

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

**Výroba belgických piv
Bakalářská práce**

Vít Bidlo

Kvalita potravin a zpracování zemědělských produktů

Ing. Luboš Paznocht, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Výroba belgických piv“ 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 Ing. Luboši Paznochtovi, Ph.D. za všechny podmínky, kterými mou práci obohatil. Dále děkuji FAAPZ za to, že mi umožnila pracovat v univerzitním pivovaru a získat jedinečné zkušenosti, které jsem mohl zúročit ve své práci.

Souhrn

Belgická piva jsou ve světové pivní kultuře zcela unikátní a vymykají se chuťovým zkušenostem běžných konzumentů. Jedná se o spontánně kvašená piva, které mají ve svém kvasném procesu přítomné jak kulturní, tak nekulturní kvasinky i nejrůznější bakterie, které jsou v běžných pivech nežádoucí. Vyznačují se specifickým postupem výroby, zráním i použitými surovinami se liší od standardních postupů výroby klasických piv. Fermentační procesy se v belgických pivech značně liší od klasické výroby piva a mají za následek jedinečné chuťové vlastnosti. Obecně jsou belgická piva známa nízkou hořkostí danou použitím specifických chmelů a pro svoji velkou kyselost danou obsahem mléčné a octové kyseliny, jejímž původcem jsou bakterie mléčného kvašení. Ty se do hotového piva dostanou během jedinečného procesu chlazení, během něhož do piva pronikají i jiné velmi důležité mikroorganismy. Každý mikroorganismus v pivu zastává jedinečnou funkci a dohromady se tak podílí na celkovém chemickém složení. Všechna specifika belgických piv mají svůj původ již v jejich historii, které je dokladována od šestého století a dosud se jen málo změnila.

Belgická piva jsou obecně dělena na lambik, ovocný lambik, gueuze, faro a wit. Lambic je spontánně kvašené pivo, které vyznačuje podílem pšeničného šrotu a dlouhou dobou zrání. Také je základní surovinou pro ostatní druhy belgických piv. Smícháním starého a mladého lambiku vznikne gueuze, přidáním nízkoalkoholického piva do lambiku vznikne faro a přidáním ovoce dostaneme ovocné lambiky. Wit je specifický použitím nesladovaných obilovin.

Klíčová slova: ječmen; kvasnice; pšenice; Saccharomyces; slad

Summary

Belgian beers are quite unique in the world beer culture and are beyond the taste experience of ordinary consumers.

They are spontaneously fermented beers that have both cultured and non-cultured yeasts in their fermentation process, as well as various bacteria that are undesirable in ordinary beers. They have a specific production process, maturation and the raw materials used are outside the standard procedures for the production of conventional beers.

Belgian beers are generally divided into lambics, fruit lambics, gueuze, faro and wit.

Lambic is a spontaneously fermented beer which has a proportion of wheat in its mash and is characterised by its long ageing period. It is also the basic raw material for other Belgian beers. Mixing old and young lambic produces gueuze, adding low-alcohol beer to lambic produces faro and adding fruit produces fruit lambics. Wit is specific to the use of unsweetened cereals. The overall fermentation processes in Belgian beers are very different from conventional beer production and result in unique flavour characteristics. In general, Belgian beers are known for their low bitterness due to the use of specific hops and for their high acidity due to the lactic and acetic acid content, which is caused by lactic acid bacteria. These enter the finished beer during a unique cooling process, during which other very important micro-organisms also enter the beer. Each micro-organism has a unique function in the beer and together they contribute to the overall chemical composition.

All the specific characteristics of Belgian beers have their origins in their history, which can be traced back to the sixth century and has so far changed little.

Keywords: barley; yeast; wheat; Saccharomyces; malt

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Cíl práce.....	9
3	Literární rešerše.....	10
3.1	Historie vaření piva.....	10
3.2	Historie piva v Belgii.....	11
3.3	Suroviny pro výrobu piva.....	12
3.3.1	Voda.....	12
3.3.2	Slad.....	13
3.3.3	Obiloviny.....	13
3.3.4	Chmel.....	14
3.3.5	Kulturní kvasnice.....	16
3.4	Rozdělení piva dle legislativy.....	16
3.4.1	Rozdělení podle způsobu kvašení.....	17
3.4.2	Rozdělení podle barvy.....	17
3.4.3	Rozdělení podle zkvasitelného extraktu v původní mladině.....	17
3.5	Rozdělení nejběžnějších belgických pivních stylů.....	18
3.5.1	Lambic.....	18
3.5.2	Ovocné lambiky.....	18
3.5.3	Faro.....	19
3.5.4	Gueuze.....	19
3.5.5	Trapistické pivo.....	19
3.5.6	Wit.....	19
3.6	Výroba piva.....	20
3.6.1	Šrotování.....	20
3.6.2	Vystírání.....	21
3.6.3	Rmutování.....	21
3.6.4	Scezování.....	22
3.6.5	Chmelovar.....	23
3.6.6	Víření.....	23
3.6.7	Spílání.....	24

3.6.8	Kvašení	24
3.7	Chemické složení belgického piva	26
3.7.1	Chuť a aroma a belgických piv	26
3.7.2	Hořkost.....	31
3.7.3	Obsah oxidu uhličitého	32
3.7.4	Čírost.....	32
3.7.5	Fenolické sloučeniny	32
3.7.6	Barva	33
3.7.7	Sírné sloučeniny	33
3.8	Mikrobiologie belgických piv	33
3.8.1	Enterobakterie	34
3.8.2	<i>Klockera apiculata</i>	34
3.8.3	Rody <i>Saccharomyces</i>	35
3.8.4	Bakterie mléčného kvašení	35
3.8.5	<i>Dekkera</i>	36
4	Závěr	37
5	Literatura.....	38
6	Legislativní dokumenty	41

1 Úvod

Pivo je alkoholický nápoj, který se vzniká fermentací mladiny. Ta je vyráběna ze sladu, chmele, kvasnic a vody. Slad poskytuje pivu zkvasitelné sacharidy. Chmel přináší hořkost a aromatické tóny. Kvasnice jsou klíčovým prvkem, ty fermentují sacharidy na alkohol a oxid uhličitý. Voda je důležitou složkou piva, která má vliv na jeho chuť, strukturu a celkovou kvalitu.

Kombinace těchto ingrediencí a procesů výroby dává pivu jeho charakter.

Belgická piva se vyznačují některými unikátními vlastnostmi, které jsou způsobeny postupy, které byly při jejich výrobě používány již ve středověku a jsou dochovány dodnes. Kromě postupů se na velice zvláštní chuti podílí i suroviny a přítomnost některých druhů mikroorganismů, které jsou pro jiné potravinářské procesy nežádoucí.

Belgické pivovary se pyšní tradičními metodami vaření. Belgická piva jsou také známá svou tradicí spontánní fermentace, která vede k vytvoření piv s komplexními chutěmi a aromaty. A právě mikrobiologické složení má za následek, že každá várka má jinou chuť a aroma.

Belgická piva mají stále co nabídnout dnešním konzumentům, kteří chtějí objevovat nové věci.

2 Cíl práce

Cílem práce je popsat výrobu belgických piv se zaměřením na rozdílné sensorické a fyzikálně chemické vlastnosti způsobené jak různými kvasnými procesy a použitými kvasničnými kmeny, tak použitím rozdílných surovin.

3 Literární rešerše

3.1 Historie vaření piva

První zmínky o výrobě piva pocházejí již 2 tisíce let před naším letopočtem ze starověkého Egypta. Jiné alkoholické nápoje mají svůj původ ve starověké Číně či Mezopotámii. Jednalo se např. o zkvašený med, nebo rýži. Pivo se rychle stalo populárním nápojem všech sociálních tříd. První sládcí (osoba vyrábějící pivo) byli zaměstnání chrámy a měli velmi vysoké sociální postavení (Hornsey 2003).

První pivo vzniklé v Egyptě neslo název *hegu* nebo *hega*. Přestože ječmen setý (*Hordeum vulgare*) byl nejpoužívanější surovinou pro výrobu sladu, uplatnění nacházely i jiné obiloviny, např. oves, pšenice, nebo proso. Byla vyráběna piva různých stupňovitostí od 5° až po 20° a barvy se už tehdy pohybovaly od světlé po tmavou. V Evropě bylo pivo v období starověkého Řecka a Říma pro svou rychlou výrobu a hustou konzistenci považováno za nápoj chudých. Svoji popularitu si zachovalo u germánské a keltské populace. Rozmach ve výrobě a konzumaci piva nastal v 9. století v oblastech dnešního Německa, Anglie a Skandinávie. Pivo bylo vařeno mnichy pro vlastní konzumaci, nebo pro osvěžení důležitých hostů a poutníků. Ve 12. století se začala zvyšovat poptávka po klášterních pivech, která byla kvalitnější než z ostatních pivovarů (Cabra a Higgins 2016).

Dochovaly se receptury na takzvané „sladové koncentráty“. Tyto koncentráty byly vyvinuty Brity pomocí dlouhého varu, díky kterému bylo odstraněno velké množství vody během procesu vaření piva. Ty byly primárně využívány pro zakonzentrování extraktu následné várky, nebo jako zdroj živin pro sekundární fermentaci kvasnic a posílení nasycení oxidem uhličitým. Někdy se vařily odděleně a někdy byly přidávány nejrůznější byliny pro prodloužení trvanlivosti (Verberg 2020).

Původně byla fermentace uvařené mladiny v mnoha kulturách primárně náboženským rituálem. Například v Norsku věřili sládcí, že mladinu zakváší duch pivovarník, takzvaný „Bryggjeman“ a proces kvašení byl nazýván vaření z důvodu tvorby bublin a pěny. Nedostatečné znalosti o mikroorganismech vedly k nejrůznějším rituálům, jako bylo vyřezávání písma a run do fermentačních nádob, nebo vkládání větví jalovce na dno fermentačních nádob, které by se zároveň dalo považovat za jedno z prvních předchůdců studeného chmelení. Tyto rituály měly i svůj technologický význam. Do vyrytých rýh, nebo do porušených větví se usazovaly mikroorganismy, které následně pomáhaly se zakvašením další várky. Navíc byl používán pro zakvašení sediment z předchozích várek (Buhner 1998).

Přestože je dnes nejčastěji používanou surovinou pro výrobu sladu ječmen setý. Na území Evropy převládala až do 17. století pšenice setá (*Triticum aestivum*). A proto se do té doby území dnešní České republiky vařilo převážně svrchně kvašené pivo. Ječmen setý byl poprvé použit až počátkem 18. století zásluhou pivovarského reformátora Františka Ondřeje Poupěte. Výrobu sladu si původně každý pivovar obstarával sám, ale s nástupem industrializace a postupem času byly zakládány sladovny. Automatizací a použitím strojů přišel velký pokrok,

který umožnil podrobnější studování a vývoj sladu, což mělo za následek založení nového odvětví „sladařství“ (Basařová 2010).

S pěstováním chmele a zakládáním prvních chmelnic se začalo kolem 9. století v německém klášteře Hochstift. Avšak chmel se jako koření a konzervant používal dlouho předtím, kdy byl ručně sbírán a používán divoce rostoucí chmel (Basařová 2010).

První oficiální záznamy o účincích chmele pocházejí z 11. století, kdy byly popsány jeho protizánětlivé účinky. Následně ve 13. století, byly popsány jeho uklidňující vlastnosti. Pro své protizánětlivé účinky se začal přidávat do piva jako forma konzervace. Později pro své senzorické vlastnosti začal nahrazovat té době hojně používané byliny jako například pelyněk, řebříček, jalovec, či levanduli (Verberg 2020).

K velkému rozšíření pěstování chmele a zakládání chmelnic na území dnešní České republiky došlo za vlády Karla IV. Český chmel se rychle stal velmi populárním a začal jeho první export do světa (Basařová 2010).

Louis Pasteur ve svých studiích v 19. století popsal, že proces fermentace je způsoben činností mikroorganismů. Pasteur se zároveň zapsal jakožto autor konzervačního procesu zvaného „pasterace“, při kterém se pomocí rychlého zvýšení teploty a následného zchlazení inhibují životaschopné mikroorganismy. Též popsal tzv. kyselé praní kvasnic, pomocí kterého jsou dodnes oddělovány živé kvasnice od mrtvých či slabých a vyčerpaných (Basařová 2010).

Ve středověku pocházela veškerá voda používaná v pivovarech z nejrůznějších blízkých vodních toků, a tudíž musela být mnohokrát opakovaně převažována. Přestože lidé neměli znalosti o existenci mikroorganismů, uvědomovali si možné zdravotní i technologické komplikace spojené s nepřevažováním vody (Basařová 2010).

První řízená fermentace mladiny probíhala v malých kamenných nádobách umístěných ve sklepích dochlazovaných ledem (Basařová 2010).

3.2 Historie piva v Belgii

Rozvoj belgických pivovarů souvisí s rozvojem a zakládáním sítě benediktýnských a cisterciáckých klášterů, které se pod heslem *ora et labora* zasloužily o rozvoj zemědělství a potravinářství v této části Evropy (ústní sdělení arciojata Siostrzonek).

I proto zůstalo vaření piva v Belgii až do dvanáctého století naprostým privilegiem klášterů. Nejdůležitější tehdejší historickou postavou je jednoznačně benediktýnský mnich Arnold, velmi uznávaný a významný sládek, který založil na konci desátého století klášter sv. Petra v Gentu. Později byl za své úspěchy v pivovarnictví svatořečen a stal se patronem belgických sládků (Guinard 1990).

V průběhu středověku výroba piva začala postupně z klášterů pronikat do měst, kde dala vzniknout velkému množství prvních pivních cechů, které měly v té době značný vliv na život společnosti. Stát se členem cechů a společností nebylo jednoduché. Každý učeň musel podstoupit zkoušky, než mu byl přidělen certifikát sládky. V té době byla v Belgii poprvé položena přísná pravidla o výrobě piva. V Bruselu byli ve středověku pivovarníci, kteří používali zakázané praktiky a jakkoliv narušovali kvalitu piva, pálení na hranici (Guinard 1990).

Jedno z prvních takovýchto pravidel vzniklo v malé vesnici Hoegaarden. Pravidla uvádí, kdo smí a nesmí vařit pivo. Pivovarníci museli být katolíci a museli slíbit věrnost biskupovi a jeho nástupcům. Dále popisují poměry sladů a obilovin použitých na samotnou výrobu piva. Šlo přesně o čtyři části ječného sladu, stejný poměr pšenice a jednu část ova (Poelmans a Taylor 2019).

Na začátku devatenáctého století bylo v Belgii v provozu přes 3000 pivovarů, ale produkce velké většiny nepřesahovala 200 tisíc litrů piva za rok. Belgie byla celkově pomalejší v přijímání nových technologií a receptur. Což má i dnes za následek originalitu receptur (Dejongh 1995). Belgický pivní svět byl a stále je charakteristický pestrostí pivních stylů zahrnujících různé styly kvašení. Dnes je až 70 % z celkové výroby piva v Belgii zastoupeno spodně kvašenými pivy. Vlastní tradice výroby piva v Belgii přináší naprosto unikátní rozmanitost a originalitu. (Persyn et al. 2010).

3.3 Suroviny pro výrobu piva

Suroviny na výrobu piva jsou klíčovým faktorem ovlivňujícím kvalitu a vlastnosti piva. Pivo se tradičně bylo vyráběno ze čtyř základních surovin: sladu, chmele, vody a kvasnic. Při výrobě mohou být též požitý i jiné obiloviny např. pšenice, nebo oves. Do piva se mohou přidávat i různé druhy ovoce a bylin (Basařová 2010; Guinard 1990; Verberg 2020).

3.3.1 Voda

Pivo je dle vyhlášky vyhlášky 248/2018 Sb. klasifikováno jako alkoholický nápoj a obsah vody v hotovém výrobku tedy přesahuje 90 hmotnostních procent. Pro jeho výrobu naprosto nezbytná hygienicky nezávadná voda, která splňuje požadavky na pitnou vodu dle platné legislativy. Jiná voda není pro výrobu piva přípustná. Pro správný varný proces je důležité sledovat tvrdost vody a obsah minerálních látek. Tvrdost vody a obsah minerálních látek mění extrahovatelnost sacharidů, hořkých látek a barvu piva. Tím se odlišuje jak kvalita výsledného produktu, tak sensorické vlastnosti piva, čímž tvoří výslednou specifickou značku. Voda může být dle potřeby upravována. Nejčastější úpravou je dodatečné odstranění rozpuštěných látek, minerálních látek či dezinfekce chlórem, popřípadě ozónem. Velké množství pivovarů používá pro výrobu piva své vlastní studny, nebo si vodu dodatečně upravuje dle svých specifických požadavků (Vlček & Matoušek 1966; Kunze 2004).

Mnoho světových pivovarů se proslavilo svou speciální vodou, která přispívá k jejich světoznámým pivním stylům. Například plzeňský ležák, pro který je nevhodnější velmi měkká voda. Ležákům obecně škodí tvrdá voda s vyšším obsahem uhličitánů. Velká většina belgických vod je upravována nebo je používána přímo voda z vodovodního řádu (Kosař & Procházka 2000, Guinard 1990).

3.3.2 Slad

Nepostradatelnou surovinou pro výrobu piva je slad. Ten se vyrábí z odrůdy ječmene setého (*Hordeum vulgare*), který je specifický svými organoleptickými vlastnostmi. Používají se jarní dvouřadé odrůdy. Mají světlou barvu a obsahují velká množství α -amylasy a β -amylasy, díky kterým probíhá během varného procesu štěpení sacharidů na zkvasitelné sacharidy (Kosař & Procházka 2000; Mikyška et al. 2009).

Pro výrobu sladu lze použít i jiné obiloviny, druhou nejpoužívanější obilovinou je pšenice (Kunze 2004).

Slad používaný pro belgická piva je z největší části světlý a enzymaticky vysoce aktivní a pochází převážně z ječmene a pšenice. Některé pivovary v Belgii používají pro své receptury i francouzské ozimé odrůdy ječmene setého, které si následně sladují dle vlastní potřeby a receptury. Klíčení sladu probíhá do doby, kdy klíček dosáhne poloviny délky zrna. Slad je velmi pomalu sušen a nikdy není pražen, aby byla zachována co možná největší světlost zrna. Tak zvané „větrné slady“, které se občas objevují v belgických pivech jsou vyráběny z pravidla v Belgii, jsou vyrobeny z šestiřadých odrůd ječmen setého. Naklíčená zrna jsou rozprostřena ve speciálních místnostech (tradičně se jednalo o podkroví), kde jsou ponechány samovolně doschnout na požadovanou vlhkost. Výsledný slad má vysoký obsah enzymů. Obecně jsou dnes nejpoužívanější slad plzeňského typu a slad pale ale (Kosař & Procházka 2000; Guinard 1990).

3.3.3 Obiloviny

Při výrobě belgických piv je používám vysoký podíl nesladovaných obilovin. Z historického pohledu je výroba sladu energeticky a technologicky náročný proces. V Belgii se tomuto problému sládků vyhnuli právě použitím enzymaticky vysoce aktivních sladů v kombinaci s nesladovanými obilovinami. Na nesladované obiloviny používané pro výrobu belgických piv jsou kladeny specifické kvalitativní požadavky. Pšenice používaná pro pivní styly Lambic by měla být měkká a měla by mít „moučnatý“ endosperm. Veškerá pšenice použitá na belgická piva musí pocházet z belgických polí. V porovnání s ječmenem obsahuje pšenice více škrobu a bílkovin a méně celulózy a lipidů. Vysoký obsah bílkovin má obecně negativní vliv na sensorické vlastnosti hotového piva, hlavně na tvorbu pěny. Proto jsou používány měkké bílé odrůdy pšenice, které mají ze všech pšenic nejnižší obsah bílkovin (přibližně 9 %). Pro porovnání obsah bílkovin v ječmeni se pohybuje od 7 do 13 %. Pšenice zároveň dodává belgickým pivům hořkost a trpkost, ale snižuje jejich chladovou stabilitu. K dalšímu problému při použití měkké bílé pšenice dochází při scezování, jelikož mláto je více lepkavé až „gumové“. To způsobuje problémy během scezování. Dále se také mohou být požívány pšeničné plevy, které jsou při sklizni odděleny od zrna. Jsou používány jako dodatečný filtrační materiál, protože pšenice nemá pluchy přirostlé k zrnu jako ječmen. Tudíž při použití až 40 % pšenice není v mlátu dostatek filtračního materiálu. Plevy dodávají žlutou barvu a přinášejí slámovou vůni charakteristickou pro belgická piva. Při nedostatku pšenice ji lze částečně nahradit rýží nebo kukuřicí. Mladina z takového to šrotu sice lépe a rychleji kvasí a zraje, ale ztrácí nebo

úplně postrádá některé charakteristické vlastnosti pšeničného sladu. Toto lze pozorovat převážně na změnách v chuti a vůně (Guinard 1990, Basařová 2010, Kinčl 2022).

3.3.4 Chmel

Klíčovou surovinou pro výrobu piva je dnes rovněž chmel otáčivý (*Humulus lupulus*). Botanickým zařazením se jedná o dvoudomou, vytrvalou, popínavou rostlinu z čeledi konopovitých (*Cannabaceae*). Pro účely výroby piva jsou používány výhradně šištice neopylených samičích rostlin, které obsahují pryskyřice, silice a polyfenoly nezbytné pro výrobu piva a jeho charakteristické sensorické vlastnosti (Basařová 2010). Chmelové látky dodávají pivu typickou hořkost a aroma. Hořké látky podléhají oxidaci a následné degradaci, proto jsou oba sensorické parametry velmi nestálé a mění se v čase (Preedy 2009, Kinčl 2022).

Samotné chmelové šištice nejsou pro výrobu piva ideální, protože mají nerovnoměrné rozložení účinných látek. Proto se zpracovávají a lisují do peletek. Toto zpracování má za následek zvýšení koncentrace požadovaných látek, zvýšení trvanlivosti a snížení odpadu a ztrát při samotném varném procesu. Dále se chmel zpracovává do formy koncentrovaných extraktů a silic. Mohou být ve formě husté pasty, či velmi koncentrovaného roztoku, který je sensoricky velmi stabilní v čase. Samotné extrahované silice jsou do výrobního procesu přidávány za účelem posílení aroma (Basařová 2010).

Polyfenoly v pivě působí jakožto antioxidanty. Zároveň dokáží chránit α a β – hořké kyseliny. Avšak největší význam v technologickém procesu mají díky své schopnosti tvořit tzv. lom. Jde o proces srážení tříslo-bílkovinných komplexů v procesu odstraňování chmele (Kunze 2004). Pryskyřice zahrnují mnoho chemických sloučenin, z nichž nejdůležitější je skupina α -hořkých kyselin. Nejdůležitější z α -hořkých kyselin jsou humulon, kohumulon a adhumulon. Samotné α -hořké kyseliny jsou nepolární sloučeniny, a tudíž nejsou rozpustné ve vodě ani v samotném pivu. Ale při chmelovaru dochází díky rozkladu sacharidů a uvolnění další látek ze sladu ke snížení pH, které má v kombinaci s vysokou teplotou za následek izomeraci α -hořkých kyselin na *cis*-iso- α -hořké kyseliny a *trans*-iso- α -hořké kyseliny. Ty už jsou rozpustné a dodávají pivu jeho charakteristickou hořkou chuť. Další hojně zastoupenou skupinou jsou β -hořké kyseliny. Jsou špatně rozpustné a k celkové chuti přispívají jen nepatrně. Proto jsou pro výrobu piva méně podstatné (Kunze 2004; Hasík 2013).

Chmelové silice jsou v pivu hlavním nositelem charakteristického aroma, které se mění dle použité odrůdy chmele (Kosař & Procházka 2012).

Hořké chmelové látky lze rozdělit do tří skupin.

1. Uhlovodíkové frakce. Jedná se o 70 % obsahu silic. Chmel je obsahuje již při sklizni. Jejich spektrum je dáno geneticky, tudíž každá odrůda obsahuje trochu jiné poměry uhlíkových frakcí. Při zvýšené teplotě jsou velmi těkavé, a tak většina neprojde přes chmelovar do hotového piva a jejich koncentrace je ve finálním produktu nepatrná.
2. Oxidované frakce. Jedná se o sloučeniny, které v chmelu vznikají až po sklizni, při takzvaném zrání chmele. Tvoří okolo 20 % obsahu silic v chmelu. Obsah a celkové složení této frakce je přímo závislé na způsobu a době skladování chmelu. Při delším skladování, či při styku s kyslíkem jejich obsah stoupá. Tato frakce se ve velké míře podílí na aroma hotového piva.
3. Frakce sirných sloučenin. Tato frakce je zastoupena pouze z 0,1 %. Což je z technologického pohledu výhodné. Sirné sloučeniny působí negativně na celkové sensorické vlastnosti hotového piva. Jsou nositelem nepříjemného aroma vařené zeleniny. Jejich obsah je zvýšený u chmelů, které byly chemicky ošetřené, proto je pro výslednou kvalitu piva vhodné použití chemicky neostřené chmele (Nesvadba et al. 2021).

Chmel je nejčastěji rozdělován podle obsahu α -hořkých kyselin do čtyř skupin.

1. Jemné aromatické odrůdy. Jedná se o odrůdy obsahující 2,5–4 % α -hořkých kyselin.
2. Aromatické odrůdy. Jejich obsah α -hořkých kyselin se pohybuje v rozmezí 4–7 %.
3. Hořké odrůdy s podílem α -hořkých kyselin mezi 7–10 %.
4. Vysokoobsažné odrůdy obsahující 12–17 % α -hořkých kyselin.

(Prugar et al. 2008)

V České republice je v současné době povoleno pěstování chmele ve třech chmelařských oblastech. Největší z nich je oblast Žatecká, kde je chmel pěstován na více než 4500 ha půdy. Následuje Úštěcká a Tršická oblast. Které dohromady zaujímají přes 1100 ha půdy. V Žatecké chmelařské oblasti má svůj původ i nejznámější a nejpoužívanější český chmel, který nese i její jméno Žatecký poloraný červeňák. Tato chmelová odrůda je pěstována na velké většině českých chmelnic (Basařová 2010).

Pro výrobu belgických piv jsou používány zestárlé a zoxidované chmely, které ztratily většinu nebo v některých případech dokonce veškeré hořké látky. Nejpoužívanější jsou odrůdy Fuggle a Golding z Velké Británie. Tyto chmely mají nízkou hořkost, slabé aroma, ale i po oxidaci si uchovávají zajímavý chuťový profil. Chmele ze střední Evropy nejsou pro výrobu belgických piv vhodné pro svou vysokou hořkost, která se u těchto odrůd v průběhu oxidace mění na velmi nepříjemné štiplavé chutě. Používány jsou pouze celé neupravené šišťice chmele. Ty jsou ponechány volně zestárnout za přístupu kyslíku po dobu až tří let. To má za následek oxidaci

α -hořkých kyselin, které tím ztratí většinu své hořkosti. Na druhou stranu β -hořké kyseliny oxidací hořkost získávají, avšak jejich množství není dostačující, a tak není výsledný produkt nijak výrazně hořký. Zestárlé chmele si vlivem oxidace vytvoří nepříjemné až sýrové aroma. To je způsobeno těkavými látkami a aroma je z piva během chmelovaru odstraněno. Celkový důvod k použití těchto, pro běžné pivovarnické účely znehodnocených chmelů, je že po delším varu z nich do piva nepřejde vlastně žádné aroma a jen minimální hořkost. To dává možnost vyniknout jedinečným chutím získaným v procesu kvašení (Guinard 1990).

3.3.5 Kulturní kvasnice

Základní rozdělení pivovarských kvasnic je na spodní a svrchní. Kvasnice jsou obecně v pivě nezbytné pro svou metabolickou aktivitu, v anaerobním prostředí dochází k přeměně zkvasitelných sacharidů na ethanol a oxid uhličitý (Kosař 2000; Hasík 2013).

Jedná se o fakultativně anaerobní, eukaryotní mikroorganismy řazené mezi vřeckaté houby. Dnes jsou nejpoužívanějšími kulturními kvasnicemi *Saccharomyces pastorianus* pro spodní kvašení a *Saccharomyces cerevisiae* pro svrchní kvašení (Kosař 2000, Šilhánková 2002).

Kvasnice mohou též produkovat nejrůznější vedlejší produkty. Každý kmen produkuje rozdílné metabolity. Jejich obsah a složení zaleží na fyziologickém stavu kvasnic, teplotě, pH a na složení původní mladiny (Šrogl et al. 2007).

Kvasnice spodního kvašení jsou využívány převážně pro pivní styly ležáků. Díky své schopnosti tvořit kvasničnou gumu se shlukují, což má za následek navýšení hustoty a hmotnosti vedoucí ke klesání kvasnic na dno kvasné nádoby. Díky této schopnosti jsou zároveň schopné mladinu filtrovat. Při poklesu na dno na sebe navážou vysrážené sloučeniny a stáhnou je s sebou na dno kvasné nádoby. Optimální teplota kvašení je nízká a pohybuje se v rozmezí mezi 7 až 15 °C (Mikyška et al. 2009; Basařová 2010).

Kvasnice svrchního kvašení jsou typické pro styly Ale. Nemají schopnost tvořit kvasničnou gumu, tudíž nedochází k aglutinaci. To má za následek kvašení v horních vrstvách mladiny, kde se usazují v tzv. kvasničné dece. Optimální teplota kvašení se pohybuje od 18 do 22 °C (Mikyška et al. 2009; Basařová 2010).

V historii z důvodu neznalosti mikroorganismů docházelo ke kvašení pouze za pomoci divokých kvasnic, které se dodnes využívá u spontánně kvašených piv (Olšovská et al. 2017).

3.4 Rozdělení piva dle legislativy

Pivo jako takové spadá do kategorie alkoholických nápojů a může být děleno dle několika kritérií, resp. dle způsobu kvašení, barvy piva a celkového podílu zkvasitelného extraktu v původní mladině. Nejpoužívanější a určující rozdělení je v Evropské unii dáno vyhláškou 248/2018 Sb. O požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí. Pivo je perlivý nápoj vyráběný fermentací mladiny, která je připravena ze sladu, vody a upraveného, či neupraveného chmele, nebo jeho produktů. Pivo obsahuje kromě vyrobeného ethanolu a oxidu uhličitého i nezkašený zbytkový extrakt. Slad je možné až do jedné třetiny nahradit cukerným extraktem, obilným škrobem, nesladovanými obilovinami nebo rýží. U ochucených piv může

dojít ke zvýšení alkoholu přidavkem lihovin, či jiných alkoholických nápojů (Vyhláška 248/2018 Sb.).

Belgie má velmi rozšířenou pivní kulturu. Je sedmým největším výrobcem piva na světě přepočtu na obyvatele. V roce 2015 bylo v Belgii přes 190 pivovarů, které produkovaly přes 2500 rozdílných pivních produktů (Poelmans a Taylor 2019).

Belgická piva lze rozdělit do 10 hlavních kategorií. Lager, Lambic, Trappist, Abbey, Witbier, Saison, Strong Blonde, Old Brown, Red Brown a desátá kategorie zahrnuje nejružnější speciální, regionální a tematická piva (Webb a Beaumont 2012).

3.4.1 Rozdělení podle způsobu kvašení

- Pivo spodního kvašení: spodně kvašené pivo je pivo vyrobené za pomoci kmene pivovarských kvasnic spodního kvašení
- Pivo svrchního kvašení: svrchně kvašené pivo je pivo vyrobené za pomoci kmene pivovarských kvasnic svrchního kvašení (Vyhláška 248/2018 Sb.).

3.4.2 Rozdělení podle barvy

- Světlé pivo: je vyrobeno hlavně za použití světlých sladů
- Tmavé a polotmavé pivo: je vyrobeno za použití tmavých, karamelových, popřípadě barevných sladů a směsí se slady světlými
- Řezané pivo: je vyrobeno smísením světlého a tmavého piva (Vyhláška 248/2018 Sb.).

3.4.3 Rozdělení podle zkvasitelného extraktu v původní mladině

- Nealkoholické pivo: tím je pivo s obsahem alkoholu maximálně do 0,5 % objemových
- Nízkoalkoholické pivo: je pivo s obsahem alkoholu mezi 0,5 a 1,2 % objemových
- Stolní pivo: je pivo, které obsahuje maximálně 6 % hmotnostních zkvasitelného extraktu v původní mladině
- Výčepní pivo: je pivo, které v původní mladině obsahuje 7–10 % hmotnostních zkvasitelného extraktu
- Ležák: je spodně kvašené pivo, jehož extrakt v původní mladině se pohybuje mezi 11 až 12 % hmotnostními
- Plné pivo: je svrchně kvašené pivo, jehož extrakt v původní mladině se pohybuje mezi 11 až 12 % hmotnostními
- Silné pivo: je pivo, jehož extrakt v původní mladině je 13 % hmotnostních a vyšší. (Vyhláška 248/2018 Sb.).

3.5 Rozdělení nejběžnějších belgických pivních stylů

3.5.1 Lambic

Jedná se o nejznámější typ belgického piva. Pro tento styl je typické použití až 40 % nesladovaného šrotu a velké množství pšeničného šrotu (obsah se mění dle receptury). Vyrábí se metodou spontánního kvašení. Výroba probíhá zásadně ve studených měsících od podzimu do jara. Mladina je ponechána v otevřených kádích samovolně chladnout. Během této doby také dochází k zakvašení směsí bakterií a kvasnic. Primární kvašení probíhá v řádu měsíců a sekundární v sudech či láhvích až několik let. Pivo do jednoho roku stáří je pak označováno jako mladý lambic a celková doba zrání přesahuje i tři roky. Jsou i pivovary, které produkují archivní piva o stáří až dvacet let. Barva lambiků se pohybuje od zlatavě žluté u mladých lambiků po tmavé jantarové u starších piv (Jackson 1988, Olšovská 2017).

Mladé lambiky jsou zakalené a neperlivé, protože dřevěné sudy, v kterých kvasí, neudrží oxid uhličitý. Mladý lambic si udržuje zlatavě žlutou barvu mladiny, která postupem času tmavne. Ve vůni lze cítit ocet způsobený kyselinou octovou a ethylacetátem, aroma vína, jablek a mandlí. Chuť je většinou velmi kyselá a je způsobena kyselinou mléčnou. V případě mladých lambiků i se slabou sladkostí způsobenou zbytkovým nezkvašeným extraktem. Starší a vyzrálé lambiky jsou spíše suché a nejsou chuťově dobře vyvážené, celkově chuťově mdlé s převládající nepříjemnou kyselostí. Během dozrávání postupně ztrácí svou nepříjemnou kyselost a získávají ovocné aroma a chuť. Nakonec je jich chuť jemně kyselá, vytváří příjemný až téměř viskózní pocit v ústech připomínající francouzská vína Chateau Chalon. Vyzrálé lambiky mají nejrůznější barvy od narůžovělé až po jantarovou, jsou úplně zbaveny oxidu uhličitého a naprosto čiré (Guinard 1990; Jackson 1988).

Stejně jako ostatní belgická piva jsou lambiky charakteristické tím, že žádnédvě várky nechutnají stejně. Nesou značku *Chráněné zeměpisné označení původu* (Guinard 1990).

3.5.2 Ovocné lambiky

Nejčastějším ovocným lambikem je Kriek. Jedná se o třešňové spontánně kvašené pivo tmavě červené barvy s náznaky fialové. Obsah alkoholu a nasycenost oxidem uhličitým se odvíjí od použité základní suroviny. Kterou je již hotový lambic, do kterého je přidáváno ovoce jako kvasný materiál pro druhotnou fermentaci. Ovoce též dodává lambikům specifickou chuť a aroma. Tradičně jsou přidávány celé kusy třešní pěstované v okolí Bruselu. Některé pivovary třesně drtí, nebo z nich dělají šťávy, či extrakty. Pokud jsou použity celé plody třešní, tak je pivo ponecháno zrát po dobu tří měsíců. V případě delšího louhování ovoce dochází k uvolňování nepříjemné hořkosti a trpkosti z pecek. Pokud jsou plody předem odpeckovány mohou zůstat v pivu i déle (Jackson 1988; Olšovská 2017).

Podobně mohou být do hotového lambiku přidávány i jiné druhy ovoce. Například přidáním malin vznikne pivo nazývané Frambozen, při použití černého rybízu vznikne Cassis a naložením broskví do hotového lambiku vzniká pivo Peche (Jackson 1988; Olšovská 2017).

3.5.3 Faro

Jedná se o spontánně kvašené pivo vyráběné přidáním vyzrálého lambiku do jiného méně alkoholického piva, které může, ale nemusí být spontánně kvašeno. V některých případech je z ekonomických důvodů použita pro ředění silných lambiků voda. Zanechává si většinu charakteristik mladého lambiku jako je perlivost a silná kyselost. Ta je zmírněna přidávkem třtinového cukru, melasy, nebo karamelu, který je do piva přidáván těsně před samotnou konzumací. Nemá tudíž vliv na obsah alkoholu ani nasycení nápoje oxidem uhličitým. Faro v celkové chuti tvoří velmi příjemné a vyrovnané chutě, kontrastní kyselosti a sladkosti. Prvotně lze cítit kyselé ovocné chutě, které vyrovnávají jemné karamelové chutě. Aroma je komplexní a mění se v závislosti na receptuře od kyselé ovocné až po jemné po rozinkách (Guinard 1990).

3.5.4 Gueuze

Gueuze vzniká mísením mladého, nejčastěji ročního lambiku se starým, vyzrálým lambikem. Po jejich smíchání nastává druhotná fermentace v láhvích. Správný gueuze je značně perlivý připomínající jsou nasyceností šampaňské víno, kdy bublinky až „bodají“ do jazyka. Pěna také připomíná perlivá vína a má lehce nažloutlou barvu. V pivu jsou velké bubliny a pěna velmi rychle mizí. Barva piva se mění dle receptury a hlavní vliv na ní má barva použitých lambiků. Může být oranžová, medově hnědá až narůžovělá. Aroma je velmi kyselé a připomíná ocet, nebo kozí sýr s koňskou žíní smíchaný s nejrůznějším ovoce od jablek až po meruňky. Chuť má dřevité tóny podle použitého kvasného sudu, vyznačují se velmi slabou hořkostí a silnou někdy až nepříjemnou kyselostí. Sladkost závisí na množství zbytkových nezkašených sacharidů. Velmi stará a vyzrálá piva jsou spíše suššího charakteru, zatímco mladá se vyznačují sladší chutí. Zvláštností je i teplota podávání, která by měla být alespoň 12 °C (Guinard 1990).

3.5.5 Trapistické pivo

Spíše, než styl je toto pivo charakterizováno místem svého původu. Trapistické pivo může být vyráběno pouze v areálu nebo v bezprostřední blízkosti trapistického kláštera. Výrobu musí provádět buď přímo mniši, nebo vyškolený sládek pod jejich přísným dohledem. Trapistické pivo může být jak typu lambik, faro i gueuze. Unikátní je pouze místo jejich původu, které je deklarováno ochranou známkou (Webb a Beaumont 2012).

3.5.6 Wit

Toto pivo je specifické hlavně složením šrotu použitého při výrobě. Obsahuje 45 % nesladované pšenice, 5 % nesladovaného ovsu a zbytek je doplněn ječným sladem. Až na unikátního složení šrotu je pivo vyráběno stejnými postupy jako lambik (Jackson 1988).

3.6 Výroba piva

Výroba mladiny je prvotní etapou v procesu produkce piva a probíhá na varně. Kvalita mladiny, tedy tekutiny, do které byly vyextrahovány sacharidy a přidán chmel, je klíčová pro konečný produkt. Proces její výroby zahrnuje několik fází, při kterých je zapotřebí použít specializované zařízení varny (např. scezovací kád', vířivá kád', nebo rmutovací kád'). Je důležité postupovat striktně dle technologických postupů a pečlivě provádět jednotlivé operace, aby bylo dosaženo požadované a konzistentní kvality mladiny (Kinčl 2022).

Cílem zmíněných postupů a operací je extrahovat cenné látky ze sladu. Toho je dosaženo enzymatickou činností, díky které jsou odděleny od nerozpustných zbytků sladu. Celý proces je soubor po sobě jdoucích operací začínající mletím sladu na šrot, následovaný enzymatickou přeměnou sacharidů ve rmutu a oddělením tekutiny od pevných částic v procesu scezování. Scezená tekutina je pak vystavena varu za přídavku chmele za účelem získání esenciálních hořkých látek. Následně jsou separovány zbytky chmelu a kaly ve vířivé kádli, a nakonec je tekutina rychle ochlazená na teplotu optimální pro zakvašení (Kosař a Procházka 2012).

3.6.1 Šrotování

Šrotování sladu je prvním a klíčovým krokem ve výrobě piva. Slad jakožto jedna ze základních surovin musí být pečlivě namlet na požadovanou hrubost. Cílem je rozemlít endosperm na co možná nejjemnější moučku, při současném neporušení sladových pluch, které jsou nezbytné pro proces scezování, kde působí jako filtrační materiál. Proces mletí umožňuje lepší fungování sladových enzymů a lepší přístup k sacharidům obsaženým v zrně (Kinčl 2022).

Kvalita a jemnost šrotu přímo ovlivňuje proces scezování. Jemnější šrot je lepší z hlediska přístupnosti a štěpení sacharidů a je možné tak dosáhnout vyšších zisků, ale není vhodný jako filtrační materiál. Příliš jemná moučka ucpává potrubí způsobuje komplikace při scezování. Naopak hrubý šrot sice funguje jako ideální filtrační materiál, ale nedosahuje takové výtěžnosti sacharidů a enzymů. Proto je nezbytné hledat střed, popřípadě kombinovat hrubosti jednotlivých šrotů podle předpokládané výtěžnosti jednotlivých sladů. Šrotovat je možné jak za sucha, tak za mokra po zvýšení vlhkosti na 15 až 17 %, či pouze s navlhčeným sladem (de Moura & Mathias 2018).

Šrotování za sucha je pro svou jednoduchost nejčastěji používanou metodou. Mokrý šrotování má ale tu výhodu, že rovnou dochází ke zvýšení vlhkosti pluch, které jsou díky tomu pružnější a nedochází k jejich poškození (Basařová et al. 2021).

Šrotování pšenice je trochu komplikovanější. Rozdílem mezi pšenicí a ječmenem je, že zrno pšenice je holé (bez pluchy) a mnohem tvrdší. Hlavním cílem není co nejjemněji namlít endosperm, ale oddělit ho od zárodku a otrub (oplodí, osemení a aleuronová vrstva). V dalším kroku je požadováno naprosté rozemletí endospermu. K tomu je možné použít válcový šrotovník s nastavením mezer mezi válci pod 1 mm (Guinard 1990).

3.6.2 Vystírání

Vystírání je proces, při kterém je našrotovaný slad smíchán s vodou. Existují tři základní způsoby vystírání a to: studené, teplé a horké. Studené probíhá při 20 °C, dnes se používá pouze zřídka z důvodu časové náročnosti a nutnosti dalšího zahřívání. Dříve se však volilo pro špatně zpracované slady s nižší enzymatickou aktivitou. Poté dochází k pozvolnému zvyšování teploty, které má pozitivní vliv na aktivaci enzymů. Teplé vystírání probíhá při teplotách okolo 35 °C. Jde o tradiční způsob pro výrobu ležáků. Horké vystírání probíhá při teplotách přesahujících 50 °C, používá se nejčastěji pro piva typu Ale. V případě, že má pivovar zásaditou vodu a nemá k dispozici úpravnu vody, je možné do vody přidat kyselinu mléčnou, čímž dojde ke snížení pH, což napomáhá funkci enzymů α -amylasy a β -amylasy (Kosař & Procházka 2000; Basařová 2010).

V případě belgických piv je tradičně přidáván k ječnému sladu i určitý podíl sladované, či nesladované pšenice. Nejčastěji to bývá 35 % pšenice na 65 % ječmene. Belgická piva jsou, stejně jako všechna ostatní, jsou vystírána v nádobě zvané mladinová pánev. Ta je vybavena míchadlem a topnými tělesy, která zajišťují postupné zvyšování teploty (Guinard 1990; Basařová 2010).

3.6.3 Rmutování

Tento proces začíná v okamžiku, kdy šrot smíchaný s vodou začíná být zahříván. Cílem je převedení extraktivních látek ze sladu do roztoku neboli sladiny. V jeho průběhu dochází k postupnému zahřívání celé směsi šrotu a vody (dílo), což má za následek aktivaci enzymů, které štěpí polysacharidy (hlavně amylózu a amylopektin) na jednodušší zkvasitelné sacharidy (Enge et al. 2005).

Rmutování má několik fází podle optimální teploty pro činnost důležitých enzymů. Nejprve dochází při 52 °C ke štěpení bílkovin pomocí proteáz. Další důležitou teplotou je 65 °C, neboli tzv. nižší cukrotravná teplota. To je optimální teplota pro fungování β -amylázy, ta štěpí 1,4 vazby amylózy a amylopektinu od neredukujících konců a tím tvoří maltózu. Poslední důležitá teplota je 72 °C tzv. vyšší cukrotravná teplota. Při této teplotě začne enzym α -amylasa štěpit 1,4 vazby uprostřed řetězce amylózy. Poté je provedena tzv. jodová zkouška na zcukření. Jedná se o kontrolu rozštěpení polysacharidů na zkvasitelné sacharidy (Basařová et al. 2021).

Rmutování může být realizováno dvojím způsobem. Prvním typem je dekokční rmutování. Jedná se o klasický a tradiční způsob používaný hlavně u piv ležáckého typu. Při tomto způsobu je část směsi oddělena (rmut) a přesunuta do rmutovací nádoby (případně scezovací kádě). Oddělená část tradičně tvoří jednu třetinu celkového objemu směsi. Tento rmut se nechá zcukřit (enzymy rozloží složitější sacharidy na zkvasitelné) a následně je 10–15 minut vařen. Pokud se jedná o tmavé pivo může tento var trvat delší dobu pro dosažení výraznější chuti. Dojde k intenzivnější Maillardově reakci a tím k tvorbě karamelových chutí a vůní. Rmut je poté vrácen zpět ke zbytku díla. Tento postup může být několikrát opakován a podle počtu opakování rozdělován na jedno, dvou a tři rmutový způsob (Enge et al. 2005).

Infuzní způsob rmutování je jednodušší a časově i energeticky méně náročný. Při tomto způsobu rmutování není dílo nerozdělováno a pracuje se po celou dobu s celým objemem.

Směs je přivedena do vyšší cukrotvorné teploty. Po provedení jodové zkoušky není směs vařena, ale následuje rovnou proces scezování. Popsaný postup má nižší výtěžnost zkvasitelných sacharidů. Výsledkem je světlejší barva a hrubší chuť hotového piva. Využíván je převážně pro svrchně kvašená piva (Papazian 2006).

Rmutování pro belgická piva probíhá velmi podobně jako u klasického dekokčního rmutování jen s drobnými změnami. Postupné zvyšování teploty není docíleno pomocí topných těles, ale vstřikováním ostré páry do směsi. Prvotní zvýšení teploty je na 45°C. Po dosažení teploty proběhne desetiminutový odpočinek. Protože přidaná pšenice není sladovaná, má směs mléčně bílé zbarvení. Směs je dalším vstřikováním páry zahřátá na 58°C. Pětina z této směsi (rmut) je přečerpána do jiné nádoby (rmutovací kád'), kde je přivedena k varu. Mezitím je teplota zbylé směsi zvýšena dalším vstřikováním páry na 65°C. Poté je další pětina převedena do rmutovací kádě, kde je rovněž vařena. Následně je obsah celé rmutovací nádoby vrácen do mladinové pánve. Tím se celková teplota směsi zvýší na 72°C. Rozklad složitějších sacharidů jednodušší trvá obvykle 20 minut. Následně proběhne poslední vstřik páry a tím zvýšení teploty na 76°C. Tímto krokem je rmutování ukončeno a celá směs je přečerpána do scezovací kádě. Celý proces trvá zhruba dvě hodiny. Další alternativou pro belgická piva jsou více etapové infuze. Jedná se o několikrát opakovanou klasickou infuzní metodu, což znamená, že se klasická infuzní metoda postupně několikrát opakuje (Guinard 1990; Basařová 2010; Papazian 2006).

3.6.4 Scezování

Scezování je proces, při kterém dochází k oddělení pevné složky (mláta) od kapalné (sladiny). Odrmutované dílo (sladina) představuje hustou suspenzi mláta ve vodném roztoku. Jelikož pro další proces výroby je pevná složka nežádoucí je nutné jí oddělit. Mláto samotné působí jako filtrační materiál. To se nechá usadit na perforovaném dně scezovací nádoby. Vzniklá vrstva je pomocí „kopačky“ (vysoké míchadlo, funguje jako kypřidlo) urovnána. Jakmile je mláto usazeno a hladina se vyčištěna přichází na řadu proces zvaný podrážení. Při tomto procesu dochází k cyklickému čerpání sladiny v rámci scezovací nádoby, jehož výsledkem je vyčištění sladiny. Po vyčištění je sladina čerpána zpět do mladinové kádě. Tato částí sladiny je označována jako tzv. „předek“ a má výrazně vyšší stupňovitost (obsah zkvasitelných sacharidů) než požadované pivo. Poté dochází k tzv. vyslazování, resp. postupnému promývání mláta vodou. Cílem je vyextrahovat co možná nejvíce extraktivních látek. Mláto je odpadním produktem využitelným například jako sacharidové krmivo (Kosař & Procházka 2000; Basařová 2010).

3.6.5 Chmelovar

Chmelovar je proces, kdy je do vroucí sladiny v určitých etapách přidáván chmel. Po přidání chmele je tekutina označována „mladina“. V průběhu varu dochází k množství změn nezbytných pro kvalitní finální produkt. Proces trvá z pravidla 90 minut, avšak délku si každý pivovar upravuje dle své receptury. Dlouhý var má za následek sterilitu mladiny a inaktivaci a denaturaci enzymů. Za takto vysoké teploty dochází také ke koagulaci bílkovin, které se postupně vysráží v podobě okem viditelných vloček. Tomuto jevu se říká lom (Basařová et al., 2021; Basařová 2010).

Vlivem dlouhého varu dochází k odpařování vody, resp. zvyšována koncentrace extraktivních látek a změně barvy. Pomocí varu takto je dosaženo požadovaného objemu a koncentrace zkvasitelných sacharidů v mladině (Basařová et al. 2021).

Varem dochází rovněž k odpařování dimethylsulfidu, senzorycky nežádoucí látky, která se do piva uvolňuje ze sladu v průběhu rmutování. Jeho vysoký obsah způsobuje chuť vařené zeleniny. Díky své vysoké těkavosti však velmi jednoduše odchází z piva odparem (Senge 2002; McLaughlin et al. 2008).

Chmel dodává pivu jeho charakteristickou chuť a aroma. Na hořkosti se převážně podílejí α – hořké kyseliny. V menší míře pak β – hořké kyseliny a polyfenoly. O aroma se zaslouhují chmelové pryskyřice. Dávkování chmele je tradičně rozděleno na jednu až tři dávky. Každá ve svém specifickém časovém intervalu. První dvě přispívají v pivu hlavně na hořkosti a chuti. Zatímco ke konci chmelovaru dodává chmel pivu hlavně aroma. Proto se na začátek chmelovaru přidávají hlavně hořké odrůdy chmele a ke konci spíše aromatické odrůdy (Kinčl 2022; Basařová 2010).

Dávkování chmele v belgických pivech se pohybuje okolo 500 g/hl. To se může oproti ležákům působit jako velké množství, kam se přidává okolo 100 g/hl. Dávkování je dáno úmyslným stářím a zoxidovatelností chmelu. Změna je také v délce samotného varu. Oproti tradičním 90 minutám trvá var belgických piv až šest hodin. Účelem je jednak zbavení se veškerých aromatických chmelových látek. Ale také odpaření velkého množství vody, která byla do směsi v procesu rmutování přidána. Odpaří se až 30 % z celkového objemu (Guinard 1990).

3.6.6 Víření

Po ukončení chmelovaru je nutné oddělit nerozpustné zbytky chmelu. K tomu dochází ve vířivé kádi, kam je mladina čerpána z bočního pláště pro dosažení rotačního pohybu čímž se tvoří vír. Kaly se díky tomu usadí uprostřed nádoby na vyvýšeném dně, odkud jsou následně odstraněny (Kosař 2000).

3.6.7 Spílání

Proces čerpání hotové a čiré mladiny přes chladič do kvasné nádoby se nazývá spílání. Dnes je k chlazení mladiny nejčastěji používán deskový chladič. Pivo je zchlazeno na zákvasnou teplotu dle optima pro činnost používaných kvasnic. Pro svrchní kvašení je optimální teplota v rozmezí 12-18 °C a pro spodní kvašení 5-8 °C. Snížením teploty dochází k tvorbě a vylučování jemných neboli chladových kalů. Kaly je možné následně odstranit filtrací, odstředěním, či sběrem kvasničné deky, nebo odebráním usazených kvasnic ze dna kvasné nádoby. Zároveň během spílání dochází čerpáním mladiny do kvasné nádoby k celkovému provzdušňování. Cílem je dostat do mladiny rozpustný kyslík, který je velmi důležitý pro kvasinky z počátku kvasného procesu a ovlivňuje následnou rychlost a kvalitu kvašení (Kosař 2000; Basařová 2010).

Chlazení belgických piv probíhá výrazně odlišně od klasického způsobu. Hotová mladina není rychle chlazená pomocí chladiče, ale naopak je ponechána samovolně zchladnout v otevřené kádi, kde zároveň dochází ke spontánnímu zakvašení. Kád' je velmi široká a mělká, aby bylo docíleno velké plochy. Tradičně se nachází v nejvyšším patře pivovaru, na půdě. Venkovní vzduch je vháněn do místnosti. Zároveň je důležité nechat půdní mikrobiotu nedotčenou. Chlazení trvá obvykle jeden den, po kterém by měla být zchlazená mladina přesunuta do tanků, kde probíhá kvašení (Guinard 1990).

3.6.8 Kvašení

Kvašení je proces, při kterém jsou zkvasitelné sacharidy přeměňovány pivovarskými na výsledný produkt. Tento proces probíhá buď v otevřených spilkách, nebo dnes častěji v uzavřených cylindrokónických (CK) tancích (Šrogl et al. 2007).

Při spílání a provzdušňování jsou do mladiny přidány pivovarské kvasnice, proudem přitékající mladiny dochází k rovnoměrnému rozmíchání. Dávkování kvasnic se obvykle pohybuje okolo 500 ml hustých kvasnic na 100 litrů mladiny. Každý pivovar si dávkování upravuje dle své potřeby a receptury. Větší objem kvasnic zajistí rychlejší prokvašení (Kosař 2000).

Po přidání do mladiny začínají kvasnice zpracovávat živiny jako zkvasitelné sacharidy, aminokyseliny, minerální látky. Začíná jejich množení a produkce metabolitů, mezi které patří ethanol, oxid uhličitý, vyšší alkoholy. Tyto metabolity jsou žádoucí produkty fermentace, ale ve větších množstvích jsou pro kvasnice toxické (Laudaud et al. 2001).

Prokvašení mladiny je určováno podle podílu zbytkového zkvasitelného extraktu z extraktu původní mladiny. Mladina obsahuje okolo 80 % zkvasitelného extraktu. Samotné hlavní kvašení by mělo proběhnout během 5–7 dní, ale přesná doba se odvíjí od zkvasitelného extraktu původní mladiny, teploty kvašení, druhu použitých kvasnic a jejich množství. V této fázi se do piva vstřebává pouze malé množství oxidu uhličitého (0,2 %) z celkového oxidu uhličitého obsaženého na konci kvašení, zbylý je odpouštěn, aby bylo dosaženo co možná nejvhodnějšího prostředí pro rozvoj kvasinek. Velké pivovary uvolňovaný oxid uhličitý přečišťují a dále používají např. při procesu lahvování (Kosař 2000; Basařová 2010; Hasík 2013). Belgická piva jsou tradičně kvašena spontánně v dřevěných sudech. Spontánní kvašení lze rozdělit do čtyř fází: fáze *Enterobacteriaceae*, hlavní kvašení, kysací fáze a dozrávání. Každá je

specifická působením určitých organismů. Fáze *Enterobacteriaceae* začíná 3. až 7. den od zakvašení. Probíhá 30 až 40 dní a je charakteristická bakteriemi, *Enterobacter* spp., *Klebsiella pneumoniae*, a *Hafnia alvei* spolu s odolnými rody kvasnic *Kloekera apiculata*, *Hanseniaspora uvarum*, *Saccharomyces dairensis*, *Saccharomyces uvarum* a *Dekkera*. To má za následek tvorbu převážně kyseliny octové a malého množství ethanolu (viz. Obrázek 1). Fáze hlavního kvašení začíná ve třetím až čtvrtém týdnu fermentace a nejvíce zastoupenými mikroorganismy jsou kvasinky spodního kvašení, které přerostou umírající bakterie. V tomto období probíhá hlavní tvorba ethanolu.

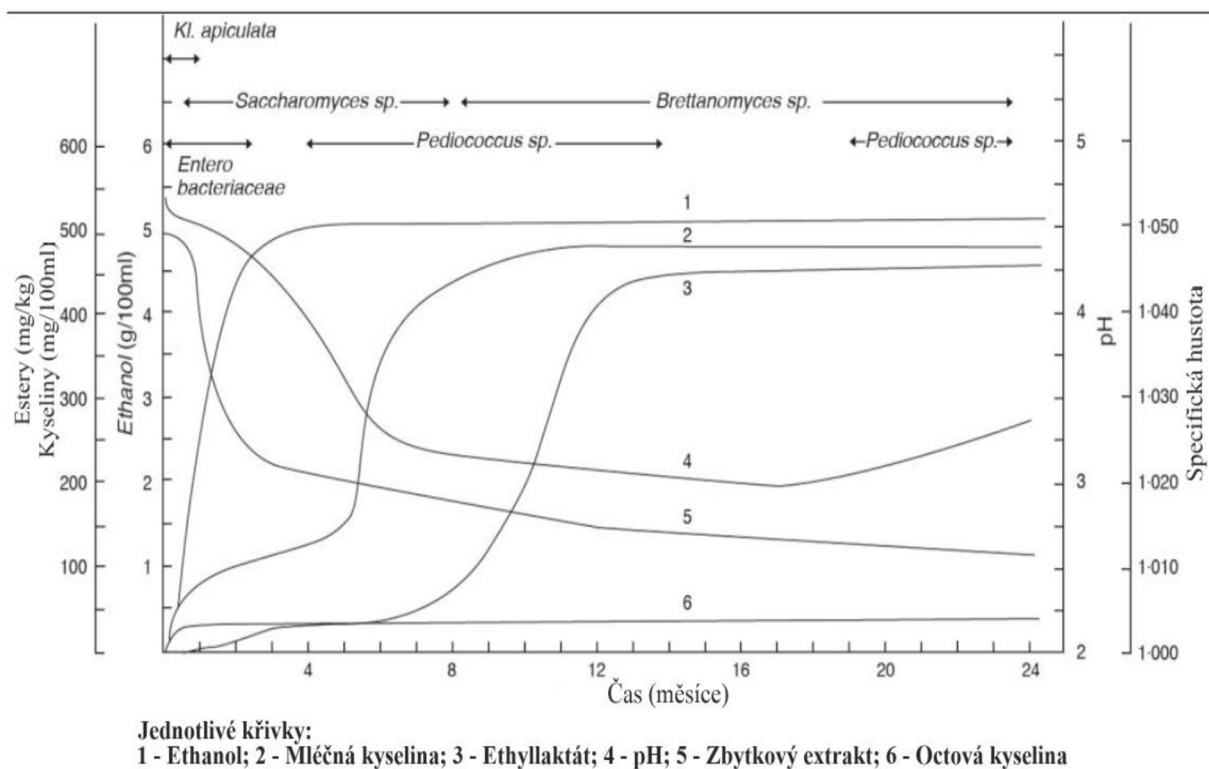
Hlavní kvašení lze rozdělit na několik fází:

1. Zprašování
2. Nízké bílé kroužky
3. Vysoké hnědé kroužky
4. Propadání deky

(Guinard 1990; Basařová 2010; Van Oevelen at al. 1977)

Po třech až čtyřech měsících fermentace nastává fáze kysací, která je charakteristická nárůstem bakterií *Pediococcus* spp. a *Lactobacillus* spp. Dochází k tvorbě velkého množství kyseliny mléčné, což má za následek snížení pH až k hodnotě 3. Nepříznivé podmínky jako např. výrazné teplotní výkyvy mohou způsobit tvorbu nechtěných látek, které mají na svědomí kažení piva. Může se vyskytnout tzv. olejovitost, nebo tzv. opar způsobený slizem ze sacharidů. Po čtyřech až osmi měsících dominují kvasnice rodu *Brettanomyces* spp., které dále štěpí zbylé sacharidy. Poslední fáze zrání piva začíná po desátém měsíci kvašení a je charakteristická postupným útlumem mikrobiální aktivity. V této fázi se vyskytují i kvasinky rodu *Candida*, *Pichia*, *Hansenula* (Guinard 1990; Basařová 2010).

Druhotná fermentace přichází podobně jako u šampaňského vína v láhvi. Tato metoda se nazývá „méthode Champenoise“. Během druhotné fermentace dochází k tvorbě specifické chuti a velkého množství oxidu uhličitého (Guinard 1990; Van Oevelen at al. 1977).



Obrázek 1 - Výskyt mikroorganismů v belgických pivech (Guinard 1990)

3.7 Chemické složení belgického piva

3.7.1 Chuť a aroma a belgických piv

Chuť a aroma piva jsou dány několika stovkami látek, které vznikají v každé fázi pivovarského procesu převážně během kvašení mladiny a patří sem meziproducty a vedlejší produkty kvašení jako jsou vyšší alkoholy (viz Obrázek 5), estery, vicinální diketony, další karbonyly a sirné sloučeniny jsou důležitými chuťovými prvky. Tyto sloučeniny s látkami z chmele a sladu určují konečnou kvalitu piva. Vyšší alkoholy, organické kyseliny, sirné sloučeniny a estery jsou až na výjimky žádoucí těkavé složky piva. Obsah chuťových a aromatických látek musí být udržován v určitých mezích. V opačném případě může jedna sloučenina nebo skupina sloučenin převládat a narušit chuťovou rovnováhu piva (Meigaard 1975 & Bamfort 2011).

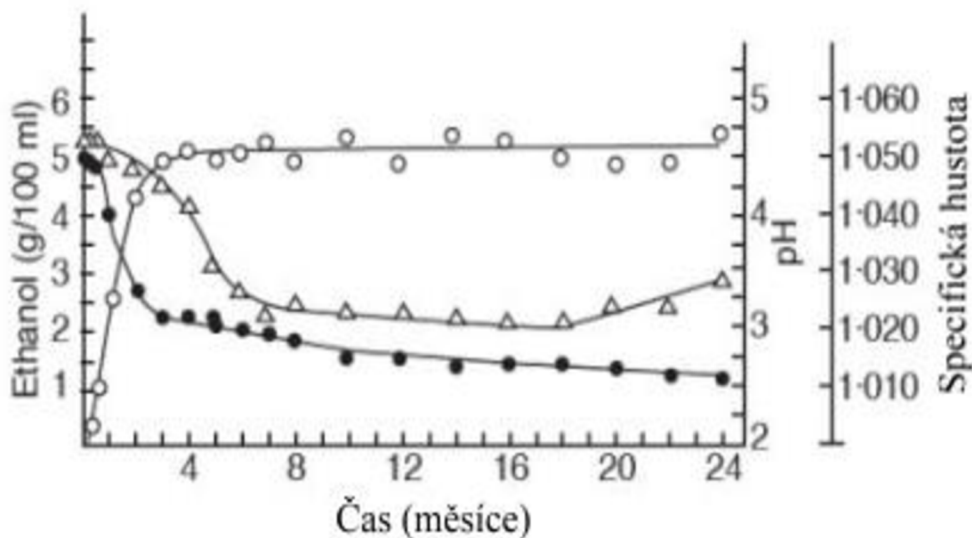
Lambic, gueuze a podobná piva jsou komplexní mixy, každá várka má jiný charakter, který je odvozen od klíčových sloučenin a specifických procesů typických pro tato piva. Některé chuťové a aromatické látky pocházejí ze vstupních surovin použitých v procesu vaření např. nesladovaných obilovin, zestárlých zoxidovaných chmelů, ovoce atd.. Jiné vznikají jedinečným způsobem vaření a spontánním kvašením (Malone 1989).

Vycházíme-li ze stejné specifické hustoty 1,048 g/ml (12 stupňů Plato), může být skutečný extrakt lambiku, gueuze a ovocných lambiků až 1,008 g/ml (2,2 stupně Plato), tedy poloviční než u typických ležáků s hustotou 1,015 až 1,019 (3,7 až 4,8 stupně Plato). Důvodem je vyšší

stupeň prokvašení a sekundární fermentace v láhvích lambicků. Stupeň prokvašení je výrazně vyšší než např. ležáků, kde se pohybuje mezi 50 a 68 %. U belgických piv se rozsah prokvašení pohybuje od 63 do 82 %, ale většina pivovarů prokváší na co nejmenší hodnoty zbytkového zkvasitelného extraktu. Zkvašení sacharidů v lambiku a jeho ovocných variantách může být i úplné, kdy zůstává velmi malé množství sacharidů. Díky tomu jsou lambiky vhodnější pro diabetiky než klasická piva. Zkvasitelné sacharidy se u lambiku na konci zrání pohybují od 0,5 po 2 %. Vyšší z hodnot se objevuje u ovocných piv, kde dochází pouze k omezené a krátké druhotné fermentaci. Tato piva mají výraznou sladkou chuť (Van Oevelen & de l'Escaille 1976). V lambiku se prakticky nevyskytují dextriny, jelikož byly metabolizovány buď primárním kvašením v sudech, nebo sekundárním kvašením v lahvi. Pouze ve vzácných případech, kdy nedojde ke správné fermentaci může v pivu zůstat malé množství dextrinů z nesladované pšenice, nebo lehce sladovaného ječmene, ze kterých se do piva uvolňuje více dextrinů než ze sladovaných obilovin. Nízký obsah dextrinů v lambicích je jedním z důvodů, proč je jejich chuť charakterizována jako spíše „řidká“ (Guinard 1990).

Obsah alkoholu v belgických pivech se pohybuje v širokém rozmezí hodnot. Faro má v průměru 3,5 % obj. etanolu (2,8 % hm.). Mladý lambik obsahuje přibližně 4,5 % obj. etanolu (3,6 % hm.). Gueuze mezi 5,3 a 6,2 % obj. (4,2 až 5 % hm.). U ovocných lambiků může být obsah alkoholu vyšší v důsledku přidavku ovoce, až 6,5 % obj. (5,2 % hm.). Při výrobě ovocných lambiků jsou v některých případech přidávány ovocné sirupy. Piva mají proto mnohem nižší obsah etanolu, až 3,7 % obj. (2,9 % hm.) a jsou velmi sladká. Původní extrakt belgických piv se tradičně pohybuje okolo 13 stupňů a díky vysokému prokvašení tak piva dosahují vysokých hodnot alkoholu (Guinard 1990). (viz. Obrázek 2).

Vysoká energetická hodnota belgických piv je dána převážně velkým obsahem etanolu, ne zbytkovým zkvasitelným extraktem. Díky tomu mají mírně vyšší energetickou hodnotu než ležáky. Jen u ovocných lambiků tvoří většinu energetické hodnoty právě zbytkový extrakt z přidané ovocné složky (Jackson 1982).



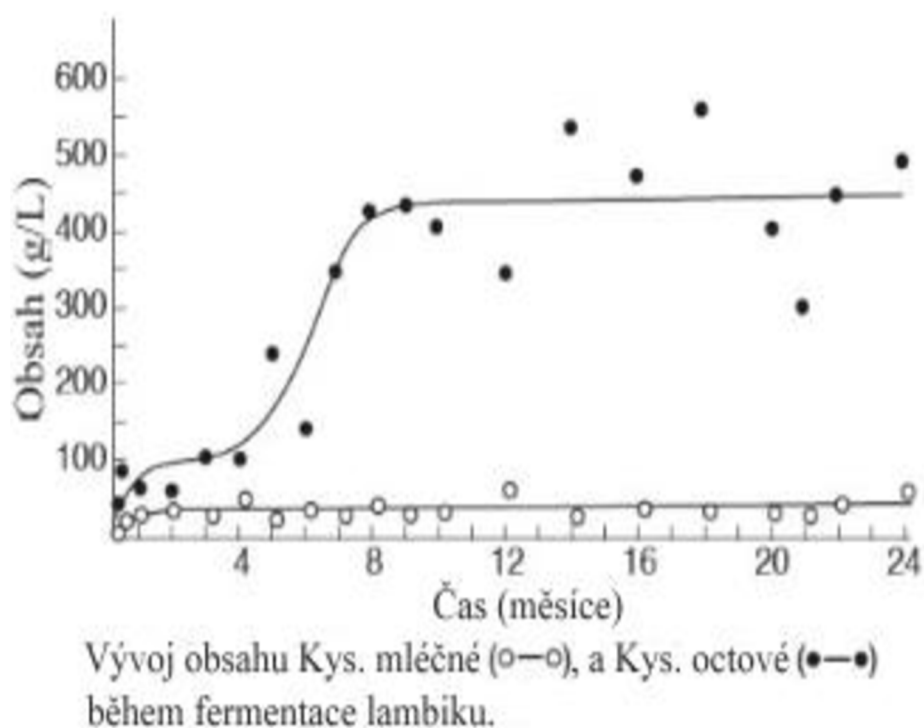
Vývoj obsahu alkoholu (○—○), skutečného extraktu (●—●) a pH (△—△) během fermentace lambiku.

Obrázek 2 - Tvorba ethanolu v belgických pivech (Guinard 1990)

Obsah acetaldehydu je v belgických pivech velmi nízký (2,5 až 8,2 mg/l), přestože může dojít k oxidaci piva v dřevěných sudech. Důvodem může být právě vysoký stupeň prokvašení a velmi dlouhá doba zrání během které je metabolizován kvasinkami. Všechna piva typu belgických piv obsahují vysoká množství organických kyselin. Proto voní po ovoci a mají nakyslou chuť. Celková kyselost těchto piv je třikrát až osmkrát vyšší než u ležáků. Hodnota pH lambiku se pohybuje okolo 3,4 u „tvrdého“ lambiku, napadeného octovými bakteriemi. „Ropy“ lambiky, které obsahují vysokou hustotu bakterií *Pediococcus*, mají pH přibližně 3,5. U gueuze, krieků a framboise je pH ještě nižší a pohybuje se od 3,32 do 3,51 u gueuze a od 3,30 do 3,51 u ovocných lambiků. To je způsobeno přidáním ovoce a dalšími mikrobiálními metabolity. Na druhou stranu klasické ležáky mají pH okolo 4,5 (Spaepen & Verechtert 1982).

Koncentrace octové kyseliny v belgických pivech (obvyčně okolo 1200 mg/l) je výrazně vyšší než u ležáků, kde se koncentrace pohybuje okolo 60 mg/l. Koncentrace octové kyseliny je obecně vyšší u sekundárně fermentovaných piv. V dřevěných sudech používaných na kvašení, může dojít k napadení bakteriemi, a to má poté za následek vysoký obsah kyseliny octové, až 4000 mg/l. Takto lehce znehodnocená piva vykazují silně štiplavou až pikantní a octovou chuť. Mohou být míchána s jinými pivy, nebo je do nich přidáváno ovoce. Část kyseliny octové se ztrácí odpařováním, nebo je přeměňována na ethylacetát. Formování mléčné kyseliny v belgických pivech je přesně opačné než u kyseliny octové. Na začátku kvašení zhruba v prvním měsíci je obsah kyseliny mléčné okolo 800 mg/l piva. V následující fázi kvašení

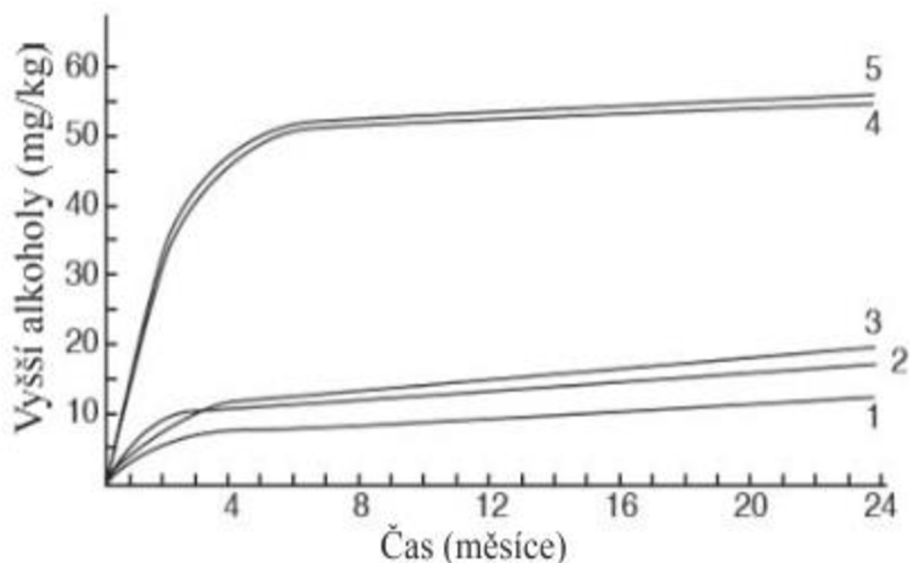
v období od šesti do osmi měsíců se koncentrace zvyšuje až na 4000 mg/l. (viz Obrázek 3). V případech, kdy dojde k přemnožení bakterií rodu *Pediococcus* lze naměřit hodnoty až 10000 mg/l. V gueuze, a ovocných variantách lambiku se hodnoty kyseliny mléčné pohybují v rozmezí od 1500 do 3500 mg/l. Sekundárně fermentovaná piva mají právě vyšší obsah kyseliny mléčné. Obsah kyseliny mléčné je hlavním důvodem nízkého pH a kyselé chuti belgických piv. Pro porovnání ležáky obsahují okolo 100 mg kyseliny octové a mléčné na jeden litr piva (Van Oevelen et al. 1978; Verachtert 1983).



Obrázek 3 - Tvorba mléčné a octové kyseliny v belgických pivech (Guinard 1990)

V belgických pivech se také nachází kyseliny propionová, izomáselná a máselná. Jejich zvýšené množství má za následek máselné a mléčné chuťové tóny. Např. obsah kyseliny máselné je až 4,5 mg/l. Zatímco u ostatních piv je její obsah maximálně 0,6 mg/l. V ovocných lambicích se vyskytuje ve velkém množství až 6600 mg/l jablečná kyselina. Důvodem je přidavek ovoce a ovocných sirupů s vysokými koncentracemi dané kyseliny. Pokud se, ale ovocné lambiky zrají delší dobu dochází k přeměně kyseliny jablečné na kyselinu mléčnou bakteriemi rodu *Lactobacillus* a *Leuconostoc*. Díky tomu je možné posoudit, jak dlouho pivo po přidání ovoce zráló (Van Oevelen et al. 1978; Verachtert 1983).

Profil vyšších mastných kyselin v belgických pivech se výrazně liší od ostatních typů piv. Složení vyšších mastných kyselin má vliv na tvorbu a strukturu pěny. Celkový obsah je v belgických pivech přibližně stejný jako u ostatních pivních stylů, ale rozdílné jsou v podíly kyseliny kaprylové a kaprinové, těch obsahují belgická piva až třikrát více. To v některých případech způsobuje tzv. kozí chuť. Naopak koncentrace vyšších alkoholů jsou v belgických pivech nízké a neliší se např. od ležáků (Spepen et al. 1978).



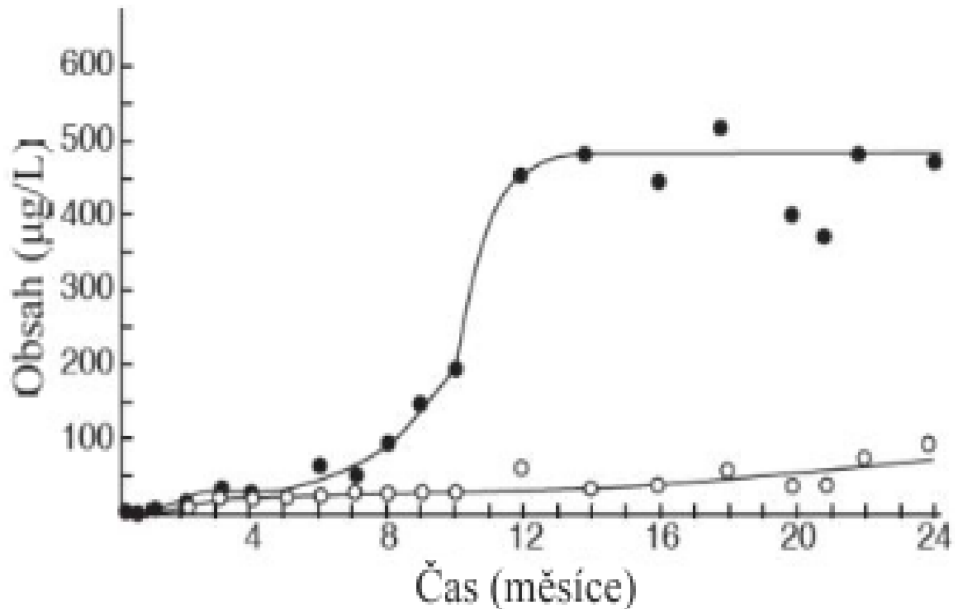
Vývoj obsahu vyšších alkoholů během fermentace lambiku:
 1 = propanol; 2 = D-amyl alkohol; 3 = isobutanol;
 4 = fenethylalkohol; 5 = isoamylalkohol.

Obrázek 4 - Tvorba vyšších alkoholů v belgických pivech (Guinard 1990)

Během delšího zrání může dojít oxidačním změnám vyšších alkoholů na melanoidy a aldehydy, které mají následně vliv na chuť tím, že dodávají jablečné a oxidované tóny. Melanoidy přispívají spíše k tmavé barvě vyzrálých piv (Van Oevelen & de l'Escaille 1976).

Charakteristická ovocná chuť je dána spektrem obsažených esterů. Díky použití starých, zoxidovaných chmelů postrádají belgická piva těkavé silice. Koncentrace ethylacetátu je výrazně vyšší. Koncentrace těkavých silic u klasických ležáků se pohybují v koncentracích od 6 do 23 mg/l piva. U „tvrdého“ lambiku, kde se přemnožily bakterie octového kvašení, jsou hodnoty až 540 mg/l. Octový zápach je způsoben kyselinou octovou a ethylacetátem. Vyšší hodnoty lze naměřit i u ethyl laktátu. V belgických pivech přesahují hodnoty 100mg/l a dlouho zrajících pivech až přes 450 mg/l, zatímco v ležácích pouze okolo 0,1 mg/l. I tato látka přispívá celkové ovocné vůni. Na druhou stranu koncentrace isoamylacetátu jsou v belgických pivech až dvakrát nižší než u ostatních typů piv, kde jsou koncentrace od 0,7 do 3,3 mg/l. Mají také relativně nízký obsah fenethylacetátu. V belgických pivech je možné naměřit vysoké množství esterů mastných kyselin ethylkaprilátu (0,16 až 0,59 mg/l) a ethylkaprátu (0,07 až 0,28 mg/l), u ostatních pivních stylů jsou koncentrace těchto látek prakticky nulové (Spaepen 1978). Spaepen (1978) dále uvádí, že ethylkaprilát je hlavním důvodem specifického aroma lambiku a gueuze. Diacetyl a dimethylsulfid, jsou v belgických pivech přítomny v podobných koncentracích jako u piv ležáků (0,01 – 0,04 mg/l). Obě sloučeniny jsou vytvářeny na začátku kvašení a během zrání dochází k jejich částečnému odpařování. Vysoký obsah diacetylu v lambiku může ukazovat na silnější pomnožení bakterií rodu *Pediococcus* nebo na oxidační změny.

Charakteristická vůně belgických piv je dána obsahem ethylacetátu, ethylaktátu, tetrahydropyridinů a těkavých fenolů produkovaných kvasinkami rodu *Dekkera* (viz. Obrázek 4). Tetrahydropyridiny dodávají koňskou, kožovitou vůni, zatímco těkavé fenoly přispívají ke kořeněným a hřebíčkovým vůním (Craig & Heresztyn 1984; Heresztyn 1986).



Vývoj obsahu ethyl acetátu (○—○), a ethyl laktátu (●—●) během fermentace lambiku.

Obrázek 4- Tvorba ethyl acetátu a ethyl laktátu v belgických pivech (Guinard 1990)

3.7.2 Hořkost

Hořkost je určována jednotkami hořkosti International Bitterness Units (IBU). Ty se stanovují pomocí extrakce isoktanem. Hodnota vyjadřuje hořkost piva bez ohledu na čerstvost a kvalitu použitých chmelů. Při této metodě je 10 ml piva extrahováno 20 ml izooktanu po dobu patnácti minut. Absorbance isooktanové vrstvy je poté odečtena na spektrofotometru při vlnové délce 275 nm. IBU se rovnají padesátinásobku absorbance isooktanových extraktů hořkých látek (většinou iso- α kyselin) z piva. Belgická piva mívají podobnou hodnotu IBU jako ležáky, okolo 25, a i přesto jsou výrazně méně hořká. Rozdíl lze vysvětlit dvěma důvody. Chmelení mladiny belgických piv je sice mnohem vyšší, ale všechny α - a β -kyseliny ve starém chmelu jsou zoxidovány. Ty jsou extrahovatelné isooktanem, ale vykazují nižší absorpci než iso - α -kyseliny v ležácích. Také velmi kyselé, nebo sladké chutě ze zbytkového nezkašeného extraktu některých ovocných lambiků pravděpodobně překrývají hořké chutě. Některé pivovary používají chmel, který neprošel důkladným zráním (a oxidací) a vyrábějí tak málo hořké lambiky (Guinard 1990).

3.7.3 Obsah oxidu uhličitého

Obsah oxidu uhličitého je u pivních stylů velmi rozdílný. Belgická piva se sekundární fermentací mají vysoké koncentrace CO₂. Ve standardně kvašených pivech je zpravidla vytvářeno o něco méně CO₂ (2,0 až 2,4 % hm.) než u belgických piv (2,4 až 2,8 % hm.), ale velká většina tohoto CO₂ z piva vytěká do výsledné koncentrace okolo 0,5 % obj. (Guinard 1990).

3.7.4 Čirot

U některých belgických piv s vyšším obsahem mikroorganismů může přetrvávat zákal. V těchto případech je možné biologický zákal tvořený životaschopnými kvasinkami a bakteriemi, pozorovat pouhým okem. Díky obsahu bílkovin a polyfenolů může dojít u některých belgických piv i k tzv. chladovému zákalu. Výskyt nebiologického zákalu je ale nižší než u jiných pivních stylů. Důvodem je celkově nižší obsah bílkovin. U belgických piv se koncentrace pohybují od 42 do 55 mg/l, oproti 95 až 147 mg/l u ležáků. Navzdory tomu, že na výrobu belgických piv bývají používány suroviny s vyšším obsahem bílkovin (pšenice) než je tomu u ostatních piv. Důvodem je vaření mladiny a velmi dlouhé kvašení a zrání. Základní aminokyseliny (arginin a lysin) jsou z mladiny téměř kompletně odstraněny bakteriemi. Ze 100 mg/l v původní mladině klesne jejich koncentrace až na 10 mg/l. Na druhou stranu koncentrace esenciálních aminokyselin (valin, leucin, izoleucin, methionin, fenylalanin, lysin, threonin a histidin) je až čtyřikrát vyšší než je tomu u jiných pivních stylů. To může být důsledkem uvolňování aminokyselin z odumírajících mikroorganismů v průběhu zrání (Spaepen & Verachter 1982; Van Oevelen at al. 1977; Miller 1988).

3.7.5 Fenolické sloučeniny

Spektrum fenolických sloučenin v belgických pivech je široké, od relativně jednoduchých složenin získaných varným procesem z obilovin, nebo z přídavku ovoce po hlavním kvašení, až po velmi složité látky taninového původu vylouhovaných z dřevěných sudů v průběhu zrání. Přestože je extrakce fenolů ze sudů omezena vlivem opakovaného používání sudů, stále se vyextrahuje značné množství látek, protože pivo je v sudech uloženo po velmi dlouhou dobu. Fenolické sloučeniny představují nepostradatelnou součást belgických piv. Jsou určující pro barvu ovocných piv (anthokyany), přidávají dřevité (těkavé fenoly) a svíravé chutě (třísloviny), které jsou dále umocněny nízkým pH hotového piva. To má za následek změnu molekulární konfigurace tříslovin, které tak působí výrazně svíravěji. Obvyklá koncentrace fenolických sloučenin se v ležácích pohybuje okolo 300 mg/l, zatímco u ovocných lambiků může přesáhnout hodnoty 900 mg/l (Van Oevelen at al. 1976).

3.7.6 Barva

Belgická piva vykazují velmi širokou škálu barev, některé jsou pro piva až neobvyklé. Barvu lze ovlivnit použitými surovinami. Dále se barva mění během varu, kde dochází k Millardově reakci mezi aminokyselinami a sacharidy (tzv. neenzymatické hnědnutí). Barvu lze posuzovat tradiční SRM (Standard Reference Method) škálou, tedy standardní barevnou stupnicí, do nejsvětlejší barvy piva po nejtmaší černá piva. Barva tradičních ležáků se pohybuje okolo 2 až 5 SRM. Měření barvy podle standardní stupnice SMR je u belgických piv neurčující až nevhodné. Standardně používané stupnice nepokrývají veškeré barvy klasických belgických piv natož pak ovocných lambiků (Guinard 1990).

3.7.7 Sirné sloučeniny

Sloučeniny síry jsou sekundární metabolické produkty kvasinek vznikající při kvašení mladiny. Mnoho těchto sloučenin významně přispívá k chuti piva ještě před zráním v dubových sudech. Ačkoli malé množství sirných sloučenin může být sensoricky přijatelné, nebo dokonce žádoucí, v nadbytku způsobují nepříjemné vedlejší chutě. K jejich odstranění je nutná prodloužená doba zrání. Některé sirné sloučeniny přítomné v pivu nejsou přímo spojeny s kvašením, ale pocházejí z použitých surovin (sladu, chmele atd.). Např. dimethylsulfid a jeho thioestery jsou chuťovými složkami piva, ale z velké části pocházejí ze sladu a chmele. Koncentrace sirovodíku (aroma zkažených vajec), oxidu siřičitého (spálená zápalka) a thiolů (spálená guma) však do značné míry závisí na metabolismu kvasinek. Nesprávné řízení kvasného procesu může vést k nepříjemně vysokým koncentracím uvedených sloučenin v hotovém pivu. Koncentrace sirovodíku a oxidu siřičitého, vznikající během kvašení, jsou dány především použitým kmenem kvasinek. Důležitým faktorem je také složení mladiny a podmínky kvašení, zejména tam, kde jsou hladiny těchto sloučenin abnormálně vysoké. Obě sloučeniny vznikají jako vedlejší produkty syntézy aminokyselin obsahujících síru (cystein a methionin). Tyto syntézy jsou ovlivněny složením mladiny v tom smyslu, že kvasinky přednostně spotřebovávají aminokyseliny obsahující síru, jako je methionin, ve srovnání s jinými aminokyselinami a nízkomolekulárními peptidy (Munroe at al. 2006; Russell & Stewart 2014).

3.8 Mikrobiologie belgických piv

Celkově lze v belgických pivech detekovat velké množství mikroorganismů a každý z nich se určitým způsobem podílí na tvorbě finální chuti a aroma. Belgická piva podléhají jak spontánnímu, tak řízenému kvašení. To znamená, že jsou kvašena mikroorganismy tradičně se nacházejícími v pivovarech, ale také mikroorganismy z okolního prostředí. Jedinečnost každého piva je dána unikátním spektrem mikroorganismů, které se v jednotlivých pivech vyskytují. V belgických pivech se vyskytují též nekulturní kvasinky, a dokonce i bakterie. Mezi nekulturní kvasinky lze zařadit rody *Dekkera*, *Kloeckera*, *Hansenula*, *Candida*, *Pichia*, *Hanseniaspora*, *Cryptococcus* a *Rhodotorula*. I bakterie, které dokáží přežít v nepříznivém prostředí piva (pH, ethanol, chmelové výtažky). Patří mezi ně bakterie mléčného kvašení

(*Pediococcus*, *Lactobacillus*), bakterie octového kvašení (*Acetobacter*) a enterobakterie (*Klebsiella*), které tradičně kazí pivo, ale neohrožují zdraví konzumenta (Guinard 1990).

Výroba belgických piv však zůstává výjimkou. Jedná se spíše o soubor procesů kažení piva, který má ve finálním produktu pozitivní výsledky. Je to tedy postup žádoucích a pozitivních, ne zcela řízených procesů kažení (Van Oevelen et al. 1977; Verachter 1983; Kreger-van 1984).

3.8.1 Enterobakterie

V belgických pivech se běžně objevují rody *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella* a *Hafnia*. V mladině se od 3. do 7. dne vyskytují v poměrně velkém množství 10^8 buněk/ml. Životaschopnost těchto bakterií je vysoká. Ale po 14ti dnech se začne rapidně snižovat a obvykle po dvou měsících nelze v pivě žádné detekovat. V mladém pivu jsou původci velmi rozmanitých chutí a vůní, sladkých, medových nebo i ovocných. V případě kontaminace nekulturními rody může dojít k rozvoji chutí po zelenině nebo dokonce fekáliích. Jejich metabolická dráha je velmi efektivní pro zpracování glukózy pro své růstové potřeby, ale postrádají schopnost metabolizovat jakékoliv složitější sacharidy jako např. maltózu. Jejich metabolická dráha spotřebovává glukózu v procesu zvaném „kyselá smíšená fermentace“, během níž je glukóza přeměněna na kyselinu mléčnou, octovou a oxid uhličitý. Velká většina kyseliny octové nalezené ve finálním produktu pochází právě z tohoto procesu v první fázi kvašení belgického piva. Enterobakterie v mladině také rozkládají velké množství aminokyselin za produkce aminů a peptidů, které se podílejí na chuti piva v raných fázích kvašení, ale v konečném produktu nejsou natolik výrazné. Spotřebovávání aminokyselin brzdí proces alkoholové fermentace (Verachtert 1983).

Enterobakterie ve svém metabolickém procesu produkují i sirné sloučeniny, které by ve finálním produktu byly negativní, avšak během dlouhého procesu zrání jsou tyto látky odbourávány. Sirné sloučeniny unikají z piva společně s oxidem uhličitým. Koncentrace dimethylsulfidu v mladém pivu se na začátku fermentace pohybuje okolo $450 \mu\text{g}/\text{kg}$, ale ke konci fermentace jsou hodnoty sníženy pod $100 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Van Oevelen et al. 1978).

3.8.2 *Kloekera apiculata*

Během prvních dvou dnů fermentace se vedle enterobakterií nacházejí v mladém pivě i kvasinky *Kloekera apiculata*. Maximální koncentrace lze naměřit po jednom týdnu, a to v hodnotách okolo 10^5 buněk/ml. Po dvou týdnech se koncentrace postupně snižuje a začínají být nahrazovány kulturními kvasinkami. Metabolismus kvasinek *Kloekera* jim, stejně jako ostatním kvasinkám, umožňuje spotřebovávat glukózu, ale ne maltózu. Jejich fermentační průběh je formou „kyselá smíšená fermentace“, ten je velmi podobný enterobakteriím. Významným znakem těchto kvasinek je produkce proteáz. Díky tomu jsou, i přes svou krátkou dobu působení v pivu a přes malé koncentrace, zodpovědné za velké množství proteolytických procesů. Odbourávání bílkovin je velmi důležité zejména při použití pšeničného šrotu k vaření piva, protože pšenice má větší obsah bílkovin než ječmen. Větší pomnožení kvasinek *Kloekera* v mladém pivě je velmi žádoucí jev. Proteolytické enzymy, mohou rozložit bílkoviny z pšenice

natolik, že nedochází k chladovému zákalu, který je možné obyčejně u belgických piv pozorovat. Jinak kvasinky *Klockera* nevytváří metabolické produkty stabilní natolik, aby zůstaly v hotovém pivu. Důvodem je dlouhá doba fermentace a zrání. Jedná se primárně o těkavé estery s květinovým a ovocným charakterem (Kreger-van 1984).

3.8.3 Rody *Saccharomyces*

Množství kvasinek rodu *Saccharomyces* se začne v pivu zvyšovat po dvou týdnech fermentace, kdy jejich populace přeroste všechny ostatní mikroorganismy. Jsou zodpovědné za hlavní alkoholové kvašení v pivu a útlum jiných mikroorganismů. Jako dominantní mikroorganismus se v belgických pivech vyskytují v průběhu prvních sedmi měsíců. Nejsilnější nárůst (až na 5×10^6 buněk/ml) je pozorován po 3 až 4 týdnech kvašení. To výrazně méně než u ležáků, kde je průměrný nárůst 10^8 buněk/ml. Z izolací z belgických piv byl nejčastější nárůst *S. cerevisie*, *S. bayanus* a *S. globosus*. První dvě zmíněné se vyznačují silným alkoholovým kvašením se schopností kvasit jak glukózu, tak maltózu. *S. globosus* nejsou schopné metabolizovat maltózu. I když jsou kvasinky zodpovědné za zkvašení většiny sacharidů, nepřispívají nijak k celkové specifické chuti belgických piv. Hlavní kvašení je ukončeno po 3 až 4 měsících (Basařová 2010; Kreger-van 1984).

3.8.4 Bakterie mléčného kvašení

Po skončení hlavního alkoholového kvašení dochází u belgických piv k rozvoji bakterií mléčného kvašení. Nejčastěji se jedná o *Pediococcus damnosus*. V menším množství se objevuje i rod *Lactobacillus*. Nejintenzivnější nárůst lze pozorovat od 7. až 8. měsíce. Což, pokud je dodržen správný časový postup výroby, vychází na začátek léta (viz 3.5.1.). Ve sklepech dojde k přirozenému zvýšení teploty, a právě vyšší teploty více vyhovují těmto rodům bakterií. Velmi podobný nárůst lze pozorovat ve stejném ročním období v případě, že pivo zraje více než jeden rok. Důsledkem je opětovné navýšení venkovní teploty a přirozeně vyšší výskyt těchto bakterií ve vzduchu. *Pediococcus damnosus* má vysokou toleranci proti mikrobistatickým látkám obsaženým v chmelu a v pivech se mu obecně daří. Oproti tomu ostatní druhy mléčných bakterií jsou inhibovány. *Pediococcus* spotřebovává glukózu za vzniku kyseliny mléčné bez vzniku oxidu uhličitého. Jeho výskyt má za následek velký nárůst koncentrací kyseliny mléčné a snížení pH piva. (Guinard 1990).

Bakterie mléčného kvašení tvoří poměrně velké množství diacetylu ($200 \mu\text{g}/\text{kg}$ piva), který působí negativně na celkový sensorický požitek. Ale jakožto meziprodukt je také dále metabolizován i ostatními mikroorganismy a jeho konečné koncentrace obvykle nepřesáhne $45 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Van Oevelen et al. 1978). Bakterie mléčného kvašení mohou vytvořit sliz. To má za následek tzv. olejovitost a tzv. opar piva, který není možné odstranit ani filtrací. Sliz je složen ze sacharidů, nukleových kyselin a proteinů. Jeho výskyt má negativní vliv pouze na vzhled piva. Není nijak škodlivý ani nekáží chuťový profil hotového piva (Van Oevelen a Verachter 1979).

3.8.5 *Dekkera*

Kvasinky rodu *Dekkera* jsou nekulturní kvasinky žijící hlavně na povrchu ovoce. Jsou vysoce resistantní vůči nízkému pH a v případě jiných potravinářských procesů se jich velmi těžko zbavuje. Nacházejí se v ovzduší, nebo na vnitřních stranách sudů. V potravinářství jsou nežádoucí primárně pro kažení vína, kde tvoří negativně působící chuťové a aromatické látky připomínající např. spálený plast. Jejich hlavní nárůst začíná po osmi měsících hlavního kvašení. Tyto kvasinky zůstávají v belgickém pivu po dobu zhruba 16 měsíců. Jejich životní cyklus je spojen s celkovým poklesem zbytkového zkvasitelného extraktu. Vzhledem k tomu, že aerobní respirací se při využití glukózy získá více energie než alkoholovým kvašením, kulturní kvasinky dýchají, kdykoli mohou, zejména za přítomnosti vysokého obsahu kyslíku a nízké koncentrace sacharidů, a zvyšují tak svou biomasu. Tento jev je znám jako „Pasteurův efekt“. Příkladem je komerční výroba pekařských kvasinek z melasy, kdy „kvašení“ probíhá ve vysoce provzdušněných nádobách a melasa je do nádoby přiváděna v malých dávkách, které udržují koncentraci zkvasitelného sacharidu na úrovni 0,5 % nebo nižší. Na druhou stranu koncentrace glukózy přesahující přibližně 0,5 % i za přítomnosti kyslíku, kvasinky zkvasí na etanol a CO₂. Tento jev je znám jako „Crabtreeho efekt“. Jednou z nejzajímavějších charakteristik kvasinek *Dekkera* je, že mladé kultury vykazují negativní Pasteurův efekt, to znamená, že na rozdíl od všech ostatních kvasinek mají za aerobních podmínek velmi silnou fermentační schopnost. Zároveň tvoří na povrchu piva a uvnitř sudů povlak. Povlak je tvořen buňkami kvasinek a chrání pivo před oxidačními změnami (Shimwell 1947; Van Oevelen & Verachter 1979).

Zvláštností těchto kvasinek je jejich schopnost vytvářet výrazně více sekundárních metabolitů, než je tomu u kvasinek rodu *Saccharomyces*. Tyto produkty utvářejí typický chuťový charakter belgických piv. Všechny sekundární metabolity se vyskytují ve velmi malých množstvích, ale všechny jsou smyslově vnímány již při nízkých koncentracích. Nejvíce jsou zastoupeny ethylacetát a ethylaktát. Tyto estery vznikají enzymaticky i neenzymaticky, pomocí esteráz, při reakci odpovídající organické kyseliny a ethanolu. Enzym esteráza je u kvasinek rodu *Dekkera* velmi aktivní na rozdíl od kvasinek rodu *Saccharomyces* a *Kloeckera*. Enzym esteráza pak může být aktivní oběma směry, může vyvolat syntézu esteru z organické kyseliny a ethanolu i hydrolýzu esteru na kyselinu a alkohol (Spaepen & Verachtert 1982).

Schopnosti této kvasinky jsou významné při tvorbě chuťových a aromatických látek charakteristických pro belgická piva a některých červených vín. V belgických pivech je klíčová pro tvorbu kyselých chutí (Dequin et al., 2003; Dufour et al., 2003). Kvasinky *Dekkera* dokáží metabolizovat i složitější oligosacharidy. Glukóza je jejich primárním zdrojem energie a jsou schopny vytvářet ethanol i za aerobních podmínek. V pivu vytváří kyselé chutě a aroma po hřebíčku a koňské kůži. Tato aroma jsou žádoucí pouze v malém množství. Od podmínek kvašení se odvíjí koncentrace vznikajících, aromaticky aktivních látek, a tedy výsledné aroma (Curtin et al. 2012; Heresztyn 1986).

4 Závěr

Belgická piva jsou velkou příležitostí obohatit stávající pivní svět a přiblížit pivo těm konzumentům, pro které je klasický ležák chuťově nezajímavý. Díky speciálním chutím jako je velká kyselost způsobená mléčnou a octovou kyselinou, které jsou do belgických piv vnášeny specifickými druhy bakterií, slabou hořkostí způsobenou zoxidovanými chmely, nebo vysokým stupněm prokvašení, který má za následek vysoký obsah alkoholu a naproti tomu nízký zbytkový obsah zkrasitelných sacharidů, se tyto pivní styly dostávají na úroveň pití vína.

Belgická piva jsou celosvětově unikátní svými postupy výroby od varního procesu, způsobu chlazení, přes místo a délku fermentace (včetně zúčastněných mikroorganismů) až po zrání. U ovocných lambiků to dále doplňují chutě a aroma vzniklá přidáním ovoce a působením mikroorganismů vyskytujících se na povrchu ovoce. Varný proces je specifický složením použitého šrotu. Ten dodává jiné chutě, než které jsou tradičně známé u klasických piv. Během postupného pomalého chlazení, které se liší od rychlého chlazení klasických piv dochází ke spontánnímu. Na rozdíl od klasických piv nekvasí belgická piva v CK tancích, ale v dřevěných sudech. Právě z nich získávají další důležité chuťové látky.

Také celkový proces a doba fermentace a následného zrání jsou výrazně rozdílné od jiných pivních stylů. Vyznačují se dlouhou dobou, která může trvat až několik let, a také výskytem jiných mikroorganismů, než jsou tradiční kulturní kvasnice. Právě v tomto kroku dochází k tvorbě nejvíce chuťových a aromatických látek. Ačkoliv je vaření piva v Belgii velmi konzervativní, tak to neznamená že není pestré, naopak nabízí velmi širokou škálu chutí, vůní a barev tudíž je z pohledu konzumenta stále co objevovat. V procesu výroby je stále co objevovat a zlepšovat. Rozvíjení starých tradic v nových podmínkách nabízí širokou škálu možností, jak pivní svět obohatit. Nabízí se nejrůznější možnosti experimentů za použití nových technologií, nebo tvorby nových chutí pomocí fúze pivních stylů a přísad.

5 Literatura

Bamfort CW. 2011. 125th Anniversary Review: The Non-Biological Instability of Beer. Online. Journal of the Institute of Brewing **117**(4):488-497.

Basařová G. 2010. Pivovarství: teorie a praxe výroby piva. Vydavatelství VŠCHT, Praha ISBN 978-80-7080-734-7.

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. ISBN 978-80-87109-71-7.

Cabras I, Higgins DM. 2016. Beer, brewing, and business history, Business History **58**(5): 609-624.

Craig JT, Heresztyn T. 1984. 2 - Ethyl-3,4,5,6-tetrahydropyridine - An assessment of its possible contribution to the mousy off-flavor of wines. American Journal of Enology and Viticulture. **35**:46-48.

Curtin CD, Borneman AR, Chambers PJ, Pretorius IS. 2012. De novo assembly and analysis of the heterozygous triploid genome of the wine spoilage yeast *Dekkera bruxellensis* AWRI 1499. PLoS One **7**:3.

de Moura FP, Mathias TRDS. 2018. A comparative study of dry and wet milling of barley malt and its influence on granulometry and wort composition. Beverages **4**:3.

Dequin S, Salmon JM, Nguyen HV, Blondin B. 2003. Wine yeast. Pages 389-412 in Boekhout T, Robert V, editors. Yeasts in Food. Woodhead Publishing. Cambridge.

Dufour JP, Verstrepen K, Derdelinckx G. 2003. Brewing yeasts. Pages 347-388 in Boekhout T, Robert V, editors. Yeasts in Food. Woodhead Publishing. Cambridge.

Enge J, Šemík P, Korběl J, Šrogl J, Sekora M. 2005. Technologické aspekty infuzních a dekokčních způsobů rmutování. Kvasný průmysl **51**:158-165. Praha.

Gilliland, RB, 1961 *Brettanomyces*. I. Occurrence, Characteristics and Effects on Beer Flavour. Journal of the Institute of Brewing **67**:257-261.

Guinard JX. 1990 Lambic. Brewers Publications. Boulder, Colorado, ISBN 0-937381-22-5.

Hasík T. 2013. Svět piva a piva světa. Grada, Praha.

- Heresztyn T. 1986. Formation of Substituted Tetrahydropyridines by Species of *Brettanomyces* and *Lactobacillus* Isolated from Mousy Wines. *American Journal of Enology and Viticulture*. **37**(2):127-132.
- Hornsey, SI. 2003. *A History of Beer and Brewing*. RSC Paperbacks. Cambridge. ISBN 978 0854046300.
- Jackson M. 1982. Beers of Belgium. *Zymurgy*, 5 (Winter Issue): 16-19.
- Jackson M. 1988. *Encyklopedie piva*. Vyd. 1. Volvox Globator, Praha. ISBN 80-85769-37-9.
- Kosař K, a Procházka S. 2012. *Technologie výroby sladu a piva*. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha. ISBN 978-80-86576-52-7.
- KOSAŘ, Karel, 2000. *Technologie výroby sladu a piva*. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha. ISBN 80-902658-6-3.
- Kreger-van Rij NJW. 2013. *The Yeast - A Taxonomic Study*. Third Edition, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Kunze W. 2004. *Technology Brewing and Malting*, 3rd edition. VLB Berlin, Berlin.
- Malone P, 1989. Brussels' lambics. *All About Beer* **10**:32-34.
- McLaughlin IR, Lederer C, Shellhammer TH. 2008. Bitterness-Modifying Properties of Hop Polyphenols Extracted from Spent Hop Material. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* **66**:174-183.
- Mikyška A, Prokeš J. 2009. Systém skladování ječmene a jeho vliv na kvalitu sladu a piva. *Kvasný průmysl* **55**:73-81.
- Miller D. 1988. *The complete Handbook of Home Brewing*. Garden Way Publishing. Pownal
- Munroe JH. 2006. Fermentation. Pages 487-524 in Priest FG, Stewar, GG, Editors. *Handbook of Brewing*. CRC Press, Boca Raton.
- Nesvadba V, Olšovská J, Straková L, Charvátová J, Trnková S. 2021. Essential oils in Czech hop varieties. *Kvasny Prumysl* **67**:447-454.
- Olšovská J, Čejka P, Štěřba K, Slabý M, Frantík F. 2017. *Senzorická analýza piva*. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha. ISBN 978-80 86576-74-9.

Olšovská J. 2017. Senzorická analýza piva. Vyd. 1. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha.

Papazian C. 2006. Beer Styles: Their Origins and Classification. Pages 39-75 in Stewart GS, Fergus GP editors. Handbook of Brewing. CRC Press, Boca Raton.

Persyn D, Swinnen JFM, Vanormelingen S. 2010. Belgian Beers: Where History Meets Globalization. *SSRN Electronic Journal*. ISSN 1556-5068.

Poelmans E, Taylor J. 2019. Belgium's historic beer diversity: should we raise a pint to institutions. *SSRN Electronic Journal*. ISSN 1556-5068.

Senge I. 2002. Chmelovar s vakuovym odparem. *Kvasny Prumysl* **48**:87-89.

Shimwell JL. 1947. Brettanomyces. *American Brewer*, May Issue: 21-22, 56-57.

Spaepen M, Van Oevelen D, Verachter H. 1978. Fatty acids and esters produced during the spontaneous fermentation of lambic and gueuze. *Journal of the Institute of Brewing* **84**:278-282.

Spaepen M, Verachtert H. 1982. Esterase activity in genus Brettanomyces. *Journal of the Institute of Brewing* **88**:11-17.

Stewart GG, Russell I. 2009. An Introduction to Brewing Science and Technology: Series III: Brewer's Yeast, 2nd ed.; Institute of Brewing and Distilling, London.

Stewart GG. 2008. Esters—the most important group of flavour-active compounds in alcoholic beverages. Pages 243-251. In Bryce JH, Piggott JR, Stewart GG, editors. *Distilled Spirits*.

Production, Technology and Innovation Edinburgh. Nottingham University Press, Nottingham.

Šilhánková L. 2002. Mikrobiologie pro potravináře a biotechnology. Vyd. 3., opr. a dopl., v nakl. Academia 1. vyd., Praha. ISBN 80-200-1024-6.

Šrogl J, Vernerová H, Matasová L, Sigler K. 2007. Faktory ovlivňující aktivitu invertasy během kvašení, dokvašování a v hotovém pivu. *Kvasný Průmysl* **53**(5):134-138.

Van Oevelen D, de l'Escaille F, Verachtert H. 1976. Synthesis of aroma components during the spontaneous fermentation of lambic and gueuze. *Journal of the Institute of Brewing* **82**:322-326.

Van Oevelen D, Verachtert H. 1979. Slime production by brewery strains of *Pediococcus cerevisiae*. *Journal of the Institute of Brewing* **37**:34-37.

Verberg S. 2020. From herbal to hopped beer: the displacement of regional herbal beer traditions by commercial export brewing in medieval Europe. *Brewery History* **183**: 9-23.

Vlček V, Matoušek J. 1966. Úprava varních vod. *Kvasný Průmysl* **12**:254-256.

Webb, T, Beaumont S. 2012. *The World Atlas of Beers*, Mitchell Beazley, London.

Meilgaard M C. 1975: Flavor chemistry of beer. Part I: Flavor interaction between principal volatiles. *Technical Quarterly Master Brewers Association of America* **12**:107-117.

6 Legislativní dokumenty

Ministerstvo zemědělství 2018. Vyhláška č. 248 ze dne 24. října 2018 o požadavcích na nápoje, kvasný ocet a droždí. Česká republik