

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Využití membránové filtrace při filtraci piva

Bakalářská práce

Martin Dolejš

Kvalita potravin a zpracování zemědělských produktů

Ing. Matyáš Orsák, PhD.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití membránové filtrace při filtraci piva" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 26. 4. 2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Matyáši Orsákovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, za věcné připomínky a rady k ní, za jeho trpělivost a vstřícný přístup během celého studia. Dále bych rád poděkoval své rodině a blízkým za podporu během studia a také mému kamarádovi a spolužákovi Bc. Tomáši Blažkovi, který byl oporou při studiu.

Využití membránové filtrace při filtraci piva

Souhrn

Pivo je celosvětově oblíbeným nápojem, které má své kořeny až v Mezopotámii. Proto je součástí kultury mnoha zemí a národů. Na celém světě se zvyšuje spotřeba piva a tím jsou kladeny vysoké požadavky na jeho kvalitu.

Cílem práce bylo zjistit, zda membránové procesy mají využití ve výrobě piva. Důvodem proč využívat tyto technologie jsou faktory, které zatěžují životní prostředí využíváním neekologických filtračních materiálů a fakt, že využívání křemeliny může svým chemickým složením negativně ovlivňovat sensorické vlastnosti piva. Práce se věnuje historii pivovarství ve světě a v Českých zemích. Byla popsána vyhláška o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí. Vyhláška č. 248/2018 Sb., která stanovuje a upravuje legislativní požadavky na pivo. Dále charakterizuje vodu, slad, chmel a pivovarské kvasinky jako hlavní suroviny pro výrobu piva, které se využívají v procesu výroby piva a byla popsána moderní technologie výroby piva.

Koloidní částice negativně ovlivňují čírost piva, a proto musí být z piva odstraněny pomocí naplavovací křemelinové filtrace nebo membránovými procesy. Za látky, které jsou zákalotvorné se považují bílkoviny, polyfenolické látky, arabinoxylany, glukany (α -glukany a β -glukany), sacharidy (škrob, glykogen). Jejich přítomností jsou ovlivněny i jiné parametry např. viskozita, stabilita pěny.

V průmyslových pivovarech je pivo filtrováno pomocí křemelinové filtrace, která ovlivňuje svým složením organoleptické vlastnosti filtrovaného piva. Její masivní rozšíření po celém světě má negativní dopady na životní prostředí z hlediska zpracování, likvidace, ale i dopad na lidské zdraví. Křemelina je považovaná za karcinogenní látku a neměla by se dostávat do odpadních vod.

Membránové filtrační technologie jsou v pivovarech známé již řadu let, ale ty je využívají velmi omezeně z hlediska jejich vysoké pořizovací ceny. Jejich provoz a údržba je však velmi úsporná. Do budoucna by mohla membránová filtrace nahradit křemelinovou. Snížila by se spotřeba křemeliny a životní prostředí by nebylo zatíženo o její likvidaci. Membránové procesy se při výrobě piva využívají při scezování, filtraci alkoholického piva a při výrobě nealkoholického piva. Je využíváno fyzikálních metod jako např. revezní osmóza, membránová destilace. Jelikož jsou při těchto procesech zachované nízké teploty, tak během filtrace pivo netrpí na kvalitě.

Klíčová slova: zákal, nealkoholické pivo, cross-flow filtrace, filtrace sladiny

Use of membrane filtration in beer filtration

Summary

Beer is a globally popular beverage that originated in Mesopotamia. Therefore, it is part of the culture of many countries and peoples. Worldwide, beer consumption is increasing, which places high demands on its quality.

The aim of the study was to determine whether membrane processes have applications in beer production. The reasons for using these technologies are factors that burden the environment by using non-ecological filtration materials and the fact that the use of diatomaceous earth can negatively affect the sensory properties of beer due to its chemical composition. The study discusses the history of brewing in the world and in the Czech lands. It describes a decree on the requirements for beverages, fermented vinegar, and yeast. Decree No. 248/2018 Coll., which sets and regulates legislative requirements for beer. It also characterizes water, malt, hops, and brewing yeast as the main raw materials used in the beer production process, and describes modern beer production technology.

Colloidal particles negatively affect the clarity of beer, and therefore must be removed from beer using diatomaceous earth filtration or membrane processes. Substances considered to be haze-forming include proteins, polyphenolic substances, arabinoxylans, glucans (α -glucans and β -glucans), carbohydrates (starch, glycogen). Their presence also affects other parameters such as viscosity, foam stability.

In industrial breweries, beer is filtered using diatomaceous earth filtration, which affects the organoleptic properties of the filtered beer due to its composition. Its widespread use around the world has negative impacts on the environment in terms of processing, disposal, and also an impact on human health. Diatomaceous earth is considered a carcinogenic substance and should not enter wastewater.

Membrane filtration technologies have been known in breweries for many years, but their use is very limited due to their high acquisition cost. However, their operation and maintenance are very economical. In the future, membrane filtration could replace diatomaceous earth filtration. This would reduce the consumption of diatomaceous earth and the environment would not be burdened by its disposal. Membrane processes are used in beer production during lautering, filtration of alcoholic beer, and production of non-alcoholic beer. Physical methods such as reverse osmosis and membrane distillation are utilized. Since these processes maintain low temperatures, the beer does not suffer in quality during filtration.

Keywords: turbidity, non-alcoholic beer, cross-flow filtration, wort filtration

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Cíl práce.....	9
3 Literární rešerše.....	10
3.1 Pivo	10
3.1.1 Rozdělení piva podle pivních stylů	11
3.1.2 Rozdělení piva dle legislativy	11
3.1.3 Historie pivovarnictví	12
3.2 Základní suroviny pro výrobu piva	13
3.2.1 Voda	13
3.2.2 Slad a sladové náhražky	14
3.2.2.1 Výroba sladu	15
3.2.3 Chmel	17
3.2.4 Pivovarské kvasinky	18
3.3 Technologie výroby piva	19
3.3.1 Šrotování.....	19
3.3.2 Vystírání	19
3.3.3 Rmutování.....	20
3.3.4 Scezování	21
3.3.4.1 Faktory ovlivňující scezování	21
3.3.5 Chmelovar	21
3.3.6 Separace hrubých kalů, provzdušňování mladiny a chlazení mladiny	22
3.3.7 Hlavní kvašení a zrání piva	23
3.3.8 Filtrace	24
3.3.9 Stáčení.....	24
3.4 Filtrace	24
3.4.1 Historie filtrace	25
3.5 Zákalotvorné látky	25
3.6 Filtrační materiály.....	26
3.6.1 Pivovarská hmota	26
3.6.2 Perlit.....	26
3.6.3 Aktivní uhlí	27
3.6.4 Křemelina.....	27
3.6.4.1 Chemické složení křemeliny	28
3.6.5 Filtrační membrány.....	29
3.7 Naplavovací křemelinová filtrace	30

3.8	Filtrace sladiny	31
3.8.1	Sladinový filtr starší konstrukce	31
3.8.2	Filtrace sladiny a vyslazování mláta na moderních sladinových filrech ...	31
3.9	Membránové procesy.....	33
3.9.1	Využití membránových procesů	33
3.9.2	Filtrace nealkoholické piva	34
4	Závěr	36
5	Literatura.....	37
6	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	42

1 Úvod

Pivo je slabě alkoholický nápoj, který je vyráběn z ječného sladu, vody, upraveného chmele a pomocí působení pivovarských kvasinek se z mladiny postupem času stává pivo. Je lidstvu známo od nepaměti. Jeho podoba se v průběhu let různě utvářela až do dnešní podoby, jak ho známe dnes. Česká republika je v Evropě největším konzumentem pěnivého nápoje, jelikož se jeho spotřeba pohybuje okolo 136 litrů na osobu a v celkové produkci zaujímá osmé místo s 20 550 000 hektolitry. Největší producent v Evropě je Německo, které za rok vyprodukuje 87 832 000 hektolitry piva.

Výroba a prodej piva se postupně vyvíjely až do dnešní doby, kdy se pivo přepravuje na delší vzdálenosti, proto bylo zapotřebí pivu prodloužit jeho dobu minimální trvanlivosti. Tento problém se vyřešil, když se pivo začalo filtrovat a pasterizovat. Oddělením zákalotvorných látek a vliv tepla, které přejde do piva při pasteraci se prodloužila trvanlivost piva v rozmezí 3–6 měsíců. Historicky se filtrovalo pomocí deskové filtru s přepážkami, který postupem času vystřídala modernější a účinnější křemelinová filtrace. Používání této metody filtrace se ukázala jako velice účinná, ale neekologická vůči životnímu prostředí, jelikož při zpracování křemeliny jsou do ovzduší uvolňovány skleníkové plyny a další problém nastal při její likvidaci, která je nákladná a není snadná.

Proto bylo potřeba vyvinout filtrační materiál, který nebude takovou měrou zatěžovat životní prostředí a bude účinnou náhradou křemeliny. Membránové filtrace jsou vysoce účinné metody k separaci zákalotvorných částic, které by mohly vést ke zkáze hotového piva. Tyto metody jsou v průmyslu hojně využívány, ale k jejich širšímu využívání brání jejich vysoká pořizovací cena. Membránové procesy nejsou využívány pouze v pivovarství, ale i v dalších odvětvích potravinářského průmyslu. V současnosti je membránová filtrace v pivovarech méně využívaná oproti křemelinové filtraci.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je shromáždit informace o filtraci piva a možnosti využití zejména membránové filtrace v pivovarském procesu.

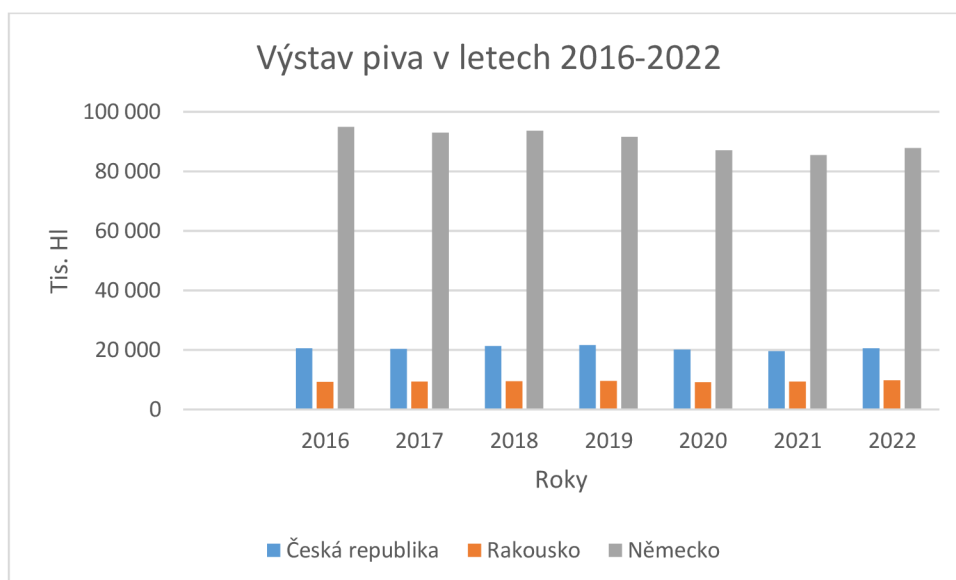
3 Literární rešerše

3.1 Pivo

Basařová et al. (2021) definují pivo jako slabě alkoholický nápoj, který je po staletí vyráběn z obilných sladů, chmele, vody a za přítomnosti působení mikroorganismů, které ze zkvasitelných cukrů vytvoří alkohol. Jedná se především o pivovarské kvasinky. Slad se vyrábí ze sladovnického ječmene, a je za specifických podmínek máčen, naklíčen a usušen. Během hospodářských krizích býval slad nahrazován cukernatými a škrobnatými náhražkami. V České republice je pivo definováno Vyhláškou 248/2018 Sb., Vyhláška o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí. Pivo je nejrozšířenější alkoholický nápoj. Obsahuje vitaminy B-komplexu, stopová množství některých minerálů (Ca, K, Mg a veliké množství polyfenolů). Obsah polyfenolů má pozitivní účinky proti kardiovaskulárním chorobám (Rani & Bhardwaj 2021).

Podle dat Českého svazu pivovarů a sladoven byl výstav piva v České republice rekordní v roce 2019. Činil 21,6 miliónů hektolitrů piva. V roce 2021 nastal propad v produkci. Jednalo se o pátý nejnižší výstav od roku 1950. Následující roky nastal propad v produkci piva v České republice, protože byla ovlivněna koronavirovými opatřeními (“Základní fakta” 2024). V porovnání dat z roku 2022 o celkové produkci piva v Evropě se Česká republika umístila na osmém místě s ročním výstavem piva 20 550 000 hektolitrů. První místo tradičně obsazuje Německo s 87 832 000 hektolitry piva. Tento údaj je znázorněn v grafu č.1. Ve spotřebě piva na osobu v Evropě dominuje Česká republika se 136 litry na osobu. Německo je až čtvrté s 92 litry na osobu (“EUROPEAN BEER TRENDS STATISTICS REPORT” 2023).

Graf č. 1 Výstav piva v letech 2016–2022



(Zdroj: “EUROPEAN BEER TRENDS STATISTICS REPORT” 2023, upraveno)

3.1.1 Rozdělení piva podle pivních stylů

V dnešní době se počet pivních stylů neustále rozrůstá a přibývají další populární druhy pív. Pivní styl charakterizuje parametry piva a definuje jeho sensorické vlastnosti (způsob kvašení, použité suroviny, obsah alkoholu, barvu, hořkost a další parametry, které jsou pro daný styl specifické. Každý pivní styl má svůj původ v jiné zemi a je pro danou zemi charakteristický. Pro Českou republiku je typický spodně kvašený ležák naproti tomu v USA jsou populárními styly IPA (India Pale Ale) a APA (American Pale Ale), které jsou svrchně kvašená (Kinčl 2022). Dělení pív na klasický ležák a ale se datuje už od dob Pasteura. Spodně kvašená piva se v Čechách začala rozvíjet díky českému sládkovi Josefu Daňkovi (Basařová et al. 2021).

Tabulka 1 Rozdělení pivních stylů a způsobů kvašení

Způsob kvašení	Pivní styl
Spontánně kvašená piva	Lambic
	Gueuze
Spodně kvašená piva	Ležáky
Svrchně kvašená piva	Pšeničná piva
	Ale
	Stout
	Porter

(Zdroj: Olšovská et al. 2017, upraveno)

3.1.2 Rozdělení piva dle legislativy

Legislativní požadavky na pivo a nápoje na bázi piva jsou upravovány Vyhláškou č. 248/2018 Sb., o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí. Touto problematikou se zabývá ustanovení §16 - §20. Tato vyhláška mluví o pivu jako o pěnivém nápoji, který vznikl kvašením mladiny připravené ze sladu, vody, neupraveného chmele či chmelových výrobků, který vedle kvasným procesem vzniklého ethanolu a oxidu uhličitého obsahuje i určité množství neprokvašeného extraktu. Dále je možné pivo dělit podle způsobu kvašení, podle barvy a podle hodnoty extraktu v původní mladině (Vyhláška o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí 2018).

Rozdělení pív dle barvy:

- Světlé pivo – vyrobeno převážně ze světlých sladů
- Tmavé a polotmavé pivo – vyrobeno ze sladů tmavých, karamelových, případně barvicích sladů ve směsi se světlými slady
- Řezané pivo – vyrobeno při stáčení smísením světlých a tmavých pív

Rozdělení pív dle způsobu kvašení:

- Spodně kvašené pivo – pivo vyrobené za použití kvasinek spodního kvašení
- Svrchně kvašené pivo – pivo vyrobené za použití kvasinek svrchního kvašení

Rozdělení piv dle extraktu v původní mladině:

- Stolní pivo – pivo s extraktem původní mladiny do 6 % hmotnostních včetně
- Výčepní pivo – pivo s extraktem původní mladiny 7 až 10 % hmotnostních
- Ležák – spodně kvašené pivo s extraktem původní mladiny 11 až 12 % hmotnostních
- Plné pivo – svrchně kvašené pivo s extraktem původní mladiny 11 až 12 % hmotnostních
- Silné pivo – pivo s extraktem původní mladiny 13 % hmotnostních a vyšším
- Nízkoalkoholické pivo – pivo s obsahem alkoholu více než 0,5 % objemových a nejvýše 1,2 % objemových
- Nealkoholické pivo – pivo s obsahem alkoholu nejvýše 0,5 % objemových

(Vyhláška o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí 2018)

3.1.3 Historie pivovarnictví

V dnešní době se už ví, že pivo jako zkvašený obilný nápoj nebyl vynálezem, ale pouhou náhodou. Je možné o pivu tvrdit, že ho lidé znali dříve než chleba. Pivo jako nápoj byl výhradně připravován ženami, než se z piva stalo výhodné zboží a výroby se ujali muži. Kolébkou výroby piva je považovaná Mezopotámie. Národy, které se v této úrodné krajině usadily, zde pěstovaly obilí. Především ječmen, pšenici a proso, které využívali pro svou obživu, ale pravděpodobně sloužily i pro přípravu obilných zkvašených nápojů. Julius Caesar označil pivo za „vážený a mocný nápoj“. Přesto je podle historických záznamů zřejmé, že staří Římané dávali přednost vínu a pivo nebylo moc v oblibě (Basařová et al. 2011). Historicky bylo doloženo, že výroba piva byla známá v Číně, Egyptě, Řecku, Galii, ale i mezi Slovany, Židy a Germány. V Čechách se datuje první zmínka o chmelu v roce 1088 v zakládající listině Vyšehradské kapituly (Kosař & Procházka 2012). První pivovar, který byl založen na území dnešní České republiky je Břevnovský pivovar. Byl založen roku 993 benediktiny a byl to první mužský klášterní pivovar (Chládek 2007). Benediktini ve svém klášteře nevyráběli pouze pivo, ale i víno. V této době mohli vařit pivo i obyvatelé pražského podhradí, ale od nich byl vybírán desátek. Nejdříve byl tento desátek odváděn ve chmelu, později ho pražští pivovarníci odváděli v penězích. Zrušení tohoto desátku se pražští pivovarníci dočkali v roce 1848. První zmínka o popisu postupu výroby piva u nás je z roku 1585. Popsal ho Tadeáš Hájek z Hájku (1525-1600) osobní lékař Rudolfa II. (Basařová et al. 2011).

Největší pokrok pivovarství v Čechách započal koncem 18. století, protože nastal průlom v poznávání chemických, fyzikálních a biochemických procesů, které při výrobě piva probíhají. Pokrok zaznamenala i oblast mikrobiologie a tím bylo možné proniknout do zdokonalování kvasných procesů. Tyto inovace a pokroky vedly české pivovarství k průmyslové výrobě (Chládek 2007). Za velkého reformátora v pivovarství u nás je považován legendární sládek František Ondřej Poupě (1753-1805), který byl autorem několika publikací. Zavedl při výrobě kontrolu teplot teploměrem, což se dříve zkoušelo ponořením ruky. Sestrojil pivní váhy, které měřily extrakt sladiny a mladiny. Na jeho popud se začaly nádoby přikrývat poklicemi, aby nedocházelo k tepelným ztrátám, ale inovoval i používání chmele (Basařová et

al. 2011). První parní pivovar byl zkonstruován v roce 1860 U Primasů ve Štěpánské ulici v Praze (Motyková & černoorská 2003). Velkou událostí bylo pro české, ale i pro světové pivovarství založení Měšťanského pivovaru v Plzni roku 1839. První várka byla zde uvařená v roce 1842 bavorským sládkem Josefem Grollem. Uvařil světlé pivo, s vyšší hořkostí, spodním kvašením a vyšším podílem zbytkového extraktu. Nově uvařené pivo Plzeňského typu předčilo všechna očekávání a stalo se známé po celé České republice, a i po celém světě (Chládek 2007).

3.2 Základní suroviny pro výrobu piva

Základními surovinami pro výrobu piva jsou voda, ječmen, chmel. Tyto suroviny jsou definovány v zákoně o čistotě piva v tzv. Reinheitsgebot, který byl vydán v roce 1516, ale jeho kořeny sahají až do 12. století. Pivovarské kvasinky jsou neodmyslitelnou součástí pivovarské technologie, které přeměňují svými metabolickými drahami mladinu na pivo (Olšovská et al. 2017).

3.2.1 Voda

Hlavní surovinou pro výrobu piva je voda, která se využívá jak pro varní účely, tak pro oplachy a sanitace technologického zařízení. Kvalita vody je nutné bedlivě hlídat, jelikož ovlivňuje kvalitu piva (Kunze 2004). Kinčl (2022) uvádí, že ve špičkových průmyslových pivovarech se spotřeba vody pohybuje okolo 2,5 hl vody na 1 hl piva a minipivovary přesahují spotřebou vody 10 hl vody na 1 hl piva.

Pivovarství je považováno za jedno z největších spotřebitelů vody v průmyslovém sektoru. Voda využívaná v pivovaru se dělí na varní vodu (svými požadavky musí splňovat normu pitné vody a určuje charakter a vlastnosti piva), mycí a sterilační (nesmí být kontaminována mikroorganismy a doporučuje se chlorovat) a provozní vodu (musí plnit kritéria předepsané potravinářské kvality). Další možné rozdělení vod v pivovarnictví je podle její tvrdosti a obsahu rozpuštěných iontů na:

- Plzeňská voda
- Mnichovská voda
- Dortmundská voda
- Vídeňská voda

Zvýšená koncentrace iontů vápníku, hořčíku, chloridů, síranů, železa, manganu, mědi, zinku a uhličitánů ovlivňují varní vodu a tím následně i varní proces. Uhličitánové ionty svou přítomností negativně zvyšují pH vody a následně rmutů, mladiny a piva. Velice důležité jsou fosforečné ionty, které udržují rovnováhu a snižují pH během procesu vaření. Hořčík společně s vápníkem ovlivní tvrdost vody, ale kvasinky jejich ionty využijí ve svém metabolismu (Priest & Stewart 2006).

Tabulka 2 Charakteristika pivovarských vod

	Plzeňská	Mnichovská	Dortmundská	Vídeňská
Celková tvrdost [mmol.l ⁻¹]	1,0	2,7	7,4	6,9
Karbonátová tvrdost [mmol. l ⁻¹]	0,6	2,5	2,3	5,6
Mg ²⁺ [mg.l ⁻¹]	9,0	18,21	9,96	8,5
Ca ²⁺ [mg.l ⁻¹]	25,0	75,82	62,01	62,4
NO ₃ ⁻ [mg.l ⁻¹]	18,0	stopy	stopy	stopy
SO ₄ ²⁻ [mg.l ⁻¹]	30,0	9,0	290,0	216,0
Cl ⁻ [mg.l ⁻¹]	20,0	1,6	107,0	39,0

(Zdroj: Kosař & Procházka 2012, upraveno)

Další možné dělení vody je na spodní vodu a povrchovou vodu. Spodní voda se získává z pramenů, studní nebo vrtů a obsahuje vyšší obsah rozpuštěných iontů a nižší obsah mikroorganismů. Povrchová voda je získávána z jezer, řek, přehrad a rybníků. Obsahuje velké částice nerozpustných zemin, anorganických a organických látek a velký počet mikroorganismů, tudíž jsou podstatně horší kvality. Voda se upravuje chlorací, ozonizací, ozařováním UV zářením nebo působením iontů stříbra, které inhibují mikroorganismy (Kunze 2004). Pokud jsou povrchové vody v pivovaru využívány, tak si je pivovar musí sám upravovat a vyžaduje větší nároky na úpravu než voda spodní. Pro výrobu piv světlých vhodná měkká voda, která neobsahuje velké množství Mg²⁺ a při výrobě piv tmavých je možné použít i vody tvrdší (Chládek 2007).

3.2.2 Slad a sladové náhražky

Slad je jednou ze základních surovin pro výrobu piva, který vzniká sladováním sladovnického ječmene. Mezi vhodné ječmeny pro výrobu sladu se využívá ječmen setý dvouřadý níci (*Hordeum vulgare convar vulgare var. nutans*) (Basařová et al. 2021). Sladování je proces, který probíhá ve sladovně. Dochází v ječném zrně k aktivaci enzymů, které jsou důležité ve varném procesu. Sladování se dá shrnout do kroků: máčení, klíčení a hvozdění (Sinha 2007). Dochází k procesu, který rozštěpí buněčnou stěnu zrna pomocí proteolytických enzymů a škrob je štěpen pomocí amylotických enzymů. Dochází k aktivaci enzymů, které jsou důležité pro varní proces. Výsledný slad závisí na kvalitě zpracované odrůdy, čistotě sladování a dodržení předepsaných operací. V České republice je nejčastěji vyráběn slad světlý – plzeňský a bavorský slad. Další druhy sladů se v našich podmínkách příliš mnoho nevyrábí. Množství extraktu v zrně závisí na morfologických parametrech, velikosti, tvaru a biochemickém složení. Především jde o obsah bílkovin, škrobu, β-glukanů, obsah vody a aktivitu hydrolytických enzymů (Rani & Bhardwaj 2021).

3.2.2.1 Výroba sladu

- Příjem ječmene

Ječmen se do sladovny dopravuje pomocí valníků, nákladních automobilů a vagónů (Kosař & Procházka 2012). Dopravní prostředek s ječmenem se nejdříve zváží a od celkové hmotnosti se odečítá hmotnost dopravního prostředku. Následně se dopraví do sladovny, kde se musí nechat předčistit, čistit a následně uložit do sil. Pro dopravu ječmene po sladovně se využívají elevátory, šnekové dopravníky, dopravní pásy a pneumatická doprava. Kunze (2004) uvádí, že pro přepravu ječmene se mimo jiné dají využít i lodní doprava.

- Třídění a čištění ječmene

Hlavní důvody pro třídění ječmene je stejné máčení a klíčení, které vede k získání dokonale homogenního sladu. Od zrna se odstraní hrubé nečistoty na vibračních sítích aspirátoru, následně cizí příměsi a další jemné podíly (sláma, pluchy, prach, písek). Dále se na triéru odstraňují půlky ječných zrn a zrna plevelů (Rani & Bhardwaj 2021).

Zrna ječmene se dělí podle velikosti na I. a II. třídu a propad.

- I. třída – zrna nad 2,5 mm (prima)
- II. třída – zrna 2,2 – 2,5 mm (sekunda)
- Propad – zrna, která jsou menší než 2,2 mm a další jiné příměsi

Ječmen, který je vyčištěný a vytříděný se uskládá nejčastěji v silách. Sila jsou postavena z betonu, jsou odolná proti požáru a nejsou náročná na údržbu. Jejich obsah se pohybuje okolo 700 kg ječmene/m³. Dnes se pro uskladnění ječmene či sladu využívají ocelová sila, která jsou levnější a jejich stavba jednodušší (Kunze 2004).

- Máčení ječmene

Důvod máčení ječmene je řízeným způsobem zvýšit obsah vody v zrně, aby se zahájily enzymatické reakce a klíčení zrna. Enzymy jsou důležité pro proces výroby sladu, a proto je zapotřebí dodat zrně vodu, aby se stalo aktivní. Během procesu máčení začíná zrno dýchat a spotřebovává kyslík, proto se musí během máčení dělat vzdušné přestávky (Kunze 2004). Máčírna by měla být situována v blízkosti sil s ječmenem, aby byla co nejjednodušší manipulace. Máčírna může být jednodenní, dvoudenní, popřípadě i třídenní. V současnosti se využívá postup vzdušného máčení, záplavové máčení, sprchové máčení, opakované máčení a klasické máčení. Spotřeba vody na proces máčení se liší podle postupu máčení a vybavení máčírny. Dobrá spotřeba vody je cca 6 m³ · t⁻¹, nejmenší spotřeba vody se uvádí u sprchového máčení. Do máčecích vod se mohou aplikovat pouze přípravky, které jsou schválené hlavním hygienikem a Ministerstvem zdravotnictví ČR (Rani & Bhardwaj 2021).

- Klíčení

Cílem klíčení je aktivace a syntéza enzymů pro docílení požadovaného rozluštění zrna. Během klíčení dochází k tvorbě enzymů, přeměně látek a růstovým změnám. Syntéza enzymů v ječné obilce je iniciována pomocí činnosti fytohormonů, které se skládají z gibberelové

kyseliny a další ch látek a ty putují endospermem do auleuronové vrstvy, kde vznikají volné aminokyseliny a enzymy (Kunze 2004). Na počátku sladovacího procesu je endosperm ve stabilní vysokomolekulární formě a tyto látky jsou zapotřebí rozložit na produkty skládající se z malých molekul před tím, než budou pomocí vody transportovány. Za tento rozklad jsou zodpovědné enzymy, které vznikají při klíčení (Priest & Stewart 2006).

- Náhračky sladů

Za náhračky sladů se dají používat všechny ostatní suroviny, které zvýší pivu extrakt Briggs (et al. 2004). Nejčastější důvod využívání sladových náhražek je ekonomický důvod, kvůli zmenšení nákladů na sypání sladu. Mezi další důvody jejich využívání jsou oblasti s nedostatkem sladu pro výrobu piva a využití v zemích v období nedostatku potravin, které bylo způsobené válkou nebo hospodářskou krizí (Kosař & Procházka 2012). V České republice se slady moc náhražkami nenahrazují. Hlavním důvodem je relativně nízká cena plzeňského sladu a silný vliv tradiční výroby piv ležáckého typu. Pokud dochází v sypání k nahrazení sladu, tak existují dva typy náhražek. Surogáty neboli náhražky se rozdělují na cukernaté a škrobnaté. Náhražky se liší dle plodin, které jsou pro danou oblast tradiční. Slad nemusí být v dané oblasti schopný vegetace, kvůli povětrnostním podmínkám a nedostatku vláhy. Nejčastější pro náhražkou v Africe je čirok, rýže v Asii, kukuřice v Americe. V Evropě se nejčastěji využívá ječmen a kukuřice (Bogdan & Kordialik-Bogacka 2017).

Mezi cukernaté náhražky se řadí běžný cukr, který je tedy krystalická sacharóza. Hlavní výhodou cukernatých náhražek je to, že jsou snadno rozpustitelné, a tudíž se mohou dávkovat kdykoliv během výroby (Kinčl 2022). Nejčastěji jsou dávkovány v průběhu chmelovaru. Využíváním těchto náhražek se v mladině snižuje obsah dusíkatých, polyfenolových a růstových látek. Zvyšuje se stupeň prokvašení a obsah alkoholu v hotovém pivu, ale dochází ke zhoršení pěnivosti a při vysokých dávkách se může ovlivnit i plnost chuti. Cukernaté náhražky jsou nejčastěji přidávány do mladý v krystalickém, ale i v tekutém stavu (Briggs et al. 2004).

Za škrobnaté náhražky sladu se dají považovat suroviny, které mají vysoký obsah škrobu či polysacharidů. Dají se rozdělit to tři kategorií: nesladované obiloviny, škrobnaté výluhy, sirupy a koncentráty a speciální sladové výtažky (Basařová et al. 2021). Především se využívají nesladované obiloviny a produkty z nich vyrobené (vločky, drť, mouka). V zahraničí se hojně využívá kukuřice nebo rýže. V našich podmínkách se využívá ječmen nebo pšenice. Některé pivní styly jsou založené na přidávání surogátů do výroby – např. ovesné vločky se přidávají do New England IPA, pšenice se využívá do pivního stylu Witbier (Preedy 2009).

Dále Kinčl (2022) uvádí, že je nutné znát u každé obiloviny její teplotu mazovatění škrobu, jelikož každý škrob přechází do roztoku při jiné teplotě. Mezi obiloviny, které mají obdobnou teplotu mazovatění škrobu se řadí pšenice, ječmen, oves a žito. Tyto obiloviny mají obdobnou teplotu pro mazovatění jako běžně používané slady, a tudíž se mohou přidávat do vystírky během klasického varního procesu. Kukuřice a rýže mají teplotu mazovatění nad 70 °C, proto se musí před rmutováním zahřát v roztoku na vyšší teploty anebo ideálně povařit, aby se uvolnilo co nejvíce škrobu (Kunze 2004).

3.2.3 Chmel

Další surovinou pro výrobu piva je chmel otáčivý (*Humulus Lupulus L.*). Jedná se o vytrvalou, dvoudomou, popínavou rostlinu z čeledi konopovité (*Cannabaceae*) (Briggs et al. 2004). Pro pivovarské účely jsou využívány samičí rostliny, což jsou sušené chmelové hlávky a produkty, které jsou z nich vyrobené a ty dodávají pivu jeho charakteristickou hořkost a aroma. Mezi největší pěstitelé chmele patří Německo a USA, které následuje Česká republika a v poslední době se k nim přidává i Čína. Hlavní a největší pěstitelskou oblastí je Žatecko a dále se chmel pěstuje v oblasti Ústecké a Tršické (Kunze 2004). Chmel a chmelové produkty se v poslední době staly velice drahou surovinou, ale z pohledu podílu v surovinách je jejich množství velmi malé. Při výrobě piva je důležitý úkol převést do piva chmelové aroma a hořkou chuť, což není vždy jednoduchý úkol (Preedy 2009).

Chmelové odrůdy se dělí podle zbarvení chmelové révy na červeňáky a zeleňáky. V Evropě se nejčastěji pěstují odrůdy červeňáků, a to v Čechách, Německu, Polsku a Slovinsku a zeleňáky jsou převážně pěstovány v Anglii, Austrálii a USA. Dále se tyto odrůdy rozdělují na rané, polorané a pozdní, podle délky vegetační doby zrání. Každá odrůda se liší v obsahu hořkých kyselin. Nejvíce se liší v poměru obsahu alfa hořkých kyselin a beta hořkých kyselin. Mezi alfa hořké kyseliny se řadí humulon, kohumulon a adhumulon a mezi beta hořké kyseliny patří lupulon, adlupulon a kolupulon (Boulton 2013). V České republice se nejčastěji pěstují odrůdy poloraného žateckého červeňáku, z nich jsou nejznámější klony Sládek, Bor, Premiant (Chládek 2007).

Chmel se začíná sklízet v technologické zralosti na konci srpna a trvá přibližně 14 dnů. V dnešní době se sklizeň chmele prováděná převážně pomocí česacích strojů. Při sklizni chmel obsahuje 75 až 80 % vody, a proto je třeba chmel neprodleně co nejrychleji zpracovat. Sušení probíhá teplotě 50 °C maximálně a obsah vody klesne na 8 až 12 % (Boulton 2013). Po sušení se chmel dále lisuje a stabilizuje, aby při dlouhodobém uskladnění se nezačala snižovat kvalita. Velké množství chmele se zpracovává na extrakt a pelety, ale i malé množství je využito jako sušený hlávkový chmel. Dnes se pro výrobu piva využívají především pelety a chmelový extrakt. Sušený hlávkový chmel je dnes používán ve velmi malém množství (Kunze 2004).

Při výrobě pelet neboli granulovaného chmele se sušený chmel rozemele a zamrazí na teplotu -35 °C. Podle hrubosti rozemleté chmelové drtě se pelety dělí na různé typy. Nejčastěji vyráběné pelety jsou pelety typu 90 (90 kg granulí se vyrobí ze 100 kg sušené chmelové drtě). Chemickým složením, ale i svým charakterem pelety odpovídají původnímu chmelu až na minimální změny, které vznikly zpracováním. Chmelové pelety jsou standardizovány na obsah alfa hořkých kyselin a následně baleny do inertního obalu, díky kterému se docílí delší chemické stability (Prugar 2008). Chmel se uskladňuje v temných, chlazených místnostech, ve kterých se teplota blíží k 5 °C. Je zapotřebí zamezit výkyvům teplot, přístupu vzduchu, vlhkosti a světla. Pokud tyto podmínky skladování nebudou splněny, tak dochází ke znehodnocení technologicky cenných látek, které chmel obsahuje. Hlavními změnami jsou oxidační změny. Využití vakua nebo balení v atmosféře dusíku má za účinek snížení obsahu oxidačního vlivu vzdušného kyslíku (Preedy 2009). Kunze (2004) doplňuje, že mezi pivovarsky cenné látky chmele patří polyfenoly, silice a chmelové pryskyřice. Chmel býval dříve používán v lékařství a kulinářství. V pivovarství začal být využíván až dlouho poté. Chmel působí proti nervozitě,

nespavosti a podporuje chuť k jídlu. V medicíně je využíván proti úpornému kašli. (Prugar 2008).

Tabulka 3 Průměrné složení chmele

Látka	Obsah (%)
Voda	8-12
Celkové pryskyřice	15-20
Polyfenolové látky	2-6
Silice	0,2-2,5
Vosky a lipidy	1-3
Dusíkaté látky	12-15
Sacharidické látky (celulósa)	40-50
Minerální látky	6-8

(Zdroj: Kosař & Procházka 2012, upraveno)

3.2.4 Pivovarské kvasinky

Termín kvasinky je povětšinou požíván v laboratoři, ale pojem kvasnice nebo várečné kvasnice je označení pro aktivní biomasu kvasinek využívaných v provozu. Za zajímavost se dá považovat fakt, že v první verzi zákona o čistotě piva (Reinheitsgebot) z roku 1492 nezahrnuje kvasnice mezi suroviny, které byly pro výrobu piva povoleny, protože v té době ještě nebyla funkce kvasnic objasněna (Basařová et al. 2021). Kvasinky nejsou náročné mikroorganismy. K jejich vývoji a růstu jim stačí zkvasitelné cukry, aminokyseliny, vitaminy, minerály a kyslík (Maicas 2020).

Kvasinky jsou jednobuněčné, heterotrofní, eukaryotické organismy, které řadíme mezi houby. Dokáží získat potřebnou energii v přítomnosti kyslíku (aerobní) dýcháním a v nepřítomnosti kyslíku (anaerobní) fermentací (Kunze 2004). Existuje mnoho využívaných taxonomických variant pivovarských kvasinek, ale pro spodní kvašení se nejčastěji využívá kmen *Saccharomyces cerevisiae* subsp. *uvarum carlsbergensis* a pro svrchní kvašení je nejčastěji používán kmen *Saccharomyces cerevisiae* subsp. *cerevisiae* (Kosař & Procházka 2012). Podle Basařové et al. (2021) se kvasinky spodního kvašení nazývají *Saccharomyces pastorianus*, dříve *Saccharomyces cerevisiae* (*carlsbergensis*).

Kvasinky spodního kvašení *Saccharomyces pastorianus*, kvasí při teplotě 7 až 15 °C a na konci kvasného procesu padají na dno kvasné nádoby. Svrchní kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* kvasí při 18 až 30 °C a na konci kvašení jsou vynášeny do kvasničné deky. Pivovarské kvasinky jsou zdrojem širokého spektra sensoricky aktivního látek, které tvoří pivo. Správný výběr kvasného kmene se odráží na výsledném sensorickém profilu (Olšovská et al. 2017). Bývají oválného tvaru a jejich velikost se pohybuje mezi 5 až 10 μm. Zakvašuje se kvasničnou suspenzí, která je sebrána z minulé prokvašené várky. Rozlišují se kvasinky stažkové a násadní. Stažkové kvasnice jsou několikrát použité a násadní jsou do procesu použity poprvé. Skladování musí být při nízkých teplotách 2 až 4 °C, protože při nižších teplotách nedochází ke spotřebě zásobních látek. Jedná se především o zásoby glykogenu, který slouží pro zachování základních životních funkcí (Lodolo et al. 2008).

3.3 Technologie výroby piva

Výroba mladiny (cukerný roztok, který obsahuje živiny pro růst kvasinek) je první operací při výrobě piva a provádí se na varně, které se často nazývá jako srdce pivovaru. Jedná se o poměrně složitou fázi výroby, a proto je zapotřebí dodržovat přesně stanovené technologické postupy a operace (Kinčl 2022). Podstatou varního procesu je získat za pomoci enzymů extraktivní látku sladu do roztoku, který se nazývá sladina a oddělit s co nejmenšími ztrátami od zbytků sladu, což je mláto (Sinha 2007). Celý varný proces se skládá ze šrotování, vystírání, rmutování, scezování, chmelovar, separace hrubých kalů a chlazení mladiny (Boulton 2013).

3.3.1 Šrotování

První operací při výrobě mladiny je šrotování, které má za úkol rozdrtit sladované zrno s maximálním zachováním celistvosti pluch a zároveň zpřístupnit endosperm pro fyzikálně chemické a enzymové procesy (Kunze 2004). Navážený slad je dobré šrotovat nejlépe před várkou, aby kvůli delšímu uchovávání nedocházelo ke znehodnocení sladu, protože během jeho skladování dochází k úbytku enzymatické aktivity a mohou se vyskytnout zhoršení varního procesu (při rmutování se prodlužuje doba zcukření). Při delším skladování než 48 hodin se zhoršuje a prodlužuje scezování (Kinčl 2022). Je důležité, aby byl slad dobře rozluštěn. To znamená, že buněčné stěny škrobových jsou degradované. Špatně rozluštěné slady mají menší výtěžnost extraktu a působí další komplikace při scezování sladinu a následné filtraci piva. Opětvným mletím se dají u špatně rozluštěných sladů tyto ztráty zmenšit. Snižováním množství β -glukanů se snižuje viskozita sladinu a mladiny, a to se dá docílit speciálním mletím pomocí kladivového mlýnu (Basařová et al. 2021).

Nejpoužívanější zařízení pro šrotování sladů je šrotovník, který můžeme rozdělit podle počtu válců na dvouválcové až šestiválcové. Často bývají moderní šrotovníky vybavené o kondicionovacího šneka, ve kterém se slad zvlhčuje pomocí vody nebo páry. Je zapotřebí také kontrolovat šrotování, a to se běžně stanovuje v laboratoři pomocí Plungstadtským prosévadlem a vyhodnocuje se rozsah poškození pluch (Kosař & Procházka 2012). Briggs et al. (2004) doplňují, že Plungstadtské prosévadlo se skládá z pěti sít s definovanými velikostmi ok pletiva.

3.3.2 Vystírání

Vystírkou se rozumí, že se smíchá sladový šrot nebo šrot sladových náhražek, pokud byly použity. Během vystírky se smíchá sladový šrot s vodou, tak se začnou rozpouštět látky rozpustné ve vodě, ale slad obsahuje malý podíl těchto látek. Mezi rozpustné látky ve vodě patří hlavně cukr, sacharóza, malé množství maltózy, glukosy a fruktózy. Látky neškrobových polysacharidů jsou rozpustné gumovité látky jako jsou β -glukany a pentozany (Sinha 2007).

Teplota vystírací vody ovlivňuje štěpení látek obsažené ve sladu a také tím i viskozitu celého díla, fázi scezování, extraktovou ztrátu, filtrovatelnost, pěnovost a koloidní stabilitu piva. Pro velmi špatně rozluštěné slady se používá velmi nízká vystírací teplota. V dnešní době si sladovny a dodavatelé sladu nemohou dovolit prodávat špatně rozluštěné slady. Moderní

zemědělství a vybavení sladoven zaručuje homogenní šarže sladů, které mají definované parametry (Kinčl 2022). Pro česká piva je typickou vystírací teplotou 37 °C, ale pro úsporu energií a zkrácení varního procesu většina pivovarů vystírá při vyšších teplotách. Nejvyšší teplota pro vystírání se pohybuje okolo 60 °C, kdy už začínají enzymy štěpící škrob naplno štěpit a dochází i ke zcukřování díla. Pokud je sypání tvořeno větším množstvím sladových náhražek, tak mohou během výroby nastat komplikace, a proto se využívají plísňové či bakteriální enzymatické preparáty. Na varně se používají převážně β -glukanasy, amylolytické preparáty a proteasy. K lepší filtrovatelnosti a odbourání vysokomolekulárních glukanů se využívají β -glukanasy (Boulton 2013).

3.3.3 Rmutování

Rmutování je jeden z nejdůležitějších procesů při výrobě mladiny, a proto je zapotřebí dbát na správný způsob vedení díla rmutováním, aby nedocházelo ke komplikacím, které by mohly ovlivnit celý proces výroby. Látky obsažené ve sladovém šrotu jsou pouze částečně rozpustné a do sladiny následně mladiny mohou přecházet pouze látky rozpustné (Kunze 2004). Proces rmutování je veden ve rmutovací pánvi, kdy se rmut udržuje při technologicky různých teplotách a je nutno dodržet různě dlouhé prodlevy. Během rmutování klesá pH díla a obecně platí, že čím nižší pH, tím je efektivnější rmutovací proces. Nejjednodušší způsob úpravy pH je okyselení, a to přidávkem kyseliny mléčné, která se dávkuje do vystírky (Preedy 2009).

V podstatě se rmutování dělí na dekokční a infúzní. Dekokční postup se dělí na zahřívání jednoho, dvou nebo tří rmutů na technologické důležité teploty a následným povařením těchto podílů. Infúzní způsob vede k rozpuštění a následného štěpení extraktu sladu, který je dlouhodobě za pomoci enzymů štěpen a nedochází k povaření rmutu (Kunze 2004). Po vystření při 37 °C se dílo zahřeje na peptonizační teplotu, která se pohybuje mezi 45 až 50 °C, při které dochází ke štěpení fosforečnanů a neškrobových polysacharidů typu β -glukanů a podporuje se proteolýza vlivem peptidáz. Dále se rmut přihřeje na nižší cukrotvornou teplotu 60 až 65 °C. Jedná se o optimální teplotu pro činnost β -amylázy, která především v roztoku zvyšuje podíl zkvasitelných cukrů. Slady, které mají nízkou aktivitu amylolytických enzymů se aplikuje několikaminutová prodleva (Briggs et al. 2004). Poslední vyšší cukrotvorná teplota 70 až 75 °C je důležitá pro správné působení termostabilního enzymu α -amylázy. Viskozita roztoku klesá, nepatrně se zvyšuje obsah zkvasitelných cukrů. V rozmezí vyšší cukrotvorné teploty se prodleva udržuje až do doby, kdy je dosažena tzv. jednormální reakce. Jedná se o barevnou reakci s jodovým roztokem. U dobře rozluštěných sladů se doba zcukření pohybuje okolo 10 minut. Po zcukření se rmut povaří a spojí se dílo na scezovací kádi, kde by měla být dosažena od rmutovací teplota, která se pohybuje od 76 až 78 °C (Sinha 2007).

Tabulka 4 Optimální teploty a pH pro funkci enzymů sladu

Enzym	Funkce	Teplota	pH
α -amylasa	Štěpí škrob uvnitř řetězce	60 až 65 °C	5,4 až 5,6
β -amylasa	Štěpí škrob od konce řetězce	70 až 75 °C	5,3 až 5,8
karboxypeptidasy	Štěpí řetězce bílkovin od konce	40 až 50 °C	4,8 až 5,6
endo- β -glukanasy	Štěpí β -glukany uvnitř řetězce	40 až 50 °C	4,5 až 5,5
Kyselé fosfatasy	Uvolňují do roztoku fosforečnany	50 až 53 °C	4,5 až 5,0

(Zdroj: Basařová et al. 2021, upraveno)

3.3.4 Scezování

Po rmutování je ve scezovací kádi tekutina, která obsahuje látky rozpuštěné v roztoku (sladinu) a látky nerozpuštěné (mláto), které je tvořené obalovými částmi zrna. Při dalších operacích se využívá pouze sladina a mláto je po procesu scezování nutné odstranit. Pivovarské mláto vykupují zemědělci pro hospodářská zvířata (Kunze 2004). Scezování je fyzikální proces filtrace, která se odehrává ve scezovací kádi, která bývá technicky nejkomplicovanější zařízení celé varny a bývá časově náročná. Scezovací kád' může být nahrazena velmi efektivním sladinovým filtrem, ale převážně se drží tradice a nadále se do pivovarů instalují scezovací kádě (Preedy 2009).

3.3.4.1 Faktory ovlivňující scezování

Mezi hlavní sloučeniny, které ovlivňují proces scezování jsou β -glukany. Negativní vliv na viskozitu má veškeré polysacharidy (Briggs et al. 2004). Hlavně štěpné produkty pentosanů a arabinoxylany. Filrovatelnost sladiny je také ovlivněna vysokomolekulárními látkami extraktu sladu (polysacharidy, minerály, polyfenoly), ale i kalíciemi částicemi bakterií (*Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Enterobacter agglomerans*), ale tyto částice se dají v průběhu rmutování odstranit pomocí intenzivního míchání. Zvýšený výskyt mikrobioty ve sladu může vést ke zvýšenému obsahu kalícií látek a přispívat, tak k vyšší viskozitě sladiny, mladiny, a i finálního piva (Kunze 2004).

3.3.5 Chmelovar

Tato operace probíhá v mladinové pánvi, nejčastěji 1 až 2 hodiny se v mladinové pánvi povaruje sladina s chmelem za vzniku mladiny (Briggs et al. 2004). Během chmelovaru probíhá řada fyzikálních, chemických a biochemických reakcí a výsledek těchto reakcí se ukáže ve složení mladiny. Cílem chmelovaru je odpařit přebytečnou vodu a tím za koncentrovat finální mladinu, odpařit těkavé látky (chmelové silice, dimethylsulfid), dalším faktorem je inaktivace enzymů, sterilace mladiny a inhibovat reziduální mikrobiotu. Nejdůležitější důvod chmelovaru je izomerace hořkých látek chmele. Především α -hořkých kyselin, které izomerací přechází na α -iso-hořkých kyselin. A vytvořit produkty Maillardovy reakce, které vedou k tvorbě barevných sloučenin (Boulton 2013).

Chmel se dávkuje ve třech dávkách a pokud se chmel dávkuje již v začátcích chmelovaru, tak dochází varem k přeměně α -hořkých kyselin na α -iso-hořké kyseliny a ty jsou nositelé hořké chuti. Jenže dlouhým chmelovarem všechny aromatické látky chmele vytékají

pryč, a proto se ke konci chmelovaru používají chmely pro dosažení chmelového aroma (Sinha 2007).

První chmel se povětšinou přidává do sladiny před dosažením bodu varu a dílo už je pohromadě. Nejčastěji se pro první chmelení využívá chmelový extrakt, který neobsahuje velké množství silic nebo se dají použít chmelové pelety, které nemají příjemné aroma. Druhé chmelení je před počátkem chmelovaru a používá se hlávkový chmel nebo pelety (Kunze 2004). Pro český ležák je typickým chmelem Premiant nebo Sládek. Třetí a poslední chmel se do mladiny přidává 10-15 minut před koncem chmelovaru a tahle dávka je dodávána kvůli chmelovému aroma. Dnes je běžné, že se přidává i čtvrtý chmel, který se přidává do vířivé kádě (Priest & Stewart 2006).

Mladinová pánev nebo také kotel je v každém pivovaru důležitý nejen pro technologické zařízení, ale i pro prezentaci atraktivity zákazníkům. V minipivovarech bývá varná sestava umístěna veřejném a volně přístupném místě např. v restauraci. Dnes bývá kotel vybaven parním duplikátorem pro ideální cirkulaci díla při varu (Kunze 2004).

3.3.6 Separace hrubých kalů, provzdušňování mladiny a chlazení mladiny

Před zakvašením hotové mladiny je zapotřebí oddělit od mladiny hrubé kaly, provzdušnit a zchladit na zákvasnou teplotu. Hrubé kaly jsou převážně z bílkovin a nerozpustných hořkých látek z chmele a ty jsou potřeba před chlazením odstranit v co největší míře. Pokud by nedošlo o separaci těchto hořkých kalů, tak se zvýší trpkost piva, zhoršuje se filtrovatelnost a může docházet k nežádoucím reakcím (Kinčl 2022). Chladové kaly jsou v pivu obsaženy pořád, a to i po stočení do obalu. Jsou tvořeny převážně bílkoviny, polyfenoly a nerozpustnými sacharidy. Tyto látky nepřispívají k dobré koloidní stabilitě filtrovaných piv. Jemné kaly by se neměly z mladiny zcela úplně odstranit, neboť zlepšují pěnivost a plnost chuti piva (Kosař & Procházka 2012).

Pro separaci hrubých kalů bývá nejčastěji využívána vířivá kád'. Je to zařízení, do kterého pomocí tangencionálním nátokem roztáčíme mladinu a vlivem dostředivých sil se hrubé kaly shlukují uprostřed nádoby, kde se vytváří chmelový kužel. Minipivovary mohou v rámci úspory místa finančních prostředků využívat mladinovou pánev jako vířivou kád' a to tak, že po skončení chmelovaru roztočí mladinu v mladinové pánvi (Briggs et al. 2004). Po načerpání mladiny do vířivé kádě zde probíhá odpočinek a během něho se kaly usazují uprostřed nádoby a následně je mladina stahována z boku vířivé kádě, nejprve horní výpustí a následně spodní výpustí. Pokud doba, při které je mladina na vířivé kádi příliš dlouhá, tak dochází ke změnám barvy, oxidacím a tvorbě dimethylsulfidu, který není již možné odpařit. Pokud by došlo ke špatnému provedení vířivé kádě, tak jako pojistka bývá před chladičem mladiny nainstalován hrubých síťový filtr kalů (Kunze 2004).

Separace jemných kalů bývá až při kvašení mladiny a při použití metody kvašení v otevřených kádích, tak jemné částice jsou oxidem uhličitým vynášeny do pěny (deky) a při sudování se deka sbírá a tím se odstraní i jemné kaly (Kosař & Procházka 2012). Pokud je využíván způsob kvašení v uzavřených cylindrokónických tancích, tak je výhodné po 8-12 hodinách od naplnění tanku sespílanou mladinou tyto kaly odstranit, a to odkalením kónusu (Priest & Stewart 2006).

Chlazení mladiny se dnes provádí na deskových chladičích, které jsou jednostupňové nebo dvoustupňové. Jako chladící médium se používá nejčastěji voda, solanka, glykol a amoniak. Chlazení mladiny musí probíhat co nejkratší dobu, aby se z 80 až 90 °C zchladila na zákvasnou teplotu 7 až 10 °C (Briggs et al. 2004).

3.3.7 Hlavní kvašení a zrání piva

Cílem hlavního kvašení je nedokonalé zkvašení cukernatých látek, které mladina obsahuje. Mladina je zakvašována pivovarskými kvasinkami o dávce 0,5 l hustých kvasnic na 1 hl mladiny, která se používá tradičně v českém pivovarství (Kinčl 2022). Hlavním produktem kvašení je ethanol a oxid uhličitý. Mezi vedlejší produkty kvašení se řadí estery, vyšší alkoholy a kyseliny, které pozitivně ovlivňují sensorické vlastnosti. Každý kmen kvasinek během fermentace vytváří jedinečný charakter piva a musí se dobře zvolit kmen, který k vyráběnému druhu piva patří (Briggs et al. 2004). Lodolo et al. (2008) uvádějí, že pro úspěšný kvasný proces musí být kvasničné buňky vysoce životaschopné, aby v co nejkratším čase začaly produkovat své metabolity a nedošlo ke zkáze rozkvašené mladiny.

Proces hlavního kvašení se dá popsat v několika fázích: zaprašování, odrážení, nízké bílé kroužky, vysoké bílé kroužky, vysoké hnědé kroužky a propad deky. Doba a teplota hlavního kvašení se odvíjí od vyráběného stylu piva a jeho stupňovitosti. Při tradiční výrobě se doba pohybuje mezi 7 až 12 dny (Kunze 2004). Během zaprašování se tvoří pěna na povrchu, kterou vytváří vznikající oxid uhličitý. Stádium zaprašování nastává 12 až 24 hodin po zakvašení a dochází k poklesu extraktu a pH a mírně dochází ke zvyšování teploty (Lodolo et al. 2008).

Další fází jsou nízké a vysoké kroužky, což jsou bílé růžice pěny, které se vytvářejí na povrchu kvasící mladiny. V této fázi dochází k masivnímu vytváření oxidu uhličitého, pH klesá z 5,2 až 5,6 na hodnotu 4,7 až 4,9 a extrakt o 0,8 až 1,2 % a stoupá teplota o 0,5 až 0,8 °C za 24 hodin. Třetí až pátý den se z bílých kroužku začínají měnit v hnědé kroužky. Hnědé jsou, protože se z rozkvašené mladiny vznášejí kaly, které kroužky obarvují (Kinčl 2022). Dále klesá hodnota pH z 4,6 až na 4,4 a extrakt se snižuje o 1,0 až 1,8 % za 24 hodin, teplota vzrůstá na maximum a drží se po dobu 1 až 3 dní a následuje včasné zchlazování. Posledním stádiem hlavního kvašení je propadání deky. V tomto konečném stádiu dochází ke shlukování a sedimentaci kvasinek na dno kvasné nádoby (kvasná kád', CKT). Hodnota extraktu se snižuje již velmi pomalu a to o 0,2 až 0,3 % za 24 hodin. Kroužky z povrchu se propadají to kvasícího média na hladině zůstává tmavá vrstva pěny, která se nazývá deka, která se musí zavčasu sebrat, aby se úplně nepropadla do mladého piva a neovlivňovala nepříznivě hořkost. Deku se sbírá před sudováním pomocí děrované nerezové lžice. Obsahuje velké množství polyfenolů, hořké látky, polysacharidy, výšemolekulární dusíkaté látky a mrtvé buňky kvasinek. Je zakázané tyto odpadní produkty splachovat do odpadních vod a jsou přidávány do mláta (Basařová et al. 2021).

Zrání neboli dokvašování mladého piva je poslední výrobního procesu. Probíhá v buď v ležáckých tancích nebo CKT. Dochází k nasycení piva oxidem uhličitým, který přirozeně produkují zbylé kvasinky, které se při přečerpávání (sudování) dostanou do ležáckých tanků či CKT (Briggs et al. 2004). Kinčl (2022) uvádí, že by se do ležáckých tanků mělo dostat jen omezené množství kvasinek a to cca 20-30 obj. %. Obsah oxidu uhličitého určuje pitelnost hotového piva a ovlivňuje jeho pěnivost. V průmyslových pivovarech je obsah oxidu uhličitého

hlídán a upravován po filtraci během technologie HGB (High Gravity Brewing) (Priest & Stewart 2006).

3.3.8 Filtrace

Primární účel filtrace je, aby pivo bylo zbaveno látek, které způsobují zákal. Na filtrované pivo je kladen požadavek o výsledné čirosti, která se pohybuje v rozmezí 0,2 až 0,4 j. EBC (Olšovská et al. 2017). Pivo, které nebylo filtrováno má nižší koloidní stabilitu a tím pádem i nižší dobu minimální trvanlivosti. V České republice, ale i ve světě je nejrozšířenější křemelinová filtrace. Jelikož křemelina není snadno ekologicky recyklovatelná, tak do budoucna se uvažuje o jejím omezení a tím i ulehčení životnímu prostředí, které zpracováním a likvidací křemeliny trpí. Filtrační zařízení je vybaveno filtrem s filtračními přepážkami, filtračním čerpadle, nádobami na suspenze filtračního materiálu a stabilizace a potrubím, které slouží pro cirkulaci piva filtrem, když se zvednou hodnoty zákalu a je pivo potřeba vyčistit. Tomuto potrubí se nazývá okruh. Před samostatnou filtrací bývá umístěn pufr-tank, který má kompenzovat případné změny průtoku, anebo tlakové rázy, které by mohly ohrozit samotnou filtraci (Kinčl 2022). Přefiltrované pivo je uskladněno v přetlačných tancích, které jsou chlazeny na nízké teploty (Landerer et al. 2017).

3.3.9 Stáčení

Stáčení je finální krok, než se pivo dostane ke konečným spotřebitelům. Mezi spotřebitelské obaly patří skleněné lahve, PET lahve, plechovky a KEG sudy. Při stáčení piva je zapotřebí zajistit, aby nedošlo ke ztrátám oxidu uhličitého, proto je pivo stáčeno při stejném tlaku nebo při mírném tlakovém spádu, který zvyšuje rychlost plnění, ale hrozí riziko rozpěnění piva (Olšovská et al. 2017). Budoucnost v obalech můžou představovat bioplasty. Pivo je ve většině případů stáčeno do vratných nebo recyklovatelných obalů, ale jsou průmyslové pivovary a hlavně minipivovary, které volí jako spotřebitelský obal plast. Minipivovary stáčí do PET z důvodu nižší pořizovací ceny obalu a z důvodu, že nemají v provozu technologická zařízení pro mytí skleněných pivních lahví (Landerer et al. 2017). Kinčl (2022) doplňuje, že při stáčení se potřeba dodržet všechny hygienické opatření, aby vlivem pracovníka nedošlo ke kontaminaci piva a je důležité dbát na sanitaci stáčecích linek.

3.4 Filtrace

Význam filtrace v pivovarském průmyslu se začal řešit až na konci 19. století. Důvody proč začít filtrovat pivo bylo mnoho. Obchodníci na pivovary tlačili kvůli prodloužení trvanlivosti piva, které se 19. století pouze pasterovalo a usmrcené kvasničné buňky začaly autolyzovat a tím se zhoršovala kvalita a chuť prodáváného piva. Mezi další důvody byl přechod na skleněné püllitry a filtrací piva se dají skrýt některé technologické chyby a nedostatky (Chládek 2007). Kunze (2004) doplňuje, že dokvašené pivo obsahuje přes 1 milión buněk kvasinek a dalších zákalotvorných látek, které se nachází v pivu a musí být odděleny bez kontaktu s kyslíkem. Filtrací dokvašeného piva se odstraňují látky, které vytváří zákal a tím se prodlužuje jeho trvanlivost. Samostatná filtrace nesmí pivu snižovat jeho pěnivost, dodávat kyslík, kovové ionty, které by měly za následek zhoršení chemického složení piva a jeho

organoleptických vlastností (Basařová et al. 2021). Kosař & Procházka (2012) uvádějí, že cílem filtrace je upravení piva před stáčením, aby po několik měsíců ve spotřebitelském obalu nezměnilo svou čírost, ale musí být správně skladováno. Křemelina, která se hojně využívá jako filtrační materiál se po konci druhé světové války začal těžit v Borovanech u Českých Budějovic (Basařová et al. 2011).

3.4.1 Historie filtrace

Pivo se do poloviny 19. století vyrábělo pouze jako nefiltrované, což omezovalo jeho dobu trvanlivosti a znesnadňovalo jeho distribuci v rámci mezinárodního obchodu. Občas bylo na čiření piva využívána rybí vyzina nebo bukové hobliny, které ovšem nevedly k dokonalé čírosti (Chládek 2007). Zájem o čírost piva mezi konzumenty rychle stoupal, a tak v druhé polovině 19. století se začaly používat jednoduché plachetky, až v roce 1892 přišla firma Enzinger s novinkou na trh a tím byl filtr na filtrační hmotu. Tento filtr se těšil velké oblíbenosti a zůstal v provozech pivovaru až do padesátých let 20. století. S jeho využitím je možné se dodnes setkat v některých malých pivovarech. Filtrační hmota do tohoto filtru se připravovala z odtučněných bavlněných odpadů, které byly vyčištěné. Pro zvýšení efektivity filtrace se do bavlněných odpadů přidávalo 0,2 až 0,5 % azbestu, který je v dnešní době ze zdravotního hlediska konzumentů zakázán (Basařová et al. 2021). Kosař & Procházka (2012) doplňují, že filtrační hmotu těchto filtrů se azbest nahradil celulósou.

3.5 Zákalotvorné látky

Pivo je komplexní směs, která obsahuje více než 450 složek a další látky jako jsou proteiny, nukleové kyseliny, polysacharidy a lipidy. Právě bílkoviny, které jsou důležité pro pěnivost piva, také ovlivňují zákal a koloidní stabilitu výsledného piva. Jedná se především o polyproteiny, které mají původ z ječmene a jsou produktem enzymatických reakcí. Zákal je pro konzumenty jasným důkazem o kvalitě piva (Jin et al. 2018). Proto je nutné eliminovat v pivu částice, které zákal způsobují, pokud se nejedná o nefiltrovaná piva, u kterých je zákal či sediment přirozenou součástí (Bamforth 2016). Pokud pivo nebude uvařeno z kvalitních surovin, tak je vysoké riziko vzniku zákalu i po filtraci, kterou způsobuje hlavně kvalita použitého sladu. Zákal a koloidní stabilitu piva negativně ovlivňují glukany a arabinoxylany, které ovlivňují viskozitu, stabilitu pěny a plnost piva (Sadosky et al. 2018).

Látky, které mohou způsobovat zákal v pivu je několik, ale nejčastěji se jedná o polyfenoly a glukany (β -glukan, α -glukan, glykogen). Zákal může tvořit i škrob, pokud by byl obsah sklovitých zrn vyšší než 3 % či při špatném šrotování zapříčiněním špatným nastavením válců šrotovníku. Ke tvorbě zákalu stačí pouze 2 mg/l bílkovin (Steiner et al. 2011). Mezi hlavní problémové proteiny patří prolin. Polyfenoly, které se do piva dostávají prostřednictvím sladu a chmele, tak mají vliv na svíravou chuť a koloidní stabilitu. Mezi zákalotvorné polyfenoly patří monomery, dimery, trimery a vyšší polymery proanthokyanidů, epikatechinu a galokatechinů. Sladování a následný varný proces, také napovídá, jestli bude problém při filtraci piva a zda bude jeho koloidní stabilita ohrožena. Bylo prokázáno, že vysoké koncentrace modifikovaného škrobu jsou prekurzorem pro možný vznik zákalu i po filtraci (Sadosky et al. 2018).

3.6 Filtrační materiály

Pro správné fungování filtrační stanice je důležité mít porézní filtrační přepážku a filtrační materiál. Před vlastní filtrací je filtrační materiál nanášen na filtrační přepážku a se zrnitý materiál přidává do nepřefiltrovaného piva. Následně je tento zrnitý materiál zachycen na filtrační přepážce a tím se rozšiřuje filtrační vrstva (SLABÝ et al. 2018). Wang (2006) doplňuje, že filtrační materiál bez filtrační přepážky se nedá použít.

Filtrační materiály se rozdělují do tří základních skupin:

- Vlákňité: pivovarská hmota, syntetické tkaniny, celulóza
- Zrnité a vlákňité: křemeliny, perlity, kombinované s celulosovými vlákny, silikagely, aktivní uhlí
- Pórovité: membrány z plastu, kovu a keramiky

Důležité je, aby se dané filtrační materiály používaly správně, neboť ve vhodném technologickém zařízení se pomocí filtračního materiálu vytvoří přepážky dle velikosti pórů a je možné díky dalším vlastnostem možné oddělovat částice o různých velikostech, a to až po částice tvořící zákal – koloidní částice (Fillaudeau et al. 2007). Podle dostupných dat z roku 2005 se roční výstav piva pohyboval okolo 1,53 biliónů hektolitřů piva a 91 % bylo filtrováno pomocí křemelinové filtrace a pouze 8 % bylo filtrováno pomocí membránových technik (Basařová et al. 2021).

3.6.1 Pivovarská hmota

Jedná se o vlákňitý materiál, který se řadí mezi nejstarší filtrační prostředky. Dnes se jedná již o málo používaný filtrační materiál. Byl připravován z odtučněných a přečištěných bavlněných odpadů. Tato hmota se dala využívat opakovaně, jelikož se vyznačovala dlouhou životností (Kinčl 2022). Obsahovala až 100 % α -celulósy. Bavlněný odpad se lisoval do tvaru filtračních koláčů o průměru 50 až 55 cm a tloušťce 5 až 6 cm. Během filtrace byly zachycovány částice větší než 12 μm (SLABÝ et al. 2018). Pro větší adsorbční účinek se přidával dlouze vlákňitý azbest, který je v dnešní době hygienickým a zdravotním rizikem, a proto se dnes nepoužívá, ale byl nahrazen umělohmotným či skleněným materiálem. Nevýhoda hmoty je její pracná regenerace a velké ztráty na filtrovaném pivě. Když nastane při filtraci ztráta čirosti filtrovaného piva nebo při nadměrném nárůstu tlakového rozdílu, tak je filtrace ukončena a filtračním koláče se musí vyměnit neboli regenerovat (Basařová et al. 2021).

3.6.2 Perlit

Jedná se o křemičitany hlinité, které jsou vulkanického původu, které obsahují 2-3 % vázané vody v přírodním stavu. Bývá také označován jako vulkanické sklo. Surový perlit je sušen v rotační peci při vysokých teplotách okolo 800 °C. Vázaná voda expanduje a perlit zvětší svůj objem asi třicetkrát. Poté se rozemele a vznikne lehký, jemný prášek. Vyrábí se mnoho druhů perlitů o různě rozdílných jemnostech (Kosař & Procházka 2012). Jeho výskyt je v několika metrových vrstvách po celém světě např. USA, Japonsko, Belgie, Turecko, Rusko a Slovensko. Perlit obsahuje 13 až 15 % oxidu hlinitého, který se váže v hlavní složce

křemičitanu hlinitém. Dále obsahuje železo, vápník, sodík a dle původu je možné najít v perlitu i malé množství titanu, hořčíku či fosforu. Perlit nemá pórovitou strukturu, a proto má vyšší průtočnost a propustnost než křemelina na menší filtrační schopnost (Petrović et al. 2011). Při nižších hodnotách pH má perlit schopnost uvolňovat železo a vápník, tak se tento filtrační materiál využívá především pro filtraci sladiny nebo mladiny, protože dosahují pH 5,2 až 5,6. Perlit v porovnání s křemelinou nedosahuje takové čírosti, proto se využívá pro filtraci již zmíněné sladiny, mladiny anebo nahrazuje při filtraci hlavní náplav místo hrubé křemeliny nebo je do ní přimícháván (SLABÝ et al. 2018).

3.6.3 Aktivní uhlí

Jedná se o vysoce porézní uhlík, který je ve formě grafitových destiček. Jejich povrch je velký přibližně $500-1200 \text{ m}^2/\text{g}^{-1}$. Má velkou adsorbční schopnost, zejména vůči barevným látkám, které pivo obsahuje (Basařová et al. 2021). Jeho využití je hojně uplatňováno při čištění vody, kdy se zachytávají řady anorganických a organických polutantů a závisí na jeho modifikacích. V pivovarství je aktivní uhlí využíváno ke snížení obsahu polyfenolů, dusíkatých sloučenin, barvy a hořkých látek, které zapříčiňují drsnou chuť. V praxi bylo zjištěno, že filtrace pomocí aktivního uhlí snižuje obsah látek, které vznikají při oxidaci lipidů (SLABÝ et al. 2018).

3.6.4 Křemelina

Křemelina se řadí mezi práškové filtrační materiály s částicemi o průměru 5 až 20 μm , které na filtrační přepážce utvářejí velmi účinnou filtrační vrstvu. Jedná se o nejčastější a nejrozšířenější filtrační materiál, který se využívá pro filtraci piva. V historii se křemelina mísila s pivovarskou hmotou, ale filtrace pomocí křemeliny se začalo používat až ve třicátých letech 20. století. Své začátky měla křemelina v anglosaských zemích a až později v Severní Americe. V Evropě se začalo filtrovat pivo pomocí křemeliny až po druhé světové válce (Kupetz et al. 2015). Křemelina se získává ze sladkovodních nebo mořských rozsivek, které čítají přes 15 000 druhů s různými tvary. Rosivky jsou mikroskopické bezkvěté vodní rostliny a jejich schránky obsahují oxid křemičitý (Kosař & Procházka 2012). Pravděpodobně vlivem změny klimatu docházelo k jejich hromadnému vymírání. Jejich mrtvé schránky, které jsou tvořené převážně křemíkem začaly tvořit až 300 metrů silné vrstvy. Z těchto schránek se křemelina připravuje. Největším nalezištěm se nacházejí v USA v Kalifornii a Nevadě (SLABÝ et al. 2018). Basařová et al. (2021) doplňují, že největší naleziště křemeliny se nachází v jižních Čechách, ale vrstva je podstatně nižší. Podle propustnosti se křemelina dělí na jemnou, střední a hrubou. Pro základní naplavovací vrstvy se používají křemeliny hrubé a střední. Jemné křemeliny se využívají pro získávání čirého filtrátu a jsou přimíchávány k hrubým. Do dnešní doby je křemelina používána pouze jednorázově. Landerer et al. (2017) doplňují, že se jedná o vyčerpateľný přírodní zdroj. Cena recyklace křemeliny za jednu tunu se pohybuje kolem 170 euro (Fillaudeau et al. 2007).

Jelikož je křemelina jako filtrační materiál hojně využíván, tak nastává problém s její likvidací. Do budoucna by bylo z hlediska ekologie dobré přejít na filtrační postupy kde se křemelina nevyužívá. Velké průmyslové pivovary se tímto problémem zabývají a řeší ho, ale tento problém se týká především malých pivovarů a minipivovarů, tudíž by se tento problém

do budoucnosti rozhodně neměl podceňovat (Landerer et al. 2017). V současnosti se křemelina považuje jako odpad pivovarského průmyslu, který je potřeba šetrně zlikvidovat. Proto se přimíchává do sladového mláta, deponuje se, zemědělci je přenášena na zemědělskou plochu společně s biologickým odpadem. Některé pivovary přenechávají křemelinu firmám, které se zabývají výrobou stavebních materiálů. Globálně není velký zájem o zpracovávání odpadní křemeliny (SLABÝ et al. 2018). Křemelina se nesmí dostávat do spodních vod, jelikož její přítomnost podporuje vznikání kalů v kanalizacích. Při práci s křemelinou se musí dbát zvýšené opatrnosti při manipulaci s ní, protože její prach je považovaná za karcinogenní látku a při vdechování vyvolává silikózu. Její výroba je ekologicky náročná, protože při tom vznikají skleníkové plyny (Landerer et al. 2017). Přítomnost železa v křemelině může ovlivnit nepříznivě stabilitu piva a může přispět k jeho přepěňování. Doporučuje se přimíchávat do křemeliny celulosová vlákna, protože jejich likvace není tak ekologicky náročná jako u křemeliny (Kupetz et al. 2015).

3.6.4.1 Chemické složení křemeliny

Hlavní podíl zaujímá křemík a jeho obsah je vyjádřen v oxidu křemičitém. Obsah oxidu křemičitého ve filtračních křemelinách se pohybuje v rozmezí 80 až 90 %. Surová křemelina dále obsahuje rozdílné množství iontů železa, hliníku, titanu, vápníku, hořčíku a alkalických kovů. Jejich obsah je závislý na kvalitě surové křemeliny a způsobu úpravy. Další prvek, který křemelina obsahuje je železo, které ovlivňuje její barvu (Martinovic et al. 2006). Reka et al. (2021) doplňují složení křemeliny o další prvky, a to oxid manganatý, oxid fosforečný. Z hlediska minerálního složení je křemelina krystalický křemen, muskovitem, kaolitem a živcem. Zpracovává se při vysokých teplotách okolo 1000 až 1200 °C.

Oxid železitý, ve kterém se obsah železa vyjadřuje se pohybuje v rozmezí 1 až 1,5 %. Pokud obsah železa v křemelině překoná 2 % může svým vyluhováním se do piva ovlivnit jeho organoleptické vlastnosti. Hliník je v křemelině zastoupen 4 až 5 % a tyto hodnoty by se neměly přesahovat, kvůli jeho amorfnímu charakteru, který negativně ovlivňuje filtrační propustnost. Obsah vápníku bývá v rozmezí 0,5 až 1,5 % a je vyjadřován jako oxid vápenatý. Také negativně ovlivňuje filtraci, ale jeho vliv je menší, než vliv železa (Van Mieghem et al. 2023). Barva křemeliny je ovlivněna hořčíkem, který ve vysokých koncentracích negativně ovlivňuje její barvu. Celkový obsah vody souvisí se způsobem jejího zpracování. Maximálně přípustná hodnota vlhkosti se pohybuje okolo 5 %, protože vyššími hodnotami se zhoršuje její manipulace při dopravě, skladování a je náchylnější k přijímání okolních pachů do sebe (Basařová et al. 2021).

Je důležité sledovat koncentraci kovových iontů, které křemelina obsahuje, jelikož mohou negativně ovlivnit sensorické vlastnosti a kvalitu filtrovaného piva. Hlavně se hlídá množství železa, které se přes křemelinu může dostat do piva (Kupetz et al. 2015). V porovnání křemeliny a perlitu se při filtraci piva přes křemelinu přechází do piva až třikrát více železa a desetkrát více vápníku než při filtraci, kde byl použit perlit. Piva, která obsahují více než 0,4 mg·l⁻¹ železa mají nepříjemnou kovovou chuť. Často bývá jako důvod kovové chuti označovaná využití filtrace pomocí křemeliny a podle jejího obsahu železa se dá očekávat výsledná koncentrace železa ve filtrovaném pivu, proto je důležité sledovat obsah železa

v surové křemelině (ČEJKA et al. 2004). Přítomnost železa v křemelině může ovlivnit nepříznivě stabilitu piva a může přispět k jeho přepěňování (Landerer et al. 2017).

3.6.5 Filtrační membrány

Membrány jsou tuhé, kompaktní materiály, kterými mohou procházet látky různou rychlostí. Tento jev je využíván při separaci dvou nehomogenních, ale i homogenních fází. Existují membrány pro sterilační filtraci v podobě filtračních svíček, či plochých desek pro filtraci s přímým nátokem. Membrány mají malou tloušťku, malé rozměry pórů a vysokou pórovitost, která je potřebná ke snadnému oddělení dvou fází. Využívá se fyzikálně-chemické interakce mezi membránou a kapalinou. Nemusí se jednat pouze o kapalinu, ale i o difúzi, adsorpci, iontové rovnováhy a mechanické oddělení částic (Mulder 1996). Membrány, které se používají při filtraci piva jsou vyráběny především z plastových materiálů jako polyethersulfon, nylon, polypropylen, keramika, dutá vlákna, polyakrylát a polyamidy, které mají velikost pórů v rozmezí 10 až 0,2 μm . Fyzikální vlastnosti membrán zachycují mikroorganismy, které by mohli pivo zkazit, ale zároveň nemění jeho organoleptické vlastnosti. Výhody keramických, skleněných a kovových membrán je jejich pevnost a neflexibilní tvar na rozdíl od plastových membrán. Membrány jsou vyráběny různými technikami např. spékáním, tvorbou filmů z roztoků polymerů (SLABÝ et al. 2018). Jin et al. (2018) uvádějí, že životnost některých membrán se přibližuje až ke třem letům používání.

3.7 Naplavovací křemelinová filtrace

Velikost filtrační plochy pro křemelinové filtrace se navrhuje pro průtok $5 \text{ hl m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Pevnou přepážkou mohou být desky, síta nebo svíčky. Podle umístění ploch filtračních přepážek se filtry dělí na vertikální či horizontální. Dnešní křemelinové filtrace jsou natolik účinné, že není zapotřebí po filtraci ještě dofiltrovávat pivo na deskové filtru. Pouze při dodržení předepsaných zásad. V praxi je účinek křemelinové filtrace měřen pomocí zákalometrů, které měří zákal v jednotkách EBC (Wang 2006). Zda je přefiltrované pivo jiskrné, tak se hodnota tzv. nefelometrického zákalu pohybuje pod hodnotu 0,5 j. EBC a dopředný neboli průhledový zákal menší než hodnoty 0,15 j. EBC, který je měřen po celou dobu filtrace. Během filtrace pomocí křemeliny není koncentrace křemíku ve výsledném pivě nijak významně ovlivněna. Pokud by byly použity koloidní stabilizátory např. polyvinilpyrrolidin (PVPP) silikagel, tak koncentrace křemíku není nijak významně ovlivněna (Olšovská et al. 2017).

Během křemelinové filtrace dochází ve filtrační vrstvě křemeliny k vymývání velkého spektra polyfenolických složek, které jsou obsaženy v extraktu. Občas bývají obsaženy v komplexech společně s bílkoviny (Kupetz et al. 2015). Ve filtrační vrstvě křemeliny probíhají složité biochemické procesy, které ovlivňuje tlak, teplota, pH a reologické vlastnosti nefiltrovaného piva. Tento proces může ovlivnit i chemické složení křemeliny, která je použita k filtraci. Jelikož filtrace jedné šarže piva trvá i několik hodin (SLADKÝ & DIENSTBIER 2003).

Pro jednotlivé nanášení základní vrstvy křemeliny a pro její dávkování v průběhu filtrace se používají dávkovací zařízení nebo membránová či peristaltická čerpadla. Tato zařízení musí zajistit plynulé dávkování kapaliny do filtru (Kunze 2004). Křemelina se musí rozmíchat v odplyněné vodě za přítomnosti oxidu uhličitého a mělo by se jednat o tlakovou nádobu, aby nedocházelo k jeho ztrátám. Základní náplav je prováděn suspenzí hrubé křemeliny a vody. Do této suspenze musí být přívod oxidu uhličitého, aby se zbavila kyslíku a nehrozilo, že by filtrované pivo přišlo do kontaktu s kyslíkem (Wang 2006). Důležité je zvolit správný poměr křemelin. Na základní náplav by mělo být použito $800\text{--}1200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ a vzniklá filtrační vrstva křemeliny měla mít tloušťku 2–3 mm. Náplav jedné vrstvy by měl trvat 10 až 15 minut. Následně je tato směs rychle nadávkována do potrubního okruhu filtrace. Výběr křemeliny by měl odpovídat danému typu filtru a danou filtrovatelností piva. Při filtraci nesmí docházet k nárůstu rozpuštěného kyslíku ani ke změně fyzikálně chemických vlastností piva (ztráta barvy, hořkých látek) (Martinovic et al. 2006). Celý proces filtrace musí být mikrobiologicky a chemicky nekontaminovaným prostředím, tudíž je potřeba dbát na čistotu a sanitaci zařízení. Další důležitým kritériem správnosti filtrace je čírost filtrátu, který by mohl být ohrožen, pokud by v ležáckém tanku pivo obsahovalo příliš mnoho kvasnic (Basařová et al. 2021).

3.8 Filtrace sladiny

Celkový obsah těchto gumovitých látek negativně ovlivňuje proces scezování a filtraci sladiny a jsou významným ekonomickým ukazatelem při výrobě piva. Množství β -glukanů u dvouřadých ječmenů, které jsou přijatelné ve sladině je 241 mg/l a u více řadých ječmenů jich je 382 mg/l. Obsah β -glukanů, které jsou přirozeně přítomny v ječmeni jsou ovlivněny genetickými faktory a vlivem vnějšího prostředí, ale genetické faktory převažují (Nesvadba et al. 2023). Scezování musí splňovat požadavky: vysokou kvalitu sladiny chemické složení a čírost, vysoký průtok filtrátu. Studie ukázaly, že hydrofobní polytetrafluorethylenová membrána má vyšší propustnost sladiny než hydrofilní polyamidová membrána. Dále bylo zjištěno, že velikost pórů nemusí vést k lepší propustnosti filtrátu. Bývá to v důsledku zanášení pórů částicemi o podobné velikosti (Schneider et al. 2005).

Pokud se sladované zrno ječného sladu při šrotování příliš rozdrťí, takže se nezachová celistvost pluch komplikuje celý proces vaření, ale především filtraci sladiny, která se následně projeví i při filtraci piva. Je i nízká hladina extraktu vlivem jemného mletí. Bývá spotřebováno více filtračního materiálu. Pokud jsou to výroby použity sladové náhražky, které zvyšují viskozitu sladiny, tak se do rmutování přidává celulósa. Tento problém nastává při použití nesladovaného ječmenu, ovsa a tritikale. Při používání kukuřice, rýže a pšenice jako náhražek sladů, se viskozita nezvedá. Filtrace sladiny a dokvašeného piva probíhá bez větších problémů, protože výše zmíněné plodiny neobsahují velké množství β -glukanů (Bogdan & Kordialik-Bogacka 2017). Sladina není filtrovaná pomocí membránových technologií, protože dochází k zanášení membrán pluchy a nečistotami a tím se proces filtrace zpomaluje a dochází k vyšší spotřebě energie. Během procesu scezování pomocí membránové filtrace se využívá metody cross-flow filtrace o velikosti pórů 0,45 μm . Dochází k produkci čiré sladiny, která obsahuje menší koncentrace β -glukanů, které by zhoršovaly budoucí filtraci dokvašeného piva (Ambrosi et al. 2014).

3.8.1 Sladinový filtr starší konstrukce

Sladinový filtr je podobný plachetkovému kaolisu. Na stabilním podstavci jsou mezi pevným a pohyblivým čelem střídavě uloženy litinové filtrační rámy a desky, které jsou obvykle čtvercového tvaru. Na deskách jsou upevněny bavlněné nebo syntetické plachetky, které tvoří nosnou plošinu pro vrstvu mláta. Desky jsou mezi sebou hydraulicky uzavírané (Kosař & Procházka 2012). Efektivnost těchto filtrů je do 9 várek za 24 hodin. Při využití technologie sladinového filtru je možné zpracovávat hůře rozluštěné slady a surogáty, ale dochází k vysokému provzdušnění a jsou vysoké nároky na energii a velkou náročnost obsluhy, a to především při praní bavlněných plachetek (Basařová et al. 2021).

3.8.2 Filtrace sladiny a vyslazování mláta na moderních sladinových filtrech

Důvodem pro využívání nových, moderních sladinových filtrů je zvýšit výtěžnost sladiny, omezit spotřebu vyslazovací vody, zpracovávat sladinu s nízkým obsahem mastných kyselin a nižším provzdušněním (Kunze 2004).

Mezi moderní sladinové filtry patří filtr Meura, který byl jako prototyp poprvé nainstalován v roce 1988 a první výsledky o jeho účinnosti byly publikovány v roce 1989. Tento

filtr se skládá z 35 modulů o vnějších rozměrech 2×1,8 m usazených do dutého rámu, který je rozdělen na dvě části, které jsou roztahovány stlačeným vzduchem pomocí dvěma elastickými membránami (Basařová et al. 2021). Při plném výkonu dokáže za 24 hodin zfiltrovat 12-14 várek od průměrné době scezování 103-110 minut. Jelikož je filtr uzpůsoben k menší spotřebě vyslazovací vody, tak se dá využít pro vysoko obsažné várky HGB (High Gravity Brewing). Sanitace sladivého filtru se provádí jedenkrát za týden (Kunze 2004).

3.9 Membránové procesy

Membrány a membránové procesy jsou staré jako život na Zemi. První popis membrány, která byla permsektivní (membrána pro některé látky více propustná než pro jiné) se datuje do roku 1748. Mezi membránové procesy patří revezní osmóza, nanofiltrace, ultrafiltrace, mikrofiltrace, dialýza, elektrodialýza, separace plynů a par, pervaporace (Palatý & Bernauer 2012). Membránové procesy jsou v potravinářské průmyslu přítomny déle než 30 let. Membrány jsou používány ve všech potravinářských odvětvích. Tyto procesy se využívají u zahušťování syrovátky, separaci mléčné sušiny, čiření ovocných šťáv, studenou sterilaci a pasteraci, dealkoholizaci piva a vína. Dalším významným odvětvím, které využívá membránové prosy je zdravotnictví a farmaceutický průmysl, kde se využívají technologií umělých ledvin. Lze předpokládat, že pro většinu separačních procesů budou velmi nízké energetické nároky (Mulder 1996).

Selektivnost membrán je dána materiálem, ze které je vyrobena a závisí na kvalitě jejich výroby. Rychlost propustnosti pak závisí na filtračním procesu, a hlavně na intenzitě hnací síly. Mezi hlavní nevýhody membránové filtrace je opotřebování a znečištění membrán. Tento faktor se dá oddálit včasným čištěním membrán. Membrány jsou definovány jako bariéry, které jsou mezi dvěma fázemi (Kupetz et al. 2018). Mulder (1996) uvádí, že srdcem membránového procesu je membrána, která rozděluje dvě fáze a tvoří mezi nimi permsektivní bariéru. V potravinářských provozech je nutné filtrace alespoň jednou za 24 hodin vysanitovat. Další faktor, který oddálí výměnu membrán je tlak. Při snížení tlaku filtrace dochází k menšímu zanášení membrán, ale tím narůstají náklady na energii (Basařová et al. 2021).

3.9.1 Využití membránových procesů

Začlenění membránových procesů do výroby se v několika posledních letech podařilo, ale ne ve velkém měřítku, protože stále zde zůstávají problémy se zanášením membrán a ztrátou významných chuťových vlastností piva. Jedná se vysoce energeticky účinné separační metody, které oddělují látky na základě jejich molekulárních vlastnostech. Dalším důvodem využívání těchto procesů je energetická úspora energie (Esmacili et al. 2015).

Využívají se při zahušťování kvasnic, oddělování zachyceného piva, membránovému provzdušňování kvasnic. Další využití těchto procesů je možné při výrobě nízkoalkoholických a nealkoholických piv, které se vyrábí pomocí cross-flow filtrace či dialýzy. Nečastější využití membránové filtrace je pro tzv. studenou pasteraci (Sadosky et al. 2018). Při této metodě bývají použity membrány s rozdílnou velikostí pórů. Je zajištěna předfiltrace piva, sterilní filtrace piva, filtrace vzduchu, oxidu uhličitého a vody. V současnosti jsou vyráběny membrány, které jsou obohaceny celulosou. Při filtraci jsou použity speciální filtrační vložky, které jsou vyrobeny z celulosy a je přidávána křemelina. Tomuto způsobu filtrace se říká deep bed filter (Ambrosi et al. 2014).

Pivovar plzeňský Prazdroj v roce 2006 prošel modernizací a byla křemelinová filtrace nahrazena membránovou cross-flow filtrací. Teplota piva při filtraci je 0 °C a rychlost průtoku piva filtrací je 1,5 m·s⁻¹. Tato filtrační linka je schopna přefiltrovat 600 hl/h⁻¹. Výhodou představuje eliminace možnosti rozpouštění kovů, které křemelina přirozeně obsahuje. Další pivovar, který využívá membránové technologie je pivovar Radegast. Využívá studenou

pasteraci pro sudové pivo na jejich KEG lince. Za hodinu tato linka stočí to sudů 100 hl piva. Při využívání membránové technologie studené pasterace, tak je možné na této lince pivo pasterovat pomocí průtokového pastéru (Basařová et al. 2021).

V pivovarství bývají využívány tlakové membránové procesy, u kterých závisí na hodnotě využívaného tlaku a velikostí pórů v membránách, které jsou používány. Membránová filtrace by měla být schopna produkovat světlé pivo s obdobnou kvalitou jako křemelinové filtry, a to při nízkých teplotách (0–2 °C). Při filtraci pomocí membrán se musí regenerovat pomocí proplachů a membrány jsou s každou regenerací hůře prostupné. Musí být schopna produkovat čiré pivo, které odpovídá EBC normám (European Brewery Convention) (Ambrosi et al. 2014). Po filtraci piva bývá pasterizace, která je provedena pomocí deskového výměníku. Pasterizace je nezbytná k prodloužení trvanlivosti piva na 3-6 měsíců. Tento krok nahrazuje sterilní filtrace – cross-flow mikrofiltrace, která nemění organoleptické vlastnosti piva na rozdíl od pasterizace (Esmaeili et al. 2015).

Důvod využívání mikrofiltrace je produkce piva, u kterého nejsou negativně ovlivněny jeho sensorické vlastnosti. Zachovává barvu, chuť, aroma a stabilitu pěny. Tento membránový proces je nainstalován před plnič. U této membránové metody musí být splněny přísné provozní podmínky. Teplota okolo 0 °C, celý systém musí být v ochranné atmosféře oxidu uhličitého. Průtok permeátu závisí na viskozitě, ale jeho plného potencionálu nemůže být dosaženo z důvodu zanášení membrán, což má za následek snížení průtoku permeátu a prostupnost membrány závislé na čase (Fillaudeau & Carrère 2002). Esmaeili et al. (2015) doplňují, že mikrofiltrace nemění sensorické vlastnosti a kvalitu filtrovaného piva.

Membrány jsou častěji měněny z důvodu jejich zanášením koloidními částicemi. Při filtraci piva použitím membránové filtrace se musí pečlivě zvolit velikost pórů membrán, aby docházelo k zachycení mikroorganismů, které se v pivu nachází. Z ekonomického pohledu musí být póry, tak velké, aby bylo možné využít co nejdelšího filtračního cyklu. Mikrobiologické testy ukázaly nutnost použití pórů o průměru 0,45 μm, anebo menších kvůli separaci mikroorganismů, které by mohli způsobovat zákal (Kupetz et al. 2018). Pokud by se zvolila velikost pórů membrány 0,2 μm, tak filtr přefiltruje pouze 1 % objemu piva křemelinové filtrace. Makromolekulární gely velmi zanáší membrány a snižují jejich účinnost. Rychlost průtoku permeátu přes filtraci závisí na fyzikální a chemickém složení piva, které je v danou chvíli filtrováno (Esmaeili et al. 2015). Za zanášení membrán jsou zodpovědné kvasnice, koloidní zákal (bílkoviny, pentosany, β-glukany). Gely, které vznikají na membránách a znemožňují filtraci tvoří hlavně β-glukany s vysokou molekulovou hmotností (Jin et al. 2018).

3.9.2 Filtrace nealkoholické piva

Nealkoholická piva jsou vyráběna pomocí fyzikálních procesů, které odstraňují ethanol z piva. Nebo se využívá metody, kdy v průběhu fermentace vzniká omezené množství ethanolu. Mezi fyzikální metody se řadí: vakuová rektifikace, odpařování, destilace v koloně, osmotická destilace, dialýza, reverzní osmóza (Montanari et al. 2009). Použití těchto metody vyžaduje vysoké investice do speciálních zařízení, které odstraní alkohol z piva. Výsledný produkt se potýká se špatnými sensorickými vlastnostmi, které jsou zapříčiněny ztrátou vyšších alkoholů a esterů. Nejvíce uplatňovaná metoda výroby nealkoholického piva je neúplné prokvášení mladiny (Lorizzo et al. 2021).

Většina průmyslových pivovarů nemají technologické zařízení pro membránové technologie, tak bývá filtrováno pomocí křemelinové filtrace. Reverzní osmóza je membránová technologie, která se využívá k odsolování, čištění odpadních vod a dealkoholizaci piva (Montanari et al. 2009). Tlak, který se využívá při reverzní osmóze musí být větší osmotický tlak piva, jinak by nedošlo k oddělení. Tento proces probíhá za vysokých tlacích (60 barů). Využívají se membrány vyrobené z acetátu celulósy, polyamidu nebo polyestersulfonu. Membrána by měla být tepelně odolná (Güzel et al. 2020).

4 Závěr

Filtrace piva je pro velké průmyslové pivovary samozřejmostí. Minipivovary se až na ojedinělé výjimky filtrací piva nezabývají a produkují pivo nefiltrované, u kterého spotřebitel může očekávat zákal a sediment. Je zapotřebí oddělit zákalotvorné látky (polyfenolické látky, β -glukany, arabinoxylany, glykogen, škrob), aby nedocházelo ke zkáze filtrovaného piva. Důvody proč filtrovat pivo bylo několik. Přechod na skleněné pivní sklenice, prodloužení doby minimální trvanlivosti piva, dopravě na delší vzdálenosti. Pokud pivo nebude vyrobeno z kvalitních surovin, tak filtrační procesy nemusí jeho dobu trvanlivosti prodloužit. Pokud filtrované pivo nebude skladováno dle předepsaných skladovacích podmínek, pak může být jeho koloidní stabilita ohrožena.

Obsah zákalotvorných látek je možný ovlivnit již na poli, když je ječmen sklizen, ale během dalších technologických procesech je možné obsah především β -glukanů ovlivnit. Obsah β -glukanů ovlivňují proces scezování, filtraci sladiny a dokvašeného piva nejvíce. Koloidní zákal vzniká v pivě již při obsahu 2 mg/l bílkovin. Tyto látky, také ohrožují stabilitu pěny a celkový sensorický profil filtrovaného piva.

Nejvíce rozšířený způsob filtrace je křemelinová filtrace. Její provoz je neekonomičtější z hlediska spotřeby filtračního materiálu, kterým je křemelina. Využíváním této metody filtrace nedochází ke zhoršení kvality piva, pokud je při filtraci používána kvalitní křemelina, která neobsahuje vyšší koncentraci iontů železa než $0,4 \text{ mg/l}^{-1}$, jelikož ovlivňuje chuť a vlivem železa by mohlo mít pivo kovové chutě. Nekvalitní křemelina negativně ovlivňuje barvu filtrovaného piva. Jelikož je to nejpoužívanější filtrační metoda, tak se zásoby křemeliny zmenšují. Největší problém je při jejím zpracování, likvidaci a manipulaci. Protože její ekologická recyklace je nákladná a složitá, tak se pivovary snaží omezovat její spotřebu a přimíchávají do křemeliny celulosu. Při její výrobě vznikají skleníkové plyny a při manipulaci s ní je nutné dbát zvýšené opatrnosti, protože její vdechování způsobuje zdravotní komplikace. Konkrétně silikózu a je brána jako karcinogenní.

Membránové procesy se v potravinářských provozech hojně využívají a v pivovarství tomu není jinak. Membrány jsou využívány při filtraci sladiny, dokvašeného piva, ale i při výrobě nealkoholického piva, které se vyrábí např. revezní osmózou. Membrány jsou pro pivovary spíše budoucností, jelikož technologická zařízení jsou pro provozy nákladná k pořízení, ale z hlediska filtrace piva jsou výbornou alternativou za křemelinovou filtraci, která zatěžuje životní prostředí a ohrožuje svými vlastnostmi pracovníky, kteří s ní manipulují. Výhody membrán je i jejich dlouhá životnost. Pivo filtrované pomocí membránových procesů je filtrováno při nízkých teplotách a nahrazuje pasteraci, tudíž pivo není vystaveno tepelnému záhřevu a nemění se jeho organoleptické a sensorické vlastnosti.

5 Literatura

- Ambrosi A, Cardozo NSM, Tessaro IC. 2014. Membrane Separation Processes for the Beer Industry: a Review and State of the Art. *Food and Bioprocess Technology* **7**:921-936. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s11947-014-1275-0> (accessed April 21, 2024).
- Bamforth CW. 2016. Haze Measurement. *Brewing Materials and Processes*:251-256. Elsevier. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780127999548000125> (accessed April 17, 2024).
- Basařová G, Hlaváček I, Basař P, Hlaváček J. 2011. *České pivo3.*, dopl. vyd. Havlíček Brain Team, Praha.
- Basařová G, Šavel J, Basař P, Basařová P, Brož A. 2021. *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. Vydání druhé, přepracované, doplněné a aktualizované. Havlíček Brain Team, Praha.
- Bogdan P, Kordialik-Bogacka E. 2017. Alternatives to malt in brewing **65**:1-9. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224416300930> (accessed April 19, 2024).
- Boulton C. 2013. *ENCYKLOPEDIA OF BREWING*. Wiley-Blackwell.
- Briggs DE, Boulton CA, Brookes PA, Stevens R. 2004. *Brewing Science and practice: science and practice*. CRC Press, Boca Raton.
- ČEJKA P, KELLNER V, ČULÍK J, JURKOVÁ M, HORÁK T, RATKOŠ M. 2004. Level and Impact of Metals in Kieselguhr. *Kvasny Prumysl* **50**:97-101. Available at <http://kvasnyprumysl.cz/doi/10.18832/kp2004007.html> (accessed April 12, 2024).
- Esmaeili S, Peivasteh roudsar L, Mortazavian A, Khosravi-Darani K, Sohrabvandi S. 2015. Utilization of membrane systems in beer processing. *Archives of Advances in Biosciences* **6**:149-159. Available at <https://journals.sbmu.ac.ir/aab/article/view/9013> (accessed April 21, 2024).
- Fillaudeau L, Boissier B, Moreau A, Blanpain-avet P, Ermolaev S, Jitariouk N, Gourdon A. 2007. Investigation of rotating and vibrating filtration for clarification of rough beer. *Journal of Food Engineering* **80**:206-217. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026087740600416X> (accessed April 15, 2024).
- Fillaudeau L, Carrère H. 2002. Yeast cells, beer composition and mean pore diameter impacts on fouling and retention during cross-flow filtration of beer with ceramic membranes. *Journal of Membrane Science* **196**:39-57. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0376738801005683> (accessed April 15, 2024).

- Güzel N, Güzel M, Savaş Bahçeci K. 2020. Nonalcoholic Beer. 167-200 in Trends in Non-alcoholic Beverages, 2020 edition. Elsevier. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128169384000069> (accessed April 21, 2024).
- Chládek L. 2007. Pivovarnictví, 1st edition.. Grada Publishing, Praha. Available at www.grada.cz (accessed March 10, 2024).
- Jin Y-L, Speers RA, Paulson AT, Stewart RJ. 2018. Effect of β -Glucans and Process Conditions on the Membrane Filtration Performance of Beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* **62**:117-124. Available at <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1094/ASBCJ-62-0117> (accessed April 20, 2024).
- Kahle E-M, Zarnkow M, Jacob F. 2021. Beer Turbidity Part 1: A Review of Factors and Solutions. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* **79**:99-114. Available at <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03610470.2020.1803468> (accessed April 12, 2024).
- Kinčl T. 2022. Praxe výroby piva nejen v malých pivovarech. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha.
- Kosař K, Procházka S. 2012. Technologie výroby sladu a piva 3rd ed. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha.
- Kunze W. 2004. Technology brewing and malting 3rd ed.. VLB, Berlin.
- Kupetz M, Procopio S, Sacher B, Becker T. 2015. Critical review of the methods of β -glucan analysis and its significance in the beer filtration process. *European Food Research and Technology* **241**:725-736. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s00217-015-2498-7> (accessed April 20, 2024).
- Kupetz M, Rott M, Kleinlein K, Gastl M, Becker T. 2018. A new approach to assessing the crossflow membrane filtration of beer at laboratory scale. *Journal of the Institute of Brewing* **124**:450-456. Available at <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jib.529> (accessed April 21, 2024).
- Landerer K, Mödinger M, Šuráň J, Janík P. 2017. Udržitelnost provozu minipivovaru, 1st edition.. Českomoravský svaz minipivovarů, Praha.
- Lodolo EJ, Kock JLF, Axcell BC, Brooks M. 2008. The yeast *Saccharomyces cerevisiae* the main character in beer brewing. *FEMS Yeast Research* **8**:1018-1036. Available at <https://academic.oup.com/femsyr/article-lookup/doi/10.1111/j.1567-1364.2008.00433.x> (accessed April 20, 2024).
- Lorizzo M, Coppola F, Letizia F, Testa B, Sorrentino E. 2021. Role of Yeasts in the Brewing Process: Tradition and Innovation. *Processes* **9**. Available at <https://www.mdpi.com/2227-9717/9/5/839> (accessed April 20, 2024).

- Maicas S. 2020. The Role of Yeasts in Fermentation Processes. *Microorganisms* **8**. Available at <https://www.mdpi.com/2076-2607/8/8/1142> (accessed April 20, 2024).
- Martinovic S, Vlahovic M, Boljanac T, Pavlovic L. 2006. Preparation of filter aids based on diatomites. *International Journal of Mineral Processing* **80**:255-260. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301751606001098> (accessed April 17, 2024).
- Montanari L, Marconi O, Mayer H, Fantozzi P. 2009. Production of Alcohol-Free Beer. 61-75 in *Beer in Health and Disease Prevention*, 2009 edition. Elsevier. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123738912000067> (accessed April 21, 2024).
- Motyková K, černožorská M. 2003. Historie. *Kvasný průmysl* **49**:162-163. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha
- Mulder M. 1996. *Basic Principles of Membrane Technology* second edition. Kluwer Academic Publisher. Available at 10.1007/978-94-009-1766-8 (accessed March 11, 2024).
- Nesvadba Z, Psota V, Hartman I, Mařík P. 2023. Grain and malt quality of selected winter barley genetic resources. *KVASNY PRUMYSL* **69**:786-802. Available at <https://kvasnyprumysl.eu/index.php/kp/article/view/295> (accessed April 14, 2024).
- Olšovská J, Čejka P, Štěrba K, Slabý M, Frantík F. 2017. *Senzorická analýza piva*. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha.
- Palatý Z, Bernauer B. 2012. *Membránové procesy*. Vysoká škola chemicko-technologická, V Praze.
- Petrović DV, Mitrović ČB, Trišović NR, Golubović ZZ. 2011. On the Particles Size Distributions of Diatomaceous Earth and Perlite Granulations. *Strojnicki vestnik – Journal of Mechanical Engineering* **57**:843-850. Available at <http://www.sv-jme.eu/article/on-the-particles-size-distributions-of-diatomaceous-earth-and-perlite-granulations/> (accessed April 21, 2024).
- Preedy VR. 2009. *Beer in Health and Disease Prevention*, 2009 edition.. Elsevier, London.
- Priest FG, Stewart GG. 2006. *Handbook of Brewing* 2nd ed.. CRC Press, Boca Raton. Available at <https://www.crcpress.com> (accessed April 25, 2024).
- Prugar J. 2008. *Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí*. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV, Praha.
- Rani H, Bhardwaj RD. 2021. Quality attributes for barley malt: “The backbone of beer.” *Journal of Food Science* **86**:3322-3340. Available at <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.15858> (accessed April 19, 2024).

- Reka AA, Pavlovski B, Fazlija E, Berisha A, Pacarizi M, Daghmehchi M, Sacalis C, Jovanovski G, Makreski P, Oral A. 2021. Diatomaceous Earth: Characterization, thermal modification, and application. *Open Chemistry* **19**:451-461. Available at <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/chem-2020-0049/html> (accessed April 20, 2024).
- Sadosky P, Schwarz PB, Horsley RD. 2018. Effect of Arabinoxylans, β -Glucans, and Dextrins on the Viscosity and Membrane Filterability of a Beer Model Solution. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* **60**:153-162. Available at <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1094/ASBCJ-60-0153> (accessed April 20, 2024).
- Schneider J, Krottenthaler M, Back W, Weisser H. 2005. Study on the Membrane Filtration of Mash with Particular Respect to the Quality of Wort and Beer. *Journal of the Institute of Brewing* **111**:380-387. Available at <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2050-0416.2005.tb00223.x> (accessed April 15, 2024).
- Singh R, Satyannarayana KVV, Vinoth Kumar R, Ganesh Moorthy I. 2020. Membrane Technology in Bioprocess Engineering. *Bioprocess Engineering for Bioremediation*:1-26. Springer International Publishing, Cham. Available at http://link.springer.com/10.1007/698_2020_505 (accessed April 12, 2024).
- Sinha NK. 2007. *Handbook of Food Products Manufacturing*. Wiley-Interscience. Available at https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=dZdhkaR9NzoC&oi=fnd&pg=PA443&dq=beer+water&ots=mmhRMBYSUY&sig=BnKVwBxwsD-R1uOrCceJWpxM4HQ&redir_esc=y#v=onepage&q=beer%20water&f=false (accessed April 19, 2024).
- SLABÝ M, ŠTĚRBA K, OLŠOVSKÁ J. 2018. Filtration of Beer - A Review. *Kvasny Prumysl* **64**:173-184. Available at <http://kvasnyprumysl.cz/doi/10.18832/kp201823.html> (accessed March 10, 2024).
- SLADKÝ P, DIENSTBIER M. 2003. Turbidimetric Titration Analyses of Classical Kieselguhr Filtration. *Kvasny Prumysl* **49**:188-191. Available at <http://kvasnyprumysl.cz/doi/10.18832/kp2003014.html> (accessed April 14, 2024).
- Steiner E, Arendt EK, Gastl M, Becker T. 2011. Influence of the malting parameters on the haze formation of beer after filtration. *European Food Research and Technology* **233**:587-597. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s00217-011-1547-0> (accessed April 15, 2024).
- Van Mieghem T, Delvaux F, Dekleermaeker S, Britton SJ. 2023. Top of the Ferrous Wheel – The Influence of Iron Ions on Flavor Deterioration in Beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* **81**:493-503. Available at <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03610470.2022.2124363> (accessed April 20, 2024).

Wang LK. 2006. Diatomaceous Earth Precoat Filtration. Advanced Physicochemical Treatment Processes:155-189. Humana Press, Totowa, NJ. Available at http://link.springer.com/10.1007/978-1-59745-029-4_5 (accessed April 21, 2024).

Základní fakta. 2024.. Available at <https://ceske-pivo.cz/zakladni-fakta> (accessed March 20, 2024).

EUROPEAN BEER TRENDS STATISTICS REPORT. 2023.. Available at <https://brewersofeurope.eu/wp-content/uploads/2023/11/european-beer-trends-2023-web.pdf> (accessed March 31, 2024).

Vyhláška o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí. 2018.. Ministerstvo zemědělství, Praha.

6 Seznam použitých zkratek a symbolů

APA	American Pale Ale
IPA	India Pale Ale
CKT	Cylindrokónický tank
HGB	High Gravity Brewing
EBC	European Brewery Convention
PVPP	Polyvinilpolypyrodin

