



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

VAŘENÍ PIVA V DOMÁCÍCH PODMÍNKÁCH

BREWING BEER IN HOME CONDITIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Potoček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Bohuslav Kilkovský, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Student:	Petr Potoček
Studijní program:	Základy strojního inženýrství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Bohuslav Kilkovský, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vaření piva v domácích podmínkách

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vaření piva se studenty má na Ústavu procesního inženýrství mnohaletou tradici. Tento proces ukazuje studentům základní jednotkové operace a navíc mohou ochutnat, co si sami vyrobí. V současné době jsme uprdovali zařízení potřebné na jeho výrobu. Úkolem je nová zařízení vyzkoušet a proces výroby vybraného typu piva popsat, zjistit vliv různých parametrů na výsledek a případně proces vaření piva upravit.

Úkolem bude rovněž zjištění energetické náročnosti procesu vaření piva a kalkulace ceny, tak aby se dalo odpovědět na otázku, jestli se domácí vaření piva vyplatí, nebo je to jen drahý a náročný koníček.

Cíle bakalářské práce:

1. Seznámit se s procesem vaření piva.
2. Sestavit proces vaření a uvařit si vlastní pivo.
3. Zpracovat naměřená data.
4. Vytvořit varní list a pomocné výpočty v MS Excel.
5. Zjistit energetickou a finanční náročnost vybraného procesu vaření piva.
6. Navrhnout možné úpravy procesu vaření na ÚPI za účelem snížení energetické náročnosti procesu.

Seznam doporučené literatury:

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

KOSAŘ, Karel a Stanislav PROCHÁZKA. Technologie výroby sladu a piva. 3. vyd., 2. na CD-ROM. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, 2012. ISBN 978-80-86576-52-7.

MACHAČ, František. Uvařte si pivo doma!: příručka pro začátečníky a mírně pokročilé. Praha: Svojtka & Co., 2014. ISBN 978-80-256-1172-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na proces vaření piva v domácích podmínkách, to znamená se základním vybavením, které je běžně dostupné. Úvodní část práce obsahuje seznámení s historií pivovarnictví, druhy piv, surovinami nutnými k výrobě piva a výrobní technologií vaření piva. V druhé části práce jsou porovnány dekokční a infuzní způsob vaření piva ze jména z pohledu energetické náročnosti a ekonomie. Závěrečná část je věnována zpracování dat a návrhu úpravy stávajícího procesu výroby piva na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně.

Klíčová slova

Domovarnictví, pivo, slad, infuzní způsob, dekokční způsob

ABSTRACT

The thesis compares the conditions of home and industrial beer production. The introduction familiarizes the reader with basic concepts and the process of beer production. The next section compares the brewing methods of infusion and decoction. The final part of the thesis processes the data collected and proposes changes to the procedure of beer brewing at the Faculty of Mechanical Engineering of Brno University of Technology.

Keywords

Homebrewing, beer, malt, infusion brewing method, decoction brewing method

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POTOČEK, Petr. *Vaření piva v domácích podmínkách*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Bohuslav Kilkovský. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/149825>.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Bohuslava Kilkovského, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 15. května 2023

.....

Petr Potoček

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval zejména rodině a přátelům za podporu při studiu a vedoucímu práce Ing. Bohuslavu Kilkovskému, Ph.D. za ochotu a vstřícnost. Dále děkuji všem odborníkům z oblastí sladovnictví a výroby piva za poskytnuté konzultace, cenné rady a korekci této práce.

OBSAH

1	Úvod	11
2	Pivovarnictví	12
2.1	Historie pivovarnictví	12
2.2	Současný stav pivovarnictví v České republice	13
2.3	Druhy piva	14
2.3.1	Dělení dle stupňovitosti a barvy	14
2.3.2	Pivní styly	15
3	Vaření piva	16
3.1	Suroviny pro výrobu piva	16
3.1.1	Voda	16
3.1.2	Slad	16
3.1.3	Chmel	17
3.1.4	Kvasnice	18
3.1.5	Cukr	19
3.2	Procesy používané při vaření piva	19
3.2.1	Sanitace	19
3.2.2	Příprava sladu	20
3.2.3	Vystírání	20
3.2.4	Zapáčka	20
3.2.5	Rmutování	20
3.2.6	Scezování a vyslazování	22
3.2.7	Chmelovar	22
3.2.8	Chlazení	22
3.2.9	Filtrace	22
3.2.10	Kvasný proces a zrání	23
3.2.11	Stáčení, lahvování	23
3.3	Způsoby vaření piva	24
3.3.1	Infuzní způsob výroby piva	24
3.3.2	Dekokční způsob výroby piva	24
3.4	Základní pivovarské výpočty	25
3.5	Vady piva	30
3.5.1	Biologické vady	30
3.5.2	Technologické vady	30
3.6	Vaření piva v domácích podmínkách	31
3.6.1	Vaření se základním kuchyňským vybavením	31
3.6.2	Domácí pivovary	32
3.7	Cenový a hmotnostní odhad složek pro domácí výrobu piva	33

4	„Domácí“ vaření piva na ÚPI VUT	35
4.1	Zařízení a příslušenství k výrobě piva	35
4.1.1	Zařízení pro výrobu piva	35
4.1.2	Příslušenství pro výrobu piva	38
5	Proces vaření piva a zpracování naměřených dat	39
5.1	Postup vaření	39
5.2	Vaření piva infuzním způsobem	40
5.2.1	Výpočty	40
5.2.2	Průběh vaření piva	41
5.3	Vaření piva dekokčním způsobem	46
5.3.1	Průběh vaření piva	47
5.4	Vyhodnocení vaření	48
6	Tvorba automatizovaného výpočtu a varního listu	49
6.1	Pivovarský výpočet	49
6.2	Vyhodnocení varného procesu	51
6.3	Ekonomické vyhodnocení	53
6.4	Varní list infuzního způsobu výroby piva	53
7	Energetická a finanční náročnost procesu	54
7.1	Porovnání infuzního a dekokčního procesu vaření piva	54
7.1.1	Časová náročnost	54
7.1.2	Energetická náročnost	54
7.1.3	Ekonomická náročnost	55
7.2	Vliv nákupu surovin	58
8	Úpravy procesu výroby piva na úpi vut v brně	59
8.1	Změny ve výpočtu	59
8.1.1	Úprava výpočetních koeficientů	59
8.1.2	Upravený recept	59
8.2	Možnosti zefektivnění procesu vaření	60
8.2.1	Automatické míchadlo	60
8.2.2	Nové vařiče	61
8.2.3	Úpravy varné nádoby	61
8.2.4	Návrh nového scezovacího a filtračního zařízení	62
8.2.5	Zefektivnění chlazení	62
9	Závěr	64
10	Seznam použitých zdrojů	65
11	Seznam použitých zkratk	68
12	Seznam příloh	69

1 ÚVOD

Vaření piva je proces, jehož historie sahá až do starověku a stal se velmi populárním v dnešní době. Jedná se o kombinaci vody, sladu a chmele, které jsou následně fermentovány kvasinkami. Klíčový je výběr vhodných surovin. Slad je obvykle vyroben z obilovin, jako je ječmen či pšenice. Chmel se používá k vytvoření charakteristické chuti a aroma piva. Kvasnice jsou následně přidávány k fermentaci a tvorbě alkoholu a oxidu uhličitého.

Trend vaření piva v domácích podmínkách vzniklý ve Spojených státech amerických se v posledních desetiletích rozšiřuje do celého světa. I s pomocí základního vybavení lze naprostým začátečníkem připravit pivo výborné kvality a chuti. Nutností pro úspěšný výsledek je znalost základních pivovarnických pojmů, mechanismů a postupů, kterým je první část této práce věnována.

Rozhodne-li se začátečník vařit domácí pivo, má k tomuto účelu na výběr dvě hlavní možnosti vybavení. První z nich je zakoupení domácího pivovaru. Jedná se o automatizovanou varnu, s jejíž pomocí lze velmi ulehčit výrobu piva. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena, tedy velká počáteční investice. Druhou možností je využití základního kuchyňského vybavení. Tento způsob je časově a fyzicky náročnější, použité nástroje jsou však velmi běžné a dostupné. Počáteční investice je v tomto případě mnohonásobně nižší. Proces vaření na Ústavu procesního inženýrství VUT v Brně a sběr dat pro účely této práce probíhá se základním kuchyňským a laboratorním vybavením. Tento způsob je preferován i z toho důvodu, aby studenti názorně viděli jednotlivé operace vaření piva na vlastní oči.

Cílem práce je porovnání dekokčního a infuzního procesu výroby piva, vyhodnocení jejich energetické náročnosti a posouzení ekonomické výhodnosti domovarnictví. Dalším výstupem je pak varní list odpovídající použitým způsobům výroby, zpracování získaných dat a návrh vylepšení stávajícího procesu vaření piva na ÚPI VUT v Brně za účelem snížení energetické a ekonomické náročnosti. Také byl na základě naměřených dat upraven recept na vaření piva dekokčním způsobem, tak aby výsledkem bylo pivo o požadované stupňovitosti.

Dej bůh štěstí.

2 PIVOVARNICTVÍ

Pivovarnictví má ve světě i v českých zemích velmi dlouhou a bohatou historii. Pro správné pochopení komplexního procesu výroby piva je důležité také rozumět základním pivovarnickými pojmy. Výběr pojmů včetně jejich stručného vysvětlení je obsažen v příloze P1, která je součástí této práce.

2.1 Historie pivovarnictví

Dlouhá minulost piva sahá až ke starověkým národům, kterými byli například Egypťané či Sumerové. František Machač ve své knize uvádí teorii vzniku prvního piva nešťastnou náhodou. Tedy zkvašením zásob zrní či výrobků z obilovin. Ke kvasnému procesu došlo zajisté divokými kvasinkami ze vzduchu. Takové pivo neobsahovalo chmel a bylo značně hutnější než piva dnešní, jelikož nedocházelo k odstranění pevné složky. Konzumace piva v této době byla typická pro všechny sociální vrstvy a bylo i denně na přiděl pro dělníky při výstavbě pyramid. Pivo vznikalo kvašením dříve upečeného chlebu. Podobný postup se doposud využívá u nápoje zvaného "kvas", který je oblíbený zvláště v zemích východní Evropy. [1]

Prvním dokumentem pojednávajícím o užití chmele jakožto dochucovadla přidávajícímu pivu hořkost je listina franckého krále Pipina III. Krátkého z roku 768 n.l. Pěstování chmele v českých zemích bylo poprvé zmíněno v roce 859. [11] Výroba piva v Čechách je velmi pravděpodobně spojena s příchodem Slovanů datovaným přibližně k roku 550 n.l. Vaření probíhalo nejčastěji v kláštrech, odkud pochází také první zmínka o pivu z roku 993. Měšťanské vaření piva přichází ve středověku a v návaznosti poté ve 13. století první právní normy. [4]

V 18. století proběhlo mnoho reforem v českém pivovarnictví. Šlo mimo jiné o častější používání teploměru či o sjednocení varných postupů. František Machač se ve své knize zmiňuje také o tzv. pivních vahách jakožto předchůdci sacharometru, který slouží k měření množství cukru v mladině. V této době byla také založena sladovnická škola v Brně. [4]

V roce 1842 došlo k založení Měšťanského pivovaru v Plzni [4]. Zde vyráběné pivo se stalo svojí kvalitou a parametry vzorem a pomyslným měřítkem pro mnoho dalších pivovarů. Pivo plzeňského typu, vařené poprvé bavorským sládkem Josefem Grollem, je světlé, spodně kvašené a obsahuje 4,5-5% alkoholu [4,21]. Zrušením propinačního práva se otevřela cesta mnoha dalším pivovarům a trend zakládání dalších zabrzdila až druhá světová válka a následný komunistický režim [4]. Zmiňované propinační právo ukládalo poplatek za dovoz cizího piva a nebylo proto jednoduché získat pro nové pivovary odbytiště [6].

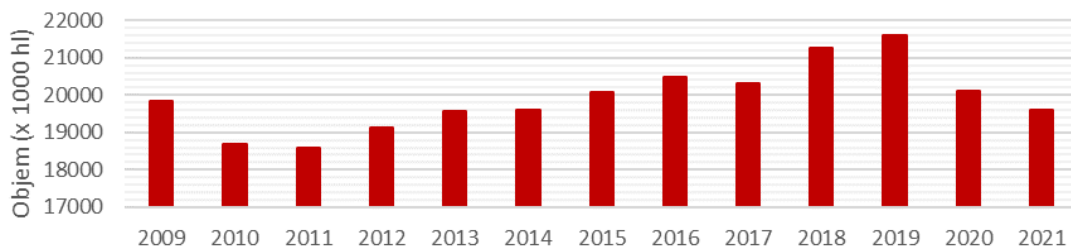
70. léta 20. století přinesla v USA produkci nízkoalkoholických a nealkoholických piv. Důvodem byla snaha o vyšší pokrytí trhu, zpřístupnění piva řidičům či lidem, kteří nemohou konzumovat alkohol ze zdravotních důvodů. Příprava takového typu piva probíhá pozměněným postupem, kdy se buďto omezuje tvorba alkoholu během výroby použitím speciálních typů kvasinek, nebo dochází k odstranění alkoholu z piva v závěru výroby. Celosvětově se však konzumace těchto nápojů, i přes velkolepá očekávání výrobců, příliš neujala. [2]

V poslední době přichází rozmach regionálních pivovarů, minipivovarů a mikropivovarů. Výjimkou nejsou speciální a sezónní piva. K roku 2014 v České republice nacházíme přibližně 250 pivovarů různých velikostí [4]. Pro rok 2022 je již těchto provozoven 544 [29]. Minipivovary narozdíl od velkých pivovarů své výrobky nepasterují, čímž v pivu zůstávají živé organismy a chuť i vůně je plnější a příjemnější. Nevýhodou je však snížená trvanlivost, která při dodržení správné teploty činí přibližně 30 dní. Prodloužení trvanlivosti je možné využitím sekundární koncové mikrofiltrace, kdy dochází k odstranění nežádoucích složek z piva bez použití zvýšených teplot a s tím spojených pasterizačních příchutí. [12]

Samotnou kapitolou je poté "homebrewing", tedy vaření piva v domácích podmínkách. Vzniklo v USA jako reakce na průmyslové pivovarnictví, jehož trendem je výroba vícestupňového piva a následné ředění. Touha po kvalitním pivě či jen dobrý pocit z vlastní odvedené práce dal vzniknout zálibě, která se šířila ze Spojených států amerických také do Evropy. Včetně České republiky. Domovarnictví často klade důraz na zachování původních metod vaření piva. Produkce však není neomezená, je regulována zákonem. [4] Aktuální osvobození od spotřební daně, které platí v České republice pro domácí výrobu nepřesahující objem 2000 litrů piva ročně, nabylo platnosti 1. 1. 2020 [5].

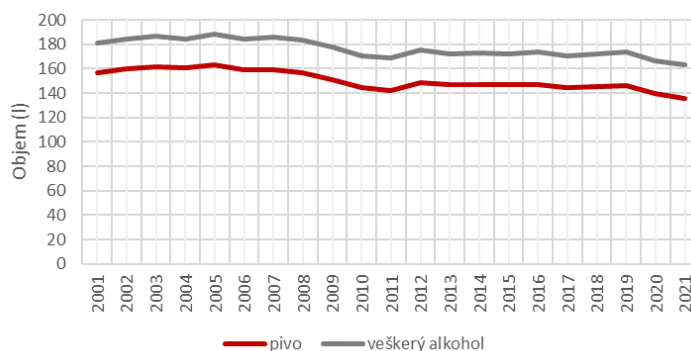
2.2 Současný stav pivovarnictví v České republice

K datu 15.11.2022 se v České republice nachází 544 pivovarů různých typů a výrobní kapacity [10]. Minipivovarů, tedy provozů s maximální roční kapacitou výstavu piva do 10000 hektolitrů, je více než 400 [27]. Zbýlé podniky jsou středně velké a průmyslové pivovary s vyšší kapacitou výstavu piva. Celkový výstav piva v České republice je uveden na Obrázek 2-1. Novější data aktuálně nejsou k dispozici.



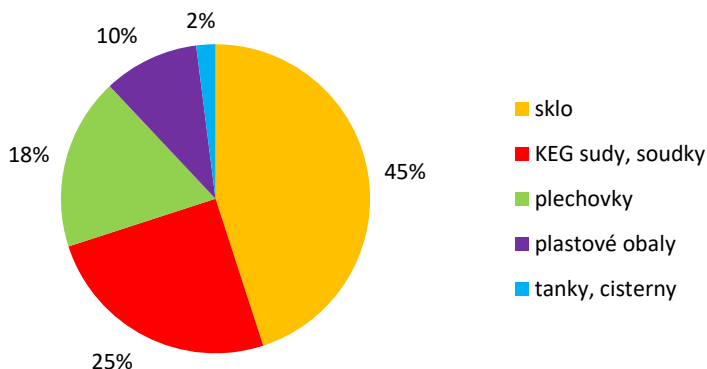
Obrázek 2-1 Celkový výstav piva v České republice [27]

Česká republika dlouhodobě patří mezi největší spotřebitele piva v závislosti na počtu obyvatel [19]. Poslední roky spojené s onemocněním Covid-19 snížily pro rok 2021 spotřebu piva na hodnotu 135 litrů na osobu ročně [25] (viz Obrázek 2-2). Mezi důvody k tomuto poklesu patřilo zvláště uzavření restauračních podniků a omezení kulturních akcí. Další vliv na spotřebu piva má nyní také ekonomická krize a s ní spojené zdražování surovin a energií. Aktuálně se však Česká republika stále nachází na prvním místě dle spotřeby piva na osobu [25].



Obrázek 2-2 Spotřeba alkoholu a piva na jednoho obyvatele v České republice [25]

Mezi nejoblíbenější patří ležáky, tedy spodně kvašená piva s 11 až 12 procenty extraktu původní mladiny (EPM), jejichž objem tvoří více než polovinu celkové produkce piva v České republice [27]. Oproti minulosti stoupá však i obliba ovocných piv, míchaných pivních nápojů a nealkoholických piv [28]. Spotřebitel má možnost zakoupit výrobky z pivovarů v různých obalech a množstvích. Graf na Obrázek 2-3 zobrazuje základní procentuální rozdělení.



Obrázek 2-3 Poměr využívaných obalů pro pivní výroby v roce 2021 [28]

2.3 Druhy pív

Piva lze dělit dle mnoha kritérií. Nejčastěji se jedná o pivní styl, stupňovitost a barvu. Tato kapitola uvádí základní dělení pro běžné spotřebitele a dále přehled nejznámějších světových pivních stylů. Do základního dělení lze také zařadit piva bez obsahu alkoholu a speciální piva pro diabetiky, která mají snížený obsah sacharidů při zachování standardního množství alkoholu [1].

2.3.1 Dělení dle stupňovitosti a barvy

Značení stupňovitosti pív (Tabulka 2-1) je v dnešní době sjednoceno v rámci Evropské unie do podoby podílu extraktu původní mladiny při výrobě. Toto označení bylo však pro některé spotřebitele zavádějící, a tak se stále paralelně s ním používá i zažité označení ve stupních, které je však číselně ekvivalentní. Od stupňovitosti piva se nepřímo odvíjí obsah alkoholu. Měření podílu extraktu původní mladiny se provádí při teplotě 20 °C. Je-li tedy v litru mladiny obsaženo 110 gramů extraktu (cukrů), jedná se o 11 % roztok a výsledné pivo budeme značit jako 11 % (případně 11°). Tyto údaje se získají použitím refraktometru či hustoměru. [1]

Pro dělení pív dle barvy neexistují žádné pevně stanovené kategorie. Většinou se však rozlišují piva světlá a tmavá, případně piva řezaná. Charakteristické barvy těchto pív (Tabulka 2-2) zobrazuje Obrázek 2-4. Pro posouzení barvy piva je také využívána stupnice EBC [3]. Čím vyšší je stupeň EBC, tím tmavší je pivo [9].

Tabulka 2-1 Dělení dle stupňovitosti [1]

Název	% extraktu původní mladiny
Stolní pivo	maximálně 7 % (do 7°)
Výčepní pivo	8–10 % (8°-10°)
Ležák	11–12 % (11°-12°)
Speciální pivo	minimálně 13 % (13° a více)
Porter	minimálně 18 % (18° a více)

Tabulka 2-2 Dělení dle barvy [21]

Název	Charakteristika, způsob docílení barvy
Světlé	Více chmelené, slad plzeňského typu
Tmavé	Sladší chuť, využití tmavých sladů a barviv
Řezané	Vzniká smíšením světlého a tmavého piva



Obrázek 2-4 Tmavé, řezané a světlé pivo [40]

2.3.2 Pivní styly

V České republice se nejčastěji setkáváme s pivy plzeňského typu. Avšak stylů existuje mnohem více. Z pohledu autora této práce mezi nejzajímavější pivní styly patří Lambic a Steam beer. Lambic je pivo pocházející z Nizozemí a při kvašení se využívá divokých kvasinek a mléčných bakterií. Vaření je pouze sezónní a probíhá infuzním způsobem. Po uzrání je možná archivace až po dobu 20 let, čímž pivo tmavne a získává kulatější chuť. Steam beer styl vznikl ve Spojených státech amerických na konci 19. století. Při výrobě se využívají kvasnice pro spodní kvašení, avšak dodržují se teploty pro kvašení svrchní. Historicky bylo toto způsobeno nedostatkem ledu pro chlazení mladého piva. Slovo „steam“ (pára) v názvu odkazuje na nezvykle velký oblak páry, který u tohoto piva vlivem vysokého tlaku v lahvi vzniká po otevření. [26]

Pivních stylů se ve světovém měřítku vyskytuje značně vyšší množství. Tabulka 2-3 obsahuje výběr nejznámějších z nich. Historicky se různé pivní styly vztahovaly k různým zemím a zeměpisným oblastem. V dnešní době je při výrobě piva v oblibě experimentování a objevování nových věcí. Díky tomu se většina stylů rozšířila do povědomí spotřebitelů po celém světě, a i mnoho pivovarů a minipivovarů v České republice nyní vaří piva dříve typická pouze pro Anglii, USA a další země.

Tabulka 2-3 Nejznámější světové pivní styly [26]

Název	Kvašení	Charakteristika	EBC	Alkohol
Ale	Svrchní	Velmi aromatické chmely, silné prokvašení	18–34	4,8–7 %
Berlínské světlé	Svrchní	Pšeničné, osvěžující s kyselou ovocnou chutí	4–6	2,8–4 %
Bitter stout	Svrchní	Střední hořkost, nízké nasycení CO ₂	60–80	3–5,5 %
Bock	Spodní	Dlouhá doba ležení, plná chuť a nízká hořkost	12–44	6–7,5 %
IPA	Svrchní	Silné aromatické pivo, výrazná hořkost a vůně	12–30	6 %
Ječné víno	Svrchně	Infuzní výroba, velmi silné, trvanlivost až 25 let	16–48	6–12 %
Kouřové pivo	Oba způsoby	Využití nakuřovaného sladu, kouřové aroma	8–60	různé
Lambic	Spontánní	Zraje 1 až 3 roky, ovocná a nakyslá chuť	6–36	2–8 %
Milk stout	Svrchní	Při výrobě se přidává oves a laktóza, krémové	60–80	3–5 %
Ovocné pivo	Oba způsoby	Přídavek ovoce či výtažků, ovocná chuť a vůně	6–60	různé
Porter	Spodní	Využití pražených sladů, kouřová a hořká chuť	40–80	5–7,5 %
Plzeňské pivo	Spodní	Výroba pouze dekokčně, světlý slad, hustá pěna	6–12	4,5–5 %
Steam beer	Hybridní	Nedodržení kvasných teplot, mohutná pěna	16–30	3,5–6 %
Vídeňský typ	Spodní	Také nazývaný Březňák, silná chuť	18–32	5–6 %

3 VAŘENÍ PIVA

Vaření piva je náročný a složitý proces, který se skládá z několika technologických operací, které budou v této kapitole popsány. Cílem technologických procesů vaření piva je převedení enzymů extraktivních látek obsažených ve sladu do roztoku. Získaný roztok se oddělí od nerozpustných zbytků sladového zrna (od mláta). Takto oddělený roztok (sladina) se povaří s chmelem. Tím dochází k ohořčení a tepelné stabilizaci roztoku (mladina). Takto získaná mladina je po odloučení kalů zchlazena a připravena pro kvašení.

3.1 Suroviny pro výrobu piva

Pivo se standartě vaří ze základních surovin, kterými jsou voda, slad, chmel a kvasnice. V mnoha případech se přidává i cukr. Dle typu piva a technologie procesu výroby se forma a zpracování surovin liší.

3.1.1 Voda

Kvalita a vlastnosti vody mají velký vliv na výsledné pivo. V pivovarech a minipivovarech se používá voda studniční, případně upravená pitná voda z vodovodního řádu [1]. Voda je rovněž používána k výrobě sladu. Na výrobu jedné tuny sladu se dle technologického postupu a vyspělosti technického zařízení spotřebuje 10–15 hl vody. [36]

Používanou vodu lze rozdělit na dvě základní kategorie. A to na vodu spodní a vodu povrchovou. Spodní voda obsahuje zpravidla méně organických látek než voda povrchová. Je v ní ale rozpuštěno více plynů a iontů v závislosti na geologickém prostředí, odkud voda pochází. Tabulka 3-1 obsahuje výběr nejčastějších aniontů a kationtů obsažených ve vodě, včetně jejich dopadů na proces vaření piva.


Tabulka 3-1 Ionty ve vodě a jejich účinky na proces vaření piva [2]

Ionty	Účinky
Vápník	vliv na pH sladiny a mladiny, způsobuje přílišné pění výsledného piva
Hořčík	vliv na pH sladiny a mladiny, stimuluje enzymy při procesu kvašení piva
Železo	zvyšuje oxidaci, příznivý vliv na kvalitu pěny, negativní vliv na barvu pěny
Draslík	způsobuje slanou chuť piva, příznivý pro lidský organismus (nedostatkový prvek)
Sířany	stimulují enzymy při procesu kvašení piva, součást metabolismu kvasnic
Dusičnany	ve vyšším množství velmi nepříznivé účinky, dusičnany jsou karcinogenní
Dusitany	přítomnost dusitanů je spojena s přítomností škodlivě působících mikroorganismů

Vodu na vaření piva v domácích podmínkách je vhodné převařit nebo alespoň nechat přes noc odležet, aby z ní vyprchaly nežádoucí látky. Případně je možné využít vodu z externího zdroje, která vyhovuje požadavkům na vaření piva. V pivovarech se k úpravě vody používá řada moderních postupů podle míry znečištění zdroje. Patří mezi ně filtry s aktivním uhlím k dechloraci, změkčovače vody, odželezňovací filtry apod. [2]

3.1.2 Slad

Slad (Obrázek 3-3) se vyrábí z obilných zrn. Nejčastěji jde o ječmen (Obrázek 3-2) a pšenici, dále lze použít kukuřice či proso [1]. Pro tradiční česká piva se používá ječmenný slad, jehož výroba je přesněji popsána v příloze P2, která je součástí této práce. Slady se dělí dle barevnosti, druhu a odrůdy obilí, ze kterého jsou vyrobeny. Dělení dle barevnosti může vypadat například takto (Obrázek 3-1):

hvozděné slady	plzeňského typu vídeňský mnichovský pšeničný	
pražené slady	karamelový čokoládový barvící	

Obrázek 3-1 Základní rozdělení sladů dle barvy [2]

Různé tepelné úpravy sladu mají za následek různou tmavost. Barva sladu určuje barvu výsledného piva. Jako náhražky sladu se používají např. glukózový a maltózový sirup nebo škroby, jejichž množství však vzhledem k legislativě České republiky nesmí překročit jednu třetinu celkového množství sladu [7].



Obrázek 3-2 Ječmen, vstupní surovina [15]



Obrázek 3-3 Odklíčený slad, výstupní surovina [16]

3.1.3 Chmel

Chmel otáčivý (příp. pivník) je rostlina z čeledi konopovitých [41]. Pro potřeby pivovarnictví jsou využívány samičí rostliny, z nichž se sklízí chmelové šišťice. Použitím chmele při výrobě piva je dosaženo typického aroma a hořké chuti výsledného produktu. Místem pro pěstování chmele je chmelnice (Obrázek 3-4). Pro různá piva jsou typické jiné odrůdy chmele. Liší se tvarem šišťic, hořkostí či aroma. Mezi nejznámější patří Žatecký poloraný červeňák, Premiant a Sládek [18].

Chmel se v moderním pivovarnictví používá v několika formách. Jedná se buďto o tradiční chmelové šišťice, granule (pelety), chmelové extrakty nebo tzv. izoextrakty. Pro správné použití chmele je nutné znát jeho obsah α - a β -kyselin, vliv na aroma a doporučené použití a chmelení. Tyto informace by měl dodat výrobce, případně dodavatel chmele (granulí, extraktů). Následující Tabulka 3-2 zobrazuje podrobnější přehled českých odrůd chmele včetně vhodného použití. Příkladem tvaru chmelové šišťice je Obrázek 3-5.



Obrázek 3-4 Chmelnice [13]



Obrázek 3-5 Šišťice chmele [14]

Tabulka 3-2 České odrůdy chmele a jejich použití [31]

Odrůda	Použití
Agnus	první a druhé chmelení, pozitivní vliv na stabilitu piva (trvanlivost), intenzivní aroma
Vital	první a druhé chmelení, obsah látek příznivých pro zdraví lidského těla
Žatecký červeňák	druhé a třetí chmelení, studené chmelení
Saaz Late	druhé a třetí chmelení, vyšlechtěný z Žateckého poloraného červeňáku
Bohemie, Harmonie	druhé chmelení, kořenitá chuť a vůně
Premiant	první a druhé chmelení výčepních piv i ležáků, vysoký obsah alfa hořkých kyselin
Rubín	druhé chmelení, nadstandardně hořká odrůda, kořenitá chuť a vůně
Sládek	třetí chmelení, vysoký obsah beta hořkých kyselin, levnější oproti výše uvedeným

Pelety (Obrázek 3-6) se vyrábí lisováním z mletých šištic chmele. Extrakty (Obrázek 3-6) vznikají fyzikální cestou, louhováním v tekutém CO₂ či ethanolu. Izoextrakty naopak vznikají chemickou cestou a z chmele se oddělují jen některé složky. Množství použitých extraktů a izoextraktů, které má pozitivní vliv na hořkost piva a pěnu, není žádným způsobem regulováno zákony. [7]



Obrázek 3-6 Chmelové pelety [14]



Obrázek 3-7 Extrakt chmele [14]

3.1.4 Kvasnice

Kvasnice jsou živé organismy, které slouží k přetvoření cukru na alkohol a oxid uhličitý. Přidávají se do vychlazené mladiny a zajišťují proces kvašení a zrání piva. Průmyslově využívané kvasnice se získávají v propagačních stanicích (Obrázek 3-8). Tyto stanice umožňují dlouhodobé a sterilní uchování kvasinek [17]. Pivovar je poté nezávislý na externím zásobování.

Pro potřeby domácího vaření můžeme zakoupit kvasinky v tekuté, lisované nebo sušené sypké formě. Dále je možné využít divokých kvasinek, které se volně pohybují vzduchem. V tomto případě do piva žádné kvasnice cíleně nepřidáváme a kvasný proces začíná samovolně. Nevýhodou je vznik piva s ovocnou příchutí [1]. Druh kvasnic volíme dle typu piva. Rozdílné jsou kvasinky pro svrchní a spodní kvašení, které se liší svou „pracovní“ teplotou. Tabulka 3-3 zobrazuje rozdělení kvasinek dle typu kvašení a Tabulka 3-4 popisuje rozdělení kvasinek podle formy, ve které se dají zakoupit.



Obrázek 3-8 Propagační stanice [17]

Tabulka 3-3 Rozdělení kvasinek dle typu kvašení [1]

Druh kvasinek	Charakteristika	Příklad pivních stylů
Kvasinky pro spodní kvašení	kvasná teplota 8-10 °C	Plzeňské pivo, Bock, Porter
Kvasinky pro svrchní kvašení	kvasná teplota 18-24 °C	Ale, IPA, Berlínské světlé pivo

Tabulka 3-4 Rozdělení kvasinek dle formy (skupenství) [1,2]

Druh kvasinek	Charakteristika
Tekuté kvasinky	při správném uchování v chladu výdrž 1-2 měsíce, možnost opakovaného použití
Lisované kvasinky	odebrána přebytečná vlhkost, metabolismus není zastaven, uchování v chladu
Sušené kvasinky	odstraněna vlhkost, trvanlivost v řádu měsíců až let, nižší spolehlivost kvasinek

3.1.5 Cukr

Cukr se mnohdy využívá jako náhrada sladu. V případě vaření v domácích podmínkách přidáváme (resp. můžeme přidávat) cukr ve formě dropsů do hotového piva před fází dokvašování [1]. Zde pak slouží jako další potrava pro kvasinky.

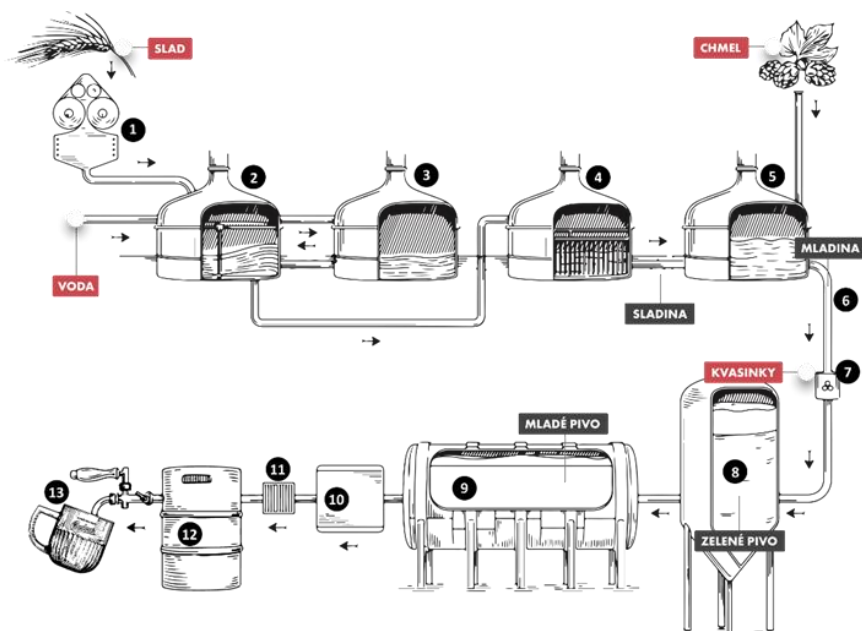
3.2 Procesy používané při vaření piva

Jak již bylo uvedeno, vaření piva se skládá z několika komplexních procesů (viz Obrázek 3-9). Ty jsou v této části práce blíže popsány. Následující popis odpovídá výrobě ve velkém měřítku v průmyslovém pivovaru, případně minipivovaru. Procesy probíhající při výrobě piva v domácích podmínkách jsou stejné a s ohledem na vybavení použité při výrobě piva na ÚPI VUT v Brně jsou popsány v praktické části této práce.

3.2.1 Sanitace

Sanitace je velmi důležitým úkonem ve fázi přípravy vybavení k vaření piva. Jedná se o snahu odstranit kontaminaci ze zařízení a nástrojů, a tudíž i samotného piva bakteriemi a dalšími mikroorganismy. Správné sanitační prostředky zajišťují vyšší účinnost tohoto procesu. V případě nedostatečné sanitace hrozí vady piva a s nimi spojené úplné či částečné znehodnocení uvařené várky piva (viz kapitola 3.5).

V pivovarech se pro usnadnění sanitace využívají CIP (Clean-In-Place) stanice. Tato technologie je využívána k ošetření veškerých nádob, nádrží, potrubí a armatur pivovaru. Většinou se jedná o zařízení osazené sadou nádob na dezinfekční prostředky, dále topným tělesem pro ohřev sanitačního roztoku na požadovanou teplotu, čerpadly a filtračním systémem, který umožňuje vyčištění a recirkulaci dezinfekčního prostředku. Dále je zařízení osazeno řadou čidel a senzorů. Dle velikosti pivovaru a s tím spojených rozměrů sanitovaných ploch lze zakoupit CIP stanice různých velikostí.



1 – šrotování; 2 – vystírání; 3 – rmutování; 4 – scezování; 5 – chmelovar; 6 – chlazení mladiny;
7 – přidání kvasinek; 8 – kvašení; 9 – zrání; 10 – filtrace

Obrázek 3-9 Schéma výroby piva v pivovaru [22]

3.2.2 Příprava sladu

Z důvodu vyšší trvanlivosti a zachování chuti je slad prodáván v celku a šrotuje se co nejkratší dobu před zahájením procesu výroby piva. V průmyslových pivovarech se ke šrotování využívají válcové šrotovačky se sudým počtem válců (2,4,6,...), případně šrotovníky a mlýny pro zpracování kondicionovaného (vlhčeného) sladu [2].

Složení sladu je důležité pro následující proces vyslazování a rmutování. Zásadní je velikost namletých zrn, které dělíme na krupici a mouku. Příliš velké kusy sladu špatně uvolňují obsažené látky a snižuje se výtěžnost. Je-li však obsah mouky v šrotovaném sladu výrazně větší než 12 %, dochází při scezování a vyslazování k blokování filtračních prvků a proces není efektivní. [2]

3.2.3 Vystírání

Vystírání sladu je postup, při kterém se našrotovaný slad (sypání) přidává do vody (nálev) o teplotě 35 až 38 °C (přesná teplota je definována vždy zvoleným receptem). Teplota se zařazuje za účelem zpřístupnění škrobů ve sladovém šrotu u hůře rozluštitelných sladů. Vzhledem k dobré kvalitě a rozluštitelnosti moderních sladů je často vynechávána.

3.2.4 Zapáčka

Tento proces znamená, že část vystírací vody (hlavního nálevu) se ohřeje na teplotu 80 °C a smísí se s vystírkou, čímž se zvýší její teplota na peptonizační teplotu cca 52 °C. Tímto dojde k požadovanému ohřevu vystírky. Celkový objem zapáčkové a vystírkové vody tvoří požadovaný objem nálevu na várku. [2] Zapáčka se zejména při vaření v domácích podmínkách vynechává a celý objem hlavního nálevu se smíchá při vystírce se sladem a poté se celý objem ohřeje na teplotu 52 °C. Důvodem je vyšší rozluštitelnost sladu. U dnešních sladů je opět díky vysoké rozluštitelnosti obvykle vynechávána. U slabších piv může navíc prodleva na této teplotě způsobit ztrátu plnosti chuti a negativně ovlivnit stabilitu pěny.

3.2.5 Rmutování

Následuje rmutování, při kterém dochází k chemickým a enzymatickým reakcím. Jedná se o ohřev části vystírky na definované teploty (Tabulka 3-5). Nejdůležitější z reakcí je zcukernatění škrobu, které popisují následující uvedené rovnice.



a



Tabulka 3-5 Rmutovací teploty [2]

Teplota	Název
35-38 °C	kyselinotvorná teplota
48-52 °C	peptonizační teplota
60-65 °C	nižší cukrotvorná teplota
70-75 °C	vyšší cukrotvorná teplota
78 °C	odrmutovací teplota

Během nižší cukrotvorné teploty dochází ke štěpení škrobů na zkvasitelné cukry. Prodleva obvykle trvá od 20 do 40 minut. Čím delší je prodleva, tím sušší bude výsledné pivo. Vyšší cukrotvorná teplota poté rozštěpí zbytek obsažených škrobů na nezkrasitelné cukry. Odrmutovací teplota slouží k deaktivaci enzymů a stabilizaci sladiny. Prodleva na této teplotě trvá obvykle 10 minut.



Obrázek 3-10 Prostory varny pivovaru Rampušák v Dobrušce [34]

Pro kontrolu nad mírou rozštěpeného škrobu a pro odhad zbývajících času nutného k rmutování se využívá jodové zkoušky. Je-li v roztoku obsaženo stále velké množství škrobu, po přidání jodu se vzorek zbarví do modré barvy. S klesajícím množstvím škrobu barva vzorku přechází přes červenou barvu až do okamžiku, kdy vzorek po přidání jodu barvu nezmění. V tuto chvíli je škrob rozštěpený a proces rmutování je možné ukončit. Přesnou závislost zobrazuje následující Tabulka 3-6.

Tabulka 3-6 Jodová zkouška [2]

Počet závitů amylosového řetězce	Počet glukózových molekul v řetězci	Barva reakce vzorku s jodem
více než 8	45	modrá
7	40	modrofialová
6	36	fialová
5	31	červená
2	12	světle červenohnědá
1,5	9	bez zbarvení

3.2.6 Scezování a vyslazování

Po rmutování a následném odrmutování je nutné dílo (hustá suspenze mláta ve vodném roztoku extraktivních látek) rozdělit. Scezování předku a vyslazování mláta jsou postupné úkony sloužící k oddělení mláta od roztoku látek a enzymů rozpuštěných ve vodě. Tento proces by měl být velmi pozvolný, ideálně trvající až několik hodin. Scezování probíhá přesunutím várky do scezovacího zařízení, obvykle tvořeného jemným sítem, případně jiným vhodným filtrem schopným oddělit kapalinu od pevné složky. Průmyslově se využívají scezovací kádě. Koncentrovaný roztok z mláta postupně vytéká a je odváděn do další nádoby (předek). Následně je mláto proléváno vodou o teplotě 80 °C, aby došlo k uvolnění dalších dosud nescezených látek. Tato fáze se nazývá vyslazování mláta. Vyslazením se získá zředěná sladina zvaná výstřelky. Na vyslazování se používá takové množství vody, aby se na konci objem získaný scezováním a vyslazováním rovnal požadovanému množství dle receptu. Takto získanou tekutinu nazýváme sladina. [2]

3.2.7 Chmelovar

Chmelovar je proces, trvající standardně 90-120 minut, při kterém se získaná sladina vaří s chmelem o přesně odměřeném množství a vzniká mladina. Chmel je přidáván postupně, nejčastěji ve třech dávkách. Často jsou pro jednotlivá chmelení používány rozdílné odrůdy chmele, přičemž ta nejvíce aromatická se přidává jako poslední. Jelikož dochází k varu, část kapaliny se odpařuje a objem výsledné mladiny je vždy nižší než objem počáteční sladiny. Také dochází ke změně barvy a pH.[2] Odpar mladiny je důležitý, jelikož při něm odchází z mladiny nežádoucí látky. Objem odparu je obvykle 8–10 % z počátečního objemu. Vlivem odparu dojde i ke zvýšení stupňovitosti piva.

3.2.8 Chlazení

Chlazení mladiny je nutné provádět co nejrychleji, požadovaná teplota závisí na zvoleném způsobu kvašení. V průmyslových pivovarech bylo k chlazení mladiny dříve využíváno sprchových chladičů. Jejich nevýhodou je silné provzdušnění mladiny a poměrně velké ztráty odpařováním. V dnešní době jsou využívány chladiče deskové, které problémy sprchových chladičů eliminují. Chlazení v deskových chladičích je protiproudé. Používají se jednostupňové a dvoustupňové chladiče. [2]

3.2.9 Filtrace

Pomocí filtrace probíhá odstranění jemných částic a kalu. Mladina se během chlazení zakalí, proto filtrace probíhá až po ochlazení mladiny. Při filtraci nesmí být odstraněn veškerý kal, jelikož by mohlo dojít ke ztrátě chuti výsledného piva. Naopak příliš vysoký obsah kalu může negativně ovlivnit proces kvašení a zrání piva. Doporučené množství kalu po filtraci je 120-160 miligramů v litru mladiny. V minulosti bylo pro tento úkon využíváno sedimentačních kádí. Moderní alternativou jsou membránové mikrobiologické filtry (Obrázek 3-11), křemelinové filtry či odstředivky. [2]



Obrázek 3-11 Filtrační zařízení s membránovými filtry [35]

3.2.10 Kvasný proces a zrání

Během kvasného procesu dochází k přeměně sacharidů na alkohol a oxid uhličitý. Dále se mění chuť. Rychlost, teplota a průběh kvasného procesu závisí na mnoha faktorech, mezi které patří například druh kvasnic, typ vařeného piva, složení mladiny, tlak či použitá kvasná nádoba. [2]

Na začátku kvasného procesu je zakvašování. Záměrem je rovnoměrné rozmístění kvasinek do celého objemu ochlazené mladiny. Také probíhá prokysličení, kyslík přispívá správné funkci metabolismu kvasinek. Samotné kvašení lze poté rozdělit na hlavní kvašení a dokvašování. Hlavní kvašení probíhá obvykle 6-10 dní a na hladině budoucího piva se tvoří pěna (deka), která je následně odstraňována. Průběh hlavního kvašení popisuje důkladněji Tabulka 3-7. Zakvašování a hlavní kvašení probíhá v uzavřených CK tancích. [2]

Tabulka 3-7 Stádia hlavního kvašení [2]

Stadium	Čas od zakvašení	Charakteristiky
první viditelný projev	12-24 hodin	- tvorba první pěny
stádium nízkých bílých kroužků	24-36 hodin	- vznikající pěna se formuje do růžic - úbytek 1 % zdánlivého EPM za 24 hodin
stadium vysokých hnědých kroužků	1-4 dny	- kal a mrtvé kvasinky se vážou na pěnu - úbytek 1-2 % zdánlivého EPM za 24 hodin
propadání	4 dny a více	- úbytek 0,2-0,3 % zdánlivého EPM za 24 hodin - tloušťka pěny na hladině se snižuje - poslední 1-2 dny probíhá sběr deky

Dokvašování piva probíhá v uzavřených nádobách v ležáckém sklepě. Nejčastěji se jedná o ležácké sudy, v moderním pivovarnictví jsou používány ležácké tanky. Cílem dokvašování je dokončení kvasného procesu piva a nasycení oxidem uhličitým. Dokvašování dle typu zařízení, výrobního procesu a druhu piva může trvat 1-10 týdnů. [2] V domácích podmínkách probíhá dokvašování nejčastěji v PET lahvích.

3.2.11 Stáčení, lahvování

Stáčení, lahvování či jiné balení piva probíhá po dokončení kvasného procesu. Mezi nejběžnější obaly pro uskladnění hotového piva patří skleněné obaly, plechovky, sudy KEG a plastové obaly (Obrázek 2-3). Stáčení probíhá na speciální lince, která dle použitých obalů disponuje různými funkcemi. Příkladem stáčecí linky je linka na plnění skleněných lahví zobrazená na Obrázek 3-12.



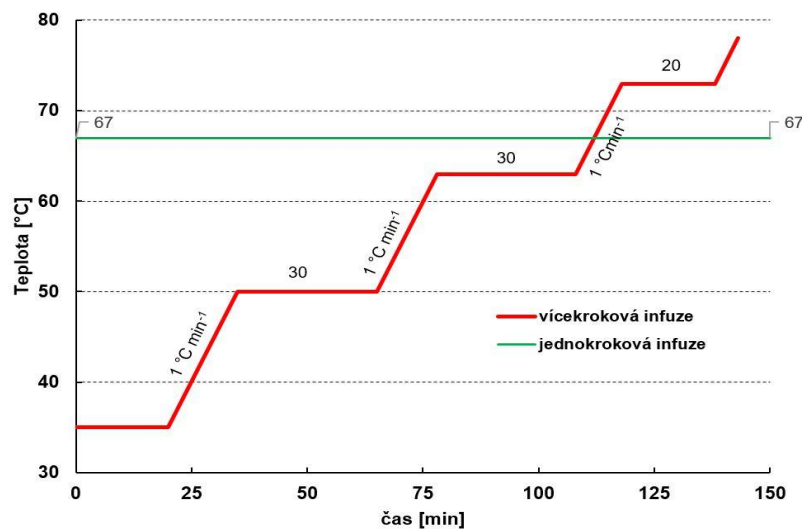
Obrázek 3-12 Stáčecí linka pivovaru Radegast [32]

3.3 Způsoby vaření piva

Způsoby vaření piva lze rozdělit na dvě hlavní skupiny dle způsobu rmutování. Rozlišujeme rmutování infuzní a dekokční. Cíl obou způsobů je vytvoření vhodných podmínek pro získání požadovaných látek ze sladu.

3.3.1 Infuzní způsob výroby piva

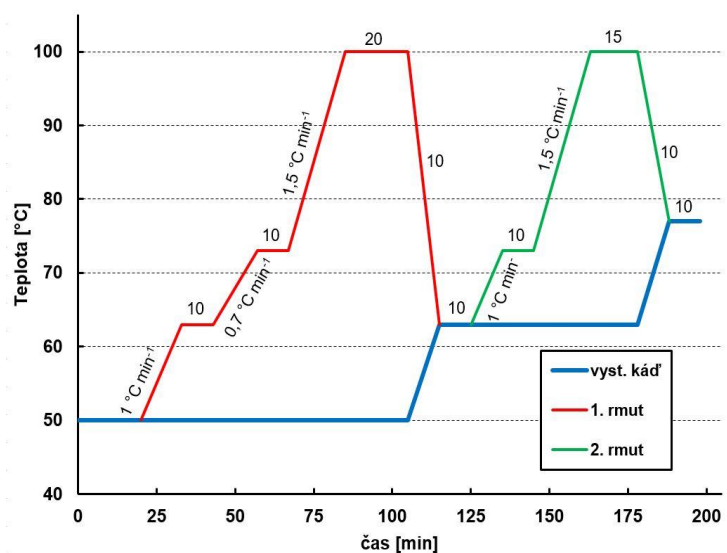
U infuzního způsobu vaření nedochází k rozdělení vystírky a celý objem se postupně ohřívá pouze na odrmutovací teplotu. Jde o jednodušší způsob rmutování, který však není tak účinný, jako způsob dekokční. Nutno však poznamenat, že z dnešních dobře rozluštěných sladů se i tímto způsobem vaření dá získat dobře pitelné pivo. Průběh teploty v závislosti na čase zobrazuje následující Obrázek 3-13. Po tomto procesu následuje scezování, vyslazování a následně chmelovar.



Obrázek 3-13 Průběh infuzního rmutování [39]

3.3.2 Dekokční způsob výroby piva

U dekokčního způsobu vaření piva se rmuty přivádí až na teplotu varu. Objem jednotlivých rmutů (často třetina celkového objemu) se volí tak, aby po smíchání se zbytkem vystírky stoupla teplota na požadovanou teplotu. Při vaření piva plzeňského typu se používá převážně dvourmutový postup, výjimečně třírmutový nebo jednormutový. Průběh teplot dvourmutového postupu a obsahu vystírací kádě zobrazuje následující Obrázek 3-14. Po tomto procesu následuje scezování, vyslazování a následně chmelovar.



Obrázek 3-14 Průběh dekokčního rmutování (dvourmutový postup) [39]

3.4 Základní pivovarské výpočty

V případě, že nepoužíváme vytvořený a ověřený recept, ale vytváříme si svůj vlastní, tak musíme využít pivovarských výpočtů. Ty se používají zejména k určení množství surovin potřebných k výrobě piva v závislosti na požadovaném výsledném objemu, stupňovitosti a dalších jeho vlastnostech. Nejvíce se používá elektronická forma, která je rychlá a jednoduše modifikovatelná. Tímto způsobem dochází k významnému ulehčení nákupu surovin, přípravy a samotného procesu výroby piva.

Nejčastější podobou automatizovaného pivovarského výpočtu je tabulka vytvořená v programu Microsoft Excel, jehož součástí může být i výpočet ceny vařeného piva. Na internetu jsou takovéto výpočty sice volně k dispozici, ale dost často obsahují chybu, nebo je omezena jejich modifikace, případně jsou v nich napevno nastaveny konstanty, které nejdou upravit a nemusí platit pro všechny druhy piv. Proto byla součástí této práce i tvorba vlastního výpočtového nástroje. Plně funkční verze vytvořeného pivovarského výpočtu v programu MS Excel je přílohou této práce.

V této kapitole jsou uvedeny základní rovnice potřebné pro pivovarské výpočty.

Výpočet množství sladu (sypání)

Jako první musíme určit hmotnost extraktu, který potřebujeme získat, abychom připravili objem mladiny o zamýšlené stupňovitosti. Jedná se vlastně o celkovou hmotnost extraktu původní mladiny (EPM) v kg, kterou vypočteme jako:

$$EPM_t = 0,9982 \cdot V_{m,20} \cdot \frac{p}{100} \cdot OG = V_{m,100} \cdot 0,96 \cdot \frac{p}{100} \cdot \rho_m \quad 3.3$$

kde index t značí teoretickou (myšleno maximální možnou) hodnotu, konstanta 0,9982 je hustota vody při teplotě 20 °C vyjádřená v kg/l, konstanta 0,96 značí dilatační faktor, p [°P - °Plato] je požadovaná stupňovitost, OG [-] specifická hustota SG původní mladiny (před zakvašením), ρ_m [kg/l] je hustota mladiny.

Poznámka: Stupňovitost známe asi každý. Je udávána ve stupních - 12° (klasická "dvanáctka"). Dnešní legislativa však toto značení už nezná a uvádí stupňovitost piva v EPM, což je zkratkou pro – Extrakt původní mladiny a je vyjádřen v procentech, např. 12 % EPM. Oba tyto pojmy vyjadřují obsah rozpuštěných cukrů v mladině a měří se tehdy, když už je pivo uvařené, tedy těsně před zakvašením. 12,3 % EPM znamená, že ve 100 g mladiny je rozpuštěno 12,3 g cukrů. Jelikož množství rozpuštěných cukrů ovlivňuje hustotu kapaliny, je možné změřit stupňovitost piva hustoměrem, popřípadě sacharometrem (cukroměrem). Oba způsoby měření vychází z měření hustoty mladiny, ale využívají jiných stupnic. Na cukroměru najdeme jednotky Plato, které odpovídají všem dobře známým stupňům. Pokud tedy odečteme z cukroměru hodnotu 11 °Plato, navařili jsme jedenáctku, a tedy pivo se stupňovitostí 11 % EPM. Další možností je měření stupňovitosti pomocí refraktometru, který funguje na principu měření indexu lomu. Zde se měří ve stupních Brix (°Bx). Přepočtení na % EPM nebo SG, případně hustotu je potom snadný.

Specifickou hustotu mladiny můžeme vypočítat podle vztahu

$$OG = 1 + \frac{p}{258,6 - \frac{p}{258,2}} \cdot 227,1 \quad 3.4$$

nebo zjednodušeně: vynásobíme požadovanou stupňovitost piva číslem 4 ($p \times 4$), čímž dostaneme tisícní hodnoty měrné hustoty, např. pro 12° pivo: $12 \times 4 = 48$, tzn. $OG=1,048$. Na internetu je dost často hodnota specifická hustota SG zaměňována za hustotu ρ . Na toto je potřeba dávat pozor.

Z vypočteného teoretického množství EPM_t pak určíme množství sladu, které pro vaření piva potřebujeme. K jeho určení je možné použít několik přístupů. Jedním z nich je použití výtěžnosti sladu Y_c . Dalo by se říci, že výtěžnost sladu značí účinnost. Je to číslo, které nám říká, kolik procent sladu jsme dokázali převést až do formy extraktu v mladině. V domácích podmínkách nejčastěji dosáhneme výtěžnosti kolem 0,55 – 0,65 (tj. 55-65 %).

$$m_s = \frac{EPM_t}{Y_c} \quad 3.5$$

kde m_s [kg] je vypočtená hmotnost sladu.

Dalším vztahem pro výpočet potřebného množství sladu je využití extraktivnosti a rozdílu oproti laboratoři r . Tuto hodnotu získáme zpětným vyhodnocením uvařeného piva.

$$m_s = \frac{EPM_t}{E - r} \quad 3.6$$

kde E [-] je extraktivnost sladu, r [-] je hodnota zvaná rozdílnost laboratoř varna.

Slad obsahuje nerozpustné látky, které se do roztoku nepřevádějí a zůstávají v mlátě. U každého sladu je laboratorně zjišťována tzv. extraktivnost E (nebo také extrakt v sušině), kterou každý výrobce u svých sladů uvádí. Předpokládejme, že v laboratoři dokážou extrahovat ze sladu maximum možného extraktu, proto při vaření piva dosáhneme vždy menší hodnoty celkové výtěžnosti, než je extraktivnost sladu. Extraktivnost základních sladů (Plzeňský, Pšeničný) je obvykle nejvyšší a to kolem 0,8 (80 %), karamelové slady mají extraktivnost kolem 0,75 a pražené slady přibližně 0,65.

Předchozí vztahy jsou vhodné spíše pro výpočty, kdy vaříme pivo pouze z jednoho sladu. V případě, kdy vaříme pivo z více sladů je vhodnější použití vztahu zahrnující tzv. efektivitu varny. Tuto hodnotu opět získáme až po uvaření piva, nejlépe až po uvaření několik várek piv.

$$m_s = \frac{EPM_t}{E \cdot EF_v} \quad 3.7$$

kde je E [-] je extraktivnost sladu, EF_v [-] je naše efektivita varny (pro domácí vaření je kolem 0,75, tj. 75 %).

V případě, že máme více druhů sladu, tak celková extraktivnost se určí jako součet jednotlivých extraktivností vynásobených hmotnostním podílem daného sladu.

Výpočet množství nálevu pro vystírku

Určení množství vody na vystírku (hlavního nálevu) V_{hl} se běžně provádí na základě doporučených poměrů vztažených na 1 kg sladu. Pro vaření piva plzeňského typu je tento poměr udáván mezi 3,5-4 l vody na 1 kg sladu, pro tmavá piva 3-3,5 l/kg sladu a pro infuzní způsob vaření piva 3-4 l/kg sladu.

$$V_{hl} = m_s \cdot x_v \quad 3.8$$

Kde V_{hl} [l] je objem hlavního nálevu a x [l/kg sladu] je objem vody na 1 kg sladu.

Výpočet celkového objemu vystírky

Celkový objem vystírky, tj. celkový objem vystřené sladu s vodou je určen vztahem [2]:

$$V_d = V_{hl} + m_s \cdot c \quad 3.9$$

kde V_d [l] je celkový objem vystírky a c [l/kg] měrný objem šrotu. 1 kg šrotu má obvykle objem 0,7 litru.

Výpočet objemu rmutu

Objem rmutu se poměrně často volí jako 1/3 objemu vystírky. Je ho také možné vypočítat tak, abychom po smíchání horkého rmutu se zbytkem díla dosáhli požadované teploty vhodné pro další proces. K tomu využijeme rovnici:

$$V_r = \frac{V_d \cdot (t_{mix} - t_d)}{t_r - t_d} \quad 3.10$$

kde V_r [l] je objem rmutu, V_d [l] celkový objem vystírky, t_d [°C] teplota zbytku vystírky po odebrání rmutu, t_r [°C] konečná teplota samotného rmutu a t_{mix} [°C] celková požadovaná teplota směsi po navrácení rmutu.

Výpočet množství předku a vody na vyslazování

Při scezování nejprve jímáme do nádoby tzv. předek. Jeho množství závisí na objemu nálevu a množství zadržného ve sladu. Objem předku se vypočítá podle vztahu:

$$V_p = V_{hl} - m_s \cdot zt_p \quad 3.11$$

kde V_p [l] je objem předku, zt_p [l/kg sladu] jsou ztráty v koláči, které se obvykle pohybují v rozmezí 0,9-1,0 l/kg sladu.

Po scezování předku následuje proces vyslazování. Obvykle se vyslazuje tak dlouho, dokud se nedosáhne požadovaného množství tekutiny, tzv. sladiny, požadované síly, anebo dokud síla odtékající tekutiny neklesne zhruba pod 3-4 °P. Vyslazuje se vodou ohřátou na 80 °C. Množství vyslazovací vody se pohybuje v rozmezí od 60 do 150 % hlavního nálevu. Případně můžeme objem vypočítat přibližně podle rovnice:

$$V_{vv} = (1 + zt_{ch}) \cdot V_{m,20} - V_p \quad 3.12$$

kde V_{vv} [l] je objem vyslazovací vody, $V_{m,20}$ [l] je objem mladiny při 20 °C, V_p [l] je objem předku, zt_{ch} [-] jsou ztráty při chmelovaru, které se pohybují kolem 10 %, tj. 0,1.

Finální objem ovšem závisí na požadované hustotě sladiny, která je menší než finální hustota mladiny (mladého piva).

Objem sladiny

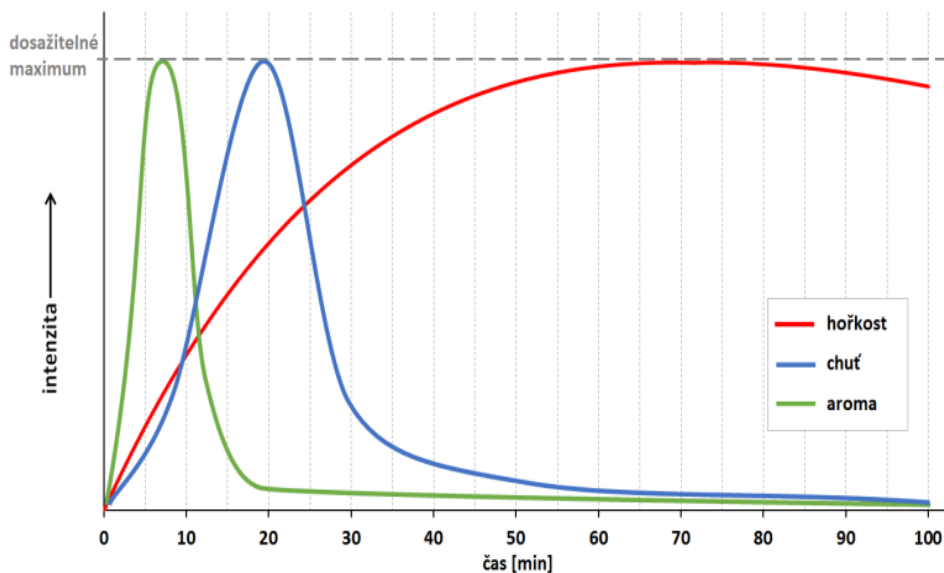
Celkový objem sladiny je pak součet objemu předku a objemu vyslazovací vody.

$$V_s = V_p + V_{vv} \quad 3.13$$

kde V_s [l] je objem sladiny, V_p [l] je objem předku a V_{vv} [l] je objem vyslazovací vody.

Výpočet chmelení

Chmelení piva se provádí za účelem dodání hořkosti a aroma. Hořkost piva se měří v jednotkách IBU nebo EBU (International/European Bitterness Unit). České ležáky mají hořkost kolem 30 IBU. Německé weizeny mají většinou hořkost pod 15 IBU a britské bittersy kolem 40 jednotek hořkosti. Pořádně chmelené IPA mohou mít hořkost i vysoko nad 100 IBU, bývají to ale speciální kousky.



Obrázek 3-15 Závislost intenzity hořkosti, chuti a aroma chmele na čase při varu [42]

Hořkost piva je závislá na obsahu izosloučenin chmele, které zahrnují alfa-hořké kyseliny. Jejich obsah se může u jednotlivých chmelů výrazně lišit. Například tradiční Žatecký poloraný červeňák má obsah alfa-hořkých kyselin kolem 3 %, hořké americké chmely mohou mít i nad 15 %. Schopnost chmele udělat pivo hořké klesá s časem. Proto hořké chmele používáme na začátku chmelovaru a ty aromatické přidáme na konci (Obrázek 3-15), nebo až po hlavním kvašení při takzvaném chmelení za studena.

Pro určení hořkosti piva se používá vztah:

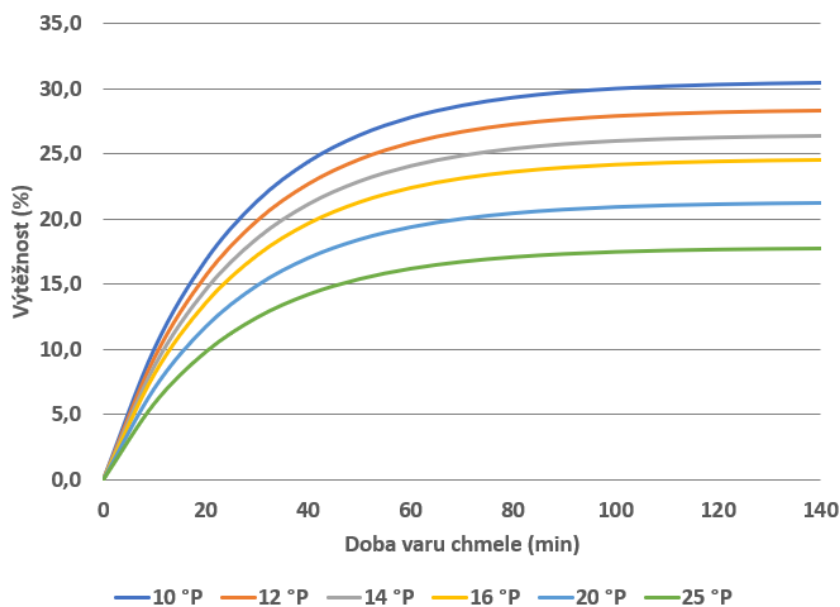
$$IBU = \frac{m_{ch} \cdot w_{\alpha}}{0,1 \cdot V_m} \cdot E \quad 3.14$$

kde m_{ch} [g] je hmotnost chmele, w_{α} [%] obsah alfa kyselin v chmelu, V_m [l] množství mladiny a E [-] je výtěžnost alfa kyselin v průběhu vaření.

Nejpoužívanější metodou k výpočtu výtěžnosti alfa-kyselin je Tinsethova formule [37], kterou používají snad všechny výpočetní programy

$$E = F \cdot 0,398 \cdot (1,25e^{-4})^{OG_m-1} \cdot (1 - e^{-0,04 \cdot t}) \quad 3.15$$

kde F [-] je korekce pro pelety (1,1), OG_m [-] specifická hustota mladiny a t [min.] je doba vaření chmele.



Obrázek 3-16 Závislost výtěžnosti chmele na době varu

Průběh výtěžnosti chmele pro piva různých stupňovitostí v závislosti na době varu je uveden na Obrázek 3-16. V případě více chmelení je nutné jednotky hořkosti IBU vypočítat zvlášť a následným součtem získáme výslednou hodnotu.

Ztráty při chmelovaru

Při chmelovaru se odpařují nežádoucí látky, tudíž je odpar žádoucí a pohybuje se obvykle kolem 10 %.

$$V_m = V_s(1 - zt_{ch}) \quad 3.16$$

kde zt_{ch} [-] jsou ztráty při chmelovaru.

Výpočet energie nutné pro chlazení

Pro výpočet energie nutné pro chlazení horké mladiny se používá vztah

$$Q_m = V_{m,100} \rho_m c_{pm} (t_m - t) \quad 3.17$$

kde Q_m [J] je energie odebíraná chlazením, $V_{m,100}$ [m³] množství horké mladiny, ρ_m [kg/m³] hustota mladiny při střední teplotě, c_{pm} [J/(Kg·K)] měrná tepelná kapacita mladiny při střední teplotě, t_m [°C] počáteční teplota mladiny a t [°C] je konečná teplota mladiny.

Minimální objem vody, který je potřeba k ochlazení mladiny na požadovanou teplotu určíme ze vztahu:

$$Q_m = V_v \rho_v c_{pv} \Delta t = m_v c_{pv} \Delta t \quad 3.18$$

kde V_v [m³] je objem vody, ρ_v [kg/m³] je hustota vody při střední teplotě, c_{pv} [J/(Kg·K)] měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě a Δt [°C] je rozdíl výstupní a vstupní teploty vody, m_v [kg] je hmotnost vody.

Pokud potřebujeme ochladit mladinu do 30 minut, tak minimální průtok vody určíme z předchozího vztahu poděleného časem chlazení v sekundách.

$$\dot{m}_v = \frac{Q_m}{1800 c_{pv} \Delta t} \quad 3.19$$

kde \dot{m}_v [kg/s] je minimální hmotnostní průtok vody.

Výpočet potřebného množství kvasnic

Aby započal proces kvašení a byl zdárně ukončen, je nutné do vychlazené mladiny dodat určité množství kvasnic. Dávka kvasnic je závislá na druhu kvasnic, kvasné teplotě a jejich kvalitě. Obecně se doporučuje pro:

- Tekuté kvasnice
0,5 l kvasnic na 100 l mladiny 3.20
- Sušené kvasnice
25 až 50 g na 20 l mladiny 3.21

Pokud se použijí sušené kvasnice, tak od výrobce dostaneme doporučené dávkování a postup zakvašení, který je vhodné dodržet. Při domácím vaření, kdy si nemůžeme zjistit kvalitu kvasnic je lepší dávat větší množství než vypočtené.

Vyhodnocení vaření

Pro zjištění, jaké množství extraktu se nám podařilo získat ze sladu, slouží hodnota varního výtěžku. Varní výtěžek vyjadřuje procentuální podíl získaného extraktu mladiny z hmotnosti dodaného sladu na várku.

$$Y_c = \frac{V_{m,100} \cdot E_m \cdot \rho_m \cdot 0,96}{m_s} = \frac{V_{m,20} \cdot E_m \cdot \rho_m}{m_s} \quad 3.22$$

kde Y_c [hm. %] je varní výtěžek, $V_{m,100}$ [l] objem horké mladiny, $V_{m,20}$ [l] objem studené mladiny, E_m [% hm.] skutečný extrakt mladiny změřený po uvaření piva, ρ_m [kg/l] měrná hmotnost mladiny, 0,96 dilatační faktor a m_s [kg] hmotnost sladu. V průmyslových pivovarech je běžně dosahováno varního výtěžku 73-75 hm. %.

Podobně můžeme určit hodnotu efektivity varny EF_v :

$$EF_v = \frac{V_{m,100} \cdot E_m \cdot \rho_m \cdot 0,96}{E \cdot m_s} = \frac{V_{m,20} \cdot E_m \cdot \rho_m}{E \cdot m_s} \quad 3.23$$

nebo hodnotu r značící rozdíl laboratoř varna:

$$r = E - Y_c \quad 3.24$$

S těmito novými hodnotami můžeme zpřesnit naše další výpočty pro určení potřebné hmotnosti použitého sladu.

Hodnotu skutečného extraktu mladiny E_m , neboli stupňovitost piva vypočítáme z naměřené specifické hustoty např. podle vztahu:

$$^{\circ}P = 260 \cdot \left(1 - \frac{1}{SG}\right) \quad 3.25$$

Výpočet množství alkoholu

Pro výpočet objemového množství alkoholu je možné nalézt různé vztahy, které ovšem dávají někdy dosti rozdílné výsledky. Jedním z používaných vztahů je rovnice pro výpočet objemového množství alkoholu, která se udává ve tvaru

$$ABV = \frac{OG - FG}{131,25} \quad 3.26$$

kde ABV [% obj.] je objemové procento alkoholu, OG [-] je specifická hustota mladiny před zakvašením, FG [-] je specifická hustota piva po vykvašení.

V článku [38], jehož autoři provedli odvození vztahu pro výpočet hmotnostního podílu alkoholu v pivo v závislosti na hodnotě cukernatosti získané pomocí refraktometru, je uveden vztah

$$ABW = 0,67062 \cdot Bx_i - 0,006276 \cdot Bx_f \quad 3.27$$

kde ABW [% hm.] je hmotnostní procento alkoholu, Bx_i [% Brix.] je hodnota cukernatosti mladiny před zakvašením, Bx_f [% Brix.] je hodnota cukernatosti piva po vykvašení.

Data potřebná pro odvození tohoto vztahu byla stanovena pomocí laboratorních analyzátorů. Tudíž lze tento vztah považovat za poměrně hodnověrný.

Pro přepočítání mezi hmotnostním (ABW) a objemovým procentem alkoholu (ABV) se používá vztah:

$$ABW \cdot FG = ABV \cdot 0,791 \quad 3.28$$

kde FG [-] značí konečnou specifickou hustotu, tj. po vykvašení.

3.5 Vady piva

Proces vaření piva a následné uskladnění mohou zkomplikovat různé situace, jejichž výsledkem je snížení kvality piva, pachů nebo dokonce naprostá ztráta požitelnosti vařené várky piva. Snahou každého pivovarníka je zamezit těmto situacím a získat tak kvalitní pivo. Vady můžeme dělit na vady biologického charakteru a vady technologického charakteru.

3.5.1 Biologické vady

Klíčovým krokem k zamezení biologických vad piva (Tabulka 3-8 zobrazující vybrané nejčastější pivní vady) je důsledná sanitace použitého vybavení a pracovního prostředí. V opačném případě hrozí kontaminace piva bakteriemi či cizími kvasinkami a dílo může být znehodnoceno. Velmi důležitým krokem je také důkladný oplach vybavení po užití sanitačních prostředků.

Tabulka 3-8 Vybrané biologické vady piva [1]

Znaky vady	Příčina	Řešení
Mošťová chuť	Přítomnost cizích kvasinek, pivo je zkažené	Důkladnější sanitace
Kyselost, trpkost	Přítomnost cizích bakterií	Důkladnější sanitace
Nečistoty v pivu	Přítomnost cizích bakterií, pivo je zkažené	Důkladnější sanitace
Kruhy při hrdlu lahve	Nedostatečné odstranění zákalu, bakterie	Sanitace, vyšší teploty vaření piva
Nekvalitní pěna	Zbytky sanitačních prostředků, mastnota	Důkladnější oplach po sanitaci

3.5.2 Technologické vady

Technologické vady při výrobě piva (Tabulka 3-9) zpravidla nemají tak zásadní vliv na jakost piva, jako vady biologické. Jedná se však stále o významné narušení kvality a pitelnosti výsledného produktu a je důležité těmto chybám v co nejvyšší míře předejít. Vady technologického charakteru jsou nejčastěji způsobeny použitím nevhodných surovin, případně jejich vzájemným stykem. Neméně důležitý je důraz na dodržení předepsaných postupů v receptu, dle kterého je pivo vařeno. Odchyly od stanovených teplot a časových prodlev mohou narušit procesy probíhající ve vznikajícím a zrajícím pivu.

Tabulka 3-9 Vybrané technologické vady piva [1]

Znaky vady	Příčina	Řešení
Příchuť karamelu, másla	Vznik diacetylu vysokou kvasnou teplotou	Dodržení kvasné teploty
Přítomnost kalu v pivu	Přítomnost bílkovin pomalým chlazením	Rychlejší ochlazení mladiny
Příchuť ovoce	Tvorba esterů alkoholu	Použití vhodnějších kvasinek
Příchuť kovu	Železitá voda, použití nevhodných nádob	Použití vody z jiného zdroje
Příchuť plastu	Vznik fenolů vysokou teplotou rmutování	Dodržení rmutovacích teplot
Příchuť chloru	Použití vysoce chlorované vody	Použití vody z jiného zdroje
Příchuť mýdla	Mastné kyseliny pozůstalé po kvašení	Čerstvé kvasnice, okysličování
Zvětralé pivo	Malé množství zbytkového cukru mladiny	Kontrola teploty zrání, doslazení
Silné, divoké pění	Velké množství zbytkového cukru mladiny	Dodržení výrobních postupů
Sluneční příchuť	Vystavení piva slunečnímu záření	Ochrana před slunečním zářením

Chceme-li experimentovat se surovinami a vytvářet vlastní recepty pro výrobu piva, je nutné zjistit kompatibilitu jednotlivých složek a dodržet jejich předepsané podmínky použití z příbalových informací. V opačném případě se mohou dostavit výše zmíněné vady a připravovaná várka piva se může stát velkým zklamáním. Již vytvořené, veřejně dostupné recepty jsou z pravidla odzkoušené a záruka úspěchu je vyšší.

3.6 Vaření piva v domácích podmínkách

Vaření piva v domácích podmínkách můžeme rozdělit na vaření se základním kuchyňským vybavením a na vaření s pomocí zařízení nazývaného „domácí pivovar“.

3.6.1 Vaření se základním kuchyňským vybavením

Při vaření piva v domácích podmínkách obsahuje postup několik zjednodušení a ústupků. Princip však zůstává stejný, jako výroba piva v pivovaru. Suroviny pro domácí pivo lze zakoupit jako set polotovarů s jednoduchým návodem na přípravu, nebo je možné postupovat klasickým způsobem vaření piva. Sety výrazně ulehčují práci, stoupá však cena a klesá kvalita výsledného produktu [1]. Toto řešení je vhodné například pro začínající domovarníky jako prvotní seznámení s výrobou piva. Naopak pokročilí domovarníci budují malé varny, které mohou být dokonce vybaveny i automatickým řízením varného procesu a výsledná kvalita vařeného piva se vyrovnává kvalitě dosahované v profesionálních minipivovarech.

Pro vaření piva svépomocí je dobré si vyhradit celý den a dostatek místa. Proces je časově náročný zejména kvůli dlouhému zahřívání a chlazení. Dle požadovaného objemu piva potřebujeme alespoň jednu dostatečně velkou nádobu (hrnec). V případě dekokčního rmutování jsou nutné dvě nádoby. Dále vařič jako zdroj tepla, nástroj na míchání a dále několik menších nádob pro přípravu surovin, odebrání vzorků atd. [1]

Slad se nejčastěji prodává v celku a před použitím je nutné jej šrotovat. Lze použít profesionální šrotovník, avšak v domácích podmínkách plně dostačuje například mlýnek na mák [1]. Domácí mixér není vhodný, protože slad nenašrotuje, ale rozseká. To má pak negativní vliv nejen při vyluhování potřebných látek, ale i při scezování. Pro chlazení mladiny před přidáním kvasnic je vhodný průtokový chladič nebo jiný způsob účinného odvodu tepla. Lze také využít pouhého odložení mladiny na chladné místo. Proces snížení teploty však bude delší. Je možné jej urychlit například použitím širší nádoby, ve které bude tekutina v menší vrstvě, případně využít chlazení pomocí ledu, kterým nádobu obložíme. Další možností chlazení je sprchování nádoby studenou vodou. Kvašení, dokvašování a ležení vyžaduje také chladné prostředí, nejlépe se stálou teplotou. K těmto účelům se hodí lednice s termostatickou regulací. Pro svrchně kvašená piva jsou menší nároky na chlad a místo lednice může být využito chladné místo v domě, nebo bytě. Mnozí domovarníci využívají sklep, chodbu nebo dokonce i ložnici. Kvašení však musí probíhat v uzavřené nádobě s kvasnou zátkou, aby nedošlo k infikování zakvašeného piva. Pro všechno vybavení platí vysoké nároky na čistotu. Nedokonalá sanitace a špatně umyté náčiní může iniciovat divoké kvašení či jinak znehodnotit vařené pivo (viz kapitola 3.5). [1]

První surovinou pro výrobu je voda, kterou je vhodné den před vlastním vařením převařit, nebo nechat alespoň přes noc odležet, aby z ní vyrchla chlor. Další technologický postup výroby se liší dle vybrané metody a typu piva, které chceme vařit. Základ je však většinou totožný.

Nejprve je nutné našrotovat slad a namočit jej do připravené vody. Následně probíhá vystírka a zapáčka, která přivádí směs na požadovanou teplotu. Tím je zahájeno uvolňování cukrů ze sladu. Pro lepší výtěžnost se směs zahřívá (rmutuje). Rmutování může být dekokční, nebo infuzní. Dále je nutné provést scezování, abychom oddělili mláto od sladiny. Používá se jemné síto, nebo tkanina. Mláto dále proléváme horkou vodou pro získání vyššího množství sladiny. Roztok obsahuje cukry a má barvu velmi podobnou výslednému pivu. Do sladiny dle receptem daného postupu přidáváme chmel, aby se uvolnily jeho chuťové a vonné složky a pivo získalo hořkost. Tento proces se nazývá chmelovar. Chmelovarem získáváme mladinu, kterou následně vhodným způsobem ochladíme. Po ochlazení mladiny následuje separace kalů, která slouží k odstranění drobných nečistot a vysrážených látek nezachycených během procesu scezování sladiny. Také dochází k oddělení vyluhovaného chmele. Jakmile je mladina ochlazená a přefiltrována, je možné provést zakvašení. Mladinu přemístíme do kvasné nádoby, nechceme-li použít stejnou, jako pro vaření. Kvasnice je nutné přidat až nyní, v horké mladině by zahynuly. Dle typu kvasnic volíme teplotu kvasného procesu. [1]

Po stanovené době nastává ukončení hlavního kvašení a tzv. mladé pivo je připraveno ke stáčení do nádob. V domácích podmínkách jsou nejčastěji využívány PET lahve. Je možné zakoupit nové, přímo určené pro pivo, nebo můžeme využít již použité, nejlépe však také od piva, nebo od sycených limonád. Tloušťka

stěny nesmí být příliš nízká, aby PET lahev vydržela tlak, který vzniká při dokvašování. Vhodnější, avšak dražším řešením jsou skleněné lahve a zařízení pro jejich uzavření. Pivo uskladněné ve skleněné nádobě obvykle dosahuje vyšší kvality než pivo z nádoby plastové. V obou případech musíme dbát na čistotu použitých nádob. Do stočeného piva se obvykle přidává cukr, aby kvasinky měly dostatek potravy pro dokvašování. Lze použít obyčejný cukr, nebo dropsy přímo určené pro tuto aplikaci. Pivo poté uložíme zpět na chladné místo a po dozrání a ležení je připraveno ke stáčení a konzumaci. Délka tohoto procesu je opět určena zvoleným receptem pro výrobu piva. [1]

3.6.2 Domácí pivovary

Pro usnadnění výroby piva v domácích podmínkách lze zakoupit přímo určené varny, které zajistí pohodlnější průběh procesu výroby. Následující část kapitoly je věnována porovnání domácích pivovarů různých cenových kategorií pro vařený objem 40–50 litrů hotového piva. Tato zařízení disponují různými funkcemi. Nejlepší varny dokážou navíc připravit ze základních surovin pivo automaticky. Nevýhodou je však pořizovací cena a skutečnost, že tato zařízení nelze většinou použít k jiným dalším účelům.

Scezování a filtrace u všech dále uvedených zařízení probíhá díky dvojitému dnu nádoby, kdy jedno z nich je opatřeno velkým množstvím malých děr, přes které protéká kapalina a pevné složky jsou zachyceny.

- **Brewster Beacon ALL-IN one**



Obrázek 3-17 Brewster [24]

Brewster Beacon ALL-IN one (Obrázek 3-17) je základním domácím pivovarem. Slouží k částečné automatizaci výroby sladiny a mladiny. Nedisponuje chlazením, proto je po chmelovaru nutné obsah varny vypustit a chlazení s následným přidáním kvasnic je nutné provést v jiné nádobě. Parametry přístroje zobrazuje Tabulka 3-10.

Tabulka 3-10 Brewster Beacon ALL-IN one [24]

Váha	10 kg	Paměť	ANO	Bluetooth	NE
Výkon ohřevu	2500 W	Recepty	NE	Pozdní start	NE
Množství sladu	9 kg	Filtr	ANO	Teploměr	ANO
Kapacita (mladina)	40 (30) l	Chlazení	NE	Dávkovač	NE
Čerpadlo	8 l / min	Wi-Fi	NE	Sterilizace	NE
Cena včetně DPH	11499 Kč	Výrobce	Dánsko		

- **Grainfather G40 Wi-Fi**



Obrázek 3-18 Grainfather [24]

Grainfather G40 Wi-Fi (Obrázek 3-18) ve velké míře usnadňuje proces vaření piva v domácích podmínkách. Zařízení vyžaduje obsluhu, proces je však z větší části automatizovaný a úlohou obsluhy je manipulace se surovinami. Varna je vybavena protiproudým výměníkem pro ochlazení mladiny [24]. Parametry přístroje zobrazuje Tabulka 3-11.

Tabulka 3-11 Grainfather G40 Wi-Fi [24]

Váha	29 kg	Paměť	ANO	Bluetooth	NE
Výkon ohřevu	3300 W	Recepty	ANO	Pozdní start	NE
Množství sladu	13 kg	Filtr	ANO	Teploměr	ANO
Kapacita (mladina)	46 (40) l	Chlazení	ANO	Dávkovač	NE
Čerpadlo	8 l / min	Wi-Fi	ANO	Sterilizace	NE
Cena včetně DPH	34900 Kč	Výrobce	Nový Zéland		

- Braumeister 45050



Obrázek 3-19 Braumeister [24]

Braumeister 45050 (Obrázek 3-19) je bohatě vybaveným zařízením pro výrobu piva v domácích podmínkách. Nabízí plně automatické řízení procesu, dávkování surovin a vzdálené ovládání. Dvouplášťová konstrukce zajišťuje rychlé a účinné chlazení mladiny na požadované teploty [24]. Parametry přístroje zobrazuje Tabulka 3-12.

Tabulka 3-12 Braumeister 45050 [24]

Váha	30 kg	Paměť	ANO	Bluetooth	ANO
Výkon ohřevu	3200 W	Recepty	ANO	Pozdní start	ANO
Množství sladu	13 kg	Filtr	ANO	Teploměr	ANO
Kapacita (mladina)	55 (50) l	Chlazení	ANO	Dávkovač	ANO
Čerpadlo	27 W	Wi-Fi	ANO	Sterilizace	ANO
Cena včetně DPH	69999 Kč	Výrobce	Německo		

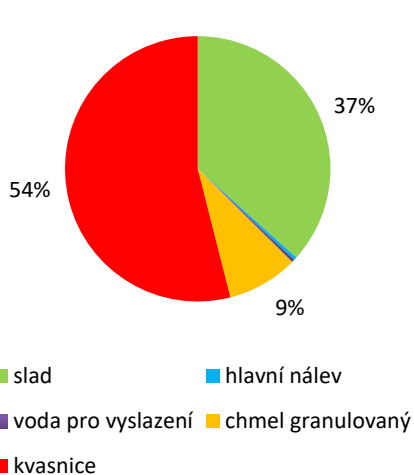
3.7 Cenový a hmotnostní odhad složek pro domácí výrobu piva

Pro domácí výrobu piva je nejjednodušším způsobem zajištění potřebných surovin nákup ve specializovaném obchodu. Cena je však výrazně vyšší než při nákupu surovin ve velkém množství, například pro potřeby průmyslového pivovaru. Následující výpočet přibližné ceny piva pšezněského typu připraveného v domácích podmínkách uvažuje ceny surovin v internetovém obchodu *pivoteka.cz*. Částky jsou aktuální ke dni 22.5.2023. Průměrná cena pitné vody v České republice k tomuto datu je 102 Kč za jeden metr krychlový. Prvotní výpočet neuvažuje spotřebovanou elektrickou energii potřebnou pro ohřev a chlazení ani cenu za práci.

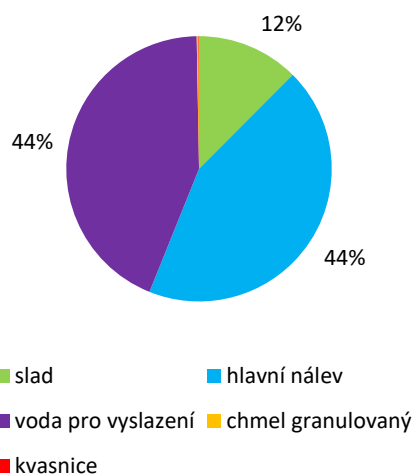
Tabulka 3-13 Hrubá cenová kalkulace

Surovina / prostředek	Potřebné množství na 30l piva	Cena za 30l piva	Cena za 0,5l piva
sanitační prostředky	200 ml	20 Kč	0,4 Kč
slad	6 kg	192 Kč	3,2 Kč
hlavní nálev	20 litrů	2 Kč	0,03 Kč
voda pro vyslazení	20 litrů	2 Kč	0,03 Kč
granulovaný chmel	0,05 kg	30 Kč	0,5 Kč
kvasnice (sušené)	0,03 kg	280 Kč	4,67 Kč
		CELKEM	8,9 Kč

Uvažuji cenu vody 102 Kč za 1 m³, cenu sanitačního prostředku 20 Kč za dávku pro jednu sanitaci.



Obrázek 3-20 Cenový poměr surovin



Obrázek 3-21 Hmotnostní poměr surovin

Cena výsledného doma vyráběného piva tedy i při zanedbání spotřeby energií odpovídá téměř ceně levného průmyslově vyráběného piva. Domovarnictví je tedy spíše zálibou a možností volně experimentovat než způsobem, jak ušetřit. Hlavními důvody jsou malá balení potřebných surovin a s tím spojené vyšší marže. K snížení nákladů je vhodné například nakupovat přímo u výrobců. Znatelnou úsporou může být také zajištění pivovarnických kvasnic přímo z pivovaru. Cenově nejméně výhodnou variantou jsou předem připravené sady pro výrobu piva v domácích podmínkách. V takovém případě dosahuje výsledný produkt ceny 12 až 15 Kč za půllitr piva (opět bez uvažované ceny energií) [20]. Výhodou je však přesně odměřené množství kompatibilních surovin. Slad bývá zpravidla již našrotovaný a proces vaření piva se pro začátečníka stává jednodušším. Cenový a hmotnostní poměr využitých surovin zobrazují Obrázek 3-20 a Obrázek 3-21.

Abychom docílili lepšího odhadu nákladů na výrobu piva, provedeme hrubý odhad spotřeby elektrické energie. Ta je tvořena energií potřebnou k ohřevu vody a spotřeby lednice za 30 dní zrání piva. Uvažujeme, že průměrný dvou plotýnkový vařič má příkon 2500 W a při vaření je v provozu cca 5 hodin. Dále uvažujeme, že lednice spotřebuje přibližně 0,7 kWh denně. Jednoduchým výpočtem tedy získáme přibližný počet spotřebovaných kWh.

$$30 \cdot 0,7 + 5 \cdot 2,5 = 33,5 \text{ kWh} \qquad 3.29$$

S aktuální cenou přibližně 9 Kč / kWh (cena pro malé odběratele, ke dni 22.5.2023) musíme tedy počítat s dalšími výdaji o velikosti 302 Kč [23]. **Cena půllitru piva vařeného doma je pak odhadem rovna 13,9 Kč.**

4 „DOMÁCÍ“ VAŘENÍ PIVA NA ÚPI VUT

Vybavení pro výrobu piva na ÚPI VUT v Brně je srovnatelné se základním vybavením pro domácí vaření piva. Je to zejména z důvodu, aby se studenti lépe seznámili s procesem vaření piva, aby byli co nejvíce jeho součástí. To by s pokročilým vybavením nebylo v takové míře možné. Avšak i s pomocí základního vybavení lze připravit pivo dobré chuti a kvality.

4.1 Zařízení a příslušenství k výrobě piva

4.1.1 Zařízení pro výrobu piva

Proces vaření piva a příslušné měření probíhalo v učebně budovy A1 Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně (viz Obrázek 4-1). Použité vybavení, které ve vysoké míře odpovídá běžně dostupnému vybavení pro začátečníky v oblasti vaření piva v domácích podmínkách, se skládá z:

- 2x hrnec s poklicí, alespoň jeden z nich o objemu vyšším, než je objem výsledného piva;
- 2x elektrický plotýnkový vařič;
- lednice;
- ruční šrotovník sladu, typ Victoria;
- scezovací nádoba (válnová skleněná nádoba s klenutým dnem, vypouštěcím ventilem a vestavbou);
- nádoby a nástroje pro manipulaci, odběr vzorků apod. (odměrný válec, kádinka, vědro, ...);
- PET lahve pro uskladnění piva během procesu zrání;
- laboratorní výlevka pro chlazení mladiny.

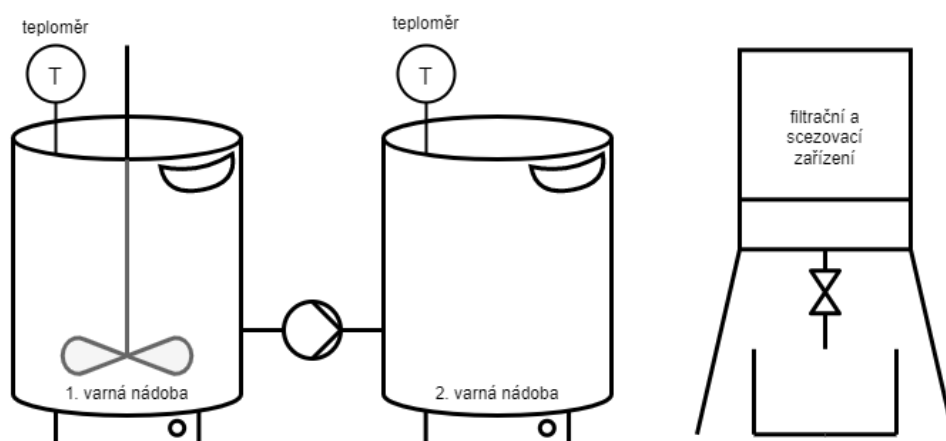
Hrnce (Obrázek 4-3, Obrázek 4-4) se používají jako kádě k vystírání, rmutování a kvašení. Plotýnkový vařič (Obrázek 4-7) je zdrojem tepelné energie pro ohřev veškerých tekutin. Lednice (Obrázek 4-6) zastupuje pivovarskou spilku, dochází zde k ležení a zrání piva. Ruční šrotovník (Obrázek 4-5), se využívá k šrotování sladu. Scezovací zařízení (Obrázek 4-8) je složeno z válcové skleněné nádoby s klenutým dnem, filtru, výztuhy a vypouštěcího ventilu pro možnost zastavení průtoku filtrované kapaliny. Pro manipulaci a odběr vzorků je využita sada kádinek a zkumavek, dále naběračka a vědro. Následující Tabulka 4-1 uvádí přehled vybavení laboratoře ve srovnání s odpovídajícím zařízením pivovaru. Obrázek 4-2 zobrazuje zjednodušené schéma varné sestavy pro výrobu piva používané na Ústavu procesního inženýrství VUT v Brně.



Obrázek 4-1 Laboratoř sloužící pro výrobu piva na VUT v Brně

Tabulka 4-1 Vybavení laboratoře ve srovnání se zařízením pivovaru

Zařízení laboratoře	Zařízení pivovaru
ruční šrotovník – typ Victoria	šrotovník
váha digitální	váha
<i>První varná nádoba</i> - hrnec s poklicí, objem 35 l, vystírání, rmutování, chmelovar, kvašení	vystírací kád' mladinová kád' kvasná kád'
<i>Druhá varná nádoba</i> - hrnec s poklicí, objem 20 l - rmutování - ohřev mladiny	rmutovací kád' mladinová kád'
válcová skleněná nádoba s klenutým dnem, vypouštěcím ventilem a vnitřní vestavbou	scezovací kád'
elektrický vařič č. 1	ohřev vystírací a rmutovací kádě, ohřev mladinové kádě
elektrický vařič č. 2	ohřev mladinové kádě
laboratorní výlevka	chladič mladiny
pádlo, Vařečka	míchadlo vystírací, rmutovací a mladinové kádě, provzdušňování mladiny
nádoba – hrnec, objem 10 l	kvasniční hospodářství
nádoba – PET láhev 5 l	kvasniční hospodářství
nádoba hranatá	ležácké tanky
chladnička	spilka (kvašení, dokvašování, ležení)
PET láhve 1,5 l	ležácké tanky



Obrázek 4-2 Schéma varné sestavy na ÚPI VUT v Brně



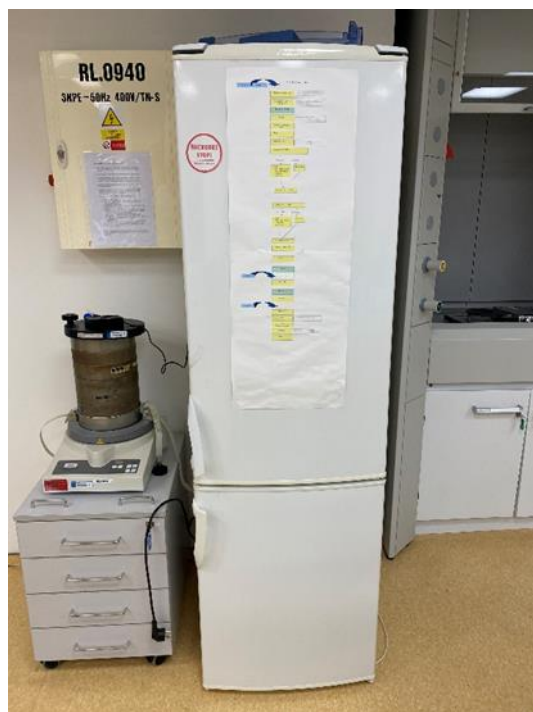
Obrázek 4-3 Malý hrnec o objemu 24 l



Obrázek 4-4 Velký hrnec o objemu 35 l



Obrázek 4-5 Ruční šrotovník sladu Victoria



Obrázek 4-6 Lednice



Obrázek 4-7 Elektrický vařič



Obrázek 4-8 Současné scezovací zařízení

4.1.2 Příslušenství pro výrobu piva

Mezi příslušenství využitě při vaření piva na Ústavu procesního inženýrství VUT v Brně patří:

- dezinfekční prostředky pro sanitaci vybavení;
- digitální teploměr GTH 175/pt;
- odpěňovačka (nerezová děrovaná naběračka);
- vařečka, pádlo;
- stáčecí hadice.

Teploměr o rozsahu -199.9 – 199.9 °C je digitální a měří s přesností na jedno desetinné místo. Odpěňovačka pro odstranění pěny a deky po kvašení je základním kuchyňským vybavením, stejně jako vařečka sloužící k míchání a okysličení díla. Stáčecí hadicí probíhá přesun mladého piva do PET lahví, které zastupují ležácké tanky v době zrání.

Pro lepší kontrolu nad procesem výroby a sběr dat byly dále použity:

- hustoměr + odměrný válec pro umístění odebraného vzorku;
- refraktometr ATC;
- pH metr WTC Multi 3420 + kádinka pro umístění odebraného vzorku;
- roztok jódu a jodidu draselného v destilované vodě pro jodovou zkoušku.

Hustoměr je využit ke zjištění měrné hustoty sladiny, mladiny a piva. Pracuje v rozsahu 0,990-1,100. Díky refraktometru jsou získány informace o cukernatosti piva v jednotkách Brix, případně můžeme na stupnici přímo odečíst hodnotu SG. Z naměřené hodnoty cukernatosti pak není problém dopočítat hodnotu měrné hustoty, případně hustoty. Použitý refraktometr má rozsah 0-35 % Brix. V případě, že měříme cukernatost zakvašeného, případně již prokvašeného piva, tak musíme naměřenou hodnotu přepočítat. Použitím digitálního pH metru získáme informace o kyselosti sladiny, mladiny a mladého piva. Je potřeba poznamenat, že pH metr není, zejména kvůli ceně, běžnou součástí vybavení domovarníků. Pomocí roztoku jódu provádíme jodovou zkoušku na detekci škrobů a kontrolu zcukření při rmutovacím procesu.

Fotografie veškerého příslušenství včetně dalších fotografií pořízených během procesu vaření piva na ÚPI VUT v Brně jsou vyobrazeny v příloze P3, která je součástí této práce.

5 PROCES VAŘENÍ PIVA A ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

5.1 Postup vaření

Pokud si tvoříme vlastní recept, tak si nejprve musíme vybrat, jaký styl piva chceme vařením získat, dále jak bude silné, hořké a jakou bude mít barvu. V neposlední řadě je také rozhodující množství vařeného piva.

Pro vaření na ÚPI VUT v Brně bylo z možných pivních stylů (viz kapitola 2.3.2) vybráno pivo plzeňského typu. To bylo zvoleno jednak z důvodu, že se jedná o klasický český pivní styl a také proto, že jsme na něj získali zdarma suroviny z pivovaru Starobrno a.s. Vaření proběhlo infuzním i dekokčním způsobem z důvodu následného porovnání obou přístupů. Pivo plzeňského typu obsahuje obvykle 4,5-5 % alkoholu, čemuž odpovídá 11-12 % EPM [8]. Cílem receptu bylo získat 12° pivo, to znamená pivo s obsahem 12 % EPM. Barva typická pro tento styl se pohybuje v hodnotách 6-12 EBC. Jedná se tedy o pivo světlejší a pro jeho výrobu se volí světlý ječný slad, v našem případě světlý moravský prostějovský. Hořkost byla cílena k hodnotě blízké 40 jednotkám IBU, neboť tyto hodnoty jsou opět pro piva plzeňského typu typické. Pro zachování standartní chuti plzeňských piv byly zvoleny k chmelení odrůdy Premiant a SAAZ, které jsou šlechtěny z odrůdy Žatecký poloraný červeňák (viz kapitola 3.1.3).

Dále byly určeny teploty a prodlevy dosahované během procesu vaření. Jejich dodržení má zásadní vliv na vznik a složení sladiny, které dále ovlivní chuť piva a kvasný proces. Základní přehled zobrazuje následující Tabulka 5-1. Teploty pro dekokční i infuzní způsob výroby byly zvoleny z této tabulky.

Tabulka 5-1 Základní rozdělení teplot [39]

Název	Rozsah teplot	Doporučená prodleva
kyselinotvorná teplota	35-38 °C	často se již vynechává
peptonizační teplota	45-50 °C	0-30 minut, není nutná
nižší cukrotvorná teplota	60-65 °C	10-40 minut
vyšší cukrotvorná teplota	70-75 °C	dle jodové zkoušky
odrmutovací teplota	76-80 °C	10-30 minut

Dekokční způsob výroby bude zahájen vystíráním na teplotě 38 °C, v případě infuzního způsobu výroby bude slad vmíchán do vody zahřáté až na nižší cukrotvornou teplotu 62 °C. Infuzně vařená várka bude ponechána na nižší cukrotvorné teplotě po dobu 40 minut. Následovat bude ohřev na vyšší cukrotvornou teplotu 72 °C s výdrží 20 minut s možností prodloužení na 30 minut dle výsledků jodové zkoušky. Poté proběhne ohřev na odrmutovací teplotu 76 °C s výdrží 40 minut.

V případě dekokčního způsobu výroby bude vystírání probíhat 20 minut při teplotě 38 °C. Následně bude dílo zahřáto na peptonizační teplotu 52 °C s prodlevou 25 minut. Následovat bude rmutování. Oddělený první rmut bude přiveden na nižší cukrotvornou teplotu 62 °C, po prodlevě 20 minut se zahřeje na vyšší cukrotvornou teplotu 72 °C s výdrží 20 minut. Poté bude přiveden první rmut k varu a po výdrží 20-30 minut dle výsledků jodové zkoušky smísen se zbytkem várky. Tím by ve varné nádobě měla být získána první cukrotvorná teplota 62 °C. Bude následovat druhé rmutování. Část díla se zahřeje na vyšší cukrotvornou teplotu 72 °C. Po výdrží dlouhé 25 minut se provede ohřev do bodu varu a var bude udržován 20-30 minut dle výsledků jodové zkoušky. Poté se rmut smísí se zbytkem díla, čím by ve varně měla vzniknout vyšší cukrotvorná teplota 72 °C. Celý objem varny pak bude zahřát na odrmutovací teplotu 76 °C s prodlevou maximálně 30 minut dle výsledků jodové zkoušky.

Celý postup je důkladněji popsán v následujících kapitolách o vaření piva infuzním a dekokčním způsobem (5.1 a 5.3). Množství vařeného piva bylo limitováno maximálním objemem, který je možné umístit do varné nádoby a zejména chladícím prostorem chladničky. Varná nádoba na ÚPI VUT v Brně má kapacitu 35 litrů. Největší objem během procesu výroby tvoří sladina pohromadě před chmelovarem. Je tedy nutné nepřekročit hodnotu 35 litrů po ukončení vyslazování. Při chmelovaru také dochází z důvodu přidání chmele k tvorbě pěny, a proto je velmi vhodné udržovat hladinu mladiny několik centimetrů pod horním okrajem varné nádoby. V případě varné nádoby na ÚPI se jedná přibližně o objem 30-32 litrů. Množství potřebných surovin pro jednotlivé způsoby vaření piva je rozepsáno v dalších částech práce.

5.2 Vaření piva infuzním způsobem

Infuzní způsob vaření piva je jednodušší, než způsob dekokční. Ohřev díla je prováděn na nižší teplotu. Proces je díky tomuto ústupku o několik hodin kratší a tím i energeticky méně náročný. Nevýhodou je nižší výnosnost z použitých surovin a výsledné pivo je z pravidla méně kvalitní (piva jsou světlejší, méně plná chuti) než v případě postupu dekokčním způsobem, jelikož při infuzním způsobu nedochází k dekokčnímu rmutování. Rozpouštění a štěpení extraktu sladu je zajištěno dlouhodobějším účinkem sladových enzymů bez povaření rmutů. Při dnešní kvalitě sladů, které jsou velmi dobře rozluštěné, není však rozdíl v kvalitě tak markantní.

5.2.1 Výpočty

Pro výpočet potřebných hodnot bylo využito vzorců uvedených dříve. Dále jsou uvedeny pouze výsledné hodnoty získané z těchto vzorců (viz Tabulka 5-2):

Tabulka 5-2 Výsledné hodnoty z výpočtů pro infuzní způsob vaření piva

Veličina	Vypočtená hodnota	Zvolená hodnota
množství sypaní m_s	4,98-5,89 kg	5,3 kg
množství hlavního nálevu V_{hl}	15,9-21,2 l	20 l
množství chmele m_{ch}	48 g	48 g
množství kvasnic V_{kv}	0,135 l	0,4 l (viz komentář)

Komentář: Pro zakvašení jedné várky by nám tedy v ideálním případě mělo postačit 0,135 litru hustých pivovarských kvasnic. Z důvodu neznámého typu a kvality (vlivem převozu a skladování) kvasnic získaných z pivovaru Starobrno a.s. byla zvolena dávka 0,4 litru částečně hustých kvasnic.

Stručný průběh varného procesu infuzním způsobem zobrazuje Tabulka 5-3. Průběh teplot ve varné nádobě popisuje Obrázek 5-13 v závěru kapitoly.

Tabulka 5-3 Zjednodušený přehled infuzního varného procesu

Operace	Teplota °C	Objem l	Prodleva min	Poznámka
VYSTÍRKA	62	20	40	do teplé vody vmícháme slad ohřev spotřebičem, míchání
RMUTOVÁNÍ	72	24	20	ohřev spotřebičem, míchání jodová zkouška
ODRMUTOVÁNÍ	76	24	40	ohřev spotřebičem, míchání jodová zkouška
SCEZOVÁNÍ		30	120	odpočinek, pomalé scezování – předek vyslazování 80 °C vodou
CHMELOVAR	100	27	90	odpar 10 % 3x chmelení - 10 minut po začátku chmelovaru - 50 minut před koncem chmelovaru - 15 minut před koncem chmelovaru

Je uváděn vždy konečný objem v daném procesu

5.2.2 Průběh vaření piva

Příprava

Před samotným procesem vaření byla provedena příprava. Veškeré nádoby a nástroje používané při výrobě piva byly důkladně vysanitovány. Den předem byla převařena voda, využitá pro následné vaření piva. Použitím převařené vody došlo k eliminaci kontaminace díla a s tím spojených vad výsledného produktu. Také bylo provedeno šrotování sladu (pro zajištění nejvyšší kvality šrotu je doporučeno šrotovat co nejkratší dobu před vystíráním, z důvodu úspory času se často šrotuje den předem). Poté bylo možné zahájit vystírání.



Obrázek 5-1 Šrotování sladu

Vystírání

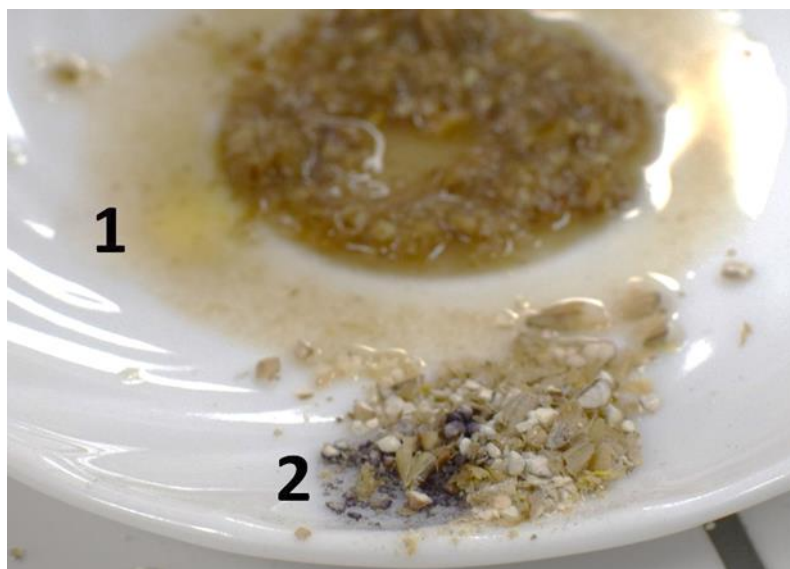
Při vystírání přebylo přesunuto vypočtené množství převařené vody do varné nádoby a proveden ohřev na vystírací teplotu 62 °C. Šrotový slad o vypočtené hmotnosti byl vystřen do vody a za neustálého míchání byl při této teplotě (62 °C) ponechán 40 min. Došlo k působení β -amylázy a polysacharidy škrobu se štěpily na maltózu. Byla provedena první jodová zkouška, jejíž výsledek však stále potvrdil přítomnost škrobu.



Obrázek 5-2 Vystírka

Rmutování

Obsah varné nádoby byl dále zahříván na vyšší cukrotvornou teplotu 72 °C. Za stálého míchání byla udržována teplota po dobu 20 minut a následně provedena jodová zkouška (viz Obrázek 5-3, číslo 1 označuje místo vkapání roztoku jodu do správně rmutované sladiny, číslo 2 zobrazuje chování roztoku jodu v případě přítomnosti škrobů – místo se zabarví do fialova). Ve varně v tuto dobu působila α -amyláza, uvolněné glykoproteiny mají kladný vliv na chuť a pěnivost piva. Potvrdil-li se stále obsah škrobu, došlo k prodloužení prodlevy o maximálně 10 minut. Poté bylo dílo zahřáto na teplotu 76 °C, kdy proběhlo odrmutování. Opět bylo nutné směs důkladně míchat, neboť lokální přehřátí by vedlo ke zničení enzymů získaných ze šrotovaného sladu. Prodleva pro odrmutování činila 40 minut, při ní došlo k deaktivaci enzymů. Po uplynutí této doby byla získána sladina, kterou bylo nutné scedit.



Obrázek 5-3 Jodová zkouška



Obrázek 5-4 Rmutování

Scezování a vyslazování

Do scezovací nádoby bylo umístěno kruhové síto, pod výpustný ventil vložena nádoba pro jímání scezené sladiny. Veškerý obsah varného hrnce byl opatrně přemístěn do scezovací nádoby a výdrž v tomto stavu trvala 20 minut. Díky této prodlevě došlo k usazení mláta na síto (Obrázek 5-5). Mezitím byl v jiné nádobě proveden ohřev vypočteného množství vody pro vyslazování na požadovanou teplotu 80 °C. Rychlým plným otevřením a uzavřením kohoutu scezovacího zařízení proběhlo „sesednutí“ mláta na sítové dno. Následně byla s mírně otevřeným kohoutem jímána sladina do připravené nádoby. Po scezení mláta byla dále do scezovací nádoby přilévána ohřátá voda, čímž proběhlo vyslazování. Proces bylo nutné vést pomalu, doporučená doba průběhu celého procesu je 120-180 minut. Na výtoku ze scezovací nádoby byla měřena

hustotu a cukernatost roztoku. V okamžiku docílení požadované hustoty sladiny ve spodní nádobě, poklesu EPM u vytékající tekutiny pod 3-4 %, případně naplnění spodní nádoby, se proces ukončuje uzavřením výpustného ventilu. Sladina byla přesunuta zpět na vařič a mláto vybráno ze scezovací nádoby.



Obrázek 5-5 Usazení mláta na síto scezovací nádoby

Chmelovar

Sladina byla zahřívána tentokrát na teplotu varu, jakmile začal var probíhat, došlo k spuštění časovače na 90 minut. Pro urychlení dosažení bodu varu je možné sladinu rozdělit, provést zahřívání na více vařičích a poté opět přemístit do jedné nádoby. Během chmelovaru byly uvažovány objemové ztráty 8-10 %. Chmel (Obrázek 5-6) byl dávkován dle následující tabulky (Tabulka 5-4) za neustálého míchání. Celková hmotnost potřebného chmele byla určena z výpočtů. Probíhalo trojí chmelení (Obrázek 5-7). Pro první chmelení byla využita hořko-aromatická odrůda Premiant s obsahem 13,05 % hm. α -hořkých kyselin. Druhé a třetí chmelení poté zajišťovala aromatická odrůda SAAZ o obsahu 6,25 % hm. α -hořkých kyselin. Oba chmely byly zvoleny ve formě granulí.



Obrázek 5-6 Chmel ve formě granulí



Obrázek 5-7 Chmelení

Tabulka 5-4 Dávkování chmele při chmelovaru

Číslo dávky	Hm. % z vypočtené dávky chmele	Čas chmelení	Odrůda
1. dávka	50 % celkové dávky	10 minut po začátku varu	Premiant
2. dávka	35 % celkové dávky	50 minut před koncem varu	SAAZ
3. dávka	15 % celkové dávky	15 minut před koncem varu	SAAZ

Chlazení a filtrace

Mladinu vzniklou ukončením chmelovaru bylo nutné co nejrychleji ochladit na zákvasnou teplotu 12 °C. Chlazení bylo provedeno v laboratorní výlevce, do které byla po uzavření výtoku umístěna jedna vrstva PET lahví s ledem. Na lahve byla poté umístěna varná nádoba s horkou mladinou, mezi stěny nádoby a umyvadla nasypány kostky ledu a stěny varné nádoby byly dále chlazeny proudem studené vody z vodovodního řadu. Pro rychlejší ochlazení je možné objem rozdělit do více nádob a chladit v několika umyvadlech. Vychlazená mladina byla následně přepuštěna do vyčištěného scezovacího zařízení a filtrací přes síto bylo odděleno z mladiny chmelové mláto. Poté byla mladina připravena k zakvašení.



Obrázek 5-8 Chlazení mladiny ve varné nádobě ledem a proudem studené vody

Kvašení a ležení

Ležák plzeňského typu je spodně kvašený. Vybrány proto byly kvasinky určené pro spodní kvašení. Ty byly získány v tekuté formě rovněž z pivovaru Starobrno a.s. Zakvašení bylo provedeno promísením kvasinek do celého objemu ochlazené mladiny. Před samotným smísením s mladinou bylo nutné kvasinky proprat slabým proudem studené vody z vodovodního řadu. Jakmile byly kvasnice přidány do mladiny, celý obsah nádoby bylo nutné řádně provzdušnit. Okysličení podpořilo kvasný proces. Zakvašená mladina byla poté přesunuta do lednice s vnitřní teplotou 12 °C, která zastupovala funkci spilky (Obrázek 5-9).



Obrázek 5-9 Kvasná nádoba umístěná v lednici

Poté probíhalo hlavní kvašení, po 12 až 24 hodinách bylo možné na povrchu mladiny vidět první pěnový bílý povlak (Obrázek 5-10). Toto stádium nazýváme zaprašování a odrážení. Bílé kroužky na hladině se objevily po 24 až 36 hodinách. Dále byla udržována teplota 8-12 °C, nesmělo dojít k prudké změně teploty. Následovalo stádium vysokých hnědých kroužků, které se spojily. V tuto chvíli byl kvasný proces nejvíce intenzivní. Poté byl rychlostí max. 1 °C za den obsah kvasné nádoby zchlazován na teplotu 6 °C. Na hladině dále vznikala kvasná deka, která se postupně začínala propadat. Deku obsahující mrtvé kvasinky a kaly bylo nutné sebrat s pomocí děrované naběračky nejdříve den před stáčením a následně těsně před stáčením. Plnění PET lahví (Obrázek 5-11) bylo provedeno dle průběhu hlavního kvašení 6 až 10 dní po zakvašení. PET

lahve v lednici ležely první týden při teplotě 6 °C, další týdny při teplotě 2 °C. Celková doporučená doba ležení činila 8 až 10 týdnů, poté bylo hotové pivo připraveno ke konzumaci (Obrázek 5-12).



Obrázek 5-10 Pěnový povlak



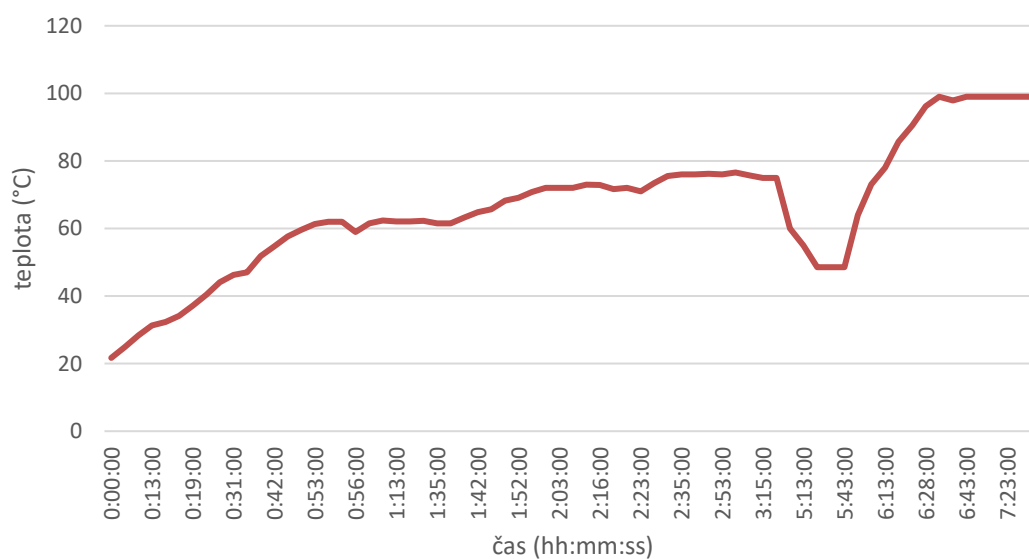
Obrázek 5-11 Stáčení do PET lahví

Postupná stádia kvašení piva na ÚPI VUT v Brně jsou vyobrazena v obrazové příloze P3, která je součástí této práce.



Obrázek 5-12 Hotové pivo (bez nasycení CO2)

Na následujícím obrázku je zobrazen skutečný teplotní průběh získaný měřením při vaření piva.



Obrázek 5-13 Skutečný teplotní průběh infuzního způsobu vaření piva

5.3 Vaření piva dekokčním způsobem

Dekokční způsob vaření piva je časově a energeticky náročnější, než způsob infuzní. Ohřev díla se provádí na teplotu varu. Tento proces se nazývá rmutování. Nejčastěji využívaný postup je vaření na dva rmuty, tedy sladina během vystírání dosahuje této teploty dvakrát. Celkový objem díla rozdělujeme a rmutování se provádí vždy pouze s jednou její částí. Výťažnost požadovaných látek ze sladu je při tomto postupu vyšší než v případě využití infuzního způsobu. Pro výpočet potřebných hodnot bylo využito vzorců uvedených dříve. Dále jsou uvedeny pouze výsledné hodnoty získané z těchto vzorců (viz Tabulka 5-5).

Tabulka 5-5 Výsledné hodnoty z výpočtů pro dekokční způsob vaření piva

Veličina	Vypočtená hodnota	Zvolená hodnota
množství sypání m_s	5,54-6,55 kg	6 kg
množství hlavního nálevu V_{hl}	21-30 l	22 l
množství chmele m_{ch}	50 g	50 g
množství kvasnic V_{kv}	0,15 l	0,4 l (viz komentář)
objem prvního rmutu V_{r1}	6 l	6 l
objem druhého rmutu V_{r2}	9 l	9 l

Komentář: Pro zakvašení jedné várky by nám tedy v ideálním případě mělo postačit 0,15 litru hustých pivovarských kvasnic. Z důvodu neznámého typu a kvality (vlivem převozu a skladování) kvasnic získaných z pivovaru Starobrno a.s. byla zvolena dávka 0,4 litru částečně hustých kvasnic.

Stručný průběh varného procesu dekokčním způsobem zobrazuje Tabulka 5-6. Průběh teplot ve varné nádobě popisuje Obrázek 5-15 uvedený v závěru kapitoly.

Tabulka 5-6 Zjednodušený přehled dekokčního varného procesu

Operace	Teplota °C	Objem l	Prodleva min	Poznámka
VYSTÍRKA	38	22	20	ohřev spotřebičem přidání sladu, míchání
ZAPÁŘKA	52	22	25	ohřev spotřebičem, míchání
I. RMUT	62	6	20	ohřev spotřebičem, míchání
	72		20	míchání po 10 min. jodová zkouška
	var		20, max. 30	ohřev na var
SMÍCHÁNÍ	62	22		
II. RMUT	72	9	25	ohřev spotřebičem, míchání po 10 min. jodová zkouška
	var		20, max. 30	ohřev spotřebičem, míchání
SMÍCHÁNÍ	76	22		
ODRMUTOVÁNÍ	76	22	30	míchání
SCEZOVÁNÍ	počátek - 76	16	180	předek + vyslazovací voda, odpočinek
	vyslazování - 80	30		pomalé scezování
CHMELOVAR	100	27	100	ohřev spotřebičem 3x chmelení - 10 minut po začátku chmelovaru - 45 minut před koncem chmelovaru - 15 minut před koncem chmelovaru

Je uváděn vždy konečný objem v daném procesu

5.3.1 Průběh vaření piva

Postup pro výrobu piva dekokčním způsobem je v podstatě vyjma rmutování stejný, jako dříve popsany způsob infuzní. Proto je dále popsán pouze průběh dekokčního rmutování.

Rmutování

Po vystírce a zapářece byl změřen objem díla a dle dříve uvedeného vzorce vypočten objem prvního rmutu. Tento objem byl následně ponechán ve varně a zbytek sladiny umístěn do druhé nádoby, ve které byla udržována teplota 52 °C. Objem prvního rmutu byl pomalu (max. 1 °C za minutu) a za stálého míchání zahříván na první zcukřovací teplotu 62 °C. Na této teplotě následovala prodleva o délce 20 minut. Dále byl rmut zahříván na teplotu 72 °C (max. rychlostí 0,7 °C za minutu). Na této teplotě následovala prodleva o délce 20 minut. Poté byl rmut zahřát na teplotu varu (max. rychlostí 1 °C za minutu) a var byl udržován po dobu 15 minut. Zcukření bylo kontrolováno jodovou zkouškou a délka varu byla v závislosti na této zkoušce prodloužena na 30 minut. Objem rmutu byl následně přemístěn k zbylému objemu díla, kde po smíchání bylo dosaženo teploty 62 °C. Při přesunu rmutu do varny bylo nutné aktivně míchat, jelikož hrozilo místní přehřátí a zničení enzymů.

Pro druhý rmut bylo odebráno z varny opět vypočtené množství díla a zbylý objem byl udržován na teplotě 62 °C. Rmut byl pomalu zahříván na teplotu 72 °C, kde následovala prodleva o délce 25 minut. Jodová zkouška poté určila, zda je nutné prodlevu (max. o 5 minut) prodloužit. Následně byl objem rmutu zahříván na teplotu varu a var byl udržován, na základě výsledků jodové zkoušky, po dobu 30 minut. Dále byl rmut přesunut zpět do varné nádoby, čímž se získala výsledná směs s teplotou 76 °C. Při této teplotě došlo k odrmutování o délce 30 min. Bylo důležité opět aktivně míchat, jelikož mohlo dojít k lokálnímu přehřátí obsahu varny a zničení enzymů. Tímto bylo rmutování ukončeno a následovalo dále dle receptu scezování a vyslazování.



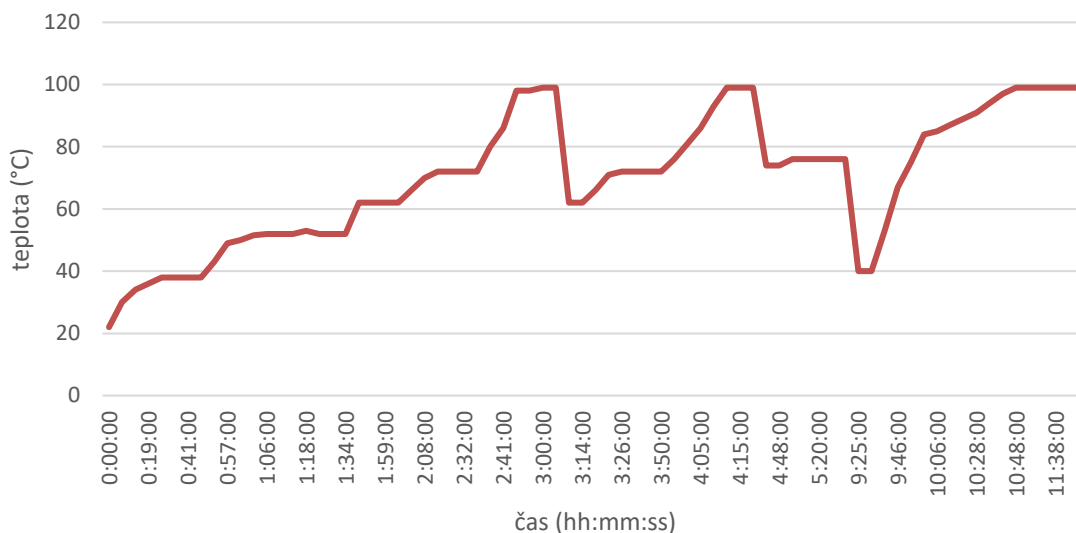
Obrázek 5-14 Přesun části obsahu první varné nádoby do druhé varné nádoby

Pro úplnost je v Tabulka 5-7 uvedeno dávkování chmele při chmelovaru.

Tabulka 5-7 Dávkování chmele při chmelovaru

Číslo dávky	Hm. % z vypočtené dávky chmele	Čas chmelení	Odrůda
1. dávka	50 % celkové dávky	10 minut po začátku varu	Premiant
2. dávka	35 % celkové dávky	50 minut před koncem varu	SAAZ
3. dávka	15 % celkové dávky	15 minut před koncem varu	SAAZ

Na následujícím obrázku (Obrázek 5-15) je zobrazen skutečný teplotní průběh získaný měřením při vaření piva.



Obrázek 5-15 Skutečný teplotní průběh dekokčního způsobu vaření piva

5.4 Vyhodnocení vaření

Vaření piva na ÚPI VUT v Brně probíhalo vždy od ranních hodin do odpoledne až večera v závislosti na způsobu procesu výroby. Během prvních vaření piva došlo k několika nečekaným komplikacím, které narušily varný proces. Tyto komplikace však neměly vliv na výsledná naměřená data ani na chuť piva. Měly pouze negativní vliv na délku varného procesu.

Při prvním dekokčním vaření piva v říjnu roku 2022 nebyl dosud ve výbavě laboratoře ruční šrotovník typu Victoria, který se používá k šrotování sladu. Náhradou za toto zařízení byl elektrický domácí mlýnek se sekacími noži. Toto řešení však vedlo k příliš jemnému nasekání sladu, což vedlo k ucpaní filtračního a scezovacího zařízení při procesu scezování a vyslazování. Výsledná sladina však měla i přes komplikace očekávané parametry, výsledné pivo tedy nebylo ovlivněno.

Během prvního vaření byl k dispozici pro kontrolu teplot vpichový teploměr zakoupený v obchodním řetězci IKEA. Tento teploměr však bohužel nevydržel časté používání (měření se neprovádělo kontinuálně, ale v časových úsecích) během varného procesu. Zařízení bylo nahrazeno odolnějším digitálním teploměrem značky Greisinger. Tento teploměr již fungoval spolehlivě i během dalších měření a bude používán nadále.

Během posledního dekokčního vaření bylo do varné nádoby umístěno příliš velké množství mladiny a při chmelovaru bylo dosaženo odparu pouze 3 %, jelikož nový vařič neměl dostatečný výkon pro udržení teploty varu. Pro správný průběh chmelovaru je tedy nutné u příštích vaření snížit množství mladiny či omezit tepelné ztráty.

Tekuté kvasnice získané z pivovaru Starobrno a.s. pro první dekokční vaření v říjnu roku 2022 nebyly dostatečně připraveny pro zakvašení a bylo nutné zakvašení opakovat následující den. Tímto bylo kvašení prodlouženo, avšak průběh kvasného procesu nebyl narušen a výsledné pivo neutrpělo žádné vady související s nesprávným kvasným procesem. Pro další vaření v lednu a březnu roku 2023 byly získány taktéž nedostatečně husté kvasnice. Kvasnice proto byly po dobu dvou až tří dnů uloženy v lednici, kde se namnožily a zhoustly. Poté byly „proprány“ a mladina, která byla mezitím rovněž uložena v lednici, byla zakvašena později. Na výsledný produkt však nebyl zjištěn žádný vliv. Pro poslední vaření piva byly kvasnice z pivovaru získány dva dny předem, aby se stihly namnožit a mohly se použít ihned po uvaření várky.

Problémy se vyskytly i u měření hustoty a cukrnatosti. U zakoupeného hustoměru nebylo jisté, v jakých jednotkách měří. Dle stupnice, která má hodnoty od 990 do 1100, ale žádnou uvedenou jednotku, se zdálo, že měří hustotu v kg/m^3 . Dle návodu však měří specifickou hustotu SG, tedy hodnoty na stupnici by se měly pohybovat od 0,99 do 1,1. Podle vyjádření dodavatele měří specifickou hustotu SG. U refraktometru, kde je měření velmi snadné, jsme si neuvědomili, že je možné na stupnici odečíst hodnotu SG pouze u nezakvašených piv, tzn. mladiny. U zakvašených a prokvašených piv se musí nejprve naměřená hodnota ve stupních Brixů nejprve přepočítat a až poté z ní určit hodnotu SG.

6 TVORBA AUTOMATIZOVANÉHO VÝPOČTU A VARNÍHO LISTU

Pro vaření piva je důležité nejen vhodné vybavení, ale také výpočty pro tvorbu receptů a vyhodnocení vaření, záznam o vaření a ekonomické vyhodnocení. Tyto dovednosti a informace jsou důležité pro vylepšení varního procesu a uchování záznamů o várce pro pozdější využití.

6.1 Pivovarský výpočet

Při vaření piva na ÚPI VUT v Brně byly získány neocenitelné zkušenosti a zjištěna data, která jsou důležitá při tvorbě receptu a následném vaření. Na základě rovnic uvedených v kapitole 3.4 byl sestaven pivovarský výpočet v prostředí MS Excel (viz Obrázek 6-2). Výpočet probíhá postupným dosazením požadovaných hodnot do bíle podbarvených polí v tabulce. Uvedený ukázkový postup je sestaven pro pivo plzeňského typu vařené dekokčně. V nevyplněné formě je výpočet obsažen v příloze P4, která je součástí této práce.

Po dosazení výsledného požadovaného množství mladiny, žádané stupňovitosti piva, druhů sladu a jejich extrahovatelnosti a výtěžnosti je výpočtem navrženo odpovídající množství sladu. Poté se postupuje k výpočtu dalších hodnot. Uživatel má možnost výstup průběžně kontrolovat a případně upravovat. Výpočtem doporučená množství, teploty a postupy jsou založeny na koeficientech typických pro výrobu piva v domácích podmínkách.

Další položkou, kterou vytvořený pivovarský výpočet umožňuje, je určení barvy výsledného piva. To se provádí výpočtem hodnoty SRM, případně hodnoty EBC. V závislosti na jejich hodnotě je pak určena barva (Obrázek 6-1). Pro jejich výpočet je možné nalézt několik výpočtových vztahů. Je nutno poznamenat, že získané hodnoty z těchto vztahů se výrazně liší. Ze získaných výsledků tak můžeme alespoň zjistit, jestli naše pivo bude světlé nebo spíše tmavé.



Obrázek 6-1 Barva piva [43]

Následuje výpočet objemu vody na vystírku, objem samotné vystírky, objem rmutů (v případě použití dekokčního způsobu vaření piva), určení získaného předku a potřebné vody na vyslazování. Dalším důležitým krokem je určení množství chmele. I když je toto individuální záležitost, tak nám výpočet může „říci“ alespoň přibližnou hořkost pro zadané množství chmele a čas chmelení. Dalším krokem je určení ztrát odparem při chmelovaru a potřebné množství pivovarských kvasnic. Pivovarský výpočet nám také určí předpokládaný konečný objem piva a obsah alkoholu.

Je potřeba dávat pozor na to, že dekokční a infuzní způsob, stejně jako různé pivní styly, vyžadují vždy jiné výpočty (rozdíl je například v rmutování, délce jednotlivých procesů, koeficientech apod.) a je proto potřeba využívat pouze ty části, které jsou pro dané pivo nutné.

PIVNÍ VÝPOČTY

Datum vaření	03.2023	
Požadované množství horké mladiny	30	litrů
Požadovaná stupňovitost piva	12	°P
Výpočet množství sladu		
Rozdíl varna/laboratoř r (kolem 15 %)	15	%
Efektivita varny EFv	75	%
Slad	poměr sladu ws (hm. zl.)	barva EBC
	E	Yc
	%	%
Slad č. 1	1	4
Slad č. 2		
Slad č. 3		
Slad č. 4		
Slad č. 5		
	1	
Specifická hustota mladiny pro přepočet litrů na kg	1,048	-
EPMt	3,8	kg
Množství sladu (z výtěžnosti sladu)	6,3	kg
Množství sladu (z efektivy varny)	6,4	kg
Množství sladu (z rozdílu varna/laboratoř)	5,9	kg
Množství sladu zvolené	6,0	kg
Barva piva		
EBC sladu	4,00	EBC
Malt Color Units	0,6	MCU
	SRM	EBC
Linear easy	0,6	1,2
Randy Mosher	4,9	9,6
Ray Daniels	8,5	16,8
Daniel Morey	1,0	2,0
Množství vody na vystírku		
Množství vody na 1 kg sladu	3,7	l/kg
Množství vody na vystírku vypočítané	22,2	litrů
Množství vody na vystírku zvolené	22	litrů
Objem vystírky		
Objem sladového šrotu l/kg	0,7	l/kg
Objem vystírky	26,2	litrů
Rmutování		
Velikost 1. rmutu		
Teplota požadovaná po smíchání	62	°C
Teplota v pomocné nádobě před smícháním	52	°C
Teplota ve varně před smícháním	98	°C
Objem rmutu	5,7	litrů
Velikost 2. rmutu		
Teplota požadovaná po smíchání	72	°C
Teplota v pomocné nádobě před smícháním	62	°C
Teplota ve varně před smícháním	98	°C
Objem rmutu	7,3	litrů
Velikost 3. rmutu		
Teplota požadovaná po smíchání		°C
Teplota v pomocné nádobě před smícháním		°C
Teplota ve varně před smícháním		°C
Objem rmutu	N/A	litrů

Množství vyslazovací vody					
Předpokládané ztráty při chmelovaru			10	%	
Požadované množství sladiny			33,3	litrů	
Koeficient násobku vodv na vstírku pro určení vyslazovací vody			1	-	
Zadrž vody hl. nálevu v koláči na 1 kg sladu			1,50	litrů/kg sladu	
Objem předku			13,0	litrů	
Objem vyslazovací vody (výpočet pomocí koeficientu ...)			22,0	litrů	
Objem vyslazovací vody (z rozdílu pož. sladiny a předku)			20,3	litrů	
Objem vyslazovací vody (odhadová rovnice)			22,6	litrů	
Objem vyslazovací vody zvolený			22,0	litrů	
Chmelovar					
Celková doba chmelovaru			90	min	
Chmel	množství g	Doba varu min	% alfa hořké kyseliny	Výtěžnost -	Hořkost IBU
PREMIANT	30	80	13,05	0,272	33,6
SLÁDEK	15	45	8,4	0,237	9,4
SLÁDEK	15	15	8,4	0,128	5,1
Celkem hořkost					48
Objem mladiny po chmelovaru			30,0	litrů	
Ztráty po filtraci v chmelu a vysrážených bílkovinách			0,60	litrů	
Množství kvasnic					
Tekuté			0,005	l kvasnic/l mladiny	
Sušené			1,1	g kvasnic/l mladiny	
Množství vody na sušené kvasnice			10	násobek váhy	
Množství tekutých kvasnic doporučené			0,15	litrů	
Množství sušených kvasnic doporučené			33	gramů	
Množství tekutých kvasnic zvolené			0,30	litrů	Zvolte pouze jednu
Množství sušených kvasnic zvolené				gramů	Zvolte pouze jednu
Objem kvasnic			0,30	litrů	
Objem piva					
Objem piva pro kvašení			29,70	litrů	
Ztráty pěnou (vztaženo na 1 l mladiny ke kvašení)			1,485	litrů	koef. ztrát 0,05
Kal (vztaženo k objemu kvasnic)			0,36	litrů	koef. ztrát 1,2
Ostatní ztráty (vztaženo na 1 l mladiny mladiny ke kvašení)			0,45	litrů	koef. 0,015
Konečné množství piva			27,4	litrů	
Obsah alkoholu					
		Před zakvašením	Po zakvašení		
Cukernatost ("Po zakvašení" odhadněte)		12,0	7	% Brix.	
Specific gravity		1,047	1,016	-	
		ABV, % obj.	ABW, % hm.		
Šavel, Koši, Brož, Sigler		4,39	3,42		
Běžná rovnice		4,12	3,21		

Obrázek 6-2 Příklad automatizovaného pivovarského výpočtu pro výrobu piva plzeňského typu dekokčním způsobem

6.2 Vyhodnocení varného procesu

Při vaření piva, kvašení a ležení je vhodné zaznamenávat co nejvíce dat. Po samotném vaření je z nově nasbíraných dat zpětně vypočtena hodnota uvažovaných koeficientů. Tyto nové hodnoty je možné použít ke korekci a případnému zdokonalení pivovarského výpočtu.

Dosažením naměřených hodnot do bílé podbarvených polí jsou s pomocí vztahů uvedených v kapitole 3.4 přepočítány všechny koeficienty uvažované v prvotním automatizovaném výpočtu. Příklad získaných výsledků ilustruje Obrázek 6-3. Vysvětlení, porovnání a úprava těchto koeficientů pro infuzní i dekokční způsob výroby piva je dále rozvedena v kapitole 8.1. V nevyplněné formě je tabulka pro vyhodnocení obsažena v příloze P4, která je součástí této práce.

VYHODNOCENÍ VAŘENÍ PIVA A OPRAVA KOEFICIENTŮ

Datum vaření	03.23	
Objem sladového šrotu		
Množství sladu	6 kg	
Objem hlavního nálevu	22 litrů	
Objem díla	24,5 litrů	
Objem sladového šrotu l/kg sladu	0,42 -	
Množství sladu		
Objem mladiny	32 litrů	
EPM naměřený	14,56 %	
Hustota mladiny	1,053888 kg/l	
Výtěžnost sladu	78,6 %	
EPM	4,7 kg	
Efektivita varny EFv	99,4 %	
Rozdíl varna/laboratoř r (kolem 15 %)	1,4 %	
Určení objemu vyslazovací vody		
Objem předku	12,86 litrů	
Použitý objem vyslazovací vody	22 litrů	
Celkový objem sladiny	33 litrů	
Koeficient násobku objemu hlavní várky	1,0 -	
Objem hl. nálevu v koláči na 1 kg sladu	1,52 litrů/kg sladu	
Ztráty odparem		
Objem sladiny	33 litrů	
Objem mladiny	32 litrů	
Ztráta odparem	3,0 %	
Ztráty pěnou		
Objem kvasinek	0,55 litrů	
Objem piva na kvašení	32,55 litrů	
Objem piva po kvašení	29 litrů	
Ztráty pěnou	3,55 litrů	
Koeficient na ztráty pěnou	0,109 l/l mladiny ke kvašení	
Ztráty v kalu		
Objem piva pro stáčení	28 litrů	
Kal	1 litrů	
Koeficient na objem kvasinek	1,8 l/l kvasinek	
Obsah alkoholu		
Specifická hustota mladiny před zakvašením	1,0550 -	
Specifická hustota vykvašeného piva	1,0085 -	Novotného korekce
Cukernatost mladiny před zakvašením	14 % Brix.	
Cukernatost vykvašeného piva	6,6 % Brix.	
Objemový obsah alkoholu	6,1 % obj.	
Hmotnostní obsah alkoholu	4,8 % hm.	
Hmotnostní obsah alkoholu	5,0 % hm.	
Objemový obsah alkoholu	6,4 % obj.	

Obrázek 6-3 Vyhodnocení dekokčního varného procesu za účelem zpětné úpravy uvažovaných koeficientů

6.3 Ekonomické vyhodnocení

Ekonomické vyhodnocení dává informaci, kolik nás výsledné pivo stálo a jestli není výhodnější si jej koupit. Výsledná cena samozřejmě závisí na tom, co všechno do nákladů zahrneme. My jsme uvažovali ceny vstupních surovin, vody, chlazení, energií na ohřev a bombičky s CO₂ na sycení piva. V nákladech nijak nezohledňujeme cenu za práci a energii, kterou potřebuje lednice využívaná k vykvašování a ležení piva. Do ceny piva není také započítána cena vybavení. Ke snadnějšímu ekonomickému vyhodnocení byla vytvořena v programu MS Excel tabulka, kde jsou náklady rozděleny do různých sekcí. Uživatel pak musí pouze vložit aktuální ceny a použité množství surovin a energií. Tabulka pak mimo ceny zvýrazňuje i položky, které tvoří největší část nákladů. Součástí výstupu je i koláčový graf s rozložením nákladů. Podrobnější informace o ekonomickém vyhodnocení proběhlého vaření jsou v kapitole 7.1.3.

6.4 Varní list infuzního způsobu výroby piva

Varní listy slouží jako záznam proběhlého procesu výroby piva. Obsahují data o časovém průběhu, teplotách, objemech a dalších důležitých sledovaných veličinách. S pomocí varného listu je možné provést vyhodnocení, optimalizovat proces a případně i jednoduše opakovat vaření piva. V programu MS Excel byl takovýto varný list, vhodný pro podmínky vaření piva na ÚPI, vytvořen. Na Obrázek 6-4 je ukázka varného listu pro infuzní způsob výroby. V příloze P5, která je součástí této práce, je pak soubor programu MS Excel, kde lze nalézt varný list pro proběhlé vaření infuzním i dekokčním způsobem v laboratoři ÚPI VUT. Příloha P4 obsahuje varný list v nevyplněné podobě.

VARNÍ LIST - Dekokční způsob výroby piva na ÚPI VUT v Brně											
Požadované stupňovitost	12 °		Dosažené množství piva	22,5 litrů		Místo vaření	laboratoř ÚPI				
Konečná stupňovitost	13,5 °		Druh piva	ležák pilsérského typu		Datum	24.10.2022				
Požadované množství piva	27,1 litrů		Číslo várky	20221024		Způsob vaření	dekokční				
Suroviny											
Slad	kg	%	Voda na vylisování	l	Chmel	g	Kvasnice	l			
žeslý pšezrný	6	100		20	SAAZ	25	tekuté (spodní kvašení)	0,5			
slad 2	0	0			Premiant	25					
slad 3	0	0			Sládek	0					
Celkem:	6	100		20		50		0,5			
Operace											
	od	do	trvání	Teplota, °C		Spotřeba elektrické energie procesu, W		Množství, l		Poznámky	
				1. vařč	2. vařč	1. vařč	2. vařč	1. vařč	2. vařč		
Sřování sládu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Provedeno předchozí den	
Počáteční teplota	6:00	6:00	0:00	22	22	0	0	22	0	Teplota na začátku procesu	
Ohřev, vylisování teplota	6:00	6:21	0:21	38	38	776	276	22	0		
Vylisování	6:21	6:41	0:20	38	38			26	0		
Přihřívání	6:41	7:06	0:25	52	52			26	0		
Zapění	7:06	7:31	0:25	52	52			26	0		
1. rmut											
Rozdělení rmutu	7:31	7:31	0:00	52	52			20	6		
Přihřívání	7:31	7:39	0:08	52	62			20	6		
Štěpení bílkovin	7:39	7:59	0:20	52	62			20	6	Působení β amyláz	
Přihřívání	7:59	8:12	0:13	52	72			20	6		
Zouření	8:12	8:32	0:20	52	72			20	6	Působení α amyláz	
Ohřev do varu	8:32	8:50	0:18	52	98			20	6		
Vár	8:50	9:10	0:20	52	98			20	6		
Směsání	9:10	9:14	0:04	62	62			26	0		
Prodeva	9:14	9:14	0:00	62	62			26	0		
2. rmut											
Rozdělení rmutu	9:14	9:14	0:00	62	62			17	9		
Přihřívání	9:14	9:14	0:00	62	62			17	9		
Štěpení bílkovin	9:14	9:14	0:00	62	62			17	9	Působení β amyláz	
Přihřívání	9:14	9:26	0:12	62	72			17	9		
Zouření	9:26	9:50	0:24	62	72			17	9	Působení α amyláz	
Ohřev do varu	9:50	10:15	0:25	62	98			17	9		
Vár	10:15	10:45	0:30	62	98	2200	4000	17	9		
Směsání	10:45	10:48	0:03	74	74			26	0		
Prodeva	10:48	10:48	0:00	74	74			26	0		
Přihřívání	10:48	10:53	0:05					26	0		
Odmutování	10:53	11:21	0:30					26	0		
Ohřev vody pro vylisování											
				80	80	0	2220			V šase odmutování	
Operace											
	od	do	trvání	Teplota, °C		Objem, l	Cukernatost	Hustota, kg/m ³	Poznámky		
Sezování + vylisování											
Přesun do sez. nádoby	11:21	11:30	0:09	76	76	26	-	-			
Sezování	11:30	14:00	2:30	40	40	-	-	-			
Vylisování	14:00	15:25	1:25	40	40	-	-	-			
Přemístění na vařč	-	-	-	40	40	30	14	1050	Sladina pohromadě, pH=6,000		
Operace											
	od	do	trvání	Teplota, °C		Spotřeba elektrické energie procesu, W		Množství, l		Poznámky	
				1. vařč	2. vařč	1. vařč	2. vařč	1. vařč	2. vařč		
Ohřev do varu	15:25	16:48	1:23	98	98	1165	1488	15	15	cukernatost 16 %, p=1055 kg/m ³ , pH=5,81	
Chmelovar	16:48	18:30	1:42	-	98	0	3320	0	27		
Chmelování											
				Teplota, °C		Množství, l					
				1. vařč	2. vařč	1. vařč	2. vařč				
1.				PREMIANT	25 g	př 98 °C					
2.				SAAZ	17,5 g	př 98 °C					
3.				SAAZ	7,5 g	př 98 °C					
Operace											
	od	do	trvání	Teplota, °C		Množství, l		Poznámky			
Chlazení	18:30	19:50	0:30	12	12	27	24	Došlo ke ztrátám 3 litrů během filtrace			
Filtrace	19:50	20:20	0:30	12	12						
Vaření je dokončeno, celková doba vaření: 14 hodin a 20 minut.											
Kvašení											
	Den (datum)	Stav									
Zakvašení	0. (26.10.2022)	zakvašení									
Kvašení	1. (27.10.2022)	stádium nízkých bílých kroučků									
	2. (28.10.2022)	stádium vysokých hnědých kroučků									
	3. (29.10.2022)	stádium vysokých hnědých kroučků									
	4. (30.10.2022)	sběrání pěny z hladiny mladého piva									
	5. (31.10.2022)	vysoká tvorba pěny, pokračující sběr pěny									
	6. (1.11.2022)	řízká tvorba pěny, pokračující sběr pěny									
	7. (2.11.2022)	velmi nízká tvorba pěny, pokračující sběr pěny									
	8. (3.11.2022)	borba pěny již nepokračuje, poslední sběr pěny									
	9. (4.11.2022)	zdrbný přibytí pěny na hladině, stáčení piva									
Ležení											
	Datum stáčení	Teplota ležení, °C	Doba ležení, dny	Ochutnávka piva, datum							
	04.11.2022	4	46	20.12.2022							
Celková spotřeba elektrické energie pro ohřev: 14,6 kWh											

Obrázek 6-4 Varní list pro dekokční způsob výroby piva na ÚPI VUT v Brně

7 ENERGETICKÁ A FINANČNÍ NÁROČNOST PROCESU

7.1 Porovnání infuzního a dekokčního procesu vaření piva

Tato kapitola obsahuje porovnání rozdílných procesů vaření piva v domácích podmínkách z hlediska energetické náročnosti, výnosnosti, složitosti postupů, výsledné kvality piva a posouzení dalších faktorů.

7.1.1 Časová náročnost

Infuzní způsob výroby piva je ve srovnání s dekokčním způsobem časově méně náročný. Při využití infuzního způsobu nedochází k ohřevu rmutů na teplotu varu, tudíž je výrobní doba snížena o prodlevy i čas nutný k ohřevu na tyto teploty. Proces začínající ohřevem vody pro vystírku a končící ukončením chmelovaru trvá na ÚPI VUT v Brně pro dekokční způsob výroby piva 12 hodin a 30 minut. Pro infuzní způsob bylo naměřeno 8 hodin a 13 minut.

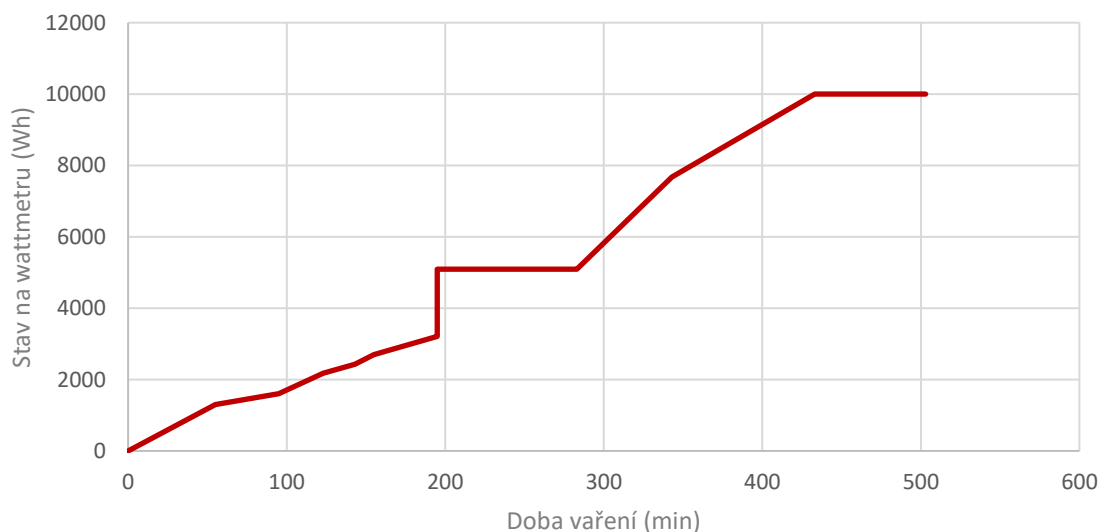
Infuzní způsob výroby byl tedy v případě měření na ÚPI VUT v Brně o 4 hodiny a 17 minut kratší. **Časová úspora je 34,3 % oproti dekokčnímu způsobu vaření piva.** Nevýhodou je vyšší množství potřebných surovin a obvykle horší kvalita výsledného produktu než v případě využití dekokčního způsobu výroby. Použitím dobře rozluštěných sladů (v dnešní době je kvalita sladu mnohem vyšší, než dříve) lze tento rozdíl z velké části odstranit.

Časová úspora při vaření infuzním způsobem je pravděpodobně jeden z důvodů, proč je tento způsob nejoblíbenější u domovarníků.

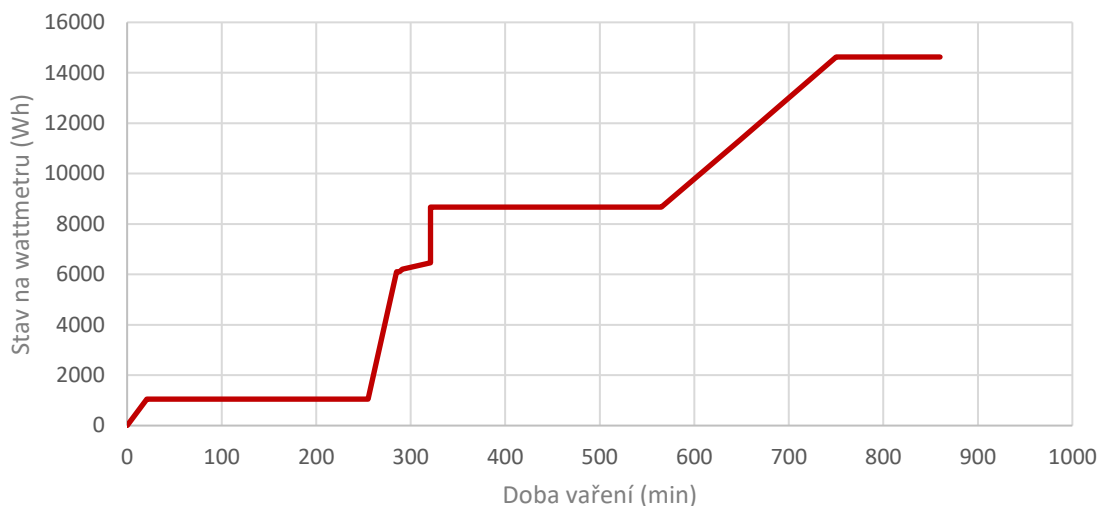
7.1.2 Energetická náročnost

Nejvyšší energetické ztráty při procesu výroby piva na ÚPI VUT v Brně vznikají zahříváním kapalin ve varných hrncích. Ohřev probíhá na elektrických plotýnkových vařičích (jeden vařič v případě infuzního způsobu výroby piva, dva vařiče v případě dekokčního způsobu), které mají nízkou účinnost. Navíc nádoby nejsou nijak izolovány. Druhou nejvyšší energetickou ztrátou je poté chlazení mladiny po ukončení chmelovaru. To je prováděno za pomoci ledu a tekoucí studené vody z vodovodního řadu. Chladí se však vnější stěna nerezového varného hrnce, a přestože je chlazení poměrně rychlé, není efektivní vzhledem k velké spotřebě ledu a vody.

Infuzní způsob výroby piva je energeticky méně náročný, protože nedochází k ohřevu rmutů na teplotu varu. Infuzním a dekokčním způsobem bylo na ÚPI VUT v Brně vařeno jiné množství piva, proto je dále uveden přepočtený spotřeba elektrické energie na litr výsledného produktu. Infuzním způsobem bylo získáno 24,2 litrů piva se spotřebou 10,0 kWh elektrické energie (Obrázek 7-1), dekokčním způsobem poté 27,1 litrů se spotřebou 14,6 kWh elektrické energie (Obrázek 7-2). Pro oba způsoby byly použity stejné varné nádoby, vařiče i měřiče spotřeby elektrické energie.



Obrázek 7-1 Spotřeba elektrické energie infuzního způsobu vaření piva na ÚPI VUT v Brně



Obrázek 7-2 Spotřeba elektrické energie dekokčního způsobu vaření piva na ÚPI VUT v Brně

Spotřeba elektrické energie na ohřev během infuzního způsobu vaření piva vztažená na jeden litr hotového piva:

$$E_I = \frac{10}{24,2} = 0,413 \text{ kWh/l}$$

Spotřeba elektrické energie na ohřev během dekokčního způsobu vaření piva vztažená na jeden litr hotového piva:

$$E_D = \frac{14,6}{27,1} = 0,539 \text{ kWh/l}$$

Dále již můžeme porovnat spotřebu elektrické energie pro ohřev u obou způsobů výroby piva:

$$U_I = \frac{E_D - E_I}{E_D} = 0,234 = 23,4 \%$$

Na základě výpočtů můžeme vidět, že **při vaření piva infuzním způsobem došlo k úspoře 23,4 % elektrické energie oproti způsobu dekokčnímu.**

7.1.3 Ekonomická náročnost

Pro posouzení ekonomické náročnosti infuzního a dekokčního procesu výroby piva byla vytvořena pomocí připravené excelovské tabulky cenová kalkulace (Obrázek 7-3 a Obrázek 7-5) uvažující cenu energií potřebnou k ohřevu i cenu veškerých surovin a spotřebního zboží potřebných k výrobě piva na ÚPI VUT v Brně. V příloze P4, která je součástí této práce, je obsažena tabulka pro výpočet ekonomické náročnosti v nevyplněné podobě. Nejvýznamnější procentuální části ceny (větší, než 10 %) jsou označeny červenou barvou. Kalkulace neuvažuje elektrickou energii nutnou k provozu chladničky, jelikož toto zařízení nebylo vybaveno měřičem spotřeby, ani cenu za vlastní práci. Na Obrázek 7-4 a Obrázek 7-5 je zobrazeno grafické znázornění rozložení nákladů na výrobu piva infuzním a dekokčním způsobem. Z nich je patrné, že největší část nákladů připadá na suroviny a pak na energii nutnou k vlastnímu vaření a na energii nutnou ke zchlazení horké mladiny na zásadovou teplotu.

Na základě provedených kalkulací nyní můžeme porovnat oba způsoby vaření piva. Ceny uvažované v kalkulaci odpovídají běžným cenám surovin v obchodech specializujících se na pivovarnictví. Infuzním způsobem byl získán půllitr piva za 11,1 Kč. Dekokčním způsobem byl získán stejný objem za 13,8 Kč. Jednoduchým výpočtem nyní můžeme určit úsporu vzniklou zvolením infuzního způsobu výroby piva:

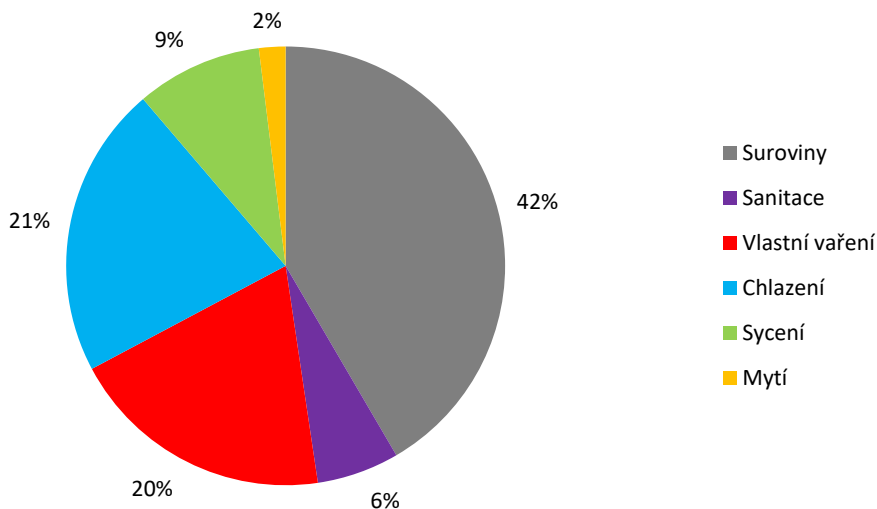
$$U_{II} = \frac{13,8 - 11,1}{13,8} = 0,196 = 19,6 \%$$

V případě použití infuzního způsobu výroby tedy ušetříme v porovnání s dekokčním způsobem výroby 19,6 % finančních prostředků.

Místo vaření	laboratoř ÚPI	Číslo várky	202301
Datum	13.01.2023	Druh piva	světlý ležák
Způsob vaření	infuzně	Množství piva, litrů	24
		Stupňovitost, °	14

Položka	Cena za MJ	Množství	Cena použitého množství, Kč	Procentuální část ceny, %
Suroviny				
Slad český/plzeňský	32 Kč/kg	5,3 kg	169,6	36,8
Slad bavorský	30 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
slad karamelový	40 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
Slad barvicí	50 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
Slad pšenice	27 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
Chmel PREMIANT	431 Kč/kg	0,024 kg	10,3	1,6
Chmel SAAZ	459 Kč/kg	0,024 kg	11,0	2,2
Chmel 3	490 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
Chmel 4	490 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
Chmel 5	490 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
Kvasnice	14 Kč/l	0,4 l	5,6	1,1
Voda (hlavní nálev + voda na	100 Kč/m3	0,04 m3	4,0	0,8
CELKEM			200,6	42,5
Sanitace				
Sanitační prostředek	0,23 Kč/g	50 g	11,5	2,1
Voda	100 Kč/m3	0,05 m3	5,0	1,0
El. energie	10 Kč/kWh	1,5 kWh	15,0	3,1
CELKEM			31,5	6,2
Vlastní vaření				
El. energie	10 Kč/kWh	10 kWh	100,0	20,0
Práce (počet hodin)	0 Kč/h	12 h	0,0	0,0
CELKEM			100,0	20,0
Chlazení				
Led	5 Kč/kg	20 kg	100,0	20,0
Voda	100 Kč/m3	0,1 m3	10,0	2,0
CELKEM			110,0	22,0
Kvašení				
El. energie	10 Kč/kWh	0 kWh	0,0	0,0
CELKEM			0,0	0,0
Ležení				
Cukrové dropsy	450 Kč/kg	0 ks	0,0	0,0
El. energie	10 Kč/kWh	0 kWh	0,0	0,0
CELKEM			0,0	0,0
Sycení				
CO2 bombičky	3 Kč/ks	16 ks	48	9,5
CELKEM			48	9,5
Mytí				
Mytí			0,0	0,0
Voda	100 Kč/m3	0,1 m3	10,0	2,0
CELKOVÉ NÁKLADY NA VÁRKY			500,1	Kč
Množství piva				
Cena za 0,5 l piva			11,1	Kč

Obrázek 7-3 Cenová kalkulace pro infuzní způsob výroby piva na ÚPI VUT v Brně

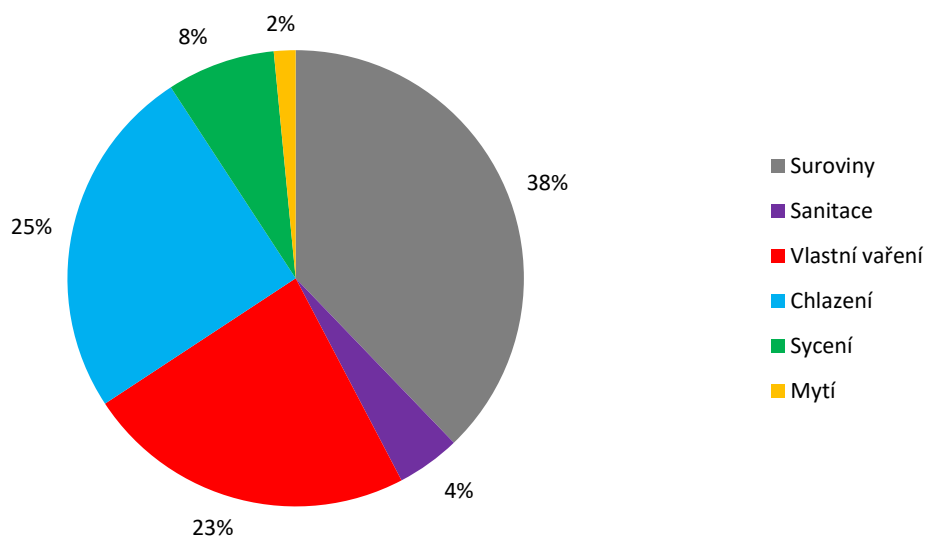


Obrázek 7-4 Rozložení nákladů pro výrobu piva infuzním způsobem

Místo vaření	laboratoř ÚPI	Číslo várky	20221024
Datum	24.10.2022	Druh piva	světlý ležák
Způsob vaření	dekokční	Množství piva, litrů	27
		Stupňovitost, °	13,5

Položka	Cena za MJ	Množství	Cena použitého množství, Kč	Procentuální část ceny, %
Suroviny				
Slad český/plzeňský	32 Kč/kg	6 kg	192,0	35,0
Slad bavorský	30 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
slad karamelový	40 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
Slad barvicí	50 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
Slad pšenice	27 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
Chmel PREMIANT	431 Kč/kg	0,025 kg	10,8	1,3
Chmel SAAZ	459 Kč/kg	0,025 kg	11,5	1,1
Chmel 3	490 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
Chmel 4	490 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
Chmel 5	490 Kč/kg	0 kg	0,0	0,0
Kvasnice	14 Kč/l	0,5 l	7,0	1,4
Voda (hlavní nálev + voda na vyslazování)	100 Kč/m3	0,045 m3	4,5	0,7
CELKEM			225,8	39,4
Sanitace				
Sanitační prostředek	0,23 Kč/g	50 g	11,5	1,8
Voda	100 Kč/m3	0,05 m3	5,0	0,8
El. energie	10 Kč/kWh	1,5 kWh	15,0	2,4
CELKEM			31,5	4,7
Vlastní vaření				
El. energie	10 Kč/kWh	14,6 kWh	146,0	24,4
Práce (počet hodin)	0 Kč/h	16 h	0,0	0,0
CELKEM			146,0	24,4
Chlazení				
Led	5 Kč/kg	30 kg	150,0	24,5
Voda	100 Kč/m3	0,1 m3	10,0	1,6
CELKEM			160,0	26,1
Kvašení				
El. energie	10 Kč/kWh	0 kWh	0,0	0,0
CELKEM			0,0	0,0
Ležení				
Cukrové dropsy	450 Kč/kg	0 ks	0,0	0,0
El. energie	10 Kč/kWh	0 kWh	0,0	0,0
CELKEM			0,0	0,0
Sycení				
CO2 bombičky	3 Kč/ks	16 ks	48	8
CELKEM			48	8
Mytí				
Voda	100 Kč/m3	0,1 m3	10,0	1,6
CELKOVÉ NÁKLADY NA VÁRKU			621,3	Kč
Množství piva				
Cena za 0,5 l piva			13,8	Kč

Obrázek 7-5 Cenová kalkulace pro dekokční způsob výroby piva na ÚPI VUT v Brně



Obrázek 7-6 Rozložení nákladů pro výrobu piva dekokčním způsobem

7.2 Vliv nákupu surovin

Jak ukazuje cenová kalkulace, největší vliv na cenu uvařeného piva mají vstupní suroviny. Pokud bychom nakupovali ve větším množství, tak by výsledná cena klesla. Následující Tabulka 7-1 zobrazuje procentuální úsporu při odběru většího množství surovin. Je však nutné výrobky spotřebovat v čase určeném jejich trvanlivostí. V opačném případě může dojít ke snížení kvality výsledného piva. Z důvodu pouze občasného vaření piva na ÚPI VUT v Brně je nákup většího množství surovin nevhodný. Této výhody mohou využít spíše minipivovary a podobní větší odběratelé. Případně může suroviny nakupit více domovarníků dohromady.

Tabulka 7-1 Porovnání ceny surovin dle odebíraného množství

Slad	1 kg	25 kg (1 kg)	50 kg (1 kg)	úspora
Slad plzeňský	32 Kč	725 Kč (29 Kč)	1 300 Kč (26 Kč)	až 18,75 % úspora
https://eshop.sladovna-kounice.cz/Plzensky-slad-Pilsner-Floor-Malt-d1.htm				
Chmel (granulovaný)	100 g	1 kg (100 g)		úspora
SAAZ	48,30 Kč	458,9 Kč (45,89 Kč)		5 % úspora
https://www.svoboda-frankova.cz/produkt/4945-saaz-brilliant				
Premiant	43,13 Kč	409,7 Kč (40,97 Kč)		5 % úspora
https://www.svoboda-frankova.cz/produkt/5114-premiant				
Kvasinky (sušené)	12 g	500 g (12 g)		úspora
S-189 pro spodní kvašení	115,14 Kč	2431,4 Kč (58,4 Kč)		49,3 % úspora
https://www.svoboda-frankova.cz/produkt/4974-s-189				

Z cenových kalkulací provedených v kapitole 7.1.3 známe celkové náklady na várku. Během laboratorních vaření však byly použity místo zde uvažovaných sušených kvasnic kvasinky tekuté. Sušená forma je však pro domovarnictví mnohem vhodnější díky významně delší trvanlivosti. Následující tabulky zobrazují porovnání ceny surovin nakupovaných v malém a velkém množství pro infuzně a dekokčně vařené pivo na ÚPI VUT v Brně **za předpokladu použití sušených kvasnic**. Vložení obou cen do kalkulací zjistíme:

Tabulka 7-2 Cenové srovnání pro infuzní způsob vaření piva

Surovina	Potřebné množství	Cena v malém balení	Cena ve velkém balení
Slad	5,3 kg	169,6 Kč	137,8 Kč
Chmel SAAZ	24 g	11,6 Kč	11,0 Kč
Chmel Premiant	24 g	10,3 Kč	9,8 Kč
Kvasinky (sušené S-189)	20 g	191,9 Kč	97,3 Kč

Suroviny v malých baleních by stály 383,4 Kč, ve velkých baleních 255,9 Kč. **Využitím velkých balení by tedy vznikla úspora 127,5 Kč (ušetřeno by bylo 33,3 % finančních prostředků)**. Vzhledem k množství výsledného piva uvařeného na ÚPI VUT v Brně **by byla snížena cena každého půllitru o 2,8 Kč**.

Tabulka 7-3 Cenové srovnání pro dekokční způsob vaření piva

Surovina	Potřebné množství	Cena v malém balení	Cena ve velkém balení
Slad	6 kg	192 Kč	156 Kč
Chmel SAAZ	25 g	12,1 Kč	11,5 Kč
Chmel Premiant	25 g	10,8 Kč	10,3 Kč
Kvasinky (sušené S-189)	20 g	191,9 Kč	97,3 Kč

Suroviny v malých baleních by stály 406,8 Kč, ve velkých baleních 275,1 Kč. **Využitím velkých balení by tedy vznikla úspora 131,7 Kč (ušetřeno by bylo 32,4 % finančních prostředků)**. Vzhledem k množství výsledného piva uvařeného na ÚPI VUT v Brně **by byla snížena cena každého půllitru o 2,9 Kč**.

8 ÚPRAVY PROCESU VÝROBY PIVA NA ÚPI VUT V BRNĚ

Během procesů výroby piva na ÚPI VUT v Brně byly zaznamenány různé komplikace a odchylky. Je snahou tyto nepřesnosti a chyby pro příště eliminovat a zdokonalit tak stávající výrobu piva na tomto ústavu.

8.1 Změny ve výpočtu

8.1.1 Úprava výpočetních koeficientů

Na základě provedených měření je možné lépe dopočítat dříve volené koeficienty a tím zdokonalit výpočet procesu výroby pro příští termíny vaření piva na ÚPI VUT v Brně. Největší odchylka od předpokládaných hodnot vznikla během vyslazování a rmutování. V laboratoři se podařilo v případě infuzního i dekokčního způsobu výroby dosáhnout velmi vysoké výtěžnosti látek ze sladu, čímž došlo ke zvýšení výsledné stupňovitosti piva z požadovaných 12 % EPM na 14 % v případě infuzního způsobu výroby a 13,5 % v případě dekokčního způsobu výroby. V příštích výpočtech tedy můžeme uvažovat vyšší výtěžnost sladu a snížením jeho množství bude s vyšší přesností dosaženo požadované stupňovitosti piva. Objem sladového šrotu je důležitý pro určení celkového objemu směsi ve varné nádobě po smísení šrotu a vody. Zadržení vody v koláči také závisí na druhu a našrotování sladu. Udává množství sladiny, které po ukončení vyslazování zůstane zadrženo v mlátu ve scezovací nádobě. Objemová ztráta při chmelovaru je způsobena varem a s tím spojeným výparem kapaliny. V případě infuzního způsobu došlo k velmi nízkému odparu, jelikož výkon vařičů nestačil pro dostatečný ohřev připraveného množství sladiny. Ztráta pěnou a ztráta v kalu udávají rozdíl v objemu mladého a výsledného piva. Jedná se tedy o ztráty během kvašení a ležení piva.

Tabulka 8-1 obsahuje seznam koeficientů, jejichž hodnoty byly upraveny díky výsledkům měření na ÚPI VUT v Brně. Objem sladového šrotu je důležitý pro určení celkového objemu směsi ve varné nádobě po smísení šrotu a vody. Zadržení vody v koláči také závisí na druhu a našrotování sladu. Udává množství sladiny, které po ukončení vyslazování zůstane zadrženo v mlátu ve scezovací nádobě. Objemová ztráta při chmelovaru je způsobena varem a s tím spojeným výparem kapaliny. V případě infuzního způsobu došlo k velmi nízkému odparu, jelikož výkon vařičů nestačil pro dostatečný ohřev připraveného množství sladiny. Ztráta pěnou a ztráta v kalu udávají rozdíl v objemu mladého a výsledného piva. Jedná se tedy o ztráty během kvašení a ležení piva.

Tabulka 8-1 Koeficienty a ztráty určené na základě provedených měření

Koeficient	Uvažovaná hodnota	Měření – infuzní způsob	Měření – dekokční způsob
Výtěžnost sladu	60 %	72,3 %	78,2 %
Efektivita varny	75 %	91,6 %	99,2 %
Objem sladového šrotu	0,7 l/kg sladu	0,57 l/kg sladu	0,67 l/kg sladu
Zadržení vody v koláči	1 l/kg sladu	1,5 l/kg sladu	1,7 l/kg sladu
Ztráta při chmelovaru	10 % objemu mladiny	7,4 % objemu mladiny	10 % objemu mladiny
Ztráta pěnou	0,05 l/l mladého piva	0,087 l/l mladého piva	0,025 l/l mladého piva
Ztráta v kalu	0,01 l/l mladého piva	0,028 l/l mladého piva	0,038 l/l mladého piva

8.1.2 Upravený recept

Na základě provedených měření a nasbíraných dat je nyní možné upravit stávající recept pro výrobu piva na Ústavu procesního inženýrství VUT v Brně. Největší odchylky od předpokládaných výsledků byly způsobeny uvažováním příliš nízkých výpočetních koeficientů zmíněných výše. Následující recept pro výrobu piva dekokčním způsobem (viz Obrázek 8-1) obsahuje hodnoty vypočtené s pomocí koeficientů získaných během posledních měření v laboratoři. Upraveno je zejména potřebné množství surovin, jelikož jejich výtěžnost v laboratorních podmínkách byla vyšší než předpokládaná. Dodržením tohoto postupu můžeme očekávat výsledné pivo odpovídající svými parametry požadovaným hodnotám.

Recept: Pivo ÚPI 12°				
Pivní styl:	Pivo plzeňského typu		Způsob vaření:	Dekokční
EPM	Obsah alkoholu	Barva	Hořkost	Výsledné množství
12%	5 % objemu	10 EBC	40 IBU	28 litrů
Potřebné suroviny				
Voda pro vystírání	20 litrů		Chmel Premiant	30 g
Voda pro vyslazení	21 litrů		Chmel SAAZ	25 g
Plzeňský slad	5 kg		Kvasinky (tekuté)	0,4 litru
Varný postup				
Vystírka				
ohřev celého díla	38 °C	výdrž na teplotě 20 minut		
Rmutování (na dva rmuty)				
ohřev celého díla	52 °C	výdrž na teplotě 25 minut		
1. rmut (5 litrů)	62 °C	výdrž na teplotě 20 minut, zbytek udržovat na 52 °C		
	72 °C	výdrž na teplotě 20 minut		
	98 °C	výdrž na teplotě 20 minut (dle jodové zkoušky)		
vrácení do varny	62 °C	(teplota vznikne smísením objemů)		
2. rmut (6,5 litru)	72 °C	výdrž na teplotě 20 minut, zbytek udržovat na 62 °C		
	98 °C	výdrž na teplotě 30 minut (dle jodové zkoušky)		
vrácení do varny	72 °C	(teplota vznikne smísením objemů)		
ohřev celého díla	76 °C	odrmutování, výdrž na teplotě 30 minut		
Chmelovar				
ohřev celého díla	98 °C	doba trvání chmelovaru 90 minut		
první chmelení	98 °C	Premiant, 25g, 10 minut po začátku chmelovaru		
druhé chmelení	98 °C	SAAZ, 15g, 45 minut po začátku chmelovaru		
třetí chmelení	98 °C	SAAZ, 10g, 15 minut před koncem chmelovaru		
Kvasný proces				
zakvašení	12 °C	distribuce kvasinek do vychlazené mladiny		
kvašení	10 °C	v otevřené nádobě, trvání přibližně 7 dní		
ležení	4 °C	v uzavřených nádobách, trvání alespoň 12 týdnů		

Obrázek 8-1 Upravený recept pro výrobu piva na ÚPI VUT v Brně

8.2 Možnosti zefektivnění procesu vaření

Na základě zkušeností s vařením piva získaných během měření na ÚPI VUT v Brně navrhuji možná zlepšení pro úsporu energií, zkrácení a zefektivnění stávajícího procesu výroby.

8.2.1 Automatické míchadlo

Míchadlo (Obrázek 8-2) slouží k plynulému a důkladnému mísení směsi vody a našrotovaného sladu při procesu máčení a následném zahřívání této směsi. Sladinu zahříváme u většiny receptů několik hodin a míchání je nutné pro zamezení připálení pevných částic na dno nádoby. Tato činnost je zdoluhavá a vzhledem ke konzistenci směsi i poměrně náročná. Možným řešením je elektricky poháněné, automatické míchadlo.

Vhodným zdrojem mechanické energie je elektrický motor z předních stěračů osobního automobilu, jelikož je dostatečně výkonný a díky již instalované převodovce má pro toto užití ideální rychlost pohybu [1]. Motor by byl zabudovaný do stávající, případně jiné vhodné poklice a byl by připojen na míchadlo délky odpovídající vzdálenosti ke dnu nádoby. Napájením motoru ze zdroje stejnosměrného napětí (12 V) poté již sestavu uvedeme do pohybu. Tímto odpadá nutnost neustálého ručního míchání a ušetřený čas můžeme využít například k přípravě dalších fází výroby piva. Návodů pro výrobu takového zařízení je možné najít na mnoha internetových stránkách zaměřených na výrobu piva v domácích podmínkách.



Obrázek 8-2 Současný nástroj pro míchání obsahu varné nádoby

Snížením počtu snímání poklice z varného hrnce lze také předpokládat menší úniky tepla a tím pádem vyšší energetickou účinnost varného procesu. Teploměr pro kontrolu teploty směsi by byl pro tento případ umístěn ve varné nádobě po celou dobu zahřívání.

8.2.2 Nové vařiče

Vařiče dosud využívané k procesu vaření piva na ÚPI VUT v Brně jsou již zastaralé konstrukce a z důvodu rozdílných výrobců nemají stejný výkon a účinnost. Pro zlepšení účinnosti ohřevu a sjednocení vybavení byly zakoupeny dva vařiče Rohnsen R-2410. Vařiče jsou jedno plotýnkové. Jejich specifikace jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 8-2).

Tabulka 8-2 Plotýnkový vařič Rohnsen R-2410 [30]

Parametr	Hodnota
Počet plotýnek, materiál	1, litina
Průměr plotny	18 cm
Příkon	1500 W

Pro porovnání energetické náročnosti vařičů byla provedena s novými vařiči výroba piva dekokčním způsobem. Stejný proces byl již dříve proveden se starými vařiči. Byl kladen důraz na dodržení stejného množství ohřívání kapalin v obou případech. Přestože jistě došlo k mnoha odchylkám, můžeme alespoň přibližně porovnat energetickou účinnost vařičů. Pro výrobu piva se starými vařiči bylo spotřebováno pro ohřev 14,6 kWh. S novými vařiči bylo pro výrobu piva stejným způsobem spotřebováno 11,1 kWh. **S novými vařiči je tedy spotřeba elektrické energie nižší téměř o 24 %.**

Dalšími možnostmi ohřevu jsou indukční, případně plynové vařiče. Indukční vařiče jsou efektivnější než stávající vařiče s litinovými plotýnkami. Jejich pořizovací cena je však vyšší. Plynové vařiče jsou naopak poměrně levné, avšak mnoho energie je zmařeno jako ztráty. Navíc z důvodu otevřeného plamene a unikajících zplodin nejsou v budově A1 FSI VUT v Brně povoleny a pro proces vaření piva by bylo nutné zajistit náhradní prostory.

8.2.3 Úpravy varné nádoby

V současné době jsou na ÚPI VUT v Brně jako varné nádoby využívány nerezové hrnce bez jakýchkoliv modifikací. Tyto nádoby jsou však často domovníky upravovány.

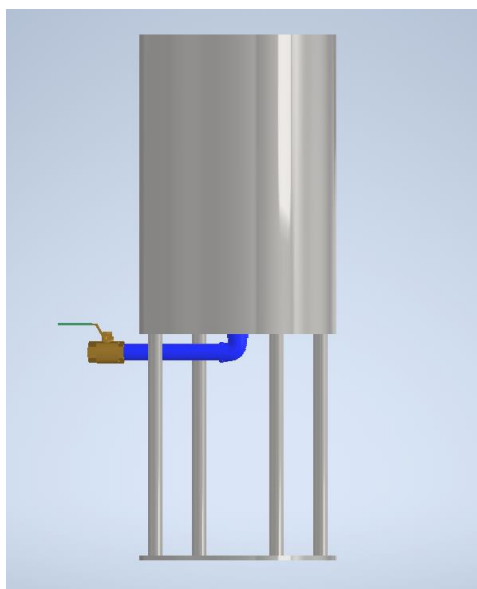
Pro přesnější informace o teplotě uvnitř nádoby i zamezení tepelných ztrát snížením poklice během varného procesu lze zabudovat teploměr přímo do varné nádoby. U takového teploměru je poté jednodušší realizovat automatický sběr dat vhodný k přesnějšímu vyhodnocení procesu výroby piva. Spolu s teploměrem lze do spodní části stěny hrnce umístit ventil, kterým je možné lehce plnit i vyprazdňovat nádobu využitím gravitace (dva hrnce s ventily se propojí hadicí a vzájemným výškovým polohováním mezi sebou dochází k přesunu kapaliny). Nevýhodou takového přečerpávání je špatný přehled o přesunutém

množství. Tento problém lze řešit doplněním alespoň jedné z nádob o stupnici udávající objem kapaliny nacházející se uvnitř, případně měřením hmotnosti nádob (musíme však znát hustotu vážené kapaliny).

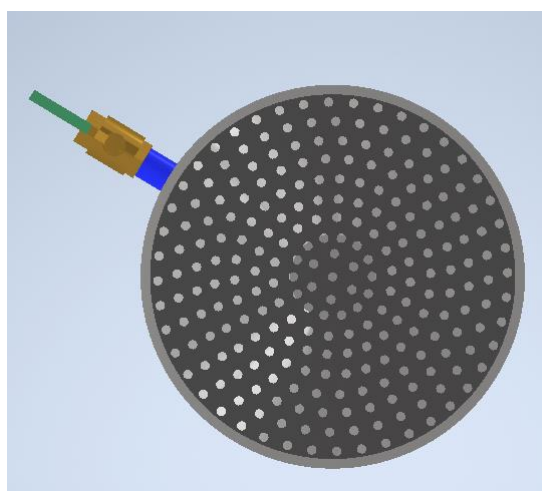
8.2.4 Návrh nového scezovacího a filtračního zařízení

Stávající scezovací a filtrační zařízení (Obrázek 4-8) je funkční, avšak zastaralé a z důvodu jeho konstrukčního řešení při neopatrné manipulaci často dochází k neplánovaným ztrátám během filtrování. Vypouštěcí ventil je skleněný, v některých případech nedokonale těsní a je velmi náchylný na poškození. Filtrační mřížka se pod tíhou mláta deformuje a v případě nevyváženého zatížení hrozí propadnutí a znečištění již scezené mladiny.

Vhodným řešením je výroba nového scezovacího a filtračního zařízení plně vyhovujícího požadavkům procesu výroby piva na Ústavu procesního inženýrství VUT v Brně. Následující Obrázek 8-3 zobrazuje možné konstrukční řešení nového scezovacího a filtračního zařízení.



Obrázek 8-3 Návrh filtračního zařízení



Obrázek 8-4 Pohled shora do filtračního zařízení

Navrhované scezovací a filtrační zařízení uvažuje výrobu z korozivzdorné oceli vhodné k použití v potravinářském průmyslu. Válcová nádoba bude vyrobena z plechu o tloušťce 2-3 milimetry, na kterou bude přivařeno dno o tloušťce 5 milimetrů. Na dno nádoby bude upevněno koleno přivádějící kapalinu k vypustnému ventilu. Na vnitřní obvod válcové nádoby ve výšce 20 milimetrů od dna bude dále přivařena obruč, která zajistí pevné a stabilní uložení filtračního síta. Opěr síta po celém jeho obvodu zajistí také odolnost proti deformaci síta v důsledku nerovnoměrného zatížení. Toto byl častý problém u dosud používaného filtračního a scezovacího zařízení (Obrázek 4-8).

Dalším možným a finančně velmi nenáročným řešením je použití dvojice plastových věder, kdy do dna jednoho z nich vytvoříme velké množství malých děr a následně jej vložíme do druhého vědra. Spodní vědro osadíme vypustným ventilem. Vědra musí být vyrobena z plastu odolného teplotě alespoň 110 °C a musí být označena jako určená pro styk s potravinami dle vyhlášky č.38/2001Sb. Toto řešení však pro potřeby vaření piva na ÚPI VUT v Brně není dostatečné, doporučeno je spíše začátečnickům.

8.2.5 Zefektivnění chlazení

Doposud využívaný způsob chlazení nádoby s mladinou ledem a proudem vody z vodovodního řadu je energeticky i ekonomicky velmi náročný (Obrázek 5-8). Možným řešením je využití výměníku či vhodného chladiče. Chladícím médiem je v tomto případě taktéž voda z vodovodního řadu, avšak účinnost je vyšší. Díky vyšší účinnosti je snížena energetická náročnost. Nevýhodou je nutná počáteční investice.

Existuje několik vhodných konstrukčních řešení pro chladiče mladiny, jedním z nich je deskový protiproudý výměník. Pro popis byl vybrán deskový výměník PHE-40PPSS (Obrázek 8-5).



Obrázek 8-5 Deskový výměník PHE-40PSS [33]



Obrázek 8-6 Tepelný výměník pro chlazení mladiny vyrobený v domácích podmínkách [44]

Protiproudý deskový výměník PHE-40PSS slouží k ochlazení mladiny z teploty chmelovaru na teplotu vhodnou k zakvácení. Ideálním případem je použití dvojice výměníků, kdy první z nich ochlazuje mladinu na teplotu přibližně 25 °C a druhý s využitím glykolu jako chladicího média dochlazuje mladinu na zákvasnou teplotu. Použití jednoho výměníku je však také možné. V závislosti na teplotě a průtoku chladicího média výměník ochladí až 50 litrů mladiny za každou hodinu provozu. Čerpání chlazené kapaliny lze provádět samospádem (k tomuto účelu je vhodné sestavit jednoduchý zvedák, na kterém lze varnou nádobu libovolně polohovat). Konstrukce výměníku je nerozebíratelná, k čištění je nutné využívat chemické přípravky. Technické parametry uvádí následující Tabulka 8-3. [33]

Tabulka 8-3 Parametry deskového výměníku PHE-40PSS [33]

Parametr	Hodnota
Rozměry	190x73x112 mm
Počet chladicích desek	40
Připojení – chladivo	vstup i výstup BSP 3/4", vnější závit
Připojení – mladina	vstup i výstup BSP 1/2", vnější závit
Materiál	korozivzdorná ocel, měď

V domácích podmínkách lze sestavit vlastní tepelný výměník. Vhodným řešením je svinutí měděného potrubí. Vzniklý výměník můžeme umístit do varné nádoby a prouděním chladicího média ve smyčce ochlázovat obsah nádoby (viz Obrázek 8-6). Taktéž lze umístit výměník do chladicího média (nádrž s vodou apod.) a teplotu mladiny poté snižovat jejím průtokem uvnitř měděného potrubí. V obou případech musí být ta část výměníku, která přichází do kontaktu s mladinou, velmi dobře zbavena jakýchkoliv nečistot.

9 ZÁVĚR

Vaření piva v domácích podmínkách je v dnešní době velmi rozšířenou zálibou u mnoha věkových skupin napříč celým světem. Pro začátečníky jsou nabízeny zjednodušené sady, pomocí kterých je lehké si připravit své první pivo s potřebou minimálního dalšího vybavení. Tyto sady jsou však poměrně drahé a výsledné pivo nebývá příliš kvalitní. Rozhodne-li se domovarník zvýšit kvalitu svého piva, přichází v úvahu nespočet různých řešení v několika cenových kategoriích. Část zmíněných se rozhodne pro výrobu vlastního mikropivovaru, druhou možností je nákup komerčně vyrobeného zařízení s již odzkoušenou funkcí. V obou případech lze s takovým vybavením při dodržení správných postupů připravit pivo výborné chuti a kvality plně se rovnající pivům například z řemeslných pivovarů.

Na Ústavu procesního inženýrství VUT v Brně proběhly v rámci této práce tři vaření piva. Dva z těchto procesů byly věnovány vaření piva dekokčním způsobem, třetí výroba piva probíhala infuzním způsobem. Potřebné suroviny pro tyto účely byly věnovány pivovarem Starobrno a.s. Využit byl prostějovský slad, chmel Premiant a SAAZ ve formě granulí a kvasinky v tekuté formě. Pivovarské výpočty, vyhodnocení vaření, varní list a výpočet ekonomické náročnosti procesu byly vytvořeny s pomocí programu Microsoft Excel a jsou přílohou této práce.

Během laboratorního měření provedeného na ÚPI VUT v Brně byla potvrzena časová i energetická úspora při využití infuzního způsobu výroby piva oproti způsobu dekokčnímu. Navzdory očekávání bylo pivo uvařené infuzním způsobem velmi kvalitní a pro mnohé i chutnější než pivo připravené dekokčním způsobem. Chuť je subjektivní, avšak degustaci provedlo mnoho kolegů a tento závěr byl převládající. Jelikož jsou v dnešní době dobře rozluštěné slady lehce sehnatelné a kvalita sladu je díky modernizovaným způsobům výroby vyšší, je infuzní způsob výroby vhodným řešením pro výrobu piva v domácích podmínkách právě díky jeho úspornosti. Další možností úspory finančních prostředků je nákup surovin ve větším množství.

Pro budoucí vaření piva v laboratoři byly navrženy úpravy, které mají za cíl snížení energetické náročnosti procesu či zjednodušení (případně částečnou automatizaci) výroby piva. Za účelem snížení spotřeby energií byly doporučeny nové vařiče a tepelný výměník sloužící k efektivnějšímu chlazení mladiny. Vařiče již byly zakoupeny a během posledního měření vyzkoušeny. Byla zjištěna úspora téměř 24 % elektrické energie oproti předchozím vařičům. Dalšími navrženými úpravami jsou výroba nového filtračního a scezovacího zařízení, úprava varné nádoby a automatické míchadlo poháněné elektromotorem.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MACHAČ, František. Uvařte si pivo doma!: příručka pro začátečníky a mírně pokročilé. Praha: Svojtka & Co., 2014. ISBN 978-80-256-1172-2.
- [2] BASAŘOVÁ, Gabriela. *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-80-7080-734-7.
- [3] Pivní Klenoty: Slovník pivních pojmů [online]. 2014 [cit. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://www.pivniklenoty.cz/vse-o-pivu/slovník-pojmu/a/>
- [4] Historie piva v Čechách. Czech Beer Museum [online]. 2022 [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: https://beermuseum.cz/?page_id=120&lang=cs
- [5] *Tisková zpráva Cechu domácích pivovarníků, z.s. ke zvýšení limitu pro domácí pivovarníky* [online]. 2019 [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: <https://www.cech-pivo.cz/cs/czech-homebrewers-guild/about-us/94-tiskova-zprava-cechu-domacich-pivovarniku-z-s-ke-zvyseni-limitu-pro-domaci-pivovarniky>
- [6] CHMELÁŘ, Jan. Propinační právo – Právo čepu piva [online]. 2021 [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <https://alkoholdrink.cz/alkohol-drink-propinacni-pravo-pravo-cepu-piva/>
- [7] Tradiční české pivo plné náhražek?!. *Alkoholium.cz* [online]. 2015 [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <https://www.alkoholium.cz/tradicni-ceske-pivo-plne-nahrazek/>
- [8] Co znamenají pivní zkratky EPM, OG, ABV a IBU?. *Alkoholium.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-11-09]. Dostupné z: <https://www.alkoholium.cz/co-znamenaji-pivni-zkratky-epm-og-abv-a-ibu/>
- [9] Barva piva dle EBC. *Pivovar Horác* [online]. 2019 [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: <https://www.pivovarhorac.cz/l/barva-piva-dle-ebc/>
- [10] Mapa pivovarů v ČR [online]. 2022 [cit. 2022-11-15]. Dostupné z: <https://www.pivnici.cz/mapa-ceskych-pivovaru-a-minipivovaru/?z=8&x=49.447551510622425&y=15.41775176932867>
- [11] Chmel – historie pěstování. *Pivovary.info* [online]. 2018 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <http://www.pivovary.info/?p=43889>
- [12] PIVO ČERNÝ OREL. *Černý Orel* [online]. 2017 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://www.cerny-orel.eu/proc-nase-pivo>
- [13] Prazdroj a Microsoft spojily experty z celého světa na pomoc českému chmelu. In: *Plzeňský Prazdroj* [online]. 2021 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://www.prazdroj.cz/prazdroj-a-microsoft-spojily-experty-z-celeho-sveta-na-pomoc-ceskemu-chmelu>
- [14] Chmel. *Pivní klenoty* [online]. 2014 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://www.pivniklenoty.cz/vse-o-pivu/zajimavosti-o-pivu/chmel/>
- [15] Ječmen semínka na klíčení. *Svět plodů* [online]. 2022 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: https://www.svetplodu.cz/jecmen-seminka-na-kliceni_z1882/#1465
- [16] Cara Blond. *Svoboda – Fraňková* [online]. [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://www.svoboda-frankova.cz/produkt/5316-cara-blond>
- [17] Propagační stanice. *DESTILA* [online]. 2023 [cit. 2023-01-12]. Dostupné z: <https://www.destila.cz/propagacni-stanice>
- [18] Odrůdy Chmele. *Bohemia Hop* [online]. 2013 [cit. 2023-01-12]. Dostupné z: <http://www.bohemiahop.cz/cz/odrudy-chmele>
- [19] Národ pivařů. *Evropa v datech* [online]. 2019 [cit. 2023-01-24]. Dostupné z: <https://www.evropavdatech.cz/clanek/15-narod-pivaru/>
- [20] Sady domácí pivo. *Pivotéka.cz* [online]. 2023 [cit. 2023-01-25]. Dostupné z: <https://www.pivoteka.cz/sady-domaci-pivo>

- [21] Přehled druhů piva I. *Pivo* [online]. 2007 [cit. 2023-01-25]. Dostupné z: https://zajimavosti-pivo.estranky.cz/clanky/druhy-piv/prehled-druhu-piva--i_.html
- [22] Jak vaříme pivo. *Budějovický Budvar* [online]. 2019 [cit. 2023-01-26]. Dostupné z: <https://www.budejovickybudvar.cz/pivovar/jak-varime-pivo>
- [23] Cena 1 kWh. *Energie123* [online]. 2023 [cit. 2023-02-06]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
- [24] Domácí pivovary. *Pivotéka.cz* [online]. 2023 [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.pivoteka.cz/domaci-pivovary/4?filter-order=PASC>
- [25] Česká republika od roku 1989 v číslech: Spotřeba alkoholických nápojů. Český statistický úřad [online]. 2022 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/graf-spotreba-alkoholickych-napoju-na-1-obyvatele-v-ceske-republice>
- [26] Pivní styly. *BeerWeb* [online]. 2023 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://beerweb.cz/prehledy/pivni-styly>
- [27] První republika-pivní republika!. *Český statistický úřad* [online]. 2019 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/stoletistatistiky/prvni-republika-pivni-republika>
- [28] Základní fakta. *Český svaz pivovarů a sladoven* [online]. 2023 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://ceske-pivo.cz/zakladni-fakta>
- [29] Aktivní pivovary v zemi Česká republika. *Pivníci.cz* [online]. 2022 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.pivnici.cz/aktivni-pivovary/zeme/ceska-republika/dle-data-zalozeni/>
- [30] Jednoplátýnkový elektrický vařič R-2410. *Rohnson* [online]. 2018 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://rohnsn.cz/produkt/r-2410/>
- [31] České odrůdy chmele. *Svaz pěstitelů chmele* [online]. 2022 [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: http://www.czshops.cz/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=34
- [32] Radegast a ti druzí. *ČTK* [online]. 2019 [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/radegast-a-ti-druzi-nosovicky-pivovar-srazil-spotrebu-vody-na-rekordnich-1-26-litru-na-pullitr-piva/1784209>
- [33] PHE-40PSS: Deskový výměník tepla. *Czech Brewery System* [online]. 2019 [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://eshop.czechminibreweries.com/cs/product/phe-40pss/>
- [34] Náš příběh. *Pivovar Rampušák* [online]. 2023 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.pivovarrampusak.cz/o-nas/>
- [35] Pivovarnictví: filtrace piva a podpůrných médií. *Bílek Filtry* [online]. 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://filtrace.com/pivovarnictvi/>
- [36] KADLEC, Pavel, et al. *Technologie potravin II.* Praha : VŠCHT, 2002. 236 s. ISBN 978-80-7080-510-7.
- [37] Tinseth, G. (1997). Glenn's Hop Utilization Numbers. Dostupné z [realbeer.com](https://realbeer.com/hops/research.html): <https://realbeer.com/hops/research.html>
- [38] Šavel, Jan, Petr Košin, Adam Brož, a Karel Sigler. „Convenient Monitoring Of Brewery Fermentation Course By Refractometry.“ *Kvasný Průmysl* 55, č. 4 (1. duben 2009): 94–99. <https://doi.org/10.18832/kp2009009>.
- [39] NOVOTNÝ, Petr. *Pivařka²: průvodce domácího sládka : teorie, rady, návody, recepty.* V Brně: Jota, 2019. Populárně naučná. ISBN 978-80-7565-555-4.
- [40] *GodFon.com* [online]. 2019 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.goodfon.com/wallpaper/bochonok-kolosia-tri-kruzhki-pena-pivo-boke.html>

-
- [41] Chmel Otáčivý. Květena ČR [online]. 2003 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <http://www.kvetenacr.cz/detail.asp?IDdetail=184>
- [42] Uvařte si s námi domácí pivo: Od sladiny k mladině. [online]. 2017 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.alkoholium.cz/uvarte-si-s-nami-domaci-pivo-3-dil-od-sladiny-k-mladine/>
- [43] IBU, EBC, ABV...: basic beer abbreviations. Drink-Drink [online]. 2021 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://en.drink-drink.ru/ibu-ebc-abv-osnovnye-abbreviatury-piva/>
- [44] DIY wort chiller for my first brew. Imgur [online]. 2015 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://imgur.com/a/YppYA>

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BSP – British Standard Pipe

CIP – Clean In Place

CK – Cylindro-kónický

EBC – European Brewery Convention

EBU – European Bitterness Units

EPM – Extrakt původní mladiny

IBU – International Bitterness Units

IPA – Indian Pale Ale

PET – Polyethylentereftalát

12 SEZNAM PŘÍLOH

P1 – Seznam základních pivovarnických pojmů – *P1_pojmy.pdf*

P2 – Výroba sladu – *P2_vyroba_sladu.pdf*

P3 – Obrazová příloha – *P3_obrazova_priloha.pdf*

P4 – Výpočetní soubor – *P4_vypocty.xlsx*

P5 – Varní listy – *P5_varni_listy.xlsx*