se pro návrh řešení v tomto oboru. Pro modelový provoz byla vybrána mlékárna Moravia Lacto a.s. Jihlava., která patří do skupiny Interlacto groupe.

4.1 Základní informace o podniku

První zmínka o mlékárně se datuje rokem 1928, kdy německá mlékárna „Zentralmolkerei für Iglau und Umgebung, G. M. B. H.“ zahájila provoz. Členové družstva tehdy byli pouze němečtí zemědělci. O čtyři roky později byli do družstva přibráni i čeští rolníci a došlo k připojení českého názvu „Ústřední mlékárny pro Jihlavu a okolí, z. s. s. r. o.“

V roce 1946 bylo rozhodnuto o stavbě nové mlékárny. Rok 1951 přinesl znárodnění a podnik byl přejmenován na „Horácké mlékárny, n. p., Jihlava“. V tomto roce běžel provoz, který zpracovával 30 000 litrů mléka denně.

Začátkem 90. let dochází k privatizaci majetku mlékárny a 1. 1. 1994 se zakládá společnost Jima Jihlavské mlékárny a.s., která sdružuje mlékárny v Jihlavě a Telči. Většinovým vlastníkem je česká společnost Interlacto. Z důvodu konkurenceschopnosti na evropském trhu dochází k modernizaci mrazírny a budovy pro příjem mléka, pro základní ošetření a pasterizaci. Zároveň dochází ke zprovoznění nové sýrárny výrobní kapacitou 10 000 tun polotvrdých a tvrdých sýru za rok. Tato modernizace výroby se vyšplhala na částku 40 mil. korun. Tyto úpravy vedly k tomu, že společnost získala agreement EU a certifikaci ISO.

Všechny výše popsané kroky mlékárny měli za následek úspěšný vývoj společnosti. Každým rokem dochází k znatelnému pokroku v technologii výroby, ve vědeckých výzkumech a ve vývoji nových výrobků. Společnost zvýšila objem nakupované mléčné suroviny a rozšířila pole působnosti i na zahraničních trzích.

V rámci marketingové strategie došlo 1. 1. 2004 ke změně dosavadního názvu podniku z Jima Jihlavské mlékárny a.s. na Moravia Lacto a.s. Od března roku 2004 mlékárna dodává své produkty na trh pod značkou Moravia. (Historie – *MoraviaLacto*. [online]. Copyright © 2014 [cit. 09.03.2018]. Dostupné z: <http://www.moravialacto.cz/o-nas>)

Obrázek 10 - Mlékárna Bohemia Lacto a.s.



Zdroj: <http://www.moravialacto.cz>

Sortiment výrobků

V mlékárně Bohemia Lacto se vyrábí čerstvé mléčné produkty. V současnosti si zákazník může vybrat téměř ze 100 druhů výrobků. Produkce tekutých mléčných

výrobku měsíčně činí až 2 mil. litrů. Jedná se pochopitelně o mléko polotučné a plnotučné (svačínové), dále je to smetana sladká a smetana na šlehání. Vedle tekutých mléčných výrobků mlékárna nabízí i zakysané mléčné produkty. Ze zakysaných mléčných výrobků mlékárna nabízí jogurt bílý, kefirové mléko a podmáslí šlehané. Tyto tradiční české produkty jsou dodávány na trh v praktickém obalu Pure–Pak®. Tyto čerstvé mléčné produkty vysoké kvality jsou vyráběny bez konzervačních látek a aditiv.

Zbylou částí produkce je výroba jemného a tvrdého tvarohu, dále tavených, polotvrdých a tvrdých sýrů. V sýrárně se vyrábí sýry eidamského typu. Tato sýrárna patří mezi nejmodernější sýrárny v České republice. Měsíční produkce sýrů zde činí 500 – 550 tun.

Do zahraničí se nejvíce vyváží sušené odtučněné mléko a sušená demineralizovaná syrovátka, která se vyrábí v prostorech mlékárny v sušárně. Export je směřován zejména do Číny, Blízkého východu, Ruska, balkánských států, Jižní Ameriky a v neposlední řadě do Evropské unie.

Výroba másla byla z Jihlavské mlékárny přesunuta do mlékárny v Olešnici, nicméně máslo Moravia je stále k dostání bez změněné receptury a obalu. Bohemia Lacto na oplátku pro mlékárnu v Olešnici vyrábí mléko, kterým se tamní mlékárna nezabývá.

GASTRO. Pod sekcí gastro můžeme najít produkty určené pro velké stravovací závody, jídelny, menzy, hotely apod. Hmotnost výrobků označených jako gastro se pohybuje od 1 až do 25kg.

Obrázek 11 - sušená syrovátka 25kg



Zdroj: <http://www.moravialacto.cz/produkty/detail>

4.2 Řešení membránových technologií na demineralizaci syrovátky

Moravia Lacto a.s. patří mezi lídry ve výrobě čerstvých mléčných výrobků, polotvrdých a tvrdých sýrů. Společnost zpracovává kolem 150 tun sladké syrovátky denně.

Se snižující se světovou cenou za sušené odstředivé mléko firma Moravia Lacto potřebovala zavést novou technologii, která naplní kapacitu sušárenské technologie. Řešením tohoto problému bylo zavedení metody na zpracování syrovátky. Lze tak jednoduše využít maximální kapacitu zařízení (odparky, sušicí věž a zásobní nádrže) a tím také optimalizovat provoz sušárny a demineralizace. Byl tedy zaveden elektromembránový separační proces, konkrétně metoda elektrodialýzy.

Důvodem pro zavedení membránové technologie se taktéž stal systém platby za znečištění životního prostředí. Nezpracovaná syrovátka má velký podíl zastoupení v mléce (85 – 95 %) stává se nemalým zdrojem pro znečištění životního prostředí. Její roční objem celosvětové produkce činí (180 – 190 milionu tun). (de Boer,2014) Syrovátka tvoří 55% nutričních hodnot na celkovém objemu mléka a má vysoký obsah organických látek. (Carvalho a kol., 2013)

Před návrhem řešení membránových technologií pro společnost Moravia Lacto bych chtěla analyzovat další varianty demineralizace syrovátky, aby byla pochopena strategie a důvod zavedení konkrétně této metody.

Existují různé možnosti demineralizace syrovátky a to buď pomocí nanofiltrace, elektrodialýzy, iontové výměny nebo kombinací těchto metod. Přehled jednotlivých metod je v tabulce číslo 3.

Tabulka 3 - Metody demineralizace a jejich účinnost

Metody: Parametry:	NF	ED	Iontová výměna	Kombinační metody		
				NF + ED	ED + Iontová výměna	NF+ ED + Iontová výměna
Maximální dosažená demineralizace (%)	30	90	99	90	90	90
Podíl sušiny vstupující suroviny (%)	6	10	6 až 20	6	18	6
Podíl minerálních látek vstupující suroviny (%)	10	10	10	10	10	10
Podíl sušiny vystupující suroviny (%)	18	10	6 až 20	18	18	18
Podíl minerálních látek vystupující suroviny (%)	6	1	1	1	1	1

Při použití nanofiltrace nejlepší odstranění solí probíhá na úrovni nízké intenzity toku a tím pádem při nízkém transmembránovém tlaku. Dosahuje se snížení pH u sladké syrovátky z 6,6 na 5,8. Vstupující proud má přibližně 25 % sušiny. Úroveň demineralizace se zde pohybuje zpravidla do 30 %. Kombinace s diafiltrací může úroveň demineralizace zvýšit až na 50 %. Při kombinaci nanofiltrace a diafiltrace zároveň se zvyšují ztráty na energii a bohužel dochází ke ztrátě cenných látek jako vitaminů, aminokyselin a hlavně laktózy. Hlavní výhodou oproti elektrodialýze je současné zahuštění až na 20 % sušiny, nižší provozní náklady a nižší spotřeba vody.

Vhodnou alternativou elektrodialýzy by mohla být iontová výměna, která spočívá v dosažení separace proteinu pomocí úpravy pH chemickou metodou. Nedemineralizována syrovátka prochází přes sloupec, který má afinitu k proteinu. Protein se shromažďuje a všechny ostatní makronutrienty odcházejí. Chemická činidla hydroxid sodný a kyselina chlorovodíková jsou zavedeny za účelem uvolnění proteinu úpravou pH. Úroveň demineralizace zde dosahuje 99 %.

Zatímco se jedná o velmi vysokou složku bílkovin (90-96 %), tato hodnota pH může denaturovat protein a tím pádem snižuje biologickou aktivitu bílkovin a jejich mikroživin. Snížené nebo eliminované jsou antioxidanty, esenciální aminokyseliny, absorpce vápníku atd. Kvůli denaturaci bílkovin má iontová výměna znatelné aromatické rozdíly. Proteiny z iontové výměny mají slanou chuť bez mléčné příchutě. Jednou velkou nevýhodou je zde nadprůměrná spotřeba vody. (Membrane vs. Ion Exchange – *Milk specialities*. [online]. Copyright © 2013 [cit. 29.03.2018]. Dostupné

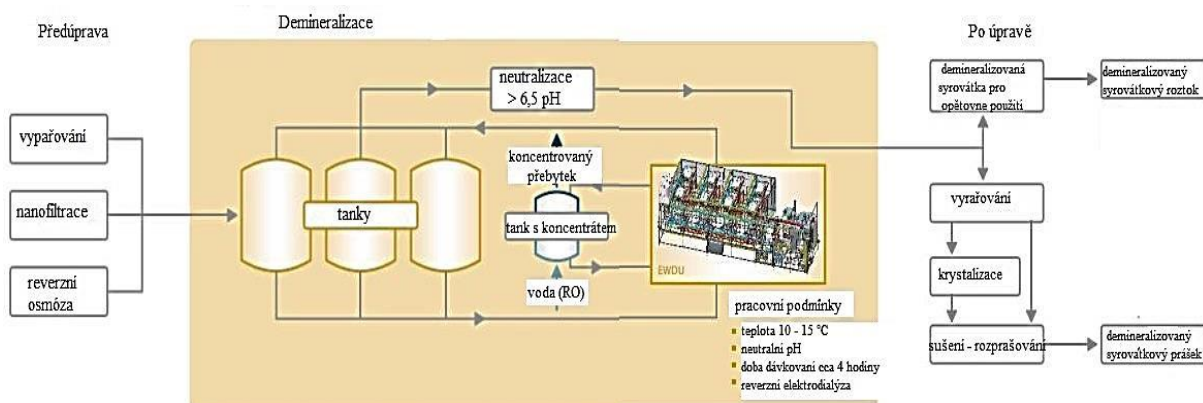
z: <http://www.milkspecialties.com/news/membrane-vs-ion-exchange-which-process-is-best-for-whey-protein-powder/>)

Spojením metody nanofiltrace a elektrodialýzy lze dosáhnout demineralizace až 90%. Při použití samotné nanofiltrace je odsolení maximálně na 50 %. Výhodou je zahuštění syrovátky za současného odsolování.

Kombinace metod nanofiltrace elektrodialýzy a iontové výměny zaručuje největší flexibilitu procesu. Při velkých objemech produkce (více než 10 000 tun ročně) jsou nízké náklady na provoz. (Suková, 2006)

Můžeme tedy říci, že největší efektivnosti lze dosáhnout iontovou výměnou, jedná se však ale o těžko proveditelný proces, při kterém dochází ke ztrátě cenných látek a laktózy. Iontová výměna je proces velice nákladný, tyto fakty dělají metodu obtížně použitelnou v mlékárenském průmyslu. Nanofiltrace se vyznačuje nejmenší efektivností demineralizace. Nejvhodnější se zdá být tedy použití kombinace metod, lze tak dosáhnout demineralizace syrovátky na 30, 50 nebo 90 %. Tato kombinace je ovšem velice nákladná. Nejvíce racionální a ekonomická volba je pro metodu elektrodialýzy. Metoda nejenom odstraňuje zbytky minerálních látek, ale zároveň pomáhá regulovat pH suroviny. Z tohoto důvodu Moravia Lacto zvolila pouze elektrodialýzu.

Obrázek 12 - Jedna z možností procesu demineralizace



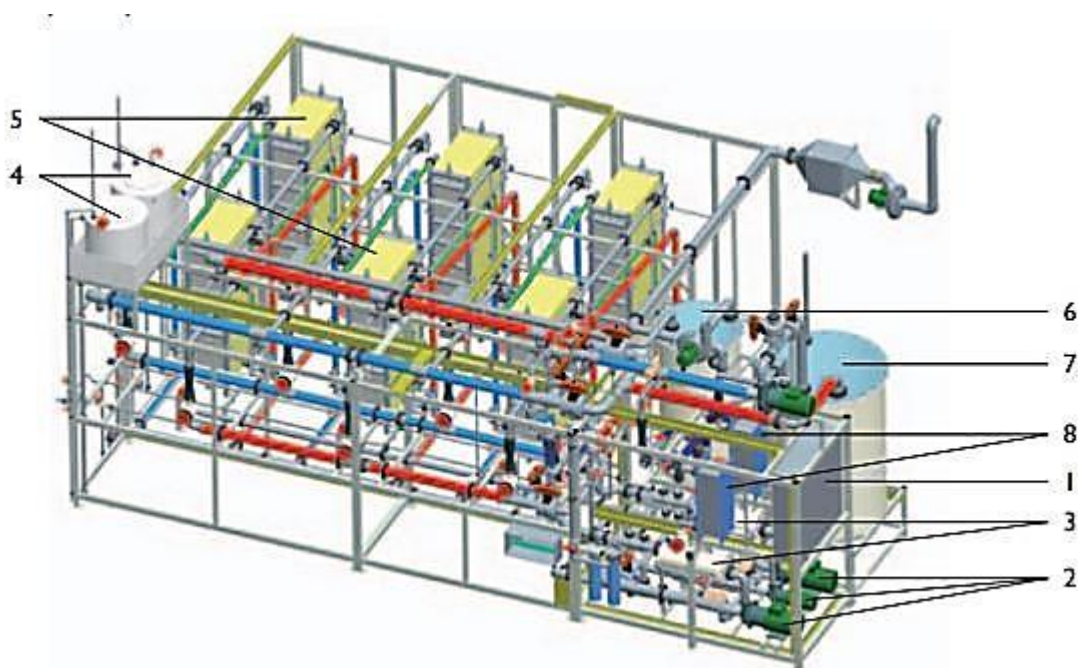
Zdroj: <http://www.mega.cz>

Firmou, která technologii elektrodialýzy zavede, byla zvolena společnost Mega a.s. a její dceřiná společnost MemBrain. Návrh řešení spočíval především v aplikaci elektrodialyzační jednotky pod názvem RALEX® EWDU. Důvodů pro návrh

konkrétně této jednotky bylo hned několik. Velké výhody spočívají především v možnosti získávání kvalitního výrobku při různé úrovni demineralizace a možnost zpracování, jak syrovátky kyselé, tak i syrovátky sladké. Elektrodialyzační jednotka byla navržena především kvůli vynikajícím separačním schopnostem.

Zvolena byla průmyslová jednotka RALEX® EWDU 6×EDR-II/250 se zapojením až šesti elektrodialýzerů. Zařízení je schopno ze čtyř šarží zpracovávat v rámci 24 hodinového cyklu 25 tun syrovátky o obsahu sušiny 10%. Demineralizace probíhá ve vsádkovém režimu. Vybavení je řízeno automatickým provozem se systémem čištění (CIP). Rozměry této jednotky jsou 5,3 m na šířku, 7,7 m na délku a 4,2 m na výšku. Rozměry nezahrnují rozvodné skříně, ovládací PC a prostory pro obsluhu kolem zařízení. Na obrázku číslo 13 je znázorněno základní sestavení zařízení.

Obrázek 13 - Skladba jednotky RALEX® EWDU 6×EDR-II/250



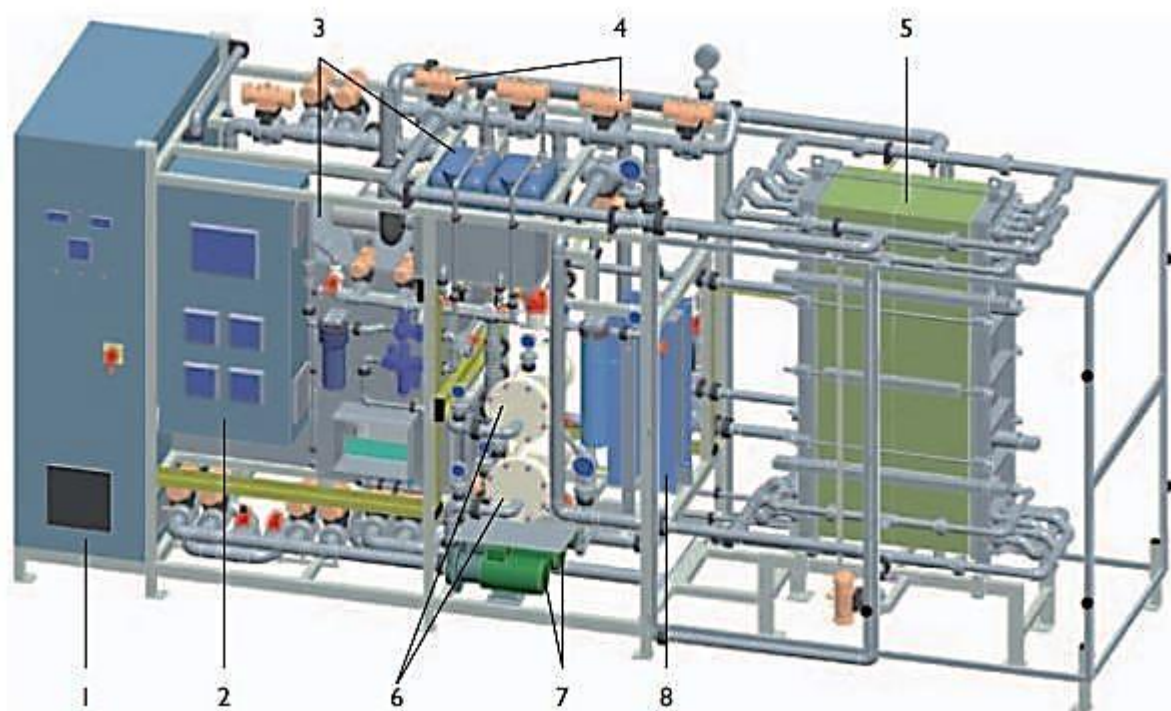
Legenda:

- 1 Ovládací panel s měřením procesních parametrů,
- 2 Čerpadla diluátu, koncentrátu, elektrodového roztoku,
- 3 Pojistný filtr produktu a elektrodového roztoku,
- 4 Nádrže pro chemikálie, 5 Elektrodialyzéry EDR-II,
- 6 Zásobní nádrž pro elektrodový roztok,
- 7 Zásobní nádrž na koncentrát, 8 Výměníky.

Zdroj: <http://www.mega.cz>

S rostoucím množstvím syrovátky a jejím snadným prodeji společnost objednala u firmy Mega a.s další elektrodialyzační jednotku RALEX® EWDU P15 2×EDR-II/250 se zapojením dvou elektrodialyzérů s částečnou úpravou technologických parametrů. Tato jednotka na rozdíl od první jednotky je vybavena dotykovou obrazovkou pro ovládnání a pro kontrolu parametrů. Rozměry jsou 1,2 m na šířku, 6,7 na délku a 2,4 m na výšku. V rozměrech nejsou zahrnuty parametry obslužného prostoru kolem zařízení. Skladba této jednotky je znázorněna na obrázku číslo 14.

Obrázek 14 - Skladba jednotky RALEX® EWDU P15 2×EDR-II/250



Legenda:

- 1 Rozvaděč s elektro částmi a zdrojem stejnosměrného proudu*
- 2 Rozvaděč PLC s dotykovou obrazovkou a převodníky*
- 3 Nádrže pro chemikálie CIP, na koncentrát a elektrodový roztok*
- 4 Automaticky ovládané reverzační ventily*
- 5 EDR-II elektrodialyzér*
- 6 Pojistné filtry*
- 7 Odstředivá čerpadla diluátu, koncentrátu, elektrodového roztok*
- 8 Tepelný výměník R*

Zdroj: <http://www.mega.cz>

Membrány RALEX® jsou heterogenní iontovýměnné fólie, které má firma MEGA a.s. patentované. Jedná se o membrány vysoce plněné polymerní kompozity složené z velmi jemně mletých polymerních částic s iontovýměnnými funkčními skupinami. Skupiny jsou zakotveny v intertní polymerní matici a armující textilií, která vylepšuje mechanické vlastnosti membrány. Membrány zajišťují separační transport iontů nebo molekul, které nesou určitý náboj. Tohoto náboje se dosáhne vznikem prostorového elektrostatického náboje v membráně.

Membrány RALEX® můžeme rozčlenit do několika skupin dle vlastností a aplikačního prostředí. Mezi podstatné vlastnosti patří kyselost prostředí, teplotní limity procesu, typ procesu, požadavky na hygienickou certifikaci atd.

Technické parametry elektrodialýzy

Elektrická část: – Max. napětí 400 V, Max. el. proud 120 A – 7,5 kW (D a K); 2,2 kW (E) – 3 DC zdroje 38 kW

Čerpací část: – max. tlak ve svazku 250 kPa – 10 m³ / hod. (D a K); 1,5 m³ / hod. (E)

Celková kapacita zařízení: – 6 svazků – 10 t sušiny / den – skutečný výkon je ovlivněn řadou parametrů – okamžitý průtok 40 m³ / hod. – skutečný výkon cca 120 kWh / 1t sušiny

Požadavky na údržbu

Čištění CIP sekvencí:

Pravidelné čištění každých 24 hodin (cca po 4 šaržích).

Kyselina dusičná (2%) - odstranění minerálních látek

Hydroxid sodný (2%) – odstranění tuků a bílkovin

Kyselina dusičná (1%) – uvedení membrán do kyselého prostředí

Mezi každým čisticím roztokem se zařízení propláchně vodou, teplota maximálně 30°C po dobu 30 minut. Tato teplota odpovídá teplotní stabilitě membrán (vyšší teploty způsobují tvarovou deformaci svazků. Vzhledem k nízké teplotě CIP proces trvá 4 hodiny.

Revize svazků

Mechanické čištění se provádí alespoň jednou za rok. Spočívá v mechanickém odstranění sraženin na membránách, revizí případně výměn poškozených membrán a kontrole stavu elektrod.

Časový harmonogram provozu se sestává z 20 hodinového provozu a 4 hodinového CIP čištění. Během tohoto čištění se provádí revize svazků a oplach povrchů svazků. Jednou za týden probíhá prodloužený CIP, to obsahuje i čištění filtrů. Jedno za měsíc se provádí kontrola dotažení svazků a jednou za 3 měsíce se mění filtry na vodu. Komplexní revize svazků se provádí jednou za rok, kontroluje se stav membrán, rozdělovačů a elektrod.

5. Diskuze a závěr

V dnešní době si již téměř nelze představit velký moderní potravinářský průmysl bez membránových separačních procesů. Pomocí těchto technologií znatelně klesla spotřeba elektrické energie ve velkých závodech. Zvýšila se kvalita výrobků, zároveň se rozšířila škála poptávky a tím pádem narostlo i množství zákazníků.

Nelze nezmínit, že membránové technologie pomáhají využít látky, které byly dříve jen odpadem. Jinak tomu není u syrovátky. Sladkou syrovátku šlo využít na další výrobu mléčných výrobků, díky neutrální chuti, a to bez nutné úpravy pH a podílu minerálních solí. Kyselá syrovátka, která je vedlejším produktem při výrobě tvarohu, a mléčných sýrů (ricotta), byla dříve jenom odpadem, v lepším případě byla využita pro krmení zvířat a to kvůli pH nižšímu než 5,1 a vysokém podílu minerálních solí. V dnešní době lze takovou syrovátku efektivně zpracovat pomocí elektromembránových procesů metodou elektrodialýzy. Syrovátka zpracovaná touto metodou může mít upravené pH a demineralizaci až 90%. Takto zpracovaná syrovátka má rozsáhlejší uplatnění na světových trzích. Může být dále využívána k výrobě dětské a kojenecké výživy především díky vhodnému pH a zároveň vhodnému podílu minerálních látek. V mlékárenském provozu to umožňuje rozšíření stávajícího sortimentu čerstvých mléčných výrobků. Další využití demineralizovaná syrovátka získala při výrobě chleba a v masném průmyslu.

Je nasnadě podotknout, že se nejedná o levná zařízení, naopak se vyžadují velké investiční náklady. Pro představu o výši nákladů za realizaci membránové technologie si můžeme uvést příklad mlékárny Olešnice. Mlékárenský závod Olešnice investoval do realizace elektrodialýzy, kterou využívají při úpravě syrovátky. Investice se vyšplhala na 53,6 miliónů korun. Dle Šlesingera (2011), vyjde nákup filtrů na syrovátku na 400 tisíc korun a nákup nových tanků na 750 tisíc korun (při vlastnictví tanků na objem dvoudenní produkce).

Pomocí některých separačních procesů můžeme provést realizace uzavřených bezodpadových technologických uzlů. Díky těmto výhodám lze říci, že membránové technologie splňují požadavky na trvale udržitelný rozvoj.

6. Seznam použitých zdrojů

Seznam literárních zdrojů

ROTHENBERG, G., GITIS V. *Ceramic membranes: new opportunities and practical applications*. Weinheim: Wiley-VCH, 2016. ISBN 978-3-527-33493-3.

STRATHMANN, H. *Elektrodialysis and related processes*. Elsevier Science: Amsterdam, 1995.

CARVALHO F, Prazeres R, Rivas J (2013) *Cheese whey wastewater: Characterization and treatment*. Science of The Total Environ, 445-446: 385-396. ´

NAVRÁTILOVÁ P., KRÁLOVÁ (DRAČKOVÁ) M., JANŠTOVÁ B., PŘIDALOVÁ H., CUPÁKOVÁ Š. a VORLOVÁ L., (2012) *Hygiena a produkce mléka*. Brno: Veterinární a farmaceutická fakulta. ISBN 978-80-7305-625-4

SCHREIBEROVÁ, L. *Chemické inženýrství I*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2011, ISBN 978-80-7080-778-1.

HASAL, P., SCHREIBER I., ŠNITA D., et al. *Chemické inženýrství I*. 2. vyd. Praha: VŠCHT, 2007. ISBN 978-80-7080-002-7.

DE BOER.,Hidding J (1980) *Membrane processes in the dairy industry*. Desalination 35:169-192.

BAKER, R. W. *Membrane technology and applications* Chichester : Wiley, 2004. ISBN 0-470-85445-6/978-0-470-85445-7.

PALATÝ, Z., BERNAUER, B et.al. *Membránové procesy*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2012. ISBN 978-80-7080-808-5.

BASÁŘOVÁ, G. ŠAVEL, J. BASAŘ, P. a LEJSEK, T. *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010, 861 s. ISBN 978-80-7080-734-7.

SCHNEIDER, P. *Textura porézních látek*. Praha: Ústav chemických procesů AV ČR, 2007.

MIKULÁŠEK, P et.al. *Tlakové membránové procesy*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2013. ISBN 978-80-7080-862-7.

SUKOVÁ, Irena. *Syrovátka v potravinářství*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2006. Potravinářské informace. ISBN 80-7271-173-3.

FORMAN, L., MERGL, M. *Syrovátka - její využití v lidské výživě a ve výživě hospodářských zvířat*. Praha: Středisko technických informací potravinářského průmyslu VÚPP, 1979.

ZADOW, J. G. *Whey and Lactose Processing*. New York: Elsevier Applied Science, 1992. ISBN 978-94-011-2894-0.

PŘIDAL, J. Separační membrány a jejich průmyslové použití. *Chemické listy*. 1999, roč. 48, č. 93, s. 432–440.

ZOLOTOREVA, M et. al. Elektrodialyz – naibolee effektivnyj process demineralizacii moločnoj syvorotky. *Moločnaja Promyšlennost'*, 2014, č. 3, s. 37-38.

Seznam internetových zdrojů

Cross flow membrane operations. *Synder filtration*. [online]. Copyright © [cit. 15.02.2018]. Dostupné z: <http://synderfiltration.com/learning-center/articles/module-configurations-process/cross-flow-membrane-operations>.

Elektrodialýza – *membrain.cz* [online]. Copyright © 2018 [cit. 09.02.2018]. Dostupné z: <https://www.membrain.cz/elektrodialyza.html>.

Institute of Chemical Process Fundamentals [online]. Copyright © [cit. 11.02.2018]. Dostupné z: <http://uchp.icpf.cas.cz/transtex/textbooks/Skripta-textura%202007.pdf>.

Membrane vs. Ion Exchange – *Milk specialities*. [online]. Copyright © 2013 [cit. 29.03.2018]. Dostupné z: <http://www.milkspecialties.com/news/membrane-vs-ion-exchange-which-process-is-best-for-whey-protein-powder>.

Membránové procesy – *Aplikovaná chemie*. [online]. Copyright © 2014 [cit. 19.02.2018]. Dostupné z: <http://aplchem.upol.cz/predmety/ZCHT/SKRIPTA/2014/Kapitola9.pdf>.

Membránové reaktory – Česká membránová platforma. [online]. Copyright © 2011 [cit. 22.02.2018]. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/cs/membranove-procesy/membranove-reaktory>.

Rozdělení membránových procesů – Česká membránová platforma. [online]. Copyright © 2018 [cit. 20.02.2018]. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/cs/rozdeleni-membranovych-procesu>.

Separace plynů a par – Česká membránová platforma. [online]. Copyright © 2011 [cit. 22.02.2018]. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/cs/membranove-procesy/separace-plynu-a-par>.

Terminology for membranes and membrane processes. *International union of pure and applied chemistry*. Copyright © 1996 [cit. 20.02.2017]. Dostupné z: <http://old.iupac.org/publications/pac/1996/pdf/6807x1479.pdf>.

Tlakové membránové procesy – Česká membránová platforma. [online]. Copyright © 2018 [cit. 20.02.2018]. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/sites/default/files/clanek/312/prilohy/tmp.pdf>.

ŠLESINGER J., 2011: Zvýšení rentability provozu mlékárny využitím metodiky čistší produkce. [cit. 20.03.2018]. Dostupné z: <http://www.tretiruka.cz/news/zvysenirentability-provozu-mlekarny-vyuzitim-metodiky-cistsi-produkce/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Rozdělení membrán.....	13
Obrázek 2 - Uspořádání toku.....	19
Obrázek 3 - Rozmezí velikostí částic dělených membránovou separací a způsoby jejich dělení	19
Obrázek 4 - Schematické znázornění mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmózy	21
Obrázek 5 - Schéma elektrodialýzy	26
Obrázek 6 - Základní separace syrového mléka pomocí membrán.....	29
Obrázek 7 - Schéma použití membrán ve vinařství	30
Obrázek 8 - Schéma použití membrán v pivovarství	31
Obrázek. 9 - Schéma membránové separace bioplynu	34
Obrázek 10 - Mlékárna Bohemia Lacto a.s.....	36
Obrázek 11 - sušená syrovátka 25kg	37
Obrázek 12 - Jedna z možností procesu demineralizace	40
Obrázek 13 - Skladba jednotky RALEX® EWDU 6×EDR-II/250.....	41
Obrázek 14 - Skladba jednotky RALEX® EWDU P15 2×EDR-II/250	42

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Volba modulu podle membránového procesu.....	17
Tabulka 2 - Přehled dodavatelů membránových procesů v České republice	35
Tabulka 3 - Metody demineralizace a jejich účinnost.....	39

Seznam zkratek

Ustálené zkratky

apod. – a podobně

atd. – a tak dále

tj. – to je

tzv. – tak zvaný

Zkratky právního označení firem

s.r.o. – společnost s ručením omezeným

a.s. – akciová společnost

Ostatní zkratky

MF – mikrofiltrace

UF – ultrafiltrace

NF – nanofiltrace

RO – reverzní osmóza

ED – elektrolýza

EDI – elektrodeionizace

EF – elektroforéza

ME – membránová elektrodialýza

PV – pervaporace

MBR – membránový bioreaktor