

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4103 Zootechnika

Studijní obor: Zootechnika

Katedra: Katedra kvality zemědělských produktů

Vedoucí katedry: Ing. Pavel Smetana, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití membránových procesů při výrobě piva

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Hana Kábelová

Autor bakalářské práce: Magdaléna Kameníková

České Budějovice, 2016

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Magdaléna KAMENÍKOVÁ**
Osobní číslo: **Z13369**
Studijní program: **B4103 Zootechnika**
Studijní obor: **Zootechnika**
Název tématu: **Využití membránových procesů při výrobě piva**
Zadávací katedra: **Katedra kvality zemědělských produktů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Membránové procesy jsou technologií, která je používána v různých typech potravinářských výrob již mnoho let. V současné době se však pod vlivem nových vědeckých poznatků zejména v oblasti nanotechnologií ukazují nové možnosti jejich použití při filtraci tekutých potravin, mezi které patří i pivo.

Cílem této rešeršní práce je zpracovat přehledný materiál o membránových procesech, jejich funkci v potravinářských výrobcích (se zaměřením na výrobu piva a nápojů) a možnostech využití nových materiálů.

Bakalářská práce je součástí řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.4.00/17.0128 a bude vypracována na základě pokynů uvedených na http://www.zf.jcu.cz/copy_of_students/informace-prostudujici podle následující rámcové osnovy:

Úvod - charakteristika a význam řešené problematiky

Cíl práce

Současný stav poznání dané problematiky s ohledem na cíle práce, zpracovaný formou literárního přehledu na základě studia soudobé vědecké a odborné literatury

Závěr - shrnutí získaných informací, návrhy a doporučení vyplývající z problematiky


Summary - přehled a nejdůležitější výsledky včetně klíčových slov (v anglickém jazyce)

Seznam literatury - jednotný, podle platných citačních zásad

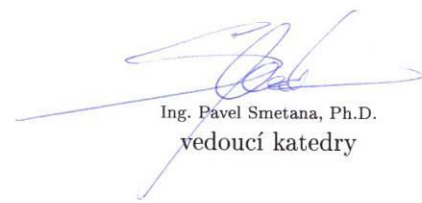
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **25-35 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- **MIKULÁŠEK, P.:** Tlakové membránové procesy. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2013, 254 s. ISBN 978-80-7080-862-7.
- **NOVÁK, L.:** Elektromembránové procesy. Vyd. 1. Praha: VŠ chemicko-technologická v Praze, 2014, 308 s. ISBN 978-80-7080-865-8.
- **PALATÝ, Z., BERNAUER, B.:** Membránové procesy. Vyd. 1. V Praze: VŠ chemicko-technologická, 2012, 282 s. ISBN 978-80-7080-808-5.
- **Shen, H., Chou, J. J.:** MemBrain: Improving the Accuracy of Predicting Transmembrane Helices. PLOS ONE, 2008, 3(6), Article Number: e2399, DOI: 10.1371/journal.pone.0002399
- **ŠÍPEK, M.:** Membránové dělení plynů a par. Vyd. 1. Praha: VŠ chemicko-technologická v Praze, 2014, 204 s. ISBN 978-80-7080-864-1.
- **VOSTATEK, M.:** Membránové ultrafiltry SYNPOR a jejich aplikace. Pardubice: VCHZ Synthesia, [1967], 144 s.
- Odborné databáze, knihy a periodika (např. WOS, Česká zemědělská bibliografie, CAB Abstracts, PROQUEST) dostupné na: <http://www.lib.jcu.cz/cs/databaze>
- případně další zdroje.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Hana Ficová**
Katedra kvality zemědělských produktů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Pavel Smetana, Ph.D.**
Katedra zootechnických věd
Datum zadání bakalářské práce: **18. března 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2016**


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice


Ing. Pavel Smetana, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 18. března 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích 22. 4. 2016

Magdaléna Kameníková

Poděkování

Děkuji Ing. Haně Kábelové za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a při vypracovávání bakalářské práce. Také bych chtěla poděkovat mé rodině a přátelům za podporu během mého studia.

ABSTRAKT

Tématem této bakalářské práce vytvoření literární rešerše o problematice využití membránových technologií v pivovarnictví. V první části se práce zabývá samotnou výrobou piva s důrazem na užívané filtrační procesy a historií jejich využití. Druhá část představuje výčet hledisek dělení samotných membránových procesů a typy užívaných membrán a membránových technologií včetně příkladů využití především při výrobě piva, případně v dalších potravinářských výrobcích se zaměřením na výrobu nápojů. Popisuje jejich zásadní fyzikální a chemické vlastnosti, které zajišťují jejich funkčnost a předurčují možnosti využití. Poslední část práce pojednává detailně o membránových technologiích využívaných při specifických procesech při výrobě piva, například dealkoholizaci piva, separaci piva z odpadních kvasnic nebo studené stabilizaci, s důrazem na popis samotných procesů, používaných filtrů a srovnání s dalšími využívanými metodami.

Klíčová slova: membránové procesy, pivo, pivovarnictví, filtrace.

ABSTRACT

The aim of the Bachelor thesis is a literature review talking about the use of membrane technology in brewing. The first part is dedicated to the production process of beer primarily on the use of filtering processes and the history of their use. The second part presents a list of all membrane processes, types of membranes and membrane technologies including examples used in the production of beer or other food production of beverages. It describes their fundamental physical and chemical attributes that ensure their functionality and predispose possibilities of use. The last part is devoted to membrane technologies used in specific processes in the production of beer (for example dealcoholation of beer, separation of beer from waste yeast or cold stabilization) with the main focus on descriptions of these processes themselves, used filters and comparisons with other methods used by.

Keywords: membrane processes, beer, brewing, filtration.

Obsah

1.	Úvod.....	10
2.	Výroba piva a filtrační procesy	11
2.1	Výroba piva od počátku po kvasný proces.....	11
2.2	Filtrace a stabilizace piva	13
2.3	Plnění piva	15
3.	Historie aplikace membránových procesů a pivovarství	16
4.	Charakteristika membránových separačních procesů	17
5.	Hlediska dělení membránových procesů	19
5.1	Podle původu, skupenství a vnitřní struktury membrán	19
5.2	Podle vlastnosti směsi a membrány při procesu.....	20
5.3	Podle mechanismu transportu přes membránu.....	21
5.4	Podle hnací síly procesu	22
6.	Typy membránové techniky a jejich uplatnění při výrobě nápojů.....	23
6.1	Tlakové membránové procesy.....	23
6.2	Koncentrační membránové procesy	25
6.3	Elektromembránové separační procesy	26
6.4	Další membránové procesy	26
6.5	Membránové moduly.....	26
7.	Obecné výhody a nevýhody membránových procesů.....	27
8.	Užití membránových procesů při výrobě piva	28
9.	Typy membránových filtrů: svíčkové filtry a crossflow filtry.....	31
10.	Aerace kvasnic	33
11.	Separace piva z odpadních kvasnic.....	35
12.	Membránová filtrace před distribucí piva	36
12.1	Primární filtrace: filtrace redukující kvasinky a pevné kaly v pivu.....	36
12.2	Trap (částicová, záchytná) filtrace piva pomocí membrán.....	37
12.3	Trvanlivost piva a jeho stabilizace.....	37
12.4	Sekundární filtrace: mikrofiltrace piva (studená stabilizace piva)	38
13.	Výroba piva s nízkým obsahem alkoholu	42

13.1	Charakteristika nízkoalkoholického a nealkoholického pivo	42
13.2	Dealkoholizace piva.....	42
13.3	Užití membránových procesů při dealkoholizaci	43
14.	Úprava vody pro procesy	46
15.	Úprava odpadních vod z procesů	47
16.	Závěr	49
17.	Seznam použité literatury a zdrojů.....	51

1. Úvod

Membránové procesy jsou vyvíjeny několik posledních desetiletí. Od začátku 60. let se poměrně rychle staly technologiemi využívanými i v potravinářském průmyslu. Jedná se o moderní účinné separační procesy založené na vlastnostech oddělovatelných látek. Vývoj a výroba samotných membrán směřuje k zvýšení jejich efektivnosti a účinnosti při co nejnižším využití energie. Aktuálnost tohoto tématu dokazuje nejen stále širší využití membránových procesů v různých odvětvích, ale i fakt, že membránové procesy mají řadu výhod a představují také často ekologičtější řešení těchto procesů.

Cílem této rešeršní práce je zdokumentovat současný stav a zpracovat přehledný materiál o membránových procesech, jejich funkci v potravinářských výrobcích týkajících se výroby nápojů, především v pivovarnictví a představit nejen současné využití, ale i nastínit možnosti budoucího využití membránových procesů a samotných membrán, například nových materiálů.

2. Výroba piva a filtrační procesy

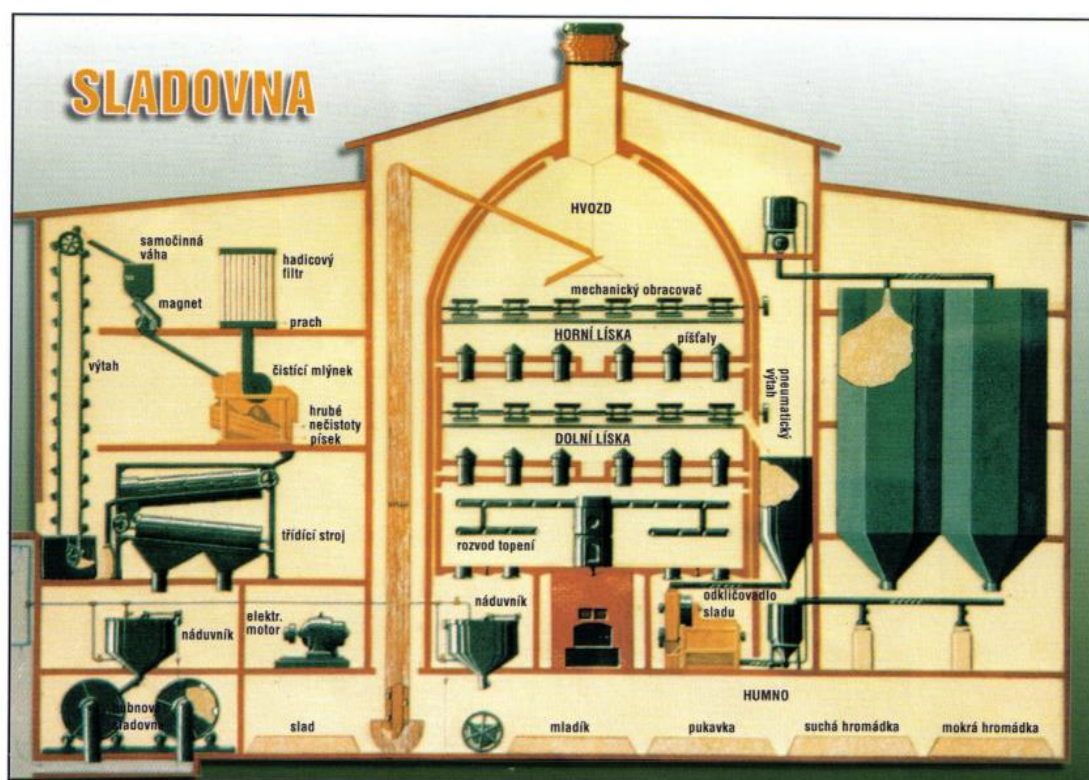
Pivo se řadí mezi alkoholické nápoje, má hořkou chuť a s různým, ale relativně nízkým obsahem alkoholu. Jeho výroba probíhá v pivovaru ze sladu, vody a dalších složek za působení kvasinek. Vyrábí se v několika technologických krocích, přičemž prvních sedm z nich probíhá přímo ve varně. Tyto technologické kroky jsou: příprava sladu (jeho čištění a šrotování), sypání na várku, vystírání a zapařování, rmutování, scezování sladiny, vaření sladiny s chmelem, chlazení mladiny, kvašení, dokvašování, filtrace piva, úprava piva před stáčením a stáčení. Výroba piva trvá přibližně od 15 do 30 dnů (Kosař et al., 2000).

2.1 Výroba piva od počátku po kvasný proces

Výroba piva začíná přípravou sladu, ten vyrábí ze speciálně vyselektovaných druhů ječmene, popřípadě pšenice. Tyto druhy zajišťují výraznou chuť, barvu a aroma piva. Příprava sladu probíhá ve sladovnách. Ze sladu se nejdříve musí odstranit cizorodé látky, především kamínky, prach nebo kovové příměsi. V první fázi se zrno namáčí a nechá se naklíčit a v druhé fázi se zrno suší (Poláková, 2007).

Doba sušení je různá. Po době strávené ve sladovně se odstraní klíčky a přichází na řadu jeho šrotování. Jeho hlavním úkolem je zpřístupnit endosperm pro další zpracování ve varně. Před samotným šrotováním může být slad navlhčen. K šrotování slouží různé typy šrotovníků nebo kladívkový mlýn. Při sypání na várku se pak přidávají ke sladu další suroviny, které upravují vlastnosti várky, například cukry, prostředky pro úpravu pH nebo enzymatické preparáty. Následuje proces, kdy se v určitém poměru smíchává ve dvou etapách s rozdílnou teplotou varní voda se sladem a dalšími surovinami, této směsi se říká vystírka a první částí procesu se říká vystírání a druhé zapařování. Díky zvýšení teploty a vlivem enzymů se štěpí v zrně obsažený škrob na zkvasitelné cukry. Ty pak přechází do roztoku (Jackson, 1988).

Obrázek č. 1: Schéma sladovny



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

Poté přichází proces nazvaný rmutování, při kterém se přenáší složky obsažené ve sladu do roztoku. Spočívá v postupném zvyšování teploty s prodloužením doby na jistých klíčových teplotách. Existují dva postupy rmutování, infuzní rmutování a dekokční rmutování. Při scezování se pak oddělují pevné složky, mláto, od roztoku extraktivních látek, sladiny. K scezování se používá scezovací kád' a sladinový filtr. Po dokončení scezování následuje odstranění mláta, které se skladuje a následně se využívá například jako krmivo v zemědělství nebo pro výrobu paliva. Následuje vaření sladiny s chmelem nazývané chmelovar. Při tomto procesu vzniká mladina a dochází k těmto důležitým změnám: odpařuje se přebytečná voda, inaktivují se enzymy a mladina se sterilizuje, klesá pH, tvorba redukujících látek, denaturace a koagulace bílkovin, které se následně odstraňují, reakce složek chmele s mladinou a změna obsahu dimethylsulfidu (Kosař et al., 2000).

K chlazení horké mladiny na teplotu požadovanou při kvašení a separaci kalu z chmelovaru se používá mladinová linka. Separace hrubých kalů probíhá ještě před zchlazením, separace jemných kalů v průběhu procesu. Obojí se provádí pomocí kádí, sběračů a odstředivek. Mladina se zchlazuje v deskovém chladiči na zákvasnou teplotu určenou podle typu piva a dalších faktorů. Mladina se zchlazuje z teploty přibližně 95 °C až na výslednou teplotu okolo 6 °C (Basařová, 2010).

Během hlavního kvašení se tvoří hlavní produkty, etanol a oxid uhličitý, a další vedlejší produkty podílející se na organoleptických vlastnostech piva. Škrob se štěpí enzymy na oligosacharidy, disacharidy, monosacharidy, ty jsou pak následně pivovarskými kvasinkami transformovány především na etanol a oxid uhličitý. Enzymy zajišťující štěpení škrobu jsou například α - a β -amylasa, hraniční dextrinasa, maltasa nebo sacharasa. Kromě těchto enzymů hrají při kvašení roli i další enzymy štěpící další látky potřebné při výrobě, například proteolytické enzymy a lipasy. Enzymy se aktivují teplotou a správným pH. Hlavní kvašení se dělí na zakvašování a provzdušňování a probíhá v dobře větrané a chlazené místnosti nazývané spilka, kde jsou umístěny kvasné kádě, moderní výrobní postup probíhá v cylindrokónických kvasných tancích. Doba hlavního kvašení trvá přibližně 5 – 9 dní.

Dokvašování piva zajišťuje optimální organoleptické vlastnosti, nasycení oxidem uhličitým a vyčiření. Kvašení a dokvašování může probíhat buď jednofázově, nebo dvoufázově. Při jednofázovém postupu vše probíhá v jedné nádobě, při dvoufázovém je mladé pivo po ukončení hlavního kvašení přesunuto do jiných kvasných tanků. Každé pivo má různý výrobní postup a tedy i různou dobu ležení (Poláková, 2007).

2.2 Filtrace a stabilizace piva

Po ukončení kvasných procesů se pivo filtruje. Podle Basařové (2010) je při samotné výrobě piva využíváno různých typů filtračních procesů, které mají odstranit z piva kalící složky (kvasinky, bakterie, koloidní částice nebo molekulárně disperzní látky) a tím docílit požadované čirosti.

Nejdůležitější složkou filtru je filtrační přepážka a materiál v ní. Nejčastěji se používá křemelina, která se přidává do piva a v pevných přepážkách se zachycuje společně s jemným kalem. Křemelina se však s kaly stává těžko zužitkovatelným odpadem, existují u ní výhrady ke škodlivým účinkům na lidské zdraví a je prokázán její negativní vliv na sensorickou stabilitu piva díky železu, které v něm z ní zůstává. Proto je tu snaha využití křemeliny snížit použitím jiných procesů. Pro dosažení vysoké stability piva se používají různé regenerovatelné filtrační materiály nebo výjimečně odštědivky. Materiály tvoří drátová síta, kovové, polypropylenové a látkové plachetky nebo filtrační desky z různých materiálů. Nejmodernějším, velmi účinným, ale také poměrně drahým řešením jsou různé metody membránové filtrace (Basařová, 2010).

Obrázek č. 2: Příklad svíčkového křemelinového filtru



Zdroj: <http://filtrace.com/>

Postup filtrace je cyklický a dělí se přibližně na čtyři fáze: vhanění piva do filtru, filtrace, ukončení filtrace a následné čištění filtru a přípravu filtru na další cyklus. Průběh filtrace lze vyjádřit vztahem mezi rychlostí filtrace a její hnací silou. Pivovar musí kromě filtrace piva zajišťovat také trvanlivost piva po celou dobu jeho záruky. Děje se tak různými stabilizačními postupy. Mohou být jak biologické, tak i fyzikální. Děje se tak například pasterizací piva v tunelovém nebo průtokovém pastéru, stočení piva za horka, aseptickým stáčením do obalů, použití koloidních gelů nebo dalších membránových procesů. Ty se také mohou používat ještě před filtrací a stabilizací při výrobě nealkoholického piva (Kosař et al., 2000).

2.3 Plnění piva

Pivo se může plnit do sudů, skleněných láhví, plechovek i do PET lahví. Tento proces se provádí ve stáčírně, ke které patří i přetlačný sklep, kde jsou umístěny stáček tanky sloužící k vytvoření zásoby zfiltrovaného a stabilizovaného piva. Plnění láhví i jejich uzavírání je dnes plně mechanizované (Chládek, 2007).

3. Historie aplikace membránových procesů a pivovarství

Podle Basařové (2010) je historie separace pomocí membránových procesů o mnoho delší než by se mohlo zdát. I přesto, že jejich průmyslové využití je do značné míry nedávnou záležitostí, větší rozvoj byl zaznamenán zhruba v posledních padesáti letech, první snahy o experimentální zkoumání podobného typu se objevili už u alchymistů. V průběhu 18., 19. a 20. století pak byly postupně zjištěny základy všech dnes známých membránových metod, které ovšem zatím nebyly až na malé výjimky prakticky aplikovány.

Aplikace filtrace piva má podobný časový milník. Do poloviny 19. století se pivo v pivovarech nefiltrovalo vůbec. Později se začaly aplikovat různé druhy plachetek a filtr na filtrační hmotu, který se používal až do 50. let minulého století. Po druhé světové válce se pak ujala s obměnami dnes stále používaná naplavovací filtrace s křemelinou (Basařová, 2010).

Začátkem 60. let byly vyrobeny první výkonné membrány ze syntetických polymerů. Jedním z prvních uplatnění bylo vyrábění pitné vody ze slané (Palatý, 2012). Například vynalezení studené stabilizace pomocí mikrofiltrace proběhlo v roce 1963, ve stejném roce se také pivo stabilizované mikrofiltrací začalo prodávat v USA (Zeman, 1996). Zájem o takto filtrované pivo začal v 70. letech upadat a po nějakou dobu nebyl tento proces v značně konzervativním průmyslu příliš přijímán, ale dnes má stále větší uplatnění. (Baker, 2004) A dnes nejužívanější tlakový proces, reverzní osmóza, má svůj začátek v 70. letech. První membrány pro tento proces však byly vyráběny pouze z acetátu celulózy, což vedlo k myšlence, že je to ekonomicky nevýhodný proces. Později začal velký rozvoj reverzní osmózy díky kompozitním membránám vyrobeným z několika vrstev polymerů a dnes je již tento proces značně efektivní (<http://www.membrain.cz/>).

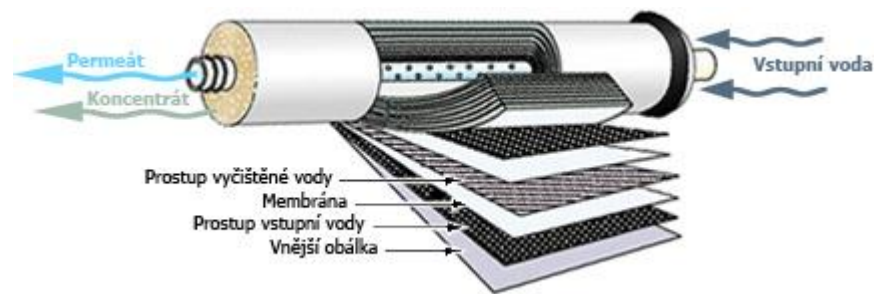
Následně se tedy mohly membránové procesy aplikovat i v pivovarnictví. Membránovou techniku tohoto typu popsala v 60. letech řada autorů. Nejdříve se v pivovarnictví používaly membrány pro přípravu sterilního vzduchu. Následně na to přišlo odstraňování alkoholu z piva a jeho dofiltrace. Dnes je tu stálá snaha především o zajištění koloidní stability piva a dodržení ekologických požadavků. Membránové filtrace jsou stále poměrně nákladným trendem, ale mají řadu pozitiv (Basařová, 2010).

4. Charakteristika membránových separačních procesů

Podle Ečera (2014) je funkce biologických membrán všeobecně stejně stará jako počátek života na zemi a je využívána ve všech buňkách na Zemi. Membrány využívané v rámci separačních procesů jsou membrány, které jsou syntetického původu a začaly být plně využívány až v posledních desetiletích v membránových separačních procesech. Řada těchto procesů nachází technologické uplatnění díky svým vlastnostem. Často jsou méně nákladné než jiná řešení, mají menší dopad na životní prostředí, usnadňují automatizaci nebo vyšší kvalitu výsledných produktů. Jsou metodou separace založené na molekulových vlastnostech membrány a oddělované směsi.

Tyto procesy mají řadu výhod. Velkou výhodou těchto procesů je velmi malá ztráta účinných látek, především díky tomu, že tyto procesy probíhají při běžných teplotě prostředí. Základní vlastností těchto separačních procesů by také mělo být při správném využití poměrně malé využití energie, energie potřebná k promíchání příslušných složek nebo větší, a dokonalé oddělení částic směsi. Spotřeba energie je menší než při klasických separačních metodách (například odpařování a destilace). Při procesech také s malými výjimkami nedochází ke změně skupenství a jiným chemickým změnám, které by mohly významně působit například na potraviny a změnu jejich senzoričkových vlastností. Samotný průběh těchto procesů je modulární a snadno se automatizuje, proto je dobře využitelný ve výrobě. (Ečer, 2014)

Obrázek č. 3: Schéma aplikace membránového procesu při úpravě vody



Zdroj: <http://www.powerplastics.cz/uprava-vody-membranova-filtrace/>

Membránové procesy jsou využívány k dělení tekutých směsí, homogenních i heterogenních, tedy k dělení kapalných roztoků a směsí, plynných směsí a suspenzí pevných částic rozměrů menších než $1 \cdot 10^{-5}$ m v kapalinách. Dělení směsí se realizuje pomocí membrán, které jsou v tomto případě nazývány **separační membrány**. Tyto separační membrány pak tvoří tenká vrstva různého materiálu nebo fólie. Vrstva nebo fólie má různou míru propustnosti pro různé části směsi, čím se následně uskutečňuje jejich separace. Části směsi (popřípadě celá směs, která se následně dělí v samotné membráně) prostupují membránou díky působení hybné síly, kterou může být například tlakový nebo koncentrační rozdíl. Samotné procházení se nazývá **permeace** a vznikají při ní dvě složky: **permeát**, složka prošlá membránou, a **retentát**, složka z různých důvodů zadržena před membránou nebo pozdržená v membráně. Nejde o rovnovážný proces a mezi oběma složkami není v tomto procesu ustanoven stav termodynamické fázové rovnováhy. Proces je kineticky řízen kinetickou rychlostí permeace všech složek směsi. Samotná membrána klade složkám směsi odpor, je proto nutné samotný proces vyvolat (popřípadě udržet ho po určitou dobu) tzv. hybnou silou. Proces začne probíhat, pokud je tato hybná síla nenulová. Tato síla je jedním z mnoha prostředků, podle kterých membrány dělit a bude popsána v následující části práce (Hasal et al., 2007).

5. Hlediska dělení membránových procesů

K rozdělení membránových procesů se dá přistupovat z různých pohledů, jelikož je to velmi rozsáhlá a různorodá oblast. V rámci toho můžeme využít řadu hledisek, například z hlediska přípravy samotné membrány, z hlediska charakteristiky membrány nebo směsi, vlastnosti permentátové a retentátové složky, hlediska konstrukce celých membránových modulů, z hlediska jejich využití v praxi a podobně. Kombinace těchto hledisek následně vymezuje typy využívané membránové techniky (<http://www.czemp.cz/>).

5.1 Podle původu, skupenství a vnitřní struktury membrán

Membrány můžeme dělit podle původu, skupenství použitého na jejich výrobu, jejich vnitřní struktury a uspořádání jejich vrstev. Prvním a nezákladnějším dělením je jejich původ. V rámci tohoto dělení existují dvě skupiny membrán, membrány biologické a syntetické.

Biologické membrány se nachází v mikrobiálních, rostlinných a živočišných buňkách a představují jedny z nejdůležitějších struktur. Působí v těchto buňkách selektivně propustné membrány a řídí biologický transport mezi buňkou a vnějším prostředím nebo mezi organelami a cytosolem v buňce. Biologické membrány nemají až na drobné výjimky uplatnění při průmyslových separacích díky svým chemickým a fyzikálním vlastnostem.

Oproti tomu synteticky vyrobené membrány jsou v různých procesech využívány stále více, protože není problém je vyrobit způsobem, aby vyhovovaly svými chemickými a fyzikálními vlastnostmi. Podle skupenství mohou být buďto pevné, nebo kapalné (Hasal et al., 2007). Kapalné se vyskytují ve formě zakotvených nebo emulzních kapalných membrán. Pevné membrány se dále dělí podle původu použitého materiálu a struktury. Podle tohoto dělení existují membrány organické, které jsou buď porézní, nebo neporézní a membrány anorganické, které jsou vždy porézní. U obou typů je také rozhodující jejich symetrie a asymetrie. Anorganické membrány se vyrábí z křemičitých nebo kovových materiálů a organické jsou tvořeny výhradně řady různých polymerů (Ečer, 2014).

Membrány se nejčastěji vyrábějí a používají v pevném skupenství, ale v některých aplikacích se uplatňují i membrány kapalné (Hasal et al., 2007).

Požadavky kladené na membrány jsou často vysoké. Využívané membrány musí splňovat tyto požadavky: vysokou selektivitu, vysokou permeabilitu (měrný výkon), chemická stálost proti vlivům zpracovávaných látek, dostatečná mechanická pevnost, neměnnost charakteristik během provozu, odolnost proti mechanickému poškození v průběhu, dopravy nebo skladování a především pak nízká cena. (Mikulášek, 1995).

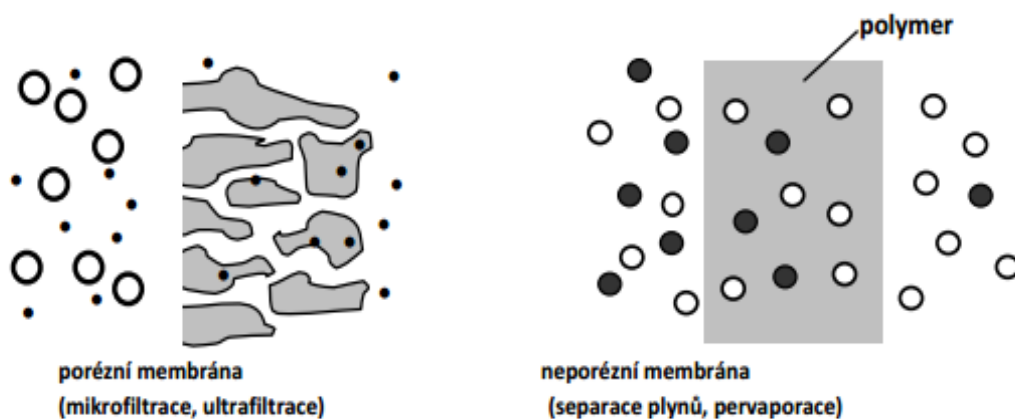
Materiály používané na výrobu filtračních membrán můžeme rozdělit do 3 kategorií. Prvními z nich jsou polymery jako například acetát celulózy, polypropylen nebo sulfonovaný polysulfon. (Přidal, 1999) Druhým materiálem využívaným na filtrační systémy je keramika, membrány z oxidu hlinitého nebo oxidu titaničitého. Poslední kategorií jsou pak membrány z kovů, jako je paladium, wolfram nebo stříbro (Kahovec et al., 1996).

5.2 Podle vlastnosti směsi a membrány při procesu

Podle Hasala (2007) může rámci vlastností směsi a jejich složek dojít v membráně k dvěma procesům. Za prvé mohou membránou projít všechny složky dělené směsi, jejich rozdělení pak záleží na samotné rychlosti prostupu těchto složek membránou. Pomaleji procházející permeát se pak oddělí od retentátu přímo v membráně. Druhou možností je, že do samotné membrány vstoupí jen některé složky směsi, ostatní složky jsou zadrženy již na vstupním povrchu membrány.

Z hlediska vlastností membrány se děje membránových procesů dělí membrány na porézní a neporézní. Porézními membránami mohou procházet i částice, které jsou větší než póry a kanálky v membráně (Hasal et al., 2007).

Obrázek č. 4: Rozdíly struktury porézní a neporézní membrány



Zdroj: Kinčl et al., 2015

5.3 Podle mechanismu transportu přes membránu

V zásadě je však jedním z nejlepších hledisek dělení samotný popis transportu směsi přes membránu. Podle tohoto hlediska jsou následně membrány děleny podle několika základních mechanismů dělicího účinku, popřípadě jejich kombinací. Těmito kritérii jsou:

- 1) tzv. síťový mechanismus (membrány se dělí podle propustnosti a nepropustnosti různých velikostí částic filtrované směsi),
- 2) difúze neboli mechanismus rozpouštění (samovolný transport složek s rozdělením na základě afinity složek směsi vůči materiálu membrány a také podle rychlosti daného transportu),
- 3) mechanismus a průběh průběhu elektrochemických procesů mezi směsí a membránou (Palatý, 2012).

5.4 Podle hnací síly procesu

Membránové procesy se podle hnací síly mohou rozdělit do čtyř rozdílných kategorií. Pro první, tlakové membránové procesy, je hnací silou diference tlaku na protilehlých stranách membrány. Druhé jsou koncentrační procesy, které jsou poháněny spontánní difúzí z jednoho místa s vysokým chemickým potenciálem do místa s nižší hodnotou. Teplotní membránové procesy mají dvě fáze rozdílné teploty a teplota tedy mezi nimi prochází z místa vyšší teploty do místa s teplotou menší. Poslední typ, elektromembránové procesy jsou založeny na rozdílu elektrostatického potenciálu, tedy na schopnosti iontů a molekul nesoucích některý z nábojů přenášet elektrický proud (Mikulášek, 1995).

6. Typy membránové techniky a jejich uplatnění při výrobě nápojů

Typy membránové techniky se nejčastěji dělí podle mechanismu dělicího účinku a hnací síly. V současnosti se přechází v aplikaci mezi první generací membránových procesů, které se uplatnily již dříve (tlakové membránové procesy, elektrodialýza a difúzní dialýza), a druhou novou generací reprezentovanou separací plynů, pervapolací nebo membránovými redaktory (Kinčl et al., 2015).

6.1 Tlakové membránové procesy

Tlakové membránové procesy jsou zatím nejrozšířenější aplikační oblastí v rámci využití membránových procesů. Vyznačují se použitím polopropustné membrány, která představuje separační element, a tlakovým rozdílem představujícím hnací sílu transportu přes membránu. Odlišují se především velikostmi používaných tlakových rozdílů, vlastnostech membrán a převažujícím transportním mechanismem. Tlakové membránové procesy zahrnují mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci, reverzní osmózu (hyperfiltraci) a piezodialýzu. (<http://www.czemp.cz/>)

U všech těchto technik je tedy využíván tlakový rozdíl mezi oběma stranami membrány. V obou fázích je při membránových procesech směs ve skupenství kapalném. Tyto procesy se ve značné míře užívají opětovnému využití vody z nápojářských aplikací. K recyklaci vody z čištění nápojářských technologií se používají hned 3 tlakové procesy: mikrofiltrace, ultrafiltrace a nanofiltrace podle velikosti částic, které je potřeba oddělit (Palatý, 2012).

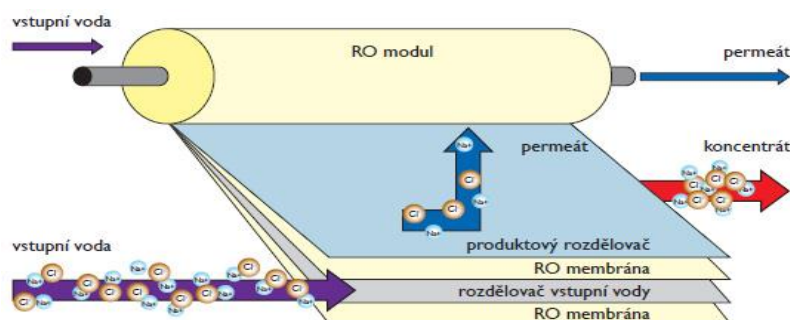
U mikrofiltrace je využíván síťový efekt a jsou díky ní oddělovány pevné částice s velikostí od 0,01 – 10 μm . Těmito částicemi jsou např. buňky bakterií a kvasinek, spory plísní a větší koloidní částice. Běžně používaný tlakový rozdíl je 10 - 200 kPa. V potravinářství se používá pro stabilizaci nápojů, především piva a vína, k čištění ovocných džusů, a k úpravě mléka, syrovátky nebo pitné vody. Při výrobě piva se využívá tzv. studené pasterizace. V tomto případě jde o mechanické oddělení živých kvasinek z připraveného pivo a je efektivnější než teplotní sterilizace nápoje (<http://www.membrain.cz/>).

Nanofiltrace je kombinací síťového efektu, mechanismu difúze a odpuzování molekul elektrickým nábojem membrány. Membrány mají póry o velikosti 1 – 3 nm a většinou je jejich náboj záporný. Samotná selektivita je pak dána probíhající difúzí. Požadavky na tlak jsou díky způsobu separace vyšší, řádově v desítkách barů. Patří k nejnovějším aplikacím. Nejčastěji se pomocí nanofiltrace separují molekuly cukrů, barviv a pesticidů nebo herbicidů. Hlavním uplatněním je tedy čištění a změkčování pitné vody. V kombinaci s reverzní osmózou je používána při zpracování syrovátky (<http://www.czemp.cz/>).

Ultrafiltrace je předělem mezi mikrofiltrací a nanofiltrací. Typicky zachycuje makromolekulární a koloidní látky z roztoků o velikosti přibližně 100 – 3 nm. Společně s mikrofiltrací obsahuje čisté porézní membrány a jediný rozdíl je velikosti pórů, menší porozitě a vyšším hydrodynamickém tlaku. Pro výrobu membrán se mohou používat, jak polymery, tak i keramické materiály. Využívá se i jako předřadný proces pro reverzní osmózu. Používá se například pro čištění džusů a alkoholických nápojů nebo při získávání proteinů ze syrovátky (Mikulášek, 2013).

Reverzní osmóza (RO) funguje na bázi difúze látek a vychází z jevu nazvaného osmóza. (Přidal, 1999) Za působení tlaku pak kapalina začne procházet semipermeabilní membránou, která na jedné straně zanechá koncentrované části, které nemohou projít membránou, na druhé straně vodu, která případně může obsahovat další menší částice. Nejčastěji se pomocí RO odsoluje voda (Koltuniewicz, 2008), ale funguje velmi dobře i při výrobě pív s nižším obsahem alkoholu (<http://www.mega.cz/>).

Obrázek č. 5: Příklad schématu procesu reverzní osmózy v aplikaci



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

Při piezodialýze se využívá přesunu iontů na speciální membráně (Gruenwedel, 1984). Nabití daného materiálu vzniká v důsledku tlaku (Sata, 2004). Takové nabití může vznikat v pevných materiálech, jako jsou například krystaly, některé druhy keramiky nebo kosti. Mají uplatnění například v hudebním průmyslu jako součásti mikrofonů a reproduktorů, jejich využití v potravinářském průmyslu je minimální (<http://www.piceramic.com/>).

6.2 Koncentrační membránové procesy

Mezi tento typ membránových procesů patří: pervaplace, separace plynů a par, dialýza a kapalné membrány. Pervaplace dělí směsi kapalných složek. (Hasal et al., 2007). Používá se pro odstraňování alkoholu z piva a vína při výrobě nízkoalkoholických nebo nealkoholických nápojů a k získávání aromatických látek z ovocných džusů (<http://www.membrain.cz/>).

Separace plynů a par se poslední dobou těší nárůstu svého uplatnění. Uskutečňuje se pomocí porézních nebo neporézních membrán. U porézních se uplatňuje síťový efekt, u neporézních membrán difúze. Může se kombinovat s adsorpcí, kondenzací nebo destilací. Využívá se například k separaci hélia, vzduchu, vodíku a/nebo separaci vodních par. V potravinářství zatím nemá širší uplatnění (Šípek, 2014).

Dialýza zajišťuje filtraci nepórezní membránou propustnou pro nízkomolekulární rozpuštěné látky. Tato membrána rozděluje dva roztoky s odlišnou koncentrací, čím čistí například roztoky s vysokou molekulární hmotností od nízkomolekulárních látek. Typickým příkladem využití dialýzy je tzv. umělá ledvina odstraňující u pacientů škodlivé látky z krve. Nežádoucí nízkomolekulové látky z krve pacienta, jako například močovina a kreatinin, se společně s nadbytečnou tekutinou filtrují z krevního oběhu pacienta a odchází do odpadu (<http://www.ledviny.cz/clanky/hemodialyza-hemofiltrace-hemodiafiltrace>). Dialýza je také jedním z procesů, pomocí kterých je možné vyrobit nealkoholická piva.

Kapalné membrány fungují jako permsektivní membrány a mohou být zakotvené nebo volné. Nejsou využívány při výrobě nápojů (<http://www.czemp.cz/>).

6.3 Elektromembránové separační procesy

U elektromembránových procesů je důležitá role iontově výměnných membrán, fungují na základě rozdílu elektrického potenciálu, který je jejich hnací silou. Dělí se na kationtové obsahující záporně nabitě ionty a aniontové obsahující kladně nabitě ionty (<http://www.czemp.cz/>).

Mezi tyto procesy patří elektrolyza, elektrodeionizace, elektrodialýza, elektroforéza, membránová elektrolyza a palivové články. Membrány pro elektrodialýzu se připravují z polymerních řetězců, které jsou buď iontově selektivní, nebo bipolární (Mulder, 1996). Elektrodialýza se využívá v mlékárenství, k odstranění minerálních solí a kyselin z mléčné syrovátky a demineralizaci odstředěného mléka (<http://www.prominent.cz/>). Také se používá při stabilizaci vinných solí ve víně, úpravě pH u vín pomocí elektrodialýza s bipolární membránou a odkyselení ovocných džusů (Novák, 2014).

6.4 Další membránové procesy

Mezi další membránové procesy patří teplotní membránové procesy, jako je termoosmóza nebo membránová destilace, a membránové reaktory. Membránový bioreaktor je v potravinářství využíván pro čištění směšné odpadní vody z ovocných džusů a vrácena zpět do procesu po průchodu nanofiltrací (<http://www.czemp.cz/>).

6.5 Membránové moduly

Membrány se pro aplikované využití uspořádávají do různých typů membránových modulů. Prvním z nich je deskový modul, který je tvořen vrstvami archů membrán, mezi nimiž se nachází distanční desky. Druhý, spirálně vinutý modul, představuje „srolovaný“ systém membrán a distančních sítěk na děrované trubce. Kapilární moduly se skládají z řady úzkých trubiček, tzv. kapilár. Existují také další typy modulů, jako jsou například svíčkové moduly nebo moduly s dutými vlákny (<http://www.czemp.cz/>).

7. Obecné výhody a nevýhody membránových procesů

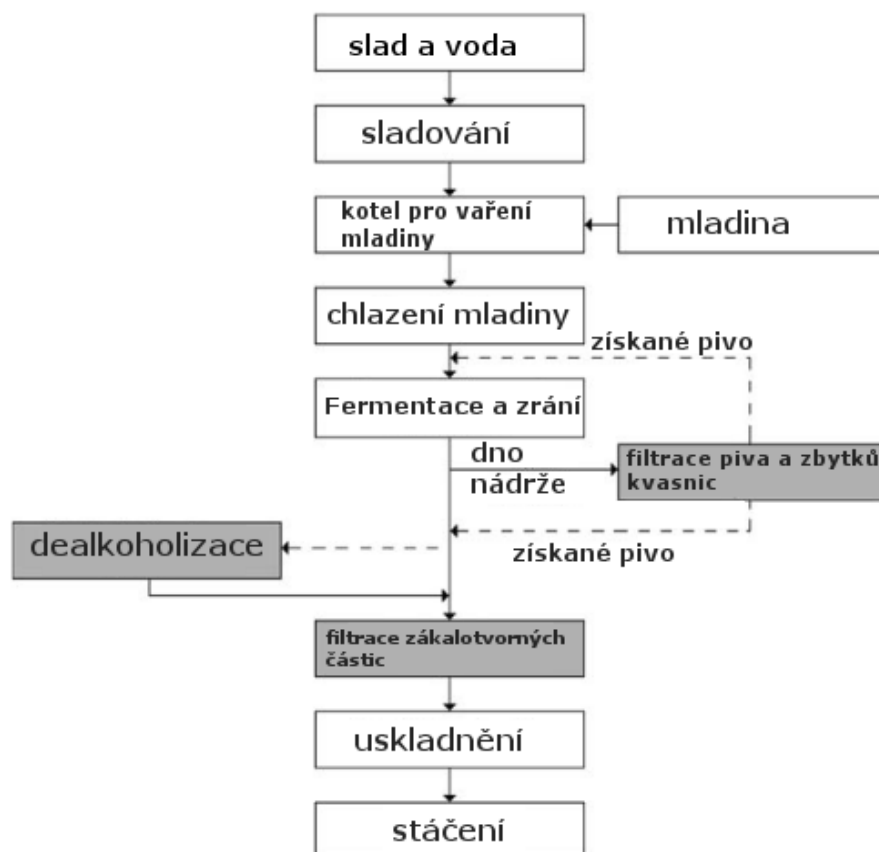
Výhody využití v potravinářství membránových procesů jsou značné. Samotná separace probíhá v mírných podmínkách, proto nejsou nápoje tepelně upravovány, nemění se nutriční hodnota ani kvalita. Proces probíhá bez použití přídavné látek. Plusem je také výborná dělicí schopnost, které se dosahuje při správném nastavení podmínek. Membrány velmi dobře a efektivně separují různé složky bez vedlejších dopadů na kvalitu produktu, například na jeho vůni, barvu nebo obsah cukru a vitaminů. Většinou se jedná o složky nežádoucí. Membránové procesy také představují efektivnější využívání energie, jednoduchá instalace a nižší pracovní a provozní náklady díky snadné automatizaci provozu. Samotný proces se snadno rozšiřuje a vlastnosti membrán jsou variabilní. Filtrace může probíhat v podstatě kontinuálně a membrány se snadno kombinují s dalšími separačními systémy, například v pivovarnictví existují i filtry s přídavkem křemeliny. Membránové procesy také často představují značně ekologičtější oproti dříve využívaným metodám (Mikulášek, 1995).

Hlavní nevýhodu představují vyšší počáteční investice. U řady z nich jsou vyšší samotné pořizovací náklady, následně však bývají ekonomičtější například než užívané tepelné operace. Další nevýhodou bývá zanášení membrán, které snižuje jejich dobu pracovního výkonu. Zanášení membrán se však dá omezit pravidelným čištěním membrán, výběrem vhodné membrány a její samotné konfigurace a navržením vhodných provozních parametrů, ve kterých budou procesy probíhat, například výpočtem vhodného tlaku. I tak je však životnost membrán omezená a dochází ke snižování efektivity procesu vlivem jevů na membránách. Další z problémů může být také případná potřeba předúpravy vody (Fellows, 2000).

8. Užití membránových procesů při výrobě piva

V pivovarech jsou v praxi využívány především tlakové membránové procesy. Patří mezi ně samozřejmě mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmóza. Z dalších typů membránových procesů se aplikuje: dialýza a pervaplace při dealkoholizaci piva. Membránové procesy mohou být kombinovány s řadou dalších procesů včetně různých typů křemelinových filtrů a tvořit tak různé separační soustavy, popřípadě existují typy membránových filtrů s příměsí křemeliny (Basařová, 2010).

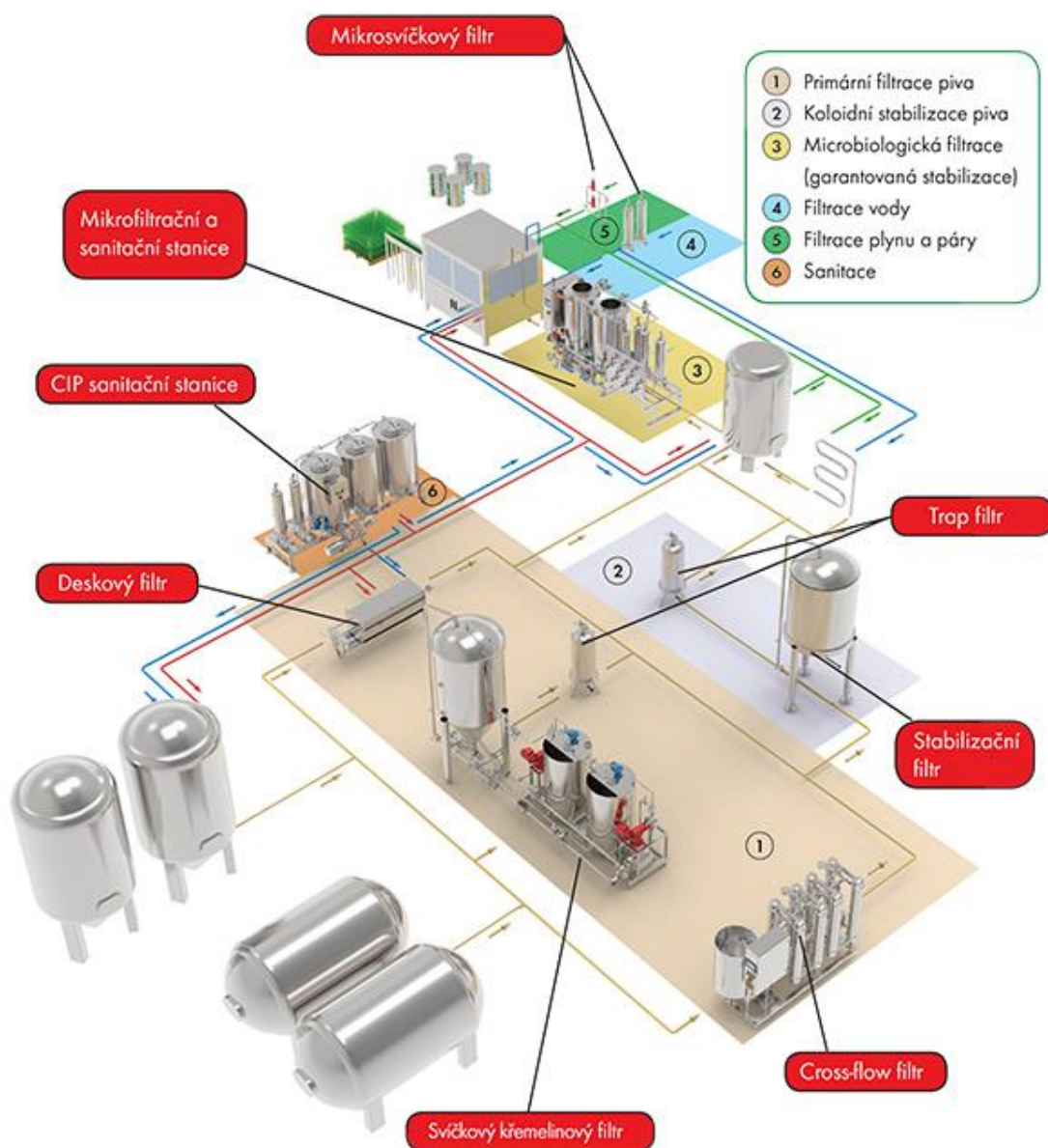
Obrázek č. 6: Produkce piva s využitím membránové filtrace



Zdroj: Peinemann, 2010

Membránové procesy se v pivovarnictví využívají pro tyto účely: filtrace piva, studená pasterizace, separace piva z odpadních kvasnic, separace alkoholu při výrobě nealkoholických piv, aerace kvasnic, deoxygenace vody, anaerobní fermentace odpadů, separace vyčerpaných mycích roztoků a mazadel transportních pásů a úprava odpadních vod (Basařová, 2010).

Obrázek č. 7: Příklad technologického a procesního schématu filtrace a sanitace v pivovaru



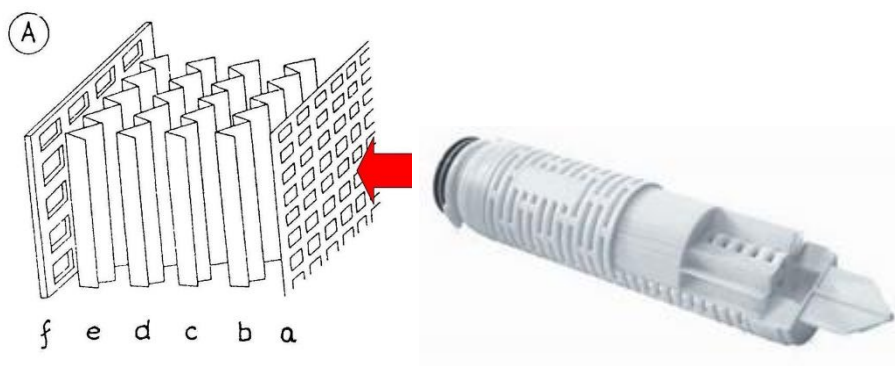
Zdroj: <http://filtrace.com/>

Častým procesem využívaným v pivovarech je reverzní osmóza, která zajišťuje úpravu vody jak v potravinářské části pivovaru, tak v podpůrných provozech. Používá se také při dealkoholizaci piva. Dnes je již standardním vybavením českých pivovarů (Kinčl et al., 2015).

9. Typy membránových filtrů: svíčkové filtry a crossflow filtry

V zásadě je možné dělit membránové filtry podle užití samotné membránové techniky a různých jejich hledisek. V praxi se však používá tří zásadních typů membránových filtrů: svíčkových filtrů a tzv. crossflow filtrů. U svíčkových filtrů jsou membrány skládány do válcovitého tvaru, takže tvoří tzv. filtrační svíčku (<http://www.ceskefiltry.cz/>).

Obrázek č. 8: Zleva: Složení membránové filtrační svíčky: a) mřížka z plastické hmoty, b) vrstva z filtračního papíru pro hrubou předfiltraci, c, d) polyethersulfonová membrána, e) podpěrná vrstva z monofilní tkaniny, f) podpěrné jádro příklad samotné filtrační svíčky

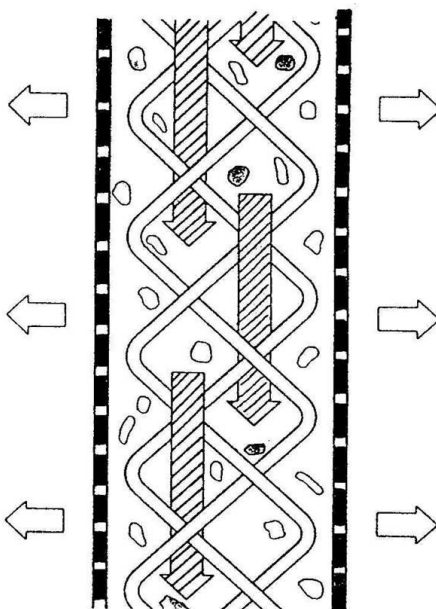


Zdroj: <http://www.ceskefiltry.cz/>,

https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=58530

Crossflow filtry využívají tangenciálního průtoku kapaliny membránou. Při tomto procesu prochází filtrovaná tekutina přes kapiláry v podélném směru, oproti tomu filtrát ve směru kolmém. Díky tomu jsou nechtěné látky neustále odplavovány (https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=58530)

Obrázek č. 9: Schéma crossflow filtru



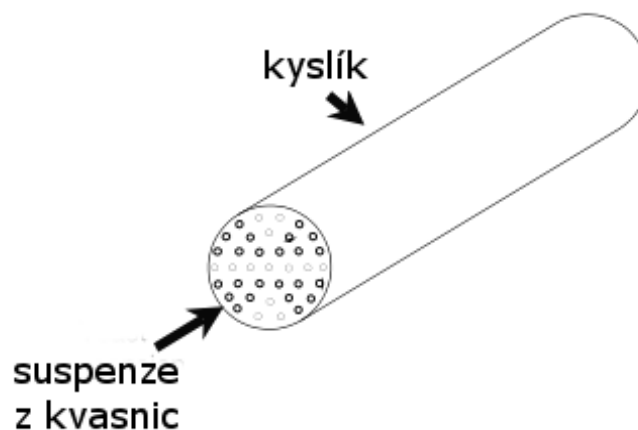
Zdroj: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=58530

10. Aerace kvasnic

Kvasnice využívají kyslík pro syntézu buněčných membrán, bez kyslíku je růst buněk společně s jejich aktivitou značně omezen. Neadekvátní růst kvasnic omezuje průběh kvašení. Studená mladina vyžaduje provzdušnění. Musí být zajištěn obsah kyslíku v rozsahu 5 – 8 mg/l, nutný pro správnou činnost. Mladinu je nutné ihned pro zamezení případné kontaminace zakvasit (Chládek, 2007). Dávka kyslíku závisí na typu užitých kvasnic, některé kmeny mají vyšší požadavky na kyslík než ostatní. Při špatném provzdušnění kvasnic může dojít k tomu, že pivo získá nechtěnou chuť a vůni, například acetaldehydovou nebo chuť po žluklém másle (<http://pivnirecenze.cz/7856-cizi-chute-a-vune-v-pivu-a-jak-jim-predchazet-i>).

Kvasnice tedy musí být v dobrém stavu a dobře provzdušněné, aby se zajistil správný průběh fermentace. V případě některých využívaných metod, například provzdušňování mladiny šleháním, je složité přesně určit množství kyslíku a zachovat některé další vlastnosti (http://www.wyeastlab.com/hb_oxygenation.cfm).

Obrázek č. 10: Schéma aerace kvasnic pomocí membránového systému



Zdoj: <http://www.boccard.com/sites/default/files/Preox%20-%20Technical%20leaflet.pdf>

Novým procesem při okysličování samotných kvasnic je aerace kvasnic pomocí membránového systému. Využití membránových procesů zajišťuje přesný přísun potřebného kyslíku bez jakýchkoliv změn a lepší kontrolu samotné fermentace. Proces začíná odstranění přebytečného oxidu uhličitého a dosažením vhodné teploty pro správné okysličení kvasnic. Nižší nebo vyšší teploty způsobují problémy s fermentací, vyšší teploty například zabraňují rozpustnosti mladiny. Kvasnice se okysličují přibližně po dobu čtyř až pět hodin. Systém zaručuje dobré dávkování kvasnic a suspenze přijímá kyslík přes kanály membrány, díky tomu se kvasnice provzdušňují rovnoměrně a proces je efektivnější. Stejně tak se udržuje homogenita suspenze. Při procesu je využívána keramická membrána, která má velikost pórů okolo 0,05 μm a je nejčastěji tvořena oxidem hlinitým (<http://www.boccard.com/sites/default/files/Preox%20-%20Technical%20leaflet.pdf>).

11. Separace piva z odpadních kvasnic

Po fermentaci se kvasnice usazují na dně fermentační nádoby a tyto usazeniny tvoří 1,5 až 2 % celého objemu piva (Peinemann, 2010). Ze získaných kvasinek se následnou membránovou filtrací může zpětně získávat pivo. U této membránové filtrace piva se využívá „crossflow“ mikrofiltrace keramickou membránou (Grandison et al., 1996). Jako nejvhodnější se v tomto případě ukazují membrány vyrobené z čistého oxidu hlinitého. Principem je proudění filtrované kapaliny s kvasinkami přes vícekanálkové póry membrány za vysoké rychlosti, která způsobuje turbulenci zajišťující čistý filtrační povrch. Transmembránový tlak je závislý na filtrované směsi, podmínkách procesu, rychlosti průtoku a velikost pórů. Neprobíhá zde destrukce mikrobiálních buděk. Při tomto procesu se získá velká část z celkem vyprodukovaného odpadu, toto zařízení umožňuje získat až 50 % z 1 % z této jeho části. Při této filtraci nehrozí autolýza kvasnic a pivo si uchovává dobré chuťové vlastnosti a kvalitu. Samotný proces také zabraňuje vstřebávání. Takto získané pivo představuje tekutinu v podstatě sterilní a může být přimícháno zpět do procesů přípravy samotného piva, nejlépe před proces samotné filtrace (Bugan et al., 2001).

12. Membránová filtrace před distribucí piva

Před samotnou distribucí piva je potřebné zajistit jeho vyšší odolnost proti vnějším vlivům a prodloužit spotřební lhůtu vyráběného piva. V zásadě pivo prochází dvěma procesy, které probíhají před samotnou distribucí a zajišťují jeho větší odolnost a kvalitu. Prvním z nich je samotná filtrace piva odstraňující zbylé živé kvasinky z nápoje. Tato filtrace může být rozdělena do různých procesů tvořených z různých typů filtrů, které jsou také různě označovány, obecně záleží na samotném výrobcí daných filtrů. Druhý proces pak představuje pasterizaci, která může probíhat několika způsoby. Pivo je běžně stabilizováno teplotně, umrtvením zbylých organismů, nebo membránovou filtrací, která organismy z piva přímo odstraňuje. Pokud jsou oba dva procesy uskutečňovány pomocí filtrace, mluvíme také o filtraci primární a sekundární. V případě všech těchto procesů je u filtrů většinou odváděn přebytečný oxid uhličitý (<http://filtrace.com/>).

12.1 Primární filtrace: filtrace redukující kvasinky a pevné kaly v pivu

Primární filtrace představuje především redukci živých kvasinek a pevných kalů. Běžně se v praxi stále používají stále křemelinové naplavovací filtry. Tyto filtry se následně mohou kombinovat se sekundární mikrofiltrací způsobující studenou stabilizaci piva. Nejčastěji využívaným filtrem pro tuto filtraci je křemelinový filtr svíčkový s nominální selektivitou 1 mikrometr (<http://filtrace.com/>). Membránové procesy však postupně nahrazují klasickou křemeninovou filtraci, která vyžaduje další dočišťování a sterilizaci a samotná kombinace s mikrofiltrací může často přinášet komplikace. Všechny procesy primární filtrace nejsou absolutní, některé pevné částice dále přetrvávají v pivu a vyžadují další stupně filtrace, popřípadě jiné úpravy. Filtrační elementy předpřipraví produkt pro finální mikrofiltraci snížením obsahu mikroorganismů a koloidních částic, které mohou způsobit po stočení i zákal. Účinná předfiltrace prodlužuje životnost konečných mikrofiltrů, a tím i zlepšuje účinnost a ekonomiku celého systému (<http://www.filco.cz/>). Využívá se většinou metody metody cross-flow a možné je v tomto případě využití ultrafiltrace (Wilson et al., 2000) nebo reverzní osmózy (Fellows, 2000), protože se při primární filtraci jedná především o zachycení větších částic.

12.2 Trap (částicová, záchytná) filtrace piva pomocí membrán

V případě využití křemelinových filtrů může být mezistupněm mezi primární filtrací a studenou pasterizací tzv. trap filtrace piva. Tato filtrace zajišťuje odstranění zbytků filtračního materiálu ve filtrátu po primární filtraci. Odstraňuje tedy efektivně zbytky křemeliny nebo celulózu obsaženou v pivu po první fázi filtraci a zabraňuje tak také zanesení mikro filtračních membrán. Existuje celá řada filtračních materiálů využívaných pro tyto filtry, z nichž nejčastěji jsou to: filtrační svíčky z materiálů jako sklo a polymery, filtrační desky z celulózy, ale i speciální svíčky z oceli a dalších anorganických materiálů. Užívaná selektivita se pohybuje od 5 – 20 μm (<http://filtrace.com/>).

12.3 Trvanlivost piva a jeho stabilizace

Pivo představuje z chemického hlediska roztok složený z několika stovek látek a bez jeho stabilizace není vhodné pro dlouhodobé uchování. Stabilizace piva má tedy přední význam při skladování lahvově balených piv. Hlavní úkol stabilizace představuje odstranění látky, které při skladování způsobují zákal nebo sedlinu piva. Samotná trvanlivost je však závislá na řadě faktorů v průběhu výroby a expedice piva. Přitom snahou je většinou dosáhnout, co nejdelší trvanlivosti piva s minimálním dopadem na jeho chuť a kvalitu. Trvanlivost samotného piva podmiňují tři jeho oblasti vlastností, pivo musí být stabilní koloidně, mikrobiologicky a v poslední době se také klade značný důraz na jeho chuťovou trvanlivost. Pivo má být, kromě některých speciálních značek, čiré, v rámci koloidní stability piva však nejsou stále stanoveny přesná kritéria (Dienstbier et al., 2010). Pivo bez jakékoliv stabilizace má koloidní trvanlivost přibližně několik týdnů, po správné stabilizaci piva se dosahuje trvanlivosti značně delší, i několik měsíců, dokonce i více než jeden rok. Pivo si díky úpravám udrží finální kvalitu od ukončení výroby po dobu jeho spotřebování (<http://www.pivnidenik.cz/clanek/221-Stabilizace-a-osetreni-piva/index.htm>).

Hlavní faktory ovlivňující trvanlivost piva představují soubor faktorů působících v průběhu celé výroby a expedice piva. Prvním z faktorů jsou vstupní suroviny jako například slad, voda nebo chmel. Následují samotné technologické postupy využívané při výrobě piva a použité filtry, které pivo do různé míry filtrují nebo také stabilizují. Důležité jsou také teplotní podmínky a úroveň oxidu uhličitého a kyslíku trvajících v průběhu výroby a plnění. Nemalý vliv mají také plnicí linky, případně pastery. V průběhu celého procesu se musí dodržovat vhodné hygienické podmínky v rámci veškerých technologií a přepravních obalů. K samotné stabilizaci piva se v dnešní době využívá řada postupů (<http://filtrace.com/>).

V současnosti existuje řada stabilizačních postupů. Tepelná stabilizace představující bleskovou pasteraci, tzv. flash pasterizaci, inaktivuje mikroflóru pomocí rychlé změny teploty. Pivo se také dá stabilizovat ošetřením před působením vzdušného kyslíku nebo přidáním dostatečného stabilizačních prostředků v průběhu filtrace pomocí křemelinového filtru (<http://www.destila.cz/stabilizace-piva>). Moderním způsobem pasterizace piva je sekundární filtrace nazývaná také „studená pasterizace“ při níž jsou nežádoucí mikroorganismy z piva odstraněny. Ke kvalitě piva samozřejmě dopomáhá také jeho primární filtrace. Moderní technologie značně omezují nebezpečí infekce a biologické zákalů způsobené mikroorganismy, tvorbu nebiologických zákalů však v průběhu stárnutí piva zabránit do jisté míry nelze.

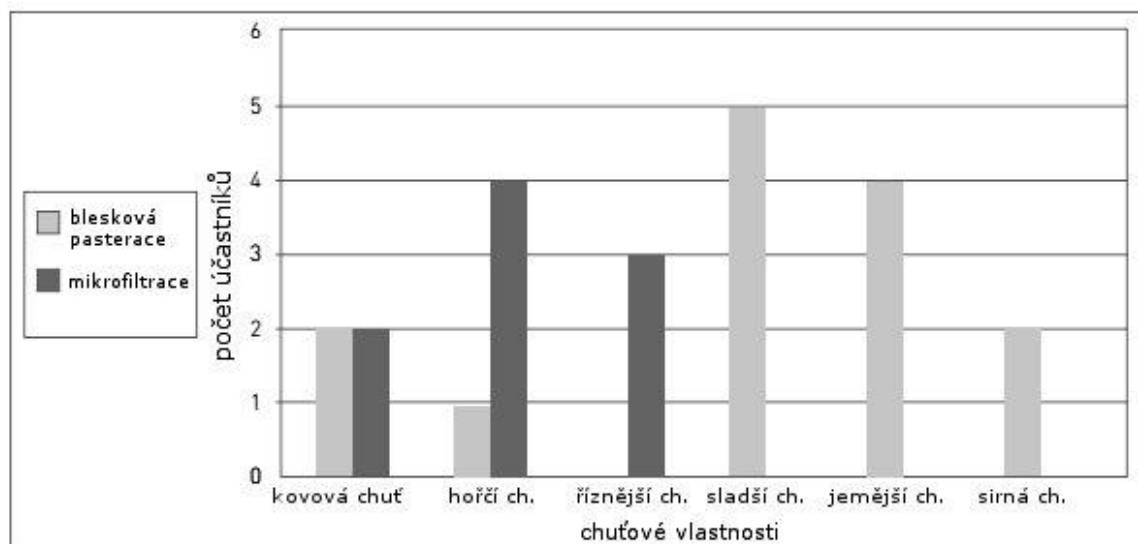
12.4 Sekundární filtrace: mikrofiltrace piva (studená stabilizace piva)

Mikrofiltrace piva neboli studená stabilizace piva odstraňuje jakékoliv nežádoucí složky předtím, než je samotné pivo stočeno do obalu. Jedná se především o mikroorganismy, jejichž výskyt by mohl zavinit snížení kvality nápoje, jedná se například o kvasinky, bakterie kyseliny octové a bakterie kyseliny mléčné. Studená stabilizace piva je dnes běžně využívána u větších producentů piva.

Hlavní výhodou využití mikrofiltrace při výrobě piva a jiných nápojů je bezchybná separace nežádoucích složek při zachování původní barvy, vůně a obsahu dalších látek jako jsou cukry, vitamíny nebo alkohol. Některé studie také naznačují, že mikrofiltrace by mohla mít vliv na stabilitu pěny piva (<http://www.mbaa.com/>).

Tyto vlastnosti se zachovávají po celou dobu životnosti piva. Při mikrofiltraci se vyžaduje především odstranění buněk zbylých kvasnic a bakterií (Baker, 2004). Základním prvkem mikrofiltrace je mikroporézní membrána, která odstraňuje z piva kvasinky a další mikroorganismy způsobující jeho kažení. Pivo může být také například stabilizováno bleskovou pasterací, tzv. flash pasterizací, ta má ovšem oproti mikrofiltraci řadu nevýhod. Hlavním rozdílem při využití těchto metod je už v samotném průběhu procesu, mikrofiltrace přímo odstraňuje všechny mikroorganismy, oproti tomu blesková pasterizace představuje proces deaktivace samotných mikroorganismů, takže mikroorganismy zůstávají v pivu přítomny. Blesková pasterizace navíc větší spotřebu vody oproti mikrofiltraci (<http://filtrace.com/>).

Obrázek č. 11: Výsledek chuťového testu provedeného u jednoho z předních pivovarů ve Velké Británii



Zdroje: <http://www.parker.com/>

Požadavky na filtraci jsou dané především očekávanou trvanlivostí piva a citlivostí na jeho znehodnocení. U většiny velkých pivovarů je dána dvanáctiměsíční trvanlivost s nulovým obsahem nežádoucích složek. Obecně se však požadují tyto vlastnosti filtračních zařízení: validovaná nádrž mikroorganismů, testovatelnost na integritu, nulový dopad na barvu a další vlastnosti piva, snadná čistitelnost, konstrukce odolná vůči působení tlaku a vysoká průtokovost (<http://www.filco.cz/>).

Obrázek č. 12: Mikrofiltrační stanice včetně integrované sanitační stanice



Zdroj: <http://filtrace.com/>

Mikrofiltrace se vždy provádí těsně před plněním piva. V současné době se průmyslově vyrábí mikrofiltry s centrálním vertikálním sběrným kanálem, za které se aplikují jednotlivé moduly, které obsahují samostatné membrány nebo membrány v kombinaci s celulózu. Existují také filtry z celulózy s přísadou křemelinou (Mikulášek, 2013) nebo filtry kombinující primární filtraci pomocí křemelinového naplavovacího filtru a sekundární filtraci prováděnou mikrofiltrací na jemných mikrofiltrech. (<http://www.ceskeminipivovary.cz/>)

Filtry určené pro mikrofiltraci se vyrábí z polymerů například polypropylenu, polyethersulfonu, polysulfonu nebo polyamidu (<http://www.parker.com/>). Běžná velikost pórů se pohybuje mezi s póry o velikosti 0,45 μm až 0,65 μm (<http://www.mbaa.com/>).

13. Výroba piva s nízkým obsahem alkoholu

13.1 Charakteristika nízkoalkoholického a nealkoholického pivo

Pivo s nízkým nebo žádným obsahem alkoholu je v posledních letech stále žádanější. Spotřeba těchto typů piva je způsobena především zdravotními a bezpečnostními vlivy. Přitom spotřebitelé chtějí konzumovat produkty se vlastnostmi co neblíže se blížícími alkoholickým pivům. Nealkoholickým pivem se podle legislativy Evropské Unie může nazývat pivo s maximálně 0,5 % obj. etanolu, nízkoalkoholické pak od 0,6 do 1,2 %. Odlišení nealkoholického piva a nízkoalkoholického piva však není ve světě jednotné (Basařová, 2005).

13.2 Dealkoholizace piva

Dealkoholizace piva se dosahuje buďto fyzikálními nebo biologickými metodami. Biologické metody pouze omezují tvorbu metanolu úpravou postupů, omezují tvorbu zkvasitelných cukrů, řízené kvašení s úpravou etanolu a použití speciálních druhů kvasinek. Jsou méně ekonomicky náročné, protože se nevyžaduje žádná další úprava (Basařová, 2010).

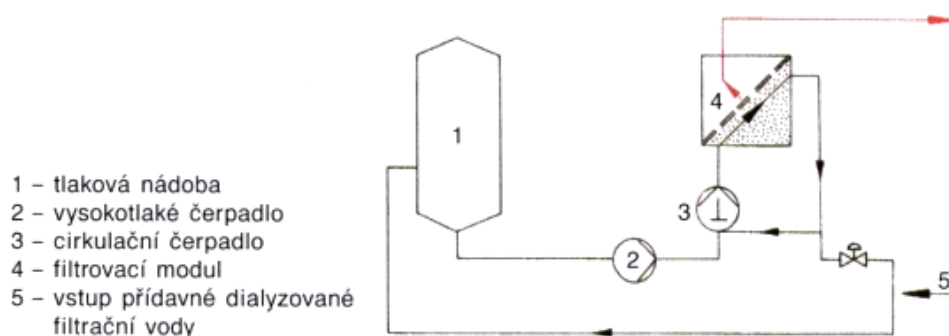
Fyzikální metody představují odstranění ethanolu z již vyrobeného pivo. Řadí se mezi ně tepelné procesy, kterými jsou: vakuová destilace, vakuový odpar a sprejové sušení. Ty však mají vyšší provozní náklady a u nich hrozí snížení kvality piva a ztráta těkavých látek v něm. Dále také extrakce, absorpce, lyofilizace, kvašení v průtočných reaktorech a některé z membránových procesů. Z filtračních procesů s využitím membrán se k výrobě těchto typů piva aplikuje dialýza, reverzní osmóza a pervaplace (<http://www.zapivem.cz/>).

13.3 Užití membránových procesů při dealkoholizaci

Membránové procesy mají řadu výhod, jsou bez tepelné zátěže, teplota při procesu se pohybuje mezi 1 – 15 °C, je zde možnost dalšího využití etanolu a jeho separace je skoro bezzbytku. Využívá se různých tlakových podmínek. Tato piva se také méně chuťově odlišují od piv s normální hladinou etanolu, protože látky z extraktu důležité pro chuť a aroma piva mají větší molekulovou hmotnost než alkohol a zůstávají tak zachovány. Největší nevýhodou je pak už několikrát zmiňovaná nákladnost a případné ztráty sensoricky těkavých látek (<http://www.zapivem.cz/>).

Jedním z membránových postupů je reverzní osmóza. Reverzní osmóza při přípravě nealkoholického piva má čtyři fáze. Jako první proběhne koncentrování, pak tzv. diafiltrace. Při tzv. cross flow nátoku piva proudou membránou jen malé molekuly, hlavně etanol a voda, která se dále doplňuje odplyněnou diafiltrační vodou a dochází ke snížení obsahu etanolu v pivu. Pro snížení obsahu etanolu v pivu ze 4 % na 0,5 % je spotřeba diafiltrační vody přibližně 2 – 3 hl na 1 hl nápoje. Zahuštěné pivo putuje do sběrného zásobníku, kde je naředěno odplyněnou vodou na jeho původní koncentraci. Následně v poslední fázi probíhá další úprava piva. Všechny procesy probíhají při teplotě nižší než 8 °C, což zajišťuje větší kvalitu piva (Peinemann, 2010).

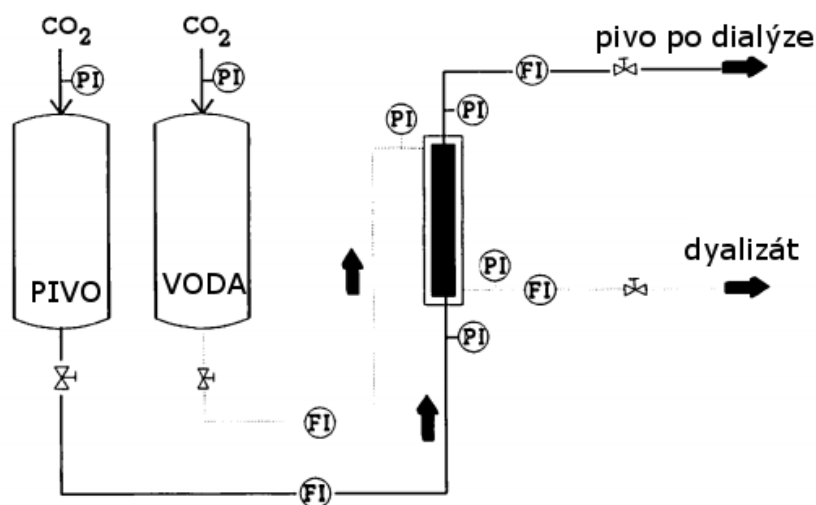
Obrázek č. 13: Schéma přípravy nízkoalkoholického piva reverzní osmózou



Zdroj: Basařová, 2010

Druhým postupem je dialýza, která odděluje etanol na základě rozdílu koncentrací. Na jedné straně membrány protéká odsolená voda, na druhé straně cirkuluje v opačném směru pivo. Membrána propouští opět pouze vodu a etanol, alkohol přechází membránou tak dlouho, dokud nedojde k vyrovnání koncentrace. Voda s alkoholem se odvádí a odparem se z ní odstraňuje alkohol. Proces pokračuje tak dlouho, dokud pivo nemá požadované množství alkoholu. Pivo si zachovává svou barvu a další vlastnosti a také se nemusí ředit, jsou tu však ztráty oxidu uhličitého. Teplotní rozmezí je nastaveno mezi 1 až 6 °C, pivo se však při vyrovnání koncentrace zahřívá a musí se dodatečně ochlazovat (Basařová, 2010).

Obrázek č. 14: Schéma přípravy nízkoalkoholického piva dialýzou



Zdroj: Leskošek, 1994

Posledním běžně využívaným postupem je pervapolace, která je řízená vodou a využívá se při ní hydrofilní membrána. Etanol díky těmto vlastnostem membránou přednostně prochází. Do nosného plynu omývajícího membránu přidávána vodní pára, aby se zabránilo ztrátám vody. Díky tomu se sníží hnací síla pro vodu, která membránou prochází minimálně. Podobně zanedbatelné jsou také ztráty aromat membránou (Palatý, 2012). Poslední z nejnovějších trendů představuje využití nanofiltrace, která však zatím nemá širšího užití (<http://www.mmsx.com/>).

Pro tyto procesy jsou využívány spíše membrány z celulózy, protože lépe propouští etanol. Pivo se po snížení procenta etanolu dále upravuje, mohou se vracet odseparované těkavé látky, přidávají se kvasnice, syří se nečištěným kvasným CO₂, také se může toto pivo dále upravovat rmutováním (Grandison et al, 1996).

Značným problémem jsou odpady z těchto procesů a jejich případné ekonomické a ekologické zpracování. V rámci destilačních technik se jedná o kondenzátory brýdových par obsahující 8 – 12 % etanolu. Při menším množství těchto typů piv ve výrobě pivovaru se pak vyplatí pořídit si zařízení na destilace. V případě malé produkce se většinou kondenzáty tzv. ztratí v další výrobě piva, nejčastěji ve varně. Určitou možností je také výroba mikrobiální biomasy, kde můžou zdrojem dusíku pro mikroorganismy i další odpady z pivovarské výroby, například sladové mláto (Basařová, 2005).

14. Úprava vody pro procesy

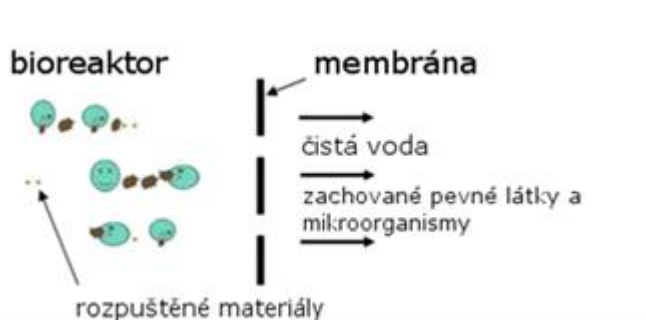
Pro proces fermentace je vhodné ošetřovat samotnou užívanou vodu, která se zbavuje přebytečného kyslíku na potřebnou hladinu. Membránové procesy mohou být využívány i pro samotnou úpravu vody. Například při deoxygenaci vody, která se využívá při ředění vysokoprocenních piv. Využití membránových procesů by však mohlo být mnohem širší. Například elektrolýza může pomoci odstranit zásaditost vody nebo nanofiltrace zajišťuje změkčování vody (Grandison et al., 1996).

15. Úprava odpadních vod z procesů

V rámci procesu výroby piva se využívá velké množství vody, proto bývá velmi důležitá její následná úprava. To se týká jak odpadní vody z čištění nádrží nebo vody oplachující láhve, tak vody znečištěné při samotných procesech výroby piva. Odpadní vody z pivovaru představují významný ekologický problém z důvodu značného množství nečistot, zejména organické zatížení, vytvořený procesu výroby. (Hill, 2015). Při čištění odpadních vod může být úspěšně použita řada membránových procesů. Běžně se využívá například reverzní osmóza (Fellows, 2000), nanofiltrace (Braeken et al., 2004), mikrofiltrace, popřípadě ultrafiltrace. Ultrafiltrace se kombinuje s ozonizací, studenou sterilizací, díky které výsledně se získává pitná voda (Mackintosh, 1983).

Procesy filtrace mohou dosahovat až 100% účinnosti a užívají se podle typu odpadní vody, například reverzní osmóza se může využívat jak pro filtraci látek organických, tak i anorganických současně. Využívají se crossflow filtry nejčastěji tvořené z polymerů, které upraví jak produktovou a technologickou vodu. (Valdez, 2012). V řadě případů může být voda využita znovu a pivovar tak není tolik závislý na dodávce vody. To celkově snižuje náklady a snižuje ekologický dopad na prostředí (Mikulášek, 2013). Například v lihovarnictví je využíváno membrán pro zpracování bramborových výpalků, voda se zpětně využívá při dalších procesech a výpalky se stávají vhodným krmivem. (Lapišová et al., 2009)

Obrázek č. 15: Zjednodušené schéma membránového bioreaktoru



Zdroj: Hill, 2015

Možnou budoucností při řešení úpravy odpadních vod by mohly být také membránové bioreaktory. Ty v sobě pojí procesy anaerobní biodegradace organických látek a membránové separace (Hill, 2015).

16. Závěr

V této práci jsem zdokumentovala současný stav a zpracovala přehledný materiál o membránových procesech, jejich funkci v potravinářských výroбах týkajících se výroby nápojů, především v pivovarnictví a představit nejen současné využití, ale i nastítnit možnosti budoucího využití membránových procesů a samotných membrán, například nových materiálů. Práce je rozdělena do tří částí. První část popisuje proces výroby piva s důrazem na užívané filtrační procesy a jejich historii. V druhé části jsou popsány membránové procesy, jejich fyzikálními a chemickými vlastnostmi, průběhem samotného děje procesu a dělením těchto procesů z různých hledisek. Tato část obsahuje příklady v praxi užívaných aplikací, především z oblasti výroby nápojů. Poslední část představuje podrobnější popis membránových filtrací využívaných v různých etapách výroby samotného piva.

Při využití procesů ve výrobě piva jsem se zaměřila především na širší využití různých membránových procesů v průběhu samotné výroby, případně porovnání s konkurenčními procesy mimo rámec membránových procesů. Jak se ukázalo, membránové procesy mají teoreticky širokou škálu využití, která se stále rozšiřuje, ale prakticky bývá jejich uvedení do provozu komplikováno několika faktory. Při využití membránových procesů nastává problém, že samotné zavedení procesů je dražší než zavedení jiných možných alternativ, což zastírá řadu výhod, kterou tyto procesy do výroby nápojů přináší. Taktéž je problematická jejich samotná odborná údržba. Membránové procesy se viditelně prosazují v oblastech výroby, kde ostatní alternativy nedosahují takové účinnosti, například při výrobě nízkoalkoholického nebo nealkoholického piva nebo případně při studené pasterizaci. I v konzervativním odvětví výroby nápojů se pak prosazují díky požadavkům spotřebitele.

Výhodou je především poměrně nízká spotřeba energie a jejich efektivita. Membránové jednotky představují také poměrně flexibilní řešení, protože se dají s úspěchem kombinovat s dalšími metodami filtraci, například typy membránových jednotek s křemelinou, a také užití v plně automatizovaných provozech, kdy se poměrně jednoduše zapojují do provozu s dalšími prvky.

Tato práce také dokázala, že využití membránových procesů při výrobě piva by mohlo být širší, jmenovitě v oblasti aerace kvasnic, kde by membránové procesy jistě zefektivnily samotný proces a taky v oblasti úpravy vody pro přípravu piva a především zpracování samotných odpadů z výroby. Především využití odpadů z výroby by pomohlo dalšímu zefektivnění a bylo by značně ekologické. Možnost využití nových materiálů mi z práce nevyplývala.

17. Seznam použité literatury a zdrojů

Literatura

1. BAKER Richard. *Membrane technology and applications*. 2 vyd., Chichester: J. Wiley, 2004. 552 s. ISBN 978-0-470-02038-8.
2. BASAŘOVÁ, Gabriela. *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010, 863 s. ISBN 978-80-7080-734-7.
3. BASAŘOVÁ, Gabriela. Jak se vyrábí nízkoalkoholické a nealkoholické pivo? *Vesmír*. 2005, 84(4), 221 - 225 [cit. 2015-12-22]. ISSN 1214-4029.
4. BUGAN, Sathi Greta et al. Využitie „crossflow“ mikrofiltrácie v pivovarníctve. *Kvasný průmysl*. 2001, 55 (4), 97 – 101. ISSN 0023-5830.
5. BRAEKEN L. et al. Regeneration of brewery waste water using nanofiltration. *Water Research*. 2004, 38 (13), 3075–3082. ISSN 0043-1354.
6. DIENSTBIER, Miroslav et al. Metody předpovědi koloidní stability piva. *Chemické listy*. 2010, 104(7), 86 - 92. ISSN 1213-7103.
7. EČER, Jiří a Jan KINČL. Membránové procesy v mlékárenském průmyslu. *Mlékárenské listy*. 2014,2014(145), 1 – 4. ISSN 1212-950X.
8. FELLOWS, Peter. *Food processing technology: principles and practice*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000, 575 p. ISBN 0849308879.
9. GRANDISON Alistair S. et al (ed.). *Separation processes in the food and biotechnology industries: principles and applications*. Cambridge: Woodhead, 1996. 290 s. ISBN 978-1-85573-287-2.
10. GRUENWEDEL, Dieter W (ed.). *Food analysis: principles and techniques*. 1. vyd. New York: Dekker, 1984. 416 s. ISBN 0824771826.
11. HASAL, Pavel et al. *Chemické inženýrství I*. 2. přeprac. vyd. Praha: VŠCHT, 2007, 350 s. ISBN 978-80-7080-002-7.
12. HILL Annie. *Brewing Microbiology: Managing Microbes, Ensuring Quality and Valorising Waste*. 1. vyd. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015, 506 s. ISBN 978-1-78242-331-7.
13. CHLÁDEK, Ladislav. *Pivovarnictví*. 1. vyd. Praha: Grada, 2007. Řemesla, tradice, technika. ISBN 978-80-247-1616-9.
14. JACKSON, Michael. *Encyklopedie piva*. 1. vyd. Praha: Volvox Globator, 1994, 256 s. ISBN 80-85769-37-9.
15. KAHOVEC, Jaroslav et al. *Separáční a analytické metody v ochraně životního prostředí*. 1. vyd. Praha: Ústav makromolekulární chemie AV ČR, 1996, 141 s.

16. KINČL, Jan et al. *Membránové procesy v potravinářství: Sborník ze semináře projektu KUSmem*. Membránové inovační centrum, Stráž pod Ralskem. Česká Lípa: Česká membránová platforma o.s., 2015, 34 listů. ISBN 978-80-904517-5-9.
17. KOLTUNIEWICZ, Andrzej Benedykt a Enrico DRIOLI (ed.). *Membranes in clean technologies: theory and practice*. 1. vyd. Weinheim: Wiley-VCH, 2008. ISBN 9783527320073.
18. KOSAŘ, Karel et al. *Technologie výroby sladu a piva*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, 2000, 398 s. ISBN 80-902-6586-3.
19. LAPIŠOVÁ, Kateřina et al. Chemické čištění keramických membrán po separaci výpalků. *Kvasný průmysl*. 2009, 47 (5), 119 – 121. ISSN 0023-5830.
20. LESKOŠEK, I. J. a L. Mitrovič. Optimalization of beer dialysis with cuprophane membranes. *Journal of the Institute of Brewing*. 1994, 100 (4), 287 – 292. ISSN 0046-9750.
21. MIKULÁŠEK, Petr. *Tlakové membránové procesy*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2013, 254 s. ISBN 978-80-7080-862-7.
22. MIKULÁŠEK, Petr. *Aplikace tlakových membránových procesů při zpracování odpadních vod*, EKO–Ekol. Spol. 6, 1995, č. 2.
23. MULDER, Marcel. *Basic principles of membrane technology*. 2. vyd. Boston: Kluwer Academic, 1996, 564 s. ISBN 978-0-7923-4248-9.
24. NOVÁK, Luboš (ed.). *Elektromembránové procesy*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2014, 308 s. ISBN 978-80-7080-865-8.
25. PALATÝ, Zdeněk a Bohumil BERNAUER. *Membránové procesy*. Vyd. 1. V Praze: Vysoká škola chemicko-technologická, 2012, 282 s. ISBN 978-80-7080-808-5.
26. PEINEMANN, Klaus-Viktor et al. (ed.). *Membrane Technology: Membranes for Food Applications*. 1. vyd. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010. ISBN 978-3-527-31482-9.
27. POLÁKOVÁ, Lucie a Jaroslav KOVAŘÍČEK. Tajemství výroby piva. *Zemědělec*. 2007, 15 (23), 16 - 17. ISSN 1211-3816.
28. PŘIDAL, Jaroslav. Separční membrány a jejich průmyslové použití: Dnešní trendy a jejich vybrané aplikace. *Chemické listy*. 1999, 93(7), 432 - 440. ISSN 1213-7103.
29. SATA, Toshikatsu a Glyn JONES. *Ion Exchange Membranes: Preparation, Characterization, Modification and Application*. 1. vyd. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2004. ISBN 978-0-85404-590-7.

30. ŠÍPEK, Milan (ed.). *Membránové dělení plynů a par*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2014, 204 s. ISBN 978-80-7080-864-1.
31. VALDEZ, Benjamin (ed.). *Food Industrial Processes - Methods and Equipment*. 1.vyd. Rijeka: InTech, 2012. ISBN 978-953-307-905-9.
32. WILSON, Ian D. et al. (ed.). *Encyclopedia of separation science*. 1. vyd. San Diego: Academic Press, 2000. 4954 s. ISBN 978-0-12-226770-3.
33. ZEMAN, Leos J. *Microfiltration and Ultrafiltration: Principles and Applications*. 1.vyd. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. ISBN 0-8247-9735-3.

Internetové zdroje

1. *BF* [online]. Josefov: Bílek Filtry s r.o., 2016 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://filtrace.com/>
2. *Czemp* [online]. Česká Lípa: Česká membránová platforma, o. s., 2015 [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: <http://www.czemp.cz/>
3. *MemBrain* [online]. Stráž pod Ralskem: MemBrain s.r.o., 2016 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.membrain.cz/>
4. *MEGA* [online]. Praha: MEGA a.s, 2016 [cit. 2016-02-14]. Dostupné z: <http://www.mega.cz/>
5. *Power Plastics* [online]. Žďár nad Sázavou: Power Plastics s.r.o., 2015 [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: <http://www.powerplastics.cz/uprava-vody-membranova-filtrace/>
6. *VÚPS* [online]. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, 2016 [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: <http://www.beerresearch.cz/>
7. *ProMinent* [online]. Blovice: ProMinent s r.o., 2016 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.prominent.cz/>
8. *Za Pivem* [online]. Praha: ZaPivem.cz, 2016 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.zapivem.cz/>
9. *České minipivovary* [online]. Opava: Konsorcium Czech Mini Breweries, 2012 [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: <http://www.ceskeminipivovary.cz/>
10. *Parker* [online]. Cleveland: Parker Hannifin Corp, 2016 [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: <http://www.parker.com/>
11. *Filco* [online]. Hradec Králové: FILCO, spol. s r.o., 2016 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.filco.cz/>
12. *MMS Membrane Systems* [online]. Urdorf: MMS AG, 2016 [cit. 2016-01-25]. Dostupné z: <http://www.mmsx.com/>

13. *MBAA* [online]. St. Paul: Master Brewers Association of the Americas, 2016 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.mbaa.com/>
14. *České filtry* [online]. Ústí nad Labem: České Filtry s.r.o., 2016 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.ceskefiltry.cz/>
15. *Piezo technology* [online]. Lederhose: PI Ceramic GmbH., 2016 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.piceramic.com/>
16. *Hemodialýza, hemofiltrace, hemodiafiltrace* [online]. Ledviny.cz, 2011 [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: <http://www.ledviny.cz/clanky/hemodialyza-hemofiltrace-hemodiafiltrace>
17. *Membránové filtry* [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2016 [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=58530
18. *Stabilizace piva do ztracena* [online]. Brno: DESTILA s. r. o., 2016 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.destila.cz/stabilizace-piva>
19. *Stabilizace a ošetření piva* [online]. Praha: Svět piva, 2016 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.pivnidenik.cz/clanek/221-Stabilizace-a-osetreni-piva/index.htm>
20. *Preox* [online]. Péruwelz: Meura, 2009 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.boccard.com/sites/default/files/Preox%20-%20Technical%20leaflet.pdf>
21. *Cizí chutě a vůně v pivu* [online]. Brno: Pivní recenze, 2012 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://pivnirecenze.cz/7856-cizi-chute-a-vune-v-pivu-a-jak-jim-predchazet-i>
22. *Oxygenation* [online]. Odell: Wyeast Laboratories, Inc., 2016 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: http://www.wyeastlab.com/hb_oxygenation.cfm