

Způsoby přípravy de-alkoholizovaných nápojů (pivo, víno)

Milan Bartoš

Bakalářská práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Milan Bartoš**

Osobní číslo: **T13199**

Studijní program: **B2901 Chemie a technologie potravin**

Studijní obor: **Chemie a technologie potravin**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Způsoby přípravy de-alkoholizovaných nápojů (pivo, víno)**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Zpracujte literární rešerši na téma: Způsoby přípravy de-alkoholizovaných nápojů (pivo, víno).
2. Charakterizujte jednotlivé způsoby přípravy.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] BRÁNYIK, Tomáš, Daniel P. SILVA, Martin BASZCZYŃSKI, Radek LEHNERT a Jo?o B. ALMEIDA E SILVA. A review of methods of low alcohol and alcohol-free beer production. *Journal of Food Engineering*. 2012, vol. 108, issue 4, s. 493-506. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.09.020.

[2] OLMO, Álvaro del, Carlos A. BLANCO, Laura PALACIO, Pedro PRÁDANOS a Antonio HERNÁNDEZ. Pervaporation methodology for improving alcohol-free beer quality through aroma recovery. *Journal of Food Engineering*. 2014, vol. 133, issue 4, s. 1-8. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2014.02.014.

[3] CATARINO, Margarida, Adélio MENDES, Laura PALACIO, Pedro PRÁDANOS a Antonio HERNÁNDEZ. Non-alcoholic beerA new industrial process. *Separation and Purification Technology*. 2011, vol. 79, issue 3, s. 342-351. DOI: 10.1016/j.seppur.2011.03.020.

[4] LABANDA, Jordi, Stefania VICHI, Joan LLORENS a Elvira LÓPEZ-TAMAMES. Membrane separation technology for the reduction of alcoholic degree of a white model wine. *LWT – Food Science and Technology*. 2009, vol. 42, issue 8, s. 1390-1395. DOI: 10.1016/j.lwt.2009.03.008.

[5] TAKÁCS, László, Gyula VATAI, Kornél KORÁNY a Elvira LÓPEZ-TAMAMES. Production of alcohol free wine by pervaporation. *Journal of Food Engineering*. 2007, vol. 78, issue 1, s. 118-125. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.09.005.

Vedoucí bakalářské práce:

prof. RNDr. Vlastimil Kubáň, DrSc.
Ústav technologie potravin

Datum zadání bakalářské práce:

2. února 2015

Termín odevzdání bakalářské práce:

4. května 2015

Ve Zlíně dne 2. února 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: BARTOŠ MILAN

Obor: CHTP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 4.5.2015

Bartoš

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací.

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlédnutí veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3.

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat formou literární rešerše možné způsoby snížení obsahu ethanolu v nápojích (pivo, víno). V předložené bakalářské práci jsou bližším způsobem popsány tepelné a membránové procesy. Z tepelných procesů je pozornost věnována vakuové destilaci a tenkovrstvému odpařování. U membránových procesů je popsána reverzní osmóza, dialýza, pertrakce a pervaporace. Pozornost je zaměřena také na postupy s úpravou technologie a receptury omezující tvorbu ethanolu za využití vhodných mikroorganismů.

Klíčová slova: pivo, víno, pivo (víno) se sníženým obsahem alkoholu, nealkoholické pivo, dealkoholizace

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis was focused on preparation of the literature review describing possible ways to reduce the ethanol content in beverages (beer, wine). Thermal and membrane processes are presented in more details. Vacuum distillation and thin film evaporation are described as the most common thermal processes. Reverse osmosis, dialysis, pervaporation and pertraction are discussed as the most perspective membrane processes. Attention is also focused on the procedures to adjust the technology and recipe for limiting the production of ethanol use suitable microorganisms.

Keywords: beer, wine, low alcohol beer (wine), alcohol-free beer, dealcoholization

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu prof. RNDr. Vlastimilu Kubáňovi, DrSc., za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích při vedení bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 ZPŮSOBY VÝROBY NEALKOHOLICKÉHO PIVA	11
1.1 TECHNOLOGIE S ODSTRAŇOVÁNÍM ETHANOLU Z PIVA	12
1.1.1 Membránové procesy	12
1.1.1.1 Reverzní osmóza.....	12
1.1.1.2 Dialýza.....	14
1.1.1.3 Pervaporace.....	15
1.1.2 Destilační procesy	17
1.1.2.1 Vakuová destilace.....	18
1.1.2.2 Tenkovrstvé odpařování	19
1.2 POSTUPY S ÚPRAVOU TECHNOLOGIE A RECEPTURY OMEZUJÍCÍ TVORBU ETHANOLU.....	24
1.2.1 Úpravy rmutovacího postupu.....	24
1.2.1.1 Inaktivace β -amylázy	25
1.2.1.2 Výroba z mláta.....	25
1.2.1.3 Míchání piva s nezkvašenou sladinou nebo mladinou.....	25
1.2.1.4 Oddělené kvašení dvou mladin s různou koncentrací extraktu	26
1.2.2 Zastavení nebo omezení kvašení.....	26
1.2.3 Postupy se speciálními pivovarskými kvasinkami.....	26
2 ZPŮSOBY VÝROBY NEALKOHOLICKÉHO VÍNA.....	28
2.1 MEMBRÁNOVÉ SEPARACE	28
2.1.1 Pertrakce.....	30
2.1.2 Reverzní osmóza	33
2.1.3 Pervaporace	33
ZÁVĚR	35
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	36
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	40
SEZNAM OBRÁZKŮ	41

ÚVOD

V minulém století vedla k výrobě piva s nízkým obsahem ethanolu řada důvodů. Například, během světových válek (1914 - 1918 a 1939 - 1945) to byl nedostatek surovin, který vedl k výrobě piva s nízkou hladinou původního extraktu (často s vysokým podílem přídatných látek) a tedy s nízkým obsahem ethanolu. Na druhou stranu, v letech mezi 1919 až 1933 to byla prohibice, která zvýšila podíl produkce piva s nízkým obsahem ethanolu ve Spojených státech amerických [1]. Snaha pivovarů rozšířit sortiment výrobků o piva s nízkým obsahem ethanolu ve druhé polovině 20. století probíhala především z následujících důvodů:

- Zvýšení celkové produkce dodáním nových produktů do zemí s vysoce konkurenčním trhem.
- Poskytnout spotřebitelům alternativu při činnostech (řízení motorových vozidel, obsluha strojů, sportovní činnost), nebo podmínkách (těhotenství, léčba), které jsou neslučitelné s konzumací alkoholických nápojů.
- Proniknout na trh v zemích, kde je konzumace alkoholických nápojů z nějakých důvodů zakázána.

I když prodej piva s nízkým obsahem ethanolu neplnil počáteční optimistická očekávání a trh s těmito výrobky tvořil zanedbatelnou část celkové produkce piva, v dnešní době je to celosvětově rychle rostoucí oblast pivního trhu. V posledních pěti letech průměrné tržby v Evropě vzrostly o 50 %. Ve Španělsku se v roce 2010 z celkové produkce piva prodalo 9,5 % piva s nízkým obsahem ethanolu. Patří tedy k největším spotřebitelům piva s nízkým obsahem ethanolu v Evropské unii (EU). Na největším evropském trhu s pivem, který je v Německu, se podíl piva s nízkým obsahem ethanolu pohybuje mezi 4 % a 5 %. Pravděpodobně nejvýznamnějšími důvody každoročního nárůstu prodeje nealkoholických piv v zemích EU jsou legislativní zásahy, omezující spotřebu ethanolu a zvýšení informovanosti spotřebitelů o výhodách střídání pít piva [2].

Ve většině zemí EU se piva s nízkým obsahem ethanolu dělí na nealkoholická piva, která obsahují $\leq 0,5$ % obj. ethanolu a piva se sníženým obsahem ethanolu s ne více než 1,2 % obj. ethanolu. Ve Spojených státech nealkoholické pivo znamená, že není přítomen ethanol, zatímco horní hranice 0,5 % obj. ethanolu odpovídá nealkoholickému pivu [3].

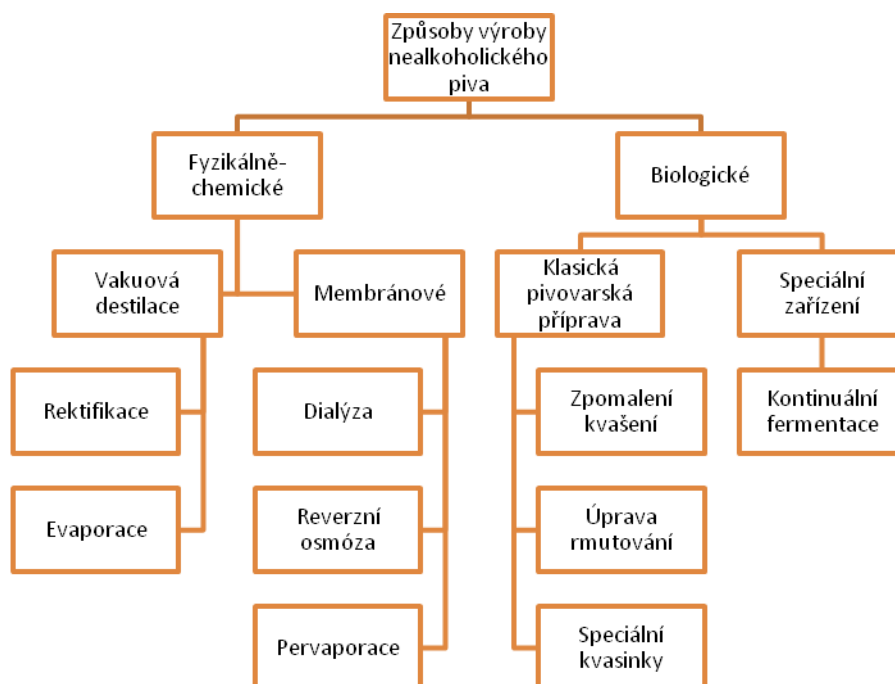
V zemích, ve kterých platí prohibice z důvodů náboženských, nesmí obsah ethanolu v nápojích překročit 0,05 % obj.

Ačkoliv metody produkce nealkoholického piva a piva se sníženým obsahem ethanolu jsou z praktického hlediska totožné, podíl nealkoholických piv na trhu převládá nad pivy se sníženým obsahem ethanolu. Proto jsou nápoje se sníženým obsahem ethanolu vyráběné ze sladu obecně nazývány nealkoholickým pivem [2].

Podle nařízení Evropské komise je víno definováno jako alkoholický nápoj s obsahem ethanolu vyšším než 8,5 % obj., vzniklý výhradně kvašením hroznů nebo hroznového moštu [4]. Víno je jedním z nejvíce konzumovaných alkoholických nápojů ve světě. Umírněná konzumace alkoholických nápojů, zejména červeného vína, přispívá ke snížení rizika kardiovaskulárních onemocnění, zejména díky přítomnosti zvýšeného množství antioxidantů, než u ostatních alkoholických nápojů [5]. Tento vysoký ochranný účinek souvisí s vysokou koncentrací polyfenolických sloučenin, jako jsou flavonoidy [6]. Je potvrzeno, že odstranění ethanolu z červeného vína nesnižuje jeho zdravotně prospěšné vlastnosti, a sice antioxidační a kardiovaskulární ochranné účinky [7]. Obsah ethanolu u vína v některých zemích v posledních desetiletích narůstá díky globálnímu oteplování i přes skutečnost, že v některých zemích vinaři musí platit daně, když obsah ethanolu ve víně je nad 14,5 % obj. [8].

1 ZPŮSOBY VÝROBY NEALKOHOLICKÉHO PIVA

Způsoby výroby nealkoholických piv lze rozdělit do dvou hlavních skupin (fyzikálně-chemické a biologické procesy), které mohou být dále členěny. Fyzikálně-chemické metody jsou založeny na šetrném odstranění ethanolu z klasických piv a vyžadují značné investice do zvláštních zařízení. Po dokončení procesu je sensorická kvalita vyráběných piv obvykle dobrá. Výhodou je, že obsah ethanolu může být snížen na velice nízkou úroveň. Nejrozšířenější biologické metody jsou založeny na omezené tvorbě ethanolu v průběhu kvašení piva. Obvykle jsou prováděny v klasickém pivovarském zařízení, a proto nevyžadují další investice, ale jejich produkty často vykazují určité příchutě. Ke zlepšení se využívá speciálních kvasinek. Ty však zvyšují náklady, protože jejich příprava, uchovávání a pomnožování je nákladné. Nicméně na míru připravené nebo selektivně vybrané mikroorganismy mohou významně přispět sensorickému zlepšení kvality produktu. Existují také způsoby výroby (kontinuální fermentace s využitím imobilizovaných kvasinek) založené na omezené tvorbě ethanolu, které vyžadují speciální vybavení a materiál (kontinuálně pracující bioreaktor, nosič pro buněčnou imobilizaci). V tomto případě musí být vyšší náklady oddůvodněny vyšší produktivitou kontinuálních procesů. Obecně platí, že tvorba ethanolu, což je podstatou biologické metody, znemožňuje výrobu nealkoholických piv s obsahem ethanolu blížícím se nule [2].



Obrázek 1: Schéma způsobů přípravy dealkoholizovaného piva [2]

1.1 Technologie s odstraňováním ethanolu z piva

Technologie používané k úplnému nebo částečnému odstranění ethanolu z klasických piv mohou být rozděleny do dvou skupin, na základě principu separačního procesu, jako jsou destilační a membránové procesy. Kromě průmyslově používaných metod dealkoholizace piva (vakuová rektifikace a odpařování, dialýza a reverzní osmóza) bylo v laboratorních podmínkách studováno několik dalších metod, jako je membránová extrakce, superkritická fluidní extrakce CO₂, pervaporace a zeolitová adsorpce [2].

1.1.1 Membránové procesy

Tyto metody odstraňování ethanolu jsou založeny na semipermeabilním charakteru membrány, která odděluje jen malé molekuly, jako je ethanol a voda, z piva do permeátu (filtrátu). V průmyslovém měřítku lze rozlišit dva typy membránových procesů (dialýza a reverzní osmóza). Liší se v používaných tlacích a teplotách, membránových materiálech a jejich struktuře. Je známo, že všechny membránové procesy mají menší tepelný dopad na pivo, mohou být řízeny automaticky a flexibilně, ale zároveň vyžadují značné pořizovací a provozní náklady. Ekonomická proveditelnost membránových procesů výroby nápojů s obsahem ethanolu nižším než 0,45 % obj. je některými autory zpochybňována, zatímco jiní uvádí, že spotřeba energie membránového systému pro purifikaci ethanolu (reverzní osmóza) je výrazně nižší, než u klasického destilačního systému [9]. Membránové procesy byly navrženy také jako součást systému pro kontinuální výrobu dealkoholizovaných nápojů [2].

1.1.1.1 Reverzní osmóza

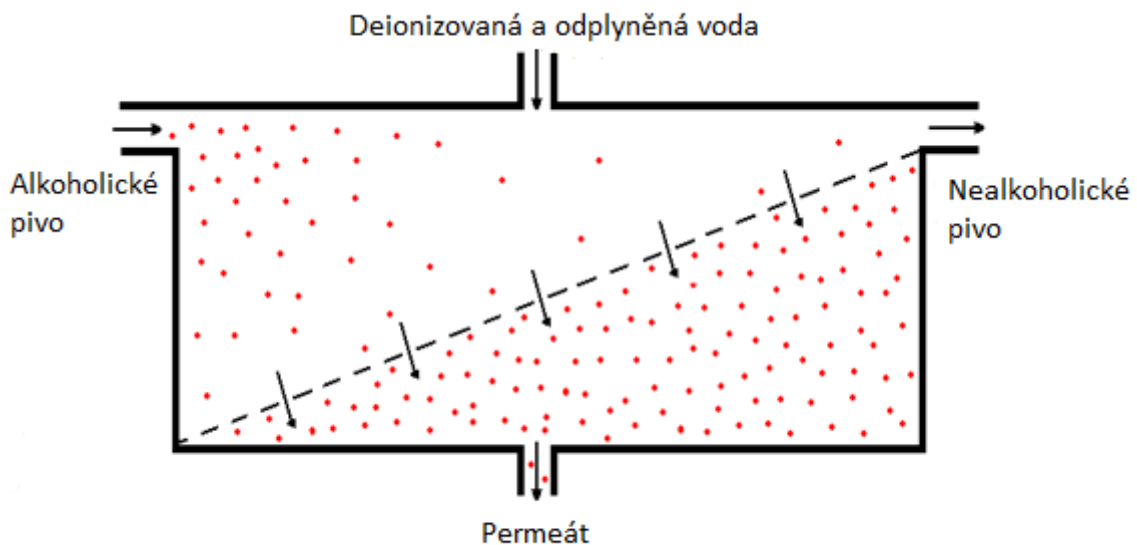
Reverzní osmóza je membránový proces, při kterém tangenciálně přiváděné pivo obtéká semipermeabilní membránu (cross-flow filtrace), která propouští především molekuly menších rozměrů (ethanol a voda), přičemž tlak, který je vyvíjen na membránu mnohonásobně převyšuje tlak osmotický [10]. Větší molekuly aromatických a chuťových složek většinou zůstanou zadrženy membránou. Proces reverzní osmózy probíhá za vysokého tlaku v rozmezí od 2 do 8 MPa, který je zajištěn vysokotlakými čerpadly [2]. Jelikož vlivem vysokých tlaků dochází k zahřívání celého zařízení, musí se zařízení chladit tak, aby teplota piva nepřesáhla 15 °C. Membrány využívané k redukci obsahu ethanolu reverzní osmózou jsou obvykle vyrobeny z různých materiálů, např. z acetátu celulózy, ny-

lonu, polyesteru, polyamidu či jiných polymerů [10]. Ideální membrána by měla splňovat následující předpoklady:

- Vysoká propustnost pro ethanol a vodu.
- Nízká propustnost pro ostatní chuťové a aromatické složky piva.
- Tepelná odolnost.
- Odolnost vůči desinfekčním prostředkům (v rozmezí pH 2 - 11).
- Odolnost vůči znečištění (anorganické, organické, koloidní a mikrobiologické).
- Chemická a mechanická odolnost.
- Cenová dostupnost.

V praxi se reverzní osmóza provádí v režimu diafiltrace. V první fázi je z piva o původní koncentraci ethanolu odstraněn permeát (ethanol, voda a další látky s nízkou molekulovou hmotností), který není nahrazen odplyněnou diafiltrační vodou. To vede ke zvýšení koncentrace ethanolu v retentátu (pivní koncentrát) a tím i ke zvýšení toku rozpuštěných látek přes membránu. Následně je v průběhu diafiltrační fáze odstraněný permeát kvantitativně nahrazen diafiltrační vodou. Tento postup se opakuje, dokud není v pivu dosaženo požadovaného množství ethanolu. Poté se retentát doplní diafiltrační vodou na původní objem piva. Tím dojde k dalšímu snížení obsahu ethanolu. Diafiltrační voda používaná v procesu reverzní osmózy musí být sterilní, demineralizovaná (vodivost $<50 \mu\text{S}$) a odvzdušněná (obsah kyslíku $<0,1 \text{ ppm}$) [3]. Spotřeba vody při snížení obsahu ethanolu ze 4 % obj. na 0,5 % obj. v 1 hl piva je přibližně 2 – 3 hl [10]. Po ukončení procesu reverzní osmózy je nezbytné nasycení produktu oxidem uhličitým.

Při produkci piva reverzní osmózou může docházet k významným ztrátám těkavých látek (70 – 80 % vyšších alkoholů, 80 – 90 % esterů). Tyto ztráty bývají připisovány nedokonalé selektivitě membrán [2]. Proto je možno do takto vyrobeného piva zpětně přidávat těkavé látky bez frakce ethanolu, získané frakční destilací permeátu, pro zajištění potřebného buketu [10].



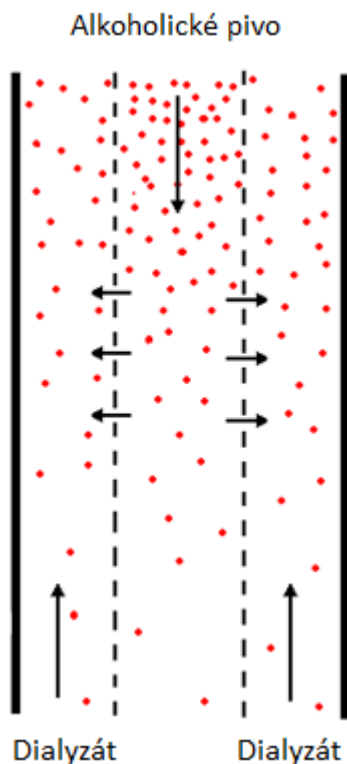
Obrázek 2: Princip reverzní osmózy [10]

1.1.1.2 Dialýza

Hnací silou transportu částic přes semipermeabilní dialyzační membránu je koncentrační gradient mezi složkami piva a dialyzátem. Semipermeabilní membrána je porézní materiál s určitou velikostí pórů, který je propustný pouze pro molekuly dané molekulové hmotnosti. Při dialýze všechny složky piva mají tendenci pohybovat se z oblasti vyšší koncentrace (piva) do oblasti o koncentraci nižší (voda), přičemž určité množství vody difunduje z dialyzátu do piva. Proces dialýzy probíhá na principu molekulární difuze [2].

Proces dialýzy je obvykle prováděn při teplotách 1 – 6 °C. Materiály, ze kterých jsou dialyzační membrány vyrobeny, jsou buď deriváty celulózy nebo různé syntetické materiály (např. polysulfon, polyethersulfon) a jsou obvykle uspořádány do modulů (svazků dutých vláken). Pivo proudí podél jedné strany dialyzační membrány a současně, na straně druhé, proudí v opačném směru dialyzát bez ethanolu. Princip protiproudého uspořádání zaručuje vysoký koncentrační gradient mezi dialyzátem a pivem. V systému je na straně piva potřeba udržovat určitý tlak, jinak by mohlo dojít ke ztrátám CO₂. Za účelem další minimalizace ztrát CO₂ se doporučuje přidat malé množství CO₂ i do dialyzační vody. Tím se zároveň minimalizuje riziko přenosu kyslíku z dialyzátu do piva. Pozornost je třeba věnovat i obsahu anorganických solí (sodík, vápník, dusičnany), které se mohou v dialyzátu koncentrovat během rektifikace a poté přecházet z dialyzátu do piva [11].

I při optimálním průběhu dialýzy nelze dosáhnout selektivního odstranění ethanolu. Ostatní složky piva (vyšší alkoholy a estery) jsou rovněž téměř zcela odstraněny. Ztrátám těkavých látek s nízkou molekulovou hmotností, může být zabráněno jejich zpětným přidáním do dialyzátu. Rozsah a rychlost dealkoholizace a také ztrátu těkavých látek, lze ovlivnit regulací poměrů průtoků dialyzátu a piva. Zvýšením průtoku dialyzátu vůči toku piva, dochází k výraznějšímu odstranění ethanolu a těkavých látek z piva. Větší průtok dialyzátu neovlivňuje pouze míru a rychlost odstranění ethanolu z piva, ale také náklady na energii potřebnou pro rektifikaci dialyzátu [2].



Obrázek 3: Princip dialýzy [10]

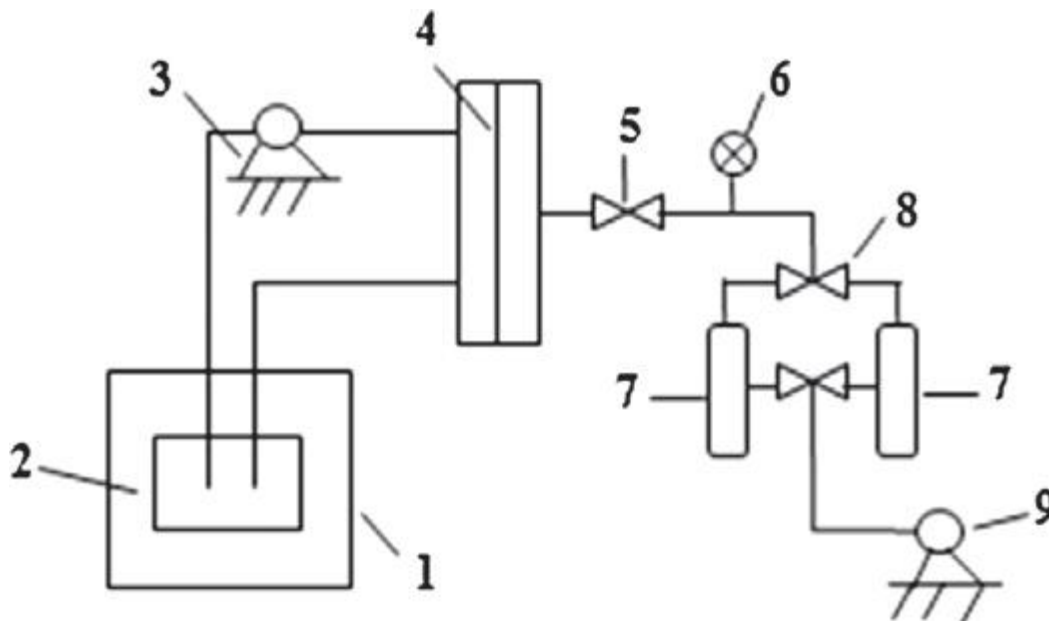
1.1.1.3 Pervaporace

Jedním z nejučinnějších membránových procesů pro zachování aroma je pervaporace. Od ostatních membránových procesů se liší tím, že dochází k fázovému přechodu látky procházející membránou. Na jednu stranu membrány je přiváděn nástřík v kapalně fázi a odebraný permeát je ve fázi plynné (parní) [12]. Vhodné pervaporační membrány jsou selektivní pro několik skupin chemických látek, které se podílejí na typickém chuťovém profilu nápoje. V posledních letech byl proces pervaporace úspěšně aplikován pro obnovu aromatických složek u ovocných šťáv a jejich opětovné navrácení do šťávy po procesu

odpařování. Pervaporace bývá také využívána k odstranění ethanolu a obnovení aroma u alkoholických nápojů. Dealkoholizované pivo se smíchá s pivem alkoholickým a extrahovanými aromatickými složkami. Tyto aromatické složky jsou získány pervaporací původního piva za využití neporézních membrán. Proces je ovlivněn teplotou a průtokem nástříku [13].

Catarino a Mendes (2010) se zabývali tímto procesem v průmyslovém měřítku. Nejprve dojde k pervaporaci nástříku nesyčeného alkoholického piva a jsou extrahovány aromatické složky. Retentát vzniklý v pervaporační jednotce je míchán s frakcí alkoholického piva v koloně s rotujícími talíři. V destilační jednotce dochází k protiproudému kontaktu směsi retentátu a piva s vodní parou, která odstraňuje ethanol a ostatní těkavé složky. Nakonec se aromatické složky z pervaporační jednotky a frakce čerstvého alkoholického piva mísí s dealkoholizovaným pivem pro vyvážení obsahu aromatických složek.

Frakce alkoholického piva je čerpána kontinuálně do čtyř membránových modulů, uspořádaných ve dvou sadách po dvou modulech za použití neporézních membrán o celkové účinné ploše 40 m². Čerpadlo zajišťuje, aby v membránovém modulu byl rozdíl tlaků na vstupu a výstupu (retentát) cca. 2 bar. Před vstupem nástříku do membránového modulu dochází k předehřátí deskovým tepelným výměníkem. Vývěva udržuje na straně permeátu tlak nižší než je tlak atmosférický. Podtlak zajišťuje stálý gradient parciálního tlaku dělené složky, přenos aromatických sloučenin z piva do permeátu a jejich následné odpaření. Proud permeátu (v plynné fázi) je pak veden do první ze dvou sad kondenzorů, kde probíhá kondenzace asi při -85°C. Kondenzaci permeátu zajišťuje proudící médium, které je ohříváno, popřípadě ochlazováno dle potřeby a je rozváděno čerpadlem. Po dokončení extrakce, je permeát rozmrazován horkou vodou a shromažďován v „aromatickém tanku“ a poté vypouštěn a uložen v kontejnerech. Druhá sada kondenzorů pracuje mimo fázi, aby bylo možné získání aromatických složek při diskontinuální výrobě. Dvě sady kondenzorů lze také užívat současně. V tomto provedení je kromě horké vody přiváděné do kondenzorů během rozmrazování čerpadlem přiváděno horké médium, které zvyšuje rychlost rozmrazování. Sloučeniny, které nekondenzují, jako je CO₂ jsou protlačeny vývěvou. Retentát je pak veden do destilační kolony. Dealkoholizované pivo se pak mísí s čerstvým pivem s obsahem ethanolu kolem 5 – 10 % obj. a aromatickými složkami (asi 0,3 % obj.) z pervaporační jednotky a nakonec je syceno CO₂. Výstupem je nealkoholické pivo s aromatickým profilem blízkým původnímu pivu [14].



Obrázek 4: Schéma pervaporace (1 – termostátová vana, 2 – podávací nádrž, 3 - čerpadlo, 5 – membrána, 6 – ventil, 7 – vakuový měnič tlaku, 8 – kondenzory, 9 – vakuová pumpa) [13]

1.1.2 Destilační procesy

Počáteční pokusy o dealkoholizaci piva odpařením nebo destilací za atmosférického tlaku, odhalily významné poškození chuti piva teplotou. Tyto procesy byly brzy nahrazeny vakuovou destilací. Pokud je snížen tlak, ethanol může být odstraňován při mnohem nižší teplotě. Všechny tepelné procesy sloužící k výrobě piva se sníženým obsahem ethanolu se proto provádí při absolutním tlaku 4 - 20 kPa, přičemž odparu je dosaženo při teplotě 30 – 60 °C. I tak může dojít k velké ztrátě chuti a živosti piva. Zhoršení kvality piva destilací závisí především na teplotě a době expozice, která je závislá na konstrukci separátoru. Výroba nealkoholických piv v průmyslovém měřítku byla realizována pomocí vakuových destilačních (rektifikačních) kolon či vakuových odparek (jedno nebo vícestupňových) ve dvou hlavních konstrukčních variantách (odstředivky a odparky s klesajícím filmem).

Obecně platí, že výhody destilačních procesů jsou potenciál úplného odstranění ethanolu z piva, možnost dalšího využití odděleného ethanolu, kontinuální a automatický provoz a flexibilita objemového výkonu a složení vstupujícího piva. Naopak je třeba vysokých investic na nákup těchto systémů, stejně jako značné náklady na provoz (spotřeba energie) a určitá rizika tepelného poškození nebo ztráty těkavých látek z piva. Na konci všech desti-

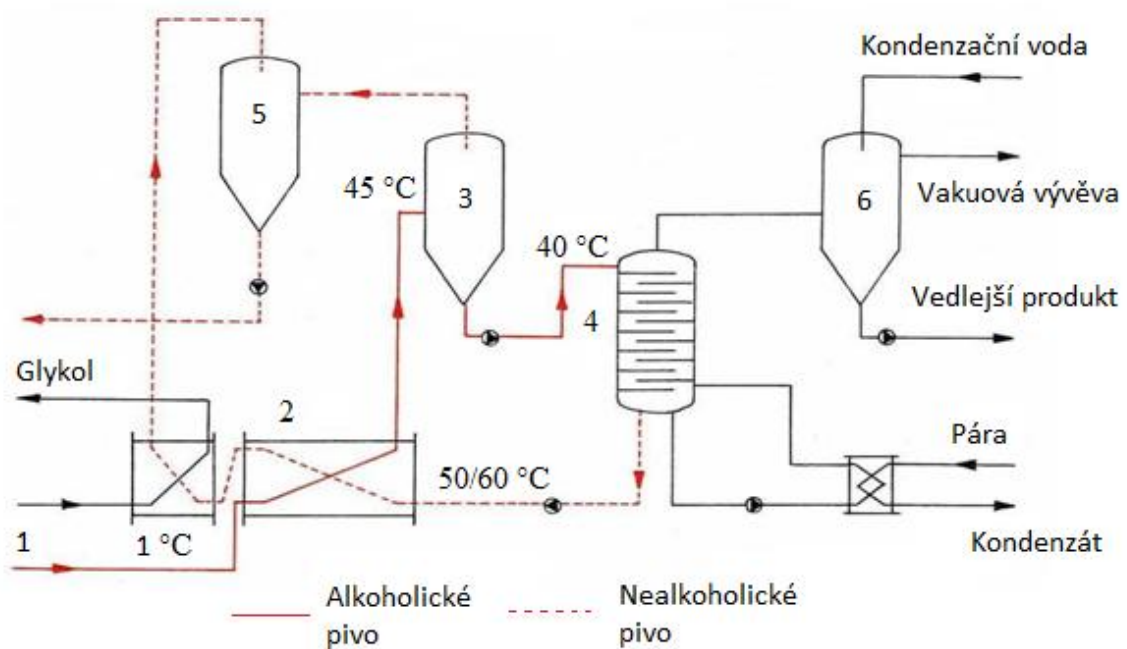
lačních procesů musí být koncentrované nealkoholické pivo zředěno odplyněnou vodou a nasyceno CO₂ [15].

1.1.2.1 Vakuová destilace

Postupy, které se v praxi realizovaly nejvíce, jsou založeny na vakuové destilaci. Aby nedošlo ke změnám barvy a chuti piva, teplota destilace nepřekračuje 46 °C. K destilaci se používají dvoustupňové až třístupňové odparky vyhřívané z vnější strany parou [10].

Tento proces probíhá v několika hlavních krocích: předeřívání filtrovaného alkoholického piva v deskovém tepelném výměníku, odplyňování piva a současně zbavení se těkavých látek v plynovém odlučovači, dealkoholizace v rektifikační koloně, obnovení aromatických složek z CO₂ sprejováním, a jejich navrácení do dealkoholizovaného piva [16].

Pivo je zahříváno v deskovém výměníku a poté převedeno do „stripperu“ (destilátor aromatických látek). Aromatické těkavé látky pocházející ze sladu a chmele jsou koncentrovány ve „stripperu“ a za sníženého tlaku a snížené teploty jsou odpařeny do rekombinačního tanku [10]. Pivo o teplotě 42 až 46 °C přitéká do horní části rektifikační kolony a proudí směrem dolů. Do spodní části rektifikační kolony vstupuje pára, která vzniká ve výparníku z nealkoholického piva. Pára proudí směrem nahoru a způsobuje separaci ethanolu z produktu. Tímto způsobem je možné dosáhnout snížení obsahu ethanolu na méně než 0,05 % obj. Dealkoholizovaný produkt se pak ochladí na teplotu 0 – 1 °C v deskovém výměníku. Takto je možno vyrobit 4 - 200 hl nealkoholického piva za hodinu. Součástí zařízení je i jednotka pro doplnění aroma, ve které jsou separovány aromatické složky a ty pak mohou být pod tlakem vráceny zpět do piva [2]. Páry bohaté na ethanol mohou obsahovat až 75 % obj. ethanolu a mohou být prodávány [6]. Páry, které obsahují 8 – 9 % obj. ethanolu se označují jako vedlejší produkty a bývají prodávány a využívány na výrobu octa [16].



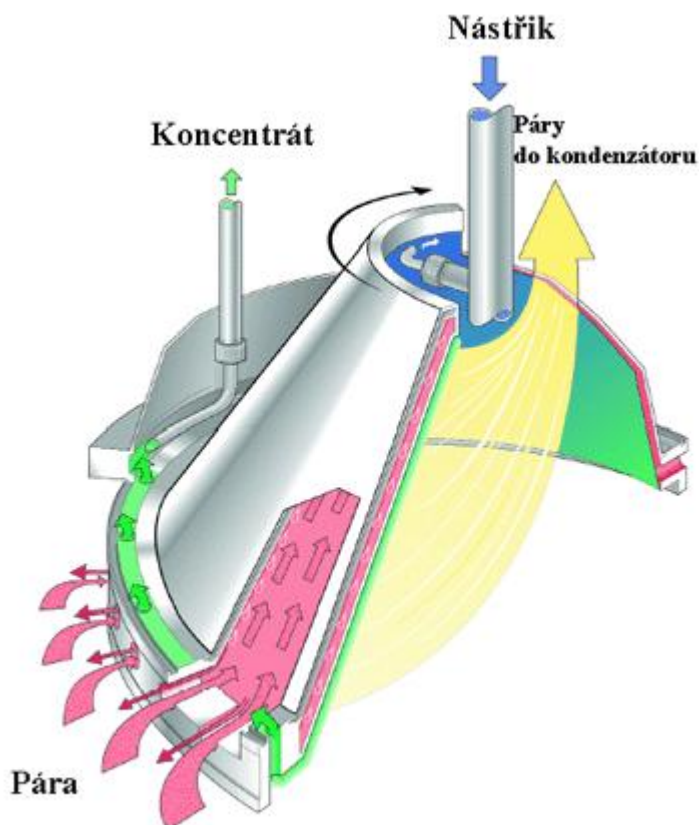
Obrázek 5: Princip vakuové destilace (1 – vstup piva, 2 – deskový výměník tepla, 3 – stripper aromatických látek, 4 – vakuová kolona, 5 – rekombinační nádoba k vracení aromatických látek, 6 – sprchový kondenzátor, 7 – podtlakový systém, 8 – vedlejší produkt, 9 – pára, 10 – kondenzát, 11 – glykol, 12 – výstup piva s redukováným obsahem ethanolu) [10]

1.1.2.2 Tenkovrstvé odpařování

V tomto procesu je pivo čerpáno do vakuového zařízení jako tenká vrstva s velkou plochou povrchu. Pivo zde zůstává extrémně krátkou dobu, což má za následek zvýšení kvality výrobku. Příklady odparek využívající tenké vrstvy vzniklé mechanickým rotačním pohybem jsou speciální talířové odstředivky typu Centritherm nebo kolony s rotujícími talíři [2]. Jsou využívány také odparky s klesajícím filmem, kde tenká vrstva nevzniká rotačním pohybem, ale gravitačním sestupným pohybem piva po vnitřním povrchu topných trubek.

Systém Centritherm je talířová odstředivka vyráběná Švédskou firmou Alfa Laval. Dnes už výroba neprobíhá [10]. Evaporace probíhá za nízkého tlaku a při nízkých teplotách 35 – 60 °C. Jako topné médium je využívána pára. Pivo, které má být dealkoholizováno vstupuje do odstředivky plnicí trubici a vstřikovacími tryskami je nanášeno na spodní stranu dutého rotačního kužele. Odstředivá síla zajišťuje rovnoměrné rozložení piva po celé topné ploše ve velmi tenké vrstvě (cca 0,1 mm). Pivo není v kontaktu s topnou plochou déle než 1 sekundu. Koncentrované a dealkoholizované pivo se shromažďuje na vnějším

okraji kužele a opouští odparku trubicí. Páry odstraněné z piva stoupají středem kužele a trubicí jsou odváděny do kondenzoru. Pára zkondenzuje a kondenzát opouští kondenzor. Centritherm systémy jsou tvořeny z 1 - 12 dutých kuželů, které odpovídají celkové výrobní kapacitě nízkoalkoholického piva 0,5 - 100 hl/h. U odstředivek Centritherm dochází k minimálnímu negativnímu tepelnému účinku na kvalitu piva a jsou snadno ovladatelné, zatímco pronikání kyslíku přes těsnění pohybujících se částí odstředivky je považováno za potenciální riziko [15].

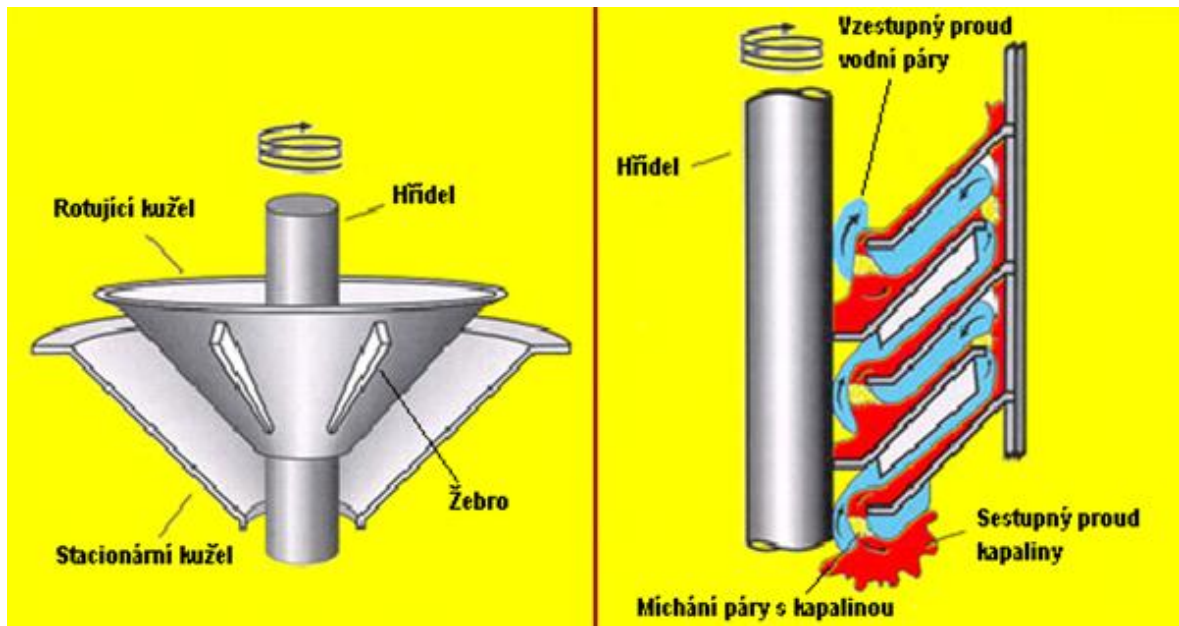


Obrázek 6: Talířová odstředivka Centritherm [17]

Kolony s rotujícími talíři fungují na principu protiproudu kapalina – plyn. Ke zvýšení intenzity kontaktní fáze je využíváno působení jemných mechanických sil. To umožňuje rychlou a účinnou separaci těkavých látek, jako je ethanol, z tenké vrstvy filmu. Kolona obsahuje řadu stacionárních a řadu rotujících talířů. Řada stacionárních talířů je připojena k vnitřní stěně kolony. Rotující řada je připojena k otočné hřídeli, paralelně ke stacionární. Pevné a rotující talíře se střídají vertikálně. Pivo je přiváděno do horní části kolony. Působením gravitační síly teče dolů na horní povrch prvního stacionárního talíře a padá na první rotující talíř. Ten se otáčí rychlostí 300 až 500 otáček za minutu a rozstříkne pivo do tenké vrstvy. Odstředivá síla vyvolává vzestupné proudění tekutiny k okraji rotačního talíře, od-

kud pivo klesá k dalšímu stacionárnímu talíři. Tímto způsobem pivo teče do spodní části kolony. Pára z odplyněné vody je přiváděna do spodní části kolony, proudí vzhůru, dostává se do kontaktu s tenkou vrstvou kapaliny a váže na sebe ethanol a další těkavé složky. Žebra na spodní straně rotačních kuželů vyvolávají vysoký stupeň turbulence a stoupání proudu páry. Turbulentně proudící kapalina a tok par vede k vysoce účinnému přenosu těkavých látek z kapaliny do páry. Pára je z kolony vedena skrze kondenzační systém, který zachycuje těkavé látky v kapalné formě. Dealkoholizované pivo se odčerpává ze dna kolony [2]. Pokles tlaku v koloně umožňuje nízkou provozní teplotu 40 – 55 °C. Doba, po kterou se pivo zdrží v koloně je přibližně 20 s, což je dostačující, aby došlo ke snížení původního obsahu ethanolu na 0,01 až 0,03 % obj. Zbytkový CO₂ v přiváděném pivu nevykazuje žádný negativní vliv (přepěňování) v pivu, které prošlo kolonou [9].

Při výrobě piva se sníženým obsahem ethanolu bylo testováno několik různých výrobních strategií využívajících systém kolon s rotujícími talíři. Nejlepšího obnovení aroma bylo dosaženo v dvoustupňovém procesu, který zahrnuje odstranění aromatických složek a následnou dealkoholizaci. V první fázi průchodu kolonou (nejvyšší teplota ve sloupci 53,7 °C), pivo s obsahem ethanolu 4,8 % obj. ztrácí prakticky všechny estery a 57 % z celkového obsahu vyšších alkoholů, přičemž obsah ethanolu se sníží o 1 % obj. Toto pivo se sníženým obsahem ethanolu (3,8 % obj.) je pak v druhé fázi (nejvyšší teplota v koloně 57,2 °C) dále dealkoholizováno na 0,17 % obj., což současně vede ke ztrátě zbývajících těkavých látek. Opětovné sloučení (rekombinace) proudu dealkoholizovaného piva s kondenzátem bohatým na těkavé látky (75 % obj.) zachyceným po první fázi vede u nealkoholického piva (0,5 % obj.) k zachování 25 % esterů a 30 % vyšších alkoholů, vztaženo na pivo o 4,8 % obj. [18].



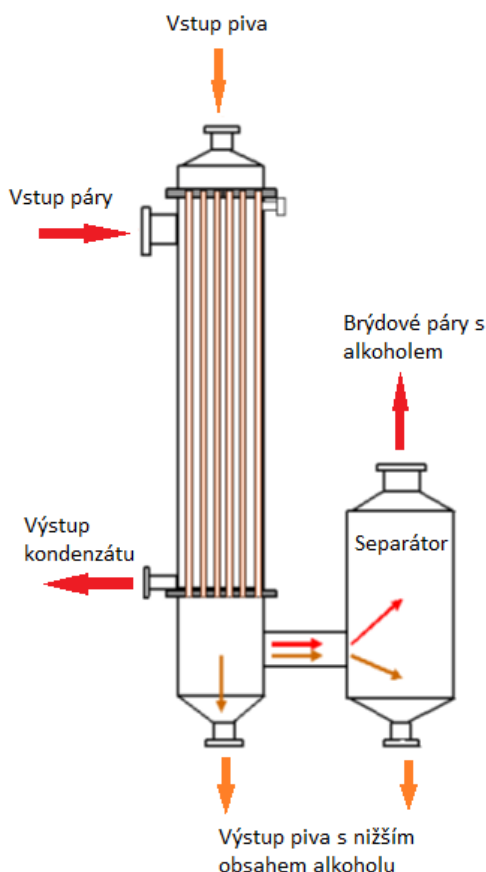
Obrázek 7: Kolona s rotujícími talíři (SCC) [2]

Na rozdíl od odstředivkových odparek, odparka s klesajícím filmem neobsahuje žádné pohyblivé části, což má určité výhody. Levnější pořizovací náklady, ale také snadnější čištění a prakticky neexistuje nebezpečí přenosu kyslíku přes různá těsnění pohyblivých částí. Celkové náklady na pořízení a provoz odparky s klesajícím filmem jsou považovány za nejnižší ze všech systémů, které využívají zvýšené teploty pro odstraňování ethanolu [19]. Úspory energie může být dosaženo použitím vícestupňové odparky s klesajícím filmem, protože páry obsahující ethanol z první odparky mohou být použity pro vyhřívání druhé odparky, přičemž pára z druhé odparky může ohřívat třetí odparku. Určitou nevýhodou tohoto vícestupňového uspořádání je, že první odparka musí pracovat při poměrně vysoké teplotě (60 °C), aby teplota páry v konečné fázi byla dostatečná a došlo k odstranění ethanolu (35 – 40 °C) [3].

V odparce s klesajícím filmem je pivo přehříváno na teplotu odpařování (30 – 60 °C při tlaku 3,5 až 20 kPa) a vstupuje do kolony odparky přes rozdělovací zařízení, které zajišťuje vytvoření kapalného filmu na vnitřní stěně trubek. Pivo teče směrem dolů a při teplotě varu je částečně odpařováno. Pohyb piva směrem dolů je vyvolán gravitací a také vysokou rychlostí par (20 - 80 m/s), které proudí stejným směrem. To způsobuje, že pivo zůstává v odparce pouze několik sekund. Pro ohřev odparkových trubek se využívá pára (sytá pára). Páry bohaté na ethanol jsou odděleny od dealkoholizovaného pivního koncentrátu v separátoru par, připojeného k výstupu z odparky a nakonec dojde k jejich kondenzaci v kondenzoru. Ohříváče, odparky s klesajícím filmem, separátor, a kondenzor jsou při-

pojeny ke společnému vakuovému čerpadlu. Pivo proudící odparkou s klesajícím filmem je nejen dealkoholizované, ale také koncentrované, musí být zředěno odplyněnou vodou na původní obsah a nasyceno CO₂.

Hlavní parametry procesu, kontrolující míru dealkoholizace v odparce jsou přívod topné páry a teplota odparu nastavitelná pomocí vakuové pumpy. Nicméně se ukázalo, že nezávisle na testovaném stupni odpařování (30 - 55 kg par ze 100 kg přiváděného piva), došlo k významné ztrátě vyšších alkoholů (91 až 97 %), zatímco estery byly prakticky zcela odstraněny. Pokud jde o obsah ethanolu, pro dosažení 0,5 % obj. bylo třeba použít stupeň odpařování 40 kg par/100 kg piva. Aby bylo možné navrácení některých těkavých látek do dealkoholizovaného piva, i když není překročen limit ethanolu pro nealkoholické pivo, může být použit buď tok kondenzované páry, nebo raději těkavé látky oddělené od kondenzátu rektifikací. Celková materiálová bilance vstupu (původního piva) a výstupů (dealkoholizovaný pivní koncentrát a zkondenzovaná pára) z odparky s klesajícím filmem vykazuje ztrátu esterů (36 %), vyšších alkoholů (8 %), a celkovou akumulaci acetaldehydu (více jak 17 %), která bývá zdůvodňována tepelným rozkladem komplexu acetaldehyd – hydrogensířičitan [15].



Obrázek 8: Odparka se splývajícím filmem [10]

1.2 Postupy s úpravou technologie a receptury omezující tvorbu ethanolu

Způsoby výroby nealkoholických piv založené na omezení tvorby ethanolu lze rozdělit podle používaného výrobního zařízení a dále podle změn v technologii nebo použití speciálních kvasinek. Mezi nejvyužívanější technologie patří ty, které vyžadují klasické vybavení pivovarského závodu. Proces kontinuálního omezeného kvašení je nadějná, ale okrajová technologie. Příslušné postupy používané v průmyslovém měřítku jsou často kombinací strategií, které patří do technologie využívající tradičních pivovarských zařízení [2]. Piva připravená těmito postupy jsou sladší, proniká v nich mladinový charakter a vyznačují se vyšší plností [10].

1.2.1 Úpravy rmutovacího postupu

Rmutování se skládá z komplexu fyzikálních, chemických a biochemických (enzymatických) procesů, jejichž hlavním účelem je zcela degradovat škrob na zkvasitelné cukry

a rozpustné dextriny. Spektrum vytvořených cukrů závisí na aktivitě přítomných enzymů. β -amyláza (teplotní optimum 62 až 65 °C) produkuje zkvasitelné cukry z maltózy, zatímco α -amyláza (teplotní optimum 72 až 75 °C) produkuje nezskvasitelné cukry (dextriny), ale při dlouhodobém působení cukry zkvasitelné [20]. Konečný obsah zkvasitelných cukrů v mladině pak určuje hladinu ethanolu v pivu. Proto změnou rmutování je možné omezení zkvasitelnosti a tím i snížení obsahu ethanolu. Nízkého obsahu cukrů v mladině lze dosáhnout několika způsoby [10].

1.2.1.1 Inaktivace β -amylázy

V tomto procesu je využíván slad s nízkou aktivitou β -amylázy nebo je β -amyláza deaktivována teplotou. Díky tomu je zajištěno kvašování mladiny s nízkým obsahem sacharidů. Mladina je ochlazena na teplotu 3 – 3,5 °C a při krátkém kvašení teplota nepřesáhne 6 °C. Poté je směs rychle ochlazena (0 °C) a pivo zůstává při nízké teplotě ležet na kvasnicích, aby neprokvašovalo a zároveň došlo k obohacení o typické buketní látky. Při následné filtraci a stabilizaci je dosaženo snížení obsahu polypeptidů a polyfenolů (koloidů), které způsobují u stáčeného piva nebiologické zákaly. Po filtraci je pivo syceno CO₂. Následuje stáčení a pasterace. V českých pivovarech se tento postup uplatňuje při výrobě piva PITO [10].

1.2.1.2 Výroba z mláta

V tomto procesu je možná extrakce mláta vodou nebo je mláto podrobena kyselé hydrolyze. Mladina, která obsahuje asi 7,6 % extraktu, je společně s chmelem podrobena varu po dobu 90 minut. Obsah izosloučenin je 6 – 10 mg/l piva. Mladé pivo je třeba po prokvašení nechat asi 14 dní dokvasit. Obsah ethanolu v hotovém výrobku je asi 1 % obj [10].

1.2.1.3 Míchání piva s nezkvašenou sladinou nebo mladinou

Pivo je smícháno s nezkvašenou sladinou nebo mladinou a je dosaženo nižší koncentrace ethanolu. Metabolismus kvasnic je omezen tím, že tato směs pak několik týdnů leží na kvasnicích při nízké teplotě. Pivo vyrobené touto metodou je chuťově prázdné, má vodovou chuť a může obsahovat zřetelně sladké tóny [20].

1.2.1.4 Oddělené kvašení dvou mladin s různou koncentrací extraktu

Mladiny o různých koncentracích extraktu odděleně kvasí a jejich mladé pivo je pak smícháno v poměru, který v konečném výrobku zajistí požadovanou hodnotu [10].

1.2.2 Zastavení nebo omezení kvašení

Nejpoužívanější metodou výroby nealkoholických piv je tzv. limitovaná fermentace. Jedná se o normální fermentační proces, kde dochází k nízké produkci ethanolu. Při zastavené fermentaci jsou kvasinky odstraněny z mladého piva ještě před ukončením kvašení. Při aplikaci metody je třeba kontrolovat celý proces [21]. Není třeba žádné mimořádné technologie. Během fermentace vznikají vedlejší produkty (vyšší alkoholy a estery). Ty mají přispět k celkové chuti a vůni piva. Nealkoholická piva vyrobená touto metodou mohou postrádat plnost chuti a říz z důvodu přerušení procesu kvašení [14]. Tento proces využívá krátkodobého zahřátí kvasičího média v tepelném výměníku, inhibiční účinek tlaku a kvašení při nízké teplotě pro množení a metabolismus kvasinek. Kvašením mladiny nasycené CO₂ nebo aerobním kvašením podporujícím růst biomasy na úkor kvasného procesu je zajištěna nižší tvorba ethanolu. Je třeba pečlivě vybírat suroviny a kmen kvasinek, upravit varný proces a kontrolovat fermentační podmínky [10]. Při výrobě nealkoholických piv je třeba omezit význam předpokládaných změn senzorkého profilu. Při přerušovaném kvašení je nutné okyselování mladiny, protože nedochází k přirozenému poklesu pH. Hotové pivo je také třeba dosycovat CO₂. Mladinové chuti lze zabránit souborem technologických opatření, kterými jsou např. volba kvasničného kmene, složení surovin a promývání CO₂. Mladinová chuť vzniká v důsledku nedostatečné redukce obsahu některých látek, způsobujících nezralou vůni a chuť [22].

1.2.3 Postupy se speciálními pivovarskými kvasinkami

Při postupech, u kterých se uplatňuje využití geneticky upravených kvasinek, imobilizovaných kvasinek či speciálních mikroorganismů je využito skutečnosti, že tvorba ethanolu může být omezena přerušovaným stykem imobilizovaných kvasinek se substrátem. K technicky náročnému procesu patří imobilizace kvasinek. Míra zkvašování sacharidů za tvorby ethanolu je dána dobou styku mladiny s kvasinkami. Tato doba může být regulována procesem imobilizace. Mladina musí být předem vyčeřena, aby nedošlo k zalepení imobilizovaného biosystému pevnými částicemi. Do mladiny v kvasné nádobě jsou postupně aplikovány kvasinkové populace navázané či jinak zachycené na nerozpustné nosi-

če (nejčastěji alginátové pelety, magnetické částice aj.). Následuje zrání piva při nízké teplotě a běžné závěrečné úpravy [10].

Při výrobě nealkoholického piva může být použito také kvasinek rodu *Saccharomyces cerevisiae*. Navrátil et al. (2002) porovnávali základní parametry piva po fermentaci za využití nerekombinantních kmenů kvasinek s defektem syntézy enzymů v citrátovém cyklu se standardními druhy pivovarských kvasnic. Pivo připravené pomocí mutantních kvasinkových buněk vykazovalo nižší hladinu ethanolu v rozsahu 0,07 – 0,31 % obj. Největší podíl vyprodukovaných organických kyselin představovala kyselina mléčná. Ta vykazovala silný ochranný účinek mikrobiální stability konečného výrobku. Její obvyklé přidání tak může být vynecháno. Využití mutantních kvasinkových buněk při výrobě nealkoholického piva je tedy dobrá alternativa klasických metod [23].

Selecký et al. (2005) se také zabývali možnostmi přípravy nízkoalkoholického piva za využití kvasinek *Saccharomyces cerevisiae*. Do mladiny jsou mutantními kvasinkami produkovány organické kyseliny. Dochází ke snížení pH a enzymy zodpovědné za tvorbu ethanolu (alkoholdehydrogenázy a pyruvátdekarboxylázy) jsou inaktivovány. Nízké pH tak souvisí s nízkým obsahem ethanolu v pivu. Prázdňá a mladinová chuť, která je těmto pivům připisována, může být překryta organickými kyselinami. Slabá pěnivost a chybějící říz jsou nevýhodou vyplývající z nedostatku CO₂ [21].

Byly zkoušeny i postupy výroby nízkoalkoholických piv s využitím jiných mikroorganismů. Byl testován kmen *Saccharomyces ludwigii*. Ten zkvašuje glukózu, fruktózu a sacharózu, avšak maltózu (hlavní pivovarský cukr v mladině) ani maltotriózu nezkašuje. Nízká hladina ethanolu může být zajištěna použitím jiných mikroorganismů v kombinaci s mladinou, která má výběrem surovin a úpravou technologického postupu nízký obsah sacharidů. Může však docházet k významným sensorickým rozdílům oproti běžným druhům piva. V podmínkách poloprovozu bylo pro výrobu nízkoalkoholických piv vyzkoušeno použití okyselené mladiny jako vhodného substrátu a definovaného kmene *Lactobacillus*. V České republice se vyrábí pomocí speciálního druhu kvasinek nealkoholické pivo Birell [10].

2 ZPŮSOBY VÝROBY NEALKOHOLICKÉHO VÍNA

K výrobě vína se sníženým obsahem ethanolu bylo zkoušeno a používáno několik technik. Tak například, použití hroznové šťávy s nízkým obsahem cukru, umožňuje vyrábět víno s nízkým obsahem ethanolu. Tohoto efektu může být dosaženo použitím nezralých hroznů, nebo enzymů, které snižují obsah cukru v hroznové šťávě. Také dřívější přerušeni fermentace nebo použití speciálních kvasinek má za následek přípravu vín s nízkým obsahem ethanolu [24]. Kromě těchto technik, byly pro snížení obsahu ethanolu u vína rovněž používány membránové separace. Přestože Evropská komise umožňuje dealkoholizovat víno, nemělo by být odstraněno více než 2 % obj. ethanolu a minimální koncentrace ethanolu by měla být nejméně 8,5 % obj. [25]. Větší dealkoholizací vzniká nápoj, který již nelze nazvat jako víno. Pro odstranění ethanolu z vína mohou být použity destilační nebo membránové procesy. Destilačními procesy mohou být produkována vína s velmi nízkým obsahem ethanolu (<0.5 % obj.), nicméně během odstraňování ethanolu dochází ke ztrátě značné části těkavých aromatických látek [26].

2.1 Membránové separace

Membránové procesy se zdají být pro získávání nízkoalkoholického vína výhodnější. Tyto procesy mohou být prováděny při nízkých teplotách, čímž se minimalizuje tepelný dopad na víno. Jsou k dispozici velmi selektivní membrány propustné pro ethanol, které zachovávají těkavé aromatické sloučeniny v nápoji [14]. Nanofiltrace a reverzní osmóza jsou nejoblíbenější membránové procesy, používané pro dealkoholizaci nápojů. Obvykle je dealkoholizace prováděna diafiltrací. V režimu diafiltrace je permeát (tvořen především vodou a ethanolem) odebírán z donorového toku a voda se přidává do retentátu (akceptorového toku) pro vyvážení průtoku [24]. Diafiltrace zlepšuje odstranění ethanolu. Kontinuálním přidáváním vody k retentátu, zůstává koncentrace nepropustných složek přibližně konstantní, stejně jako osmotický tlak, aby se zabránilo poklesu membránového toku [27]. Nicméně, přidávání vody je v enologických postupech přísně zakázáno nařízením Evropské komise [4]. K překonání tohoto nařízení, může být proud permeátu podroben dalšímu stupni odstranění ethanolu a tudíž dealkoholizovaný proud může být znovu zaveden do filtrovaného retentátu [24].

Příchuť a aromatický profil vína je výsledkem kombinace netěkavých a těkavých aromatických látek. První skupina látek je přítomna již v hroznové šťávě a je zodpovědná za základní chuťové vjemy (sladkost, kyselost, slanost, hořkost a trpkost). Druhá skupina

látek je tvořena z primárních aromatických látek (obsažených v hroznové šťávě a pak i ve víně), sekundárních aromatických sloučenin (vytvořených během kvašení) a terciárních aromatických složek (vytvořených v průběhu zrání) a jsou odpovědné za aromatické vjemy. Tyto sloučeniny odpovídají několika skupinám chemických látek, jako jsou estery, aldehydy a vyšší alkoholy [28].

Několik autorů popisuje dealkoholizaci nápojů na bázi membránových procesů. López et al. (2002) aplikovali pro výrobu nízkoalkoholického moštu reverzní osmózu ve vsádkovém a diafiltračním režimu, aby byly zachovány žádoucí aromatické složky [27]. Pilipovik a Riverol (2005) uvádí výhody a nevýhody reverzní osmózy při odstraňování ethanolu z nápojů až na 0,45 % obj. Zjistili, že reverzní osmóza není pro výrobu takto nízkoalkoholických nápojů ekonomicky proveditelná [9]. Diban, et al. (2008) hodnotili přenos ethanolu a aromatických složek během osmotické destilace a zjistili, že během procesu dochází ke ztrátě aromatických látek. Nicméně během degustace vína nebyl zjištěn žádný nedostatek aroma, kdy byl původní vzorek vína podroben snížení obsahu ethanolu o 2 % obj. [29]. Varavuth et al. (2009), se také zabývali osmotickou destilací. Zjistili, že některé aromatické složky vína (ethyl-acetát a isoamylalkohol) vykazují vyšší ztráty [30]. Labanda et al. (2009) studovali odstranění ethanolu z bílého vína za použití reverzní osmózy a nanofiltrace. Jejich analýza byla zaměřena na pronikání aromatických látek v průběhu procesu koncentrace a zjistili, že dochází k vysoké zadrži těchto sloučenin [31]. Meillon et al. (2009), použili dva různé typy reverzní osmózou částečně dealkoholizovaného vína, aby studovali účinek dealkoholizace na sensorické vlastnosti vína. Tato úprava vína snížila některé pachové vjemy a odhalila některé nepříjemné aromatické sloučeniny [32].

Catarino a Mendes (2010) se zabývali využitím membránových separačních procesů pro výrobu vína s nízkým obsahem ethanolu. Membrány pro reverzní osmózu (od firmy Alfa Laval) a nanofiltraci (od Alfa Laval a Osmonics) byly použity pro odstranění ethanolu z 12 % obj. červeného vína v režimu diafiltrace, zatímco pervaporační membrány (polyoctylmethylsiloxan/polyeterimid od firmy GKSS) byly použity k oddělení aromatických složek ještě před dealkoholizací. Oddělené aromatické látky byly následně vráceny zpět do dealkoholizovaného vína. Nanofiltrací membrány vykazovaly vyšší účinnost při odstraňování ethanolu z vína (díky dobré propustnosti ethanolu a slabé propustnosti pro vysoce aromatické sloučeniny), což má za následek slibné organoleptické vlastnosti dealkoholizovaných vín. Přidání pervaporizovaných aromatických sloučenin k dealkoholizova-

ným vzorkům vín zvýšilo chuťové vjemy při degustaci. Vzorek vyrobený touto kombinací byl senzorycky nejlepší.

V průmyslovém měřítku má odstranění ethanolu z vína velký význam v nápojovém průmyslu, vzhledem k rostoucí poptávce po nealkoholických nápojích na trhu a také kvůli zvyšování obsahu ethanolu u vína vlivem vyššího obsahu cukru v hroznech. Tato skutečnost souvisí zejména s globálním oteplováním, nebo s využitím enologických postupů, kdy někteří vinaři musí platit daně, pokud je obsah ethanolu vyšší než 14,5 % obj. Membránové procesy mohou být použity k odstranění ethanolu z klasického vína. Výsledky studie ukazují, že nanofiltrace a pervaporace jsou účinné k dealkoholizaci vína a zachovávají jeho původní charakteristiku [14].

Labanda, et al. (2009) se zabývali snížením obsahu ethanolu u bílého vína pomocí membránové separační techniky. Reverzní osmóza a nanofiltrace jsou nejslibnější způsoby výroby vín s nízkým obsahem ethanolu, protože mohou pracovat při nízkých teplotách a tím zachovat aromatický profil vína. Za předpokladu, že retence hlavních složek vína (kyseliny, cukry a taniny) je velmi vysoká, cílem výzkumu bylo studium propustnosti několika charakteristických aromatických sloučenin u bílého vína přes membrány. Proces byl prováděn se dvěma typy membrán pro reverzní osmózu a jedním typem nanofiltrací membrány. Aromatické sloučeniny byly identifikovány pomocí plynové chromatografie a hmotnostní spektrometrie. Ze studie plyne, že transmembránový transport (tok permeátu) byl velmi nízký v porovnání s průtokem vody. Toto zjištění je vztaženo na obsah (přítomnost) molekul ethanolu, respektive lze je vztáhnout ke změnám polarity roztoku [31].

2.1.1 Pertrakce

Osmotickou destilaci je možné také nazývat jako izotermická membránová destilace. V některých specifických případech, jako je například dealkoholizace a odstraňování těkavých látek, může být přesnějším termínem pro tuto operaci pertrakce. V této technice vodná (donorová) fáze, obsahující těkavé komponenty cirkuluje přes hydrofobní membránový separátor z dutých vláken, zatímco druhá vodná (akceptorová) fáze, která se používá jako stripovací kapalina, proudí podél opačné strany membrány. Tato technologie byla úspěšně použita při studii zaměřené na ovocné šťávy, založené na použití slaného roztoku jako stripovacího činidla, které selektivně extrahuje vodu z vodných roztoků při podtlaku a při pokojové teplotě, což nezpůsobuje tepelnou degradaci těkavých komponentů [33]. V případě

dealkoholizace, je jako stripovací fáze využívána odplyněná voda, která umožňuje přenos ethanolu, ale nepřenáší přes membránu vodu.

V separátoru je membránou vymezena reakční zóna, která usnadňuje kontakt mezi reaktanty nebo mezi reaktanty a katalyzátorem. Separátor může být uspořádán jako stacionární nebo průtočný. V případě stacionárního uspořádání se reaktanty přivádí odděleně z obou stran membrány. U průtočného uspořádání směs v separátoru prostupuje membránou pouze z jedné strany.

Za možné výhody separátoru jsou považovány zlepšení aktivity a selektivity, v případě katalyticky aktivní membrány kontrovaná doba kontaktu mezi katalyzátorem a reaktantem a při kontaktu dvou vzájemně nemísitelných reakčních fází absence rozpouštědla.

Pro lepší přístup je možné umístit katalyzátor rovnoměrně uvnitř membrány, nebo jen v určitých vrstvách. Jednotlivé reaktanty jsou nejprve vedeny po obou stranách membrány a poté se setkají v reakční zóně. Jsou možná následující uspořádání:

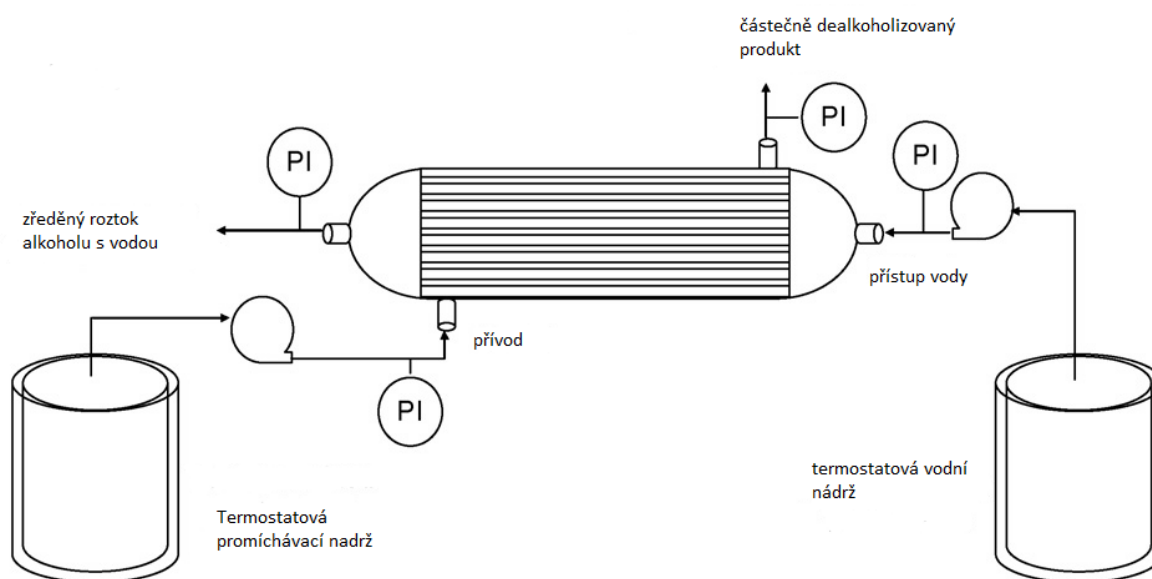
- Tuhý aktivní materiál je nanesen na membráně na stranách pórů, přičemž svými vlastnostmi se blíží membránám neporézním, ale vykazuje vyšší permeabilitu.
- Katalyzátor je rozpuštěn v kapalině, která vyplňuje póry membrány.

U průtočného uspořádání separátoru je katalyzátor nanesen na stěně pórů, které jsou v membráně a při průchodu směsi membránou dochází k lepšímu kontaktu s katalyzátorem. Velikosti pórů je možné modifikovat a je tak možno nastavit dobu kontaktu reaktantů s katalyzátorem. Membrána by tak fungovala jako speciální typ strukturovaného katalyzátoru [34].

Diban, et al. (2008) studovali využití membránového separátoru k částečné dealkoholizaci vína (snížení obsahu ethanolu o 2 % obj.), aniž by výrazně došlo ke zhoršení jeho chuťových vlastností. Byl navržen model popisující chování ethanolu a aromatických sloučenin v separátoru.

Byla rovněž testována funkčnost membránových separátorů aplikovaná při parciální dealkoholizaci vín. Byl použit separátor z dutých vláken mikroporézního polypropylenu. Proces byl prováděn při pokojové teplotě za použití nejčastějších složek, které jsou obsaženy ve skutečných vínech. Byl analyzován vliv průtoků donorového a akceptorového toku. Byl vyvinut model pro předvídání chování ethanolu a aromatických sloučenin uvnitř

separátoru na základě tří překážek v sérii. Detailní studie o přínosu jednotlivých překážek pro transport ethanolu ukázala, že hlavní překážka transportu byla způsobena na membránové jednotce. Chuťové ztráty se zvyšují, když se zvyšuje redukce obsahu ethanolu v donorové fázi. Se zvyšující se dobou zadržení toku rostou i ztráty aromatických složek a mohou dosáhnout téměř 100 % pro většinu těkavých sloučenin. Částečné dealkoholizace o 2 % obj. se docílí přijatelných ztrát aromatických látek, které nepoškozují konečnou vnímanou kvalitu produktu [29].



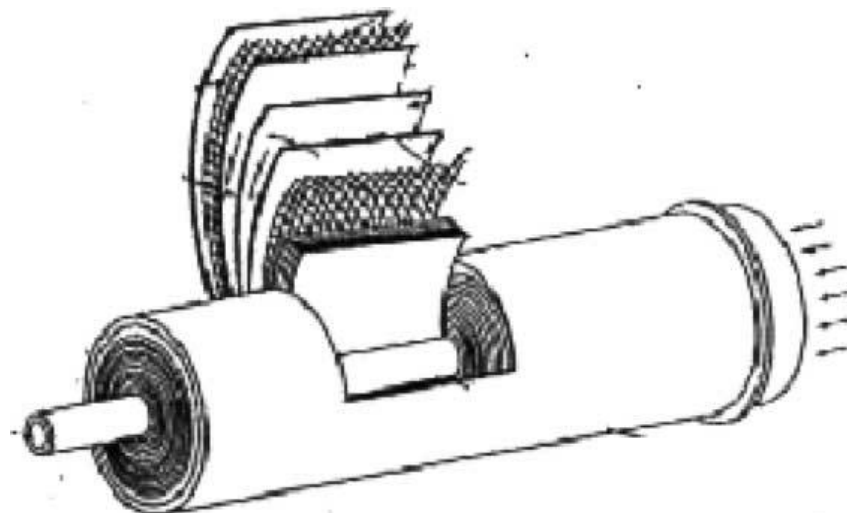
Obrázek 9: Pertrakce s využitím membránového separátoru [29]

Varavuth, et al. (2009) studovali společně s přenosem hmoty i typy použitých roztoků a vlivy provozních parametrů, včetně teploty, nebo rychlostí toků donorových a akceptorových (stripovacích) roztoků při pertrakci. Experimenty byly provedeny pomocí membránového separátoru s mikroporézní membránou z polyvinylidenfluoridu (PVDF) s průměrem pórů $0,2 \mu\text{m}$. Pro srovnání účinnosti dealkoholizace byly použity tři různé typy akceptorových (stripovacích) roztoků (čistá voda, glycerol 50 % hmot., CaCl_2 40 % hmot.). Byla studována i ztráta aroma za použití roztoků ethylacetátu a iso-amylalkoholu, které představují hlavní aromatické složky v klasickém víně. Byly také prováděny dlouhodobé testy u roztoku ethanolu a vína s cílem vyhodnotit výkon dealkoholizace při pertrakčním procesu. Použitím vody jako akceptorového (stripovacího) toku bylo dosaženo lepších výsledků v porovnání s ostatními roztoky, protože docházelo ke zvýšenému transmembránovému přenosu ethanolu a nižšímu zpětnému transportu vody. Výsledky studie ukázaly, že účinnost transmembránového přenosu ethanolu a tím i odstranění ethanolu byla zlepšena zvýšením přívodu, průtokové rychlosti akceptorového (stripovacího) roztoku a teploty systé-

mu. Během operace došlo k významné ztrátě aromatických složek. Koncentrace ethanolu ve víně může být snížena zhruba o 34 % obj. z počáteční koncentrace za 360 min. provozu [30].

2.1.2 Reverzní osmóza

Podle Pilipovika a Riveroly (2004) není reverzní osmóza ekonomicky proveditelná pro výrobu nápojů s obsahem ethanolu nižším 0,45 % obj. Původní extrakt a sacharidy jsou lehce redukovány, takže nápoj má poměrně hodnotnou chuť. Především původní nápoje s vyšším pH vykazují větší polarizační jevy tak, že zanášení pórů v membráně se zvyšuje a proud rozpuštěných látek je značně redukován. Avšak systém reverzní osmózy může být zlepšen, pokud budou vyvinuty kompenzační techniky. Autoři popisují nejdůležitější otázky spojené s procesem reverzní osmózy. Doporučují ředit počáteční alkoholický roztok, protože tak může být udržena úroveň obsahu sacharidů, procento extraktu a soli v přijatelném rozmezí, aniž by došlo ke změně chuti a kvality produktu. Výroba nízkoalkoholických nápojů vyžaduje jednotky reverzní osmózy pracující pod vysokým tlakem. Výrobní náklady a spotřeba energie jsou značně vysoké, takže tento proces není ve velkém měřítku ekonomicky proveditelný [9].



Obrázek 10: Spirální membránová jednotka pro reverzní osmózu [9]

2.1.3 Pervaporace

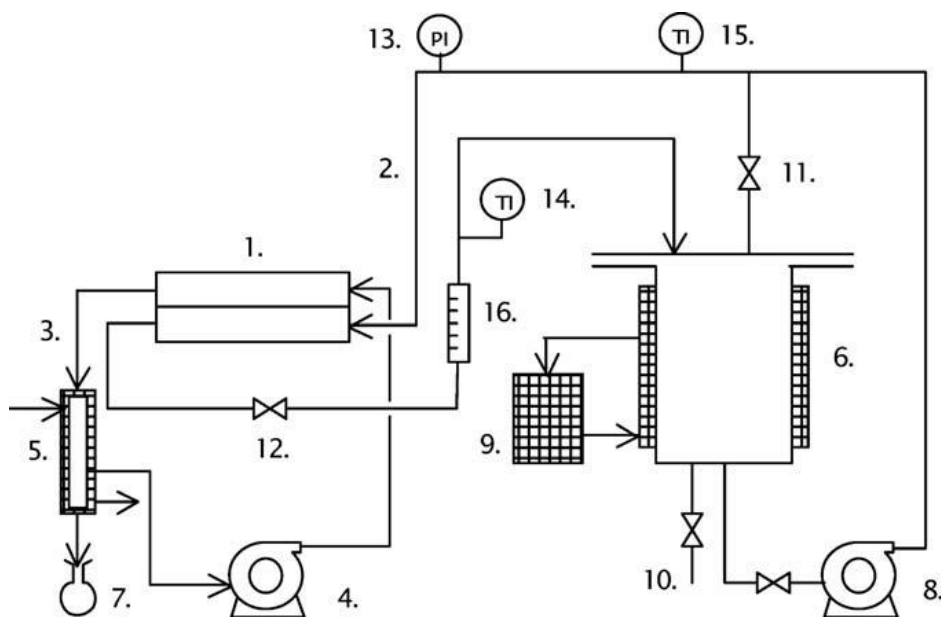
Pervaporací se zabývali Takács, et al. (2005) a z jejich práce vyplývá, že při produkci nízkoalkoholických a nealkoholických vín pervaporací hraje pracovní teplota nejdůležitější roli. Proto hlavním cílem optimalizace procesu je výběr optimální teploty. Při vyšších tep-

lotách je tok permeátu vyšší a je požadován menší membránový povrch. Z ekonomického hlediska je to značná výhoda, protože oba požadavky umožňují rychlejší výrobu a nižší investiční náklady.

Nicméně při vyšších teplotách se snižuje účinnost a separační schopnost membrán. To znamená, že produkce permeátu je dosaženo rychleji, ale separací je získán méně hodnotný produkt.

Při teplotách pervaporace se většina organických složek vína odpaří a dostanou se do kondenzátu, v důsledku pronikání páry. Aby se předešlo vážným ztrátám aroma, je příznivější volba nižších teplot. Vzhledem k tomu, že role teploty může být velmi složitá, je třeba volit kompromis.

Ekonomické analýzy prokázaly velké investiční náklady, které lze vysvětlit poměrně vysokou cenou neporézních pervaporačních membrán. Počáteční investice by mohly být návratné za pár let. Návratnost může být zkrácena využitím vedlejších produktů, například, použitím odděleného alkoholového koncentráту jako materiálu pro přípravu vinných destilátů, nebo jako průmyslové lihoviny [35].



Obrázek 11: Laboratorní pervaporační zařízení (1 - membrána, 2 - přívod kapalné směsi, 3 - páry permeátu, 4 - podtlakové čerpadlo, 5 - kondenzor, 6 - kapalinová nádrž, 7 - izolovaný sběrač permeátu, 8 - čerpadlo, 9 - termostat, 10 - výstupní ventil, 11 - kontrolní průtokový ventil, 12 - kontrolní tlakový ventil, 13 - manometr, 14, 15 - teploměry, 16 - průtokoměr) [35]

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat formou literární rešerše způsoby výroby dealkoholizovaných nápojů (pivo, víno). V dnešní době jsou nápoje se sníženým obsahem ethanolu celosvětově rychle rostoucí oblastí nápojového trhu. Ke snižování obsahu ethanolu v nápojích lze využít tepelné a membránové procesy. V předložené bakalářské práci jsou pak bližším způsobem popsány procesy tepelné (destilační). Zde jsou charakterizovány jednotlivé procesy vakuové destilace a tenkovrstvého odpařování. Jsou také specifikovány membránové procesy reverzní osmózy, dialýzy a pervaporace. Pozornost je věnována také postupům s úpravou technologie a receptury omezující tvorbu ethanolu. Je popsáno také využití vhodných mikroorganismů pro snížení obsahu kvasitelných cukrů. Bakalářská práce je zaměřena také na aromatický charakter původních, a poté dealkoholizovaných nápojů. Zde jsou popsány jednotlivé ztráty aromatických a těkavých složek. Práce se komplexně zabývá výrobou nápojů se sníženým obsahem ethanolu a výrobou nápojů nealkoholických.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MEUSSDOERFFER, F., SILVA, D., BASZCZYŃSKI, M., LEHNERT, R., ALMEIDA E SILVA, J., *Handbook of Brewing*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2009, 778s. ISBN 9783527623488.
- [2] BRÁNYIK, T., SILVA, D., BASZCZYŃSKI, M., LEHNERT, R., ALMEIDA E SILVA, J. A review of methods of low alcohol and alcohol-free beer production. *Journal of Food Engineering*. 2012, vol. 108, č. 4, s. 493-506.
- [3] MONTARI, L., MARCONI, O., MAYER, H., FANTOZZI, P. Production of alcohol-free beer. In: *Beer in Health and Disease Prevention*. Burlington: Elsevier Inc., 2009, s. 61–75. ISBN 978-0-12-373891-2
- [4] Council Regulation (EC) (2009, 06 17). No. 491/2009 of 25 May 2009 amending Regulation (EC) No. 1234/2007 establishing a common organisation of agricultural markets and on specific provisions for certain agricultural products (Single CMO Regulation). *Official Journal of the European Union*, L154.
- [5] TAKÁCS, L., VATAI, G. Osmotic pressure modeling of white wine diafiltration and red wine concentration by reverse osmosis. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 2006, vol. 78, č. 1, s. 119–132.
- [6] ASSUNCAO, M., SANTOS-MARQUES, M. J., de FREITAS, V., CARVALHO, F., ANDRADE, J. P., LUKOYANOV, N. V. Red wine antioxidants protect hippocampal neurons against ethanol-induced damage: A biochemical, morphological and behavioral study. *Neuroscience*, 2007, vol. 146, č. 4, s. 1581–1592.
- [7] GREENROD, W., STOCKLEY, C. S., BURCHAM, P., ABBEY, M., FENECH, M. Moderate acute intake of de-alcoholised red wine, but not alcohol, is protective against radiation-induced DNA damage ex vivo. *Mutation Research*, 2005, vol. 591, č. 4, s. 290–301.
- [8] MASSOT, A., MIETTON-PEUCHOT, M., PEUCHOT, C., MILISIC, V. Nanofiltration and reverse osmosis in winemaking. *Desalination*, 2008, vol. 231, č. 1–3, s. 283–289.
- [9] PILIPOVIK, M. V., RIVEROL, C. Assessing dealcoholization systems based on reverse osmosis. *Journal of Food Engineering*, 2005, vol. 69, s. 437–441.

- [10] BASAŘOVÁ, G. *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. Vyd. 1. Praha: VŠCHT, 2010, 863 s. ISBN 978-80-7080-734-7.
- [11] MOONEN, H., NIENFIND, H. J. Alcohol reduction in beer by means of dialysis. *Desalination*, 1982, vol. 41, č. 3, s. 327–335.
- [12] PALATÝ, Z., BERNAUER, B. *Membránové procesy*. Vyd. 1., Praha: VŠCHT, 2012, 282 s. ISBN 978-80-7080-808-5.
- [13] OLMO, A., BLANCO, C., PALACIO, L., PRÁDANOS, P., HERNÁNDEZ, A. Per-vaporation methodology for improving alcohol-free beer quality through aroma recovery. *Journal of Food Engineering*, 2014, vol. 133, s. 1-8.
- [14] CATARINO, M., MENDES, A., MADEIRA, L., FERREIRA, A., HERNÁNDEZ, A. Beer dealcoholization by reverse osmosis. *Desalination*. 2006, vol. 200, č. 1-3, s. 397-399.
- [15] ZUFALL, C., WACKENBAUER, K. Process engineering parameters for the dealcoholization of beer by means of falling film evaporation and its influence on beer quality. *Monatsschrift fuer Brauwissenschaft*. 2000, vol. 53, č. 7-8, s. 124–137.
- [16] REGAN, J. Production of alcohol-free and low alcohol beers by vacuum distillation and dialysis. *Ferment*. 1990, vol. 3, č. 4, s. 235–237.
- [17] BATAX. [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://batax.cz/index.php/centritherm/popis-produktu-centritherm>.
- [18] MOREIRA DA SILVA, P., DE WIT, B. Spinning cone column distillation – innovative technology for beer dealcoholisation. *Cerevisia*. 2008, vol. 33, č. 2, s. 91–95.
- [19] STEIN, W. Dealcoholization of beer. *Technical Quarterly – Master Brewers Association of the Americas*. 1993, vol. 30, č. 2, s. 54–57.
- [20] VEČERKOVÁ, H., KISS, J. *Abeceda piva*. 1. vyd. Praha: Česká televize, 2007, 204 s. ISBN 978-80-85005-86-8.
- [21] SELECKÝ, R., ŠMOGROVIČOVÁ, D. Technologické a mikrobiologické aspekty výroby piva so sníženým obsahom alkoholethanolu. *Kvasný průmysl/průmysl*. 2007, roč. 101, s. 542-549.
- [22] KOSAŘ, K., PROCHÁZKA, S. *Technologie výroby sladu a piva*. Praha: Výzkumný ústav pivovarnický a sladařský, 2000, 398 s. ISBN 80-902658-6-3.
- [23] NAVRÁTIL, M., DÖMÉNY, Z., ŠTURDÍK, E., ŠMOGROVIČOVÁ, D., GEMEINER, P. Production of non-alcoholic beer using free and immobilized cells of *Sac-*

charomyces cerevisiae deficient in the tricarboxylic acid cycle. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 2002, roč. 35, s. 133–140.

[24] PICKERING, G. J. Low- and reduced-alcohol wine: A review. *Journal of Wine Research*. 2000, vol. 11, č. 2, s. 129–144.

[25] Commission Regulation (EC) (2009, 07 24). No. 606/2009 of 10 July 2009 laying down certain detailed rules for implementing Council Regulation (EC) No 479/2008 as regards the categories of grapevine products, oenological practices and the applicable restrictions. Official Journal of the European Union, L193.

[26] GÓMEZ-PLAZA, E., LÓPEZ-NICOLÁS, J.M., LÓPEZ-ROCA, J. M., MARTÍNEZ-CUTILLAS, A. Dealcoholization of wine. Behaviour of the aroma components during the process. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. 1999, vol. 32, č. 6, s. 384–386.

[27] LÓPEZ, M., ALVAREZ, S., RIERA, F. A., ALVAREZ, R. Production of low alcohol content apple cider by reverse osmosis. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2009, vol. 41, č. 25, 6600–6606.

[28] BARDI, E., KOUTINAS, A. A., PSARIANOS, C., KANELLAKI, M. Volatile by-products formed in low-temperature wine-making using immobilized yeast cells. *Process Biochemistry*. 1997, vol. 32, č. 7, s. 579–584.

[29] DIBAN, N., ATHLES, V., BES, M., SOUCHON, I. Ethanol and aroma compounds transfer study for partial dealcoholization of wine using membrane contactor. *Journal of Membrane Science*. 2008, vol. 311, č. 1–2, s. 136–146.

[30] VARAVUTH, S., JIRARATANANON, R., ATCHARIYAWUT, S. Experimental study on dealcoholization of wine by osmotic distillation process. *Separation and Purification Technology*. 2009, vol. 66, č. 2, s. 313–321.

[31] LABANDA, J., VICHI, S., LLORENS, J., LÓPEZ-TAMAMES, E. Membrane separation technology for the reduction of alcoholic degree of a white model wine. *LWT Food Science and Technology*. 2009, vol. 42, č. 8, s. 1390–1395.

[32] MEILLON, S., URBANO, C., SCHLICH, P. Contribution of the temporal dominance of sensations (TDS) method to the sensory description of subtle differences in partially dealcoholized red wines. *Food Quality and Preference*. 2009, vol. 20, č. 7, s. 490–499.

[33] KUNZ, W., Benhabiles, A. Osmotic evaporation through macroporous hydrophobic membranes: a survey of current research and applications. 1996, vol. 121, s. 25.

[34] PALATÝ, Z., BERNAUER, B. Membránové procesy. Vyd. 1. Praha: VŠCHT, 2012, 282 s. ISBN 978-80-7080-808-5.

- [35] TAKÁCS, L., VATAI, G., KORÁNY, K. Production of alcohol free wine by pervaporation. *Journal of Food Engineering*. 2007, vol. 78, č. 1, s. 118-125.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

% obj.	Objemová procenta
MPa	Megapascal
°C	Stupně Celsia
pH	Vodíkový exponent
μS	Mikrosiemens
ppm	Miliontina celku
hl	Hektolitr
CO ₂	Oxid uhličitý
m ₂	Metr čtvereční
bar	Bar
kPa	Kilopascal
mm	Milimetr
s	Sekunda
m/s	Metr za sekundu
kg	Kilogram
%	Procento
mg/l	Miligram na litr
PVDF	Polyvinylidenfluorid
μm	Mikrometr
% hmot.	Hmotnostní procenta

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma způsobů přípravy dealkoholizovaného piva	11
Obrázek 2: Princip reverzní osmózy	14
Obrázek 3: Princip dialýzy	15
Obrázek 4: Schéma pervaporace.....	17
Obrázek 5: Princip vakuové destilace.....	19
Obrázek 6: Talířová odstředivka Centritherm	20
Obrázek 7: Kolona s rotujícími talíři (SCC)	22
Obrázek 8: Odparka se splývajícím filmem	24
Obrázek 9: Pertrakce s využitím membránového separátoru	32
Obrázek 10: Spirální membránová jednotka pro reverzní osmózu	33
Obrázek 11: Laboratorní pervaporační zařízení	34

