

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb



Diplomová práce

**Optimalizace hydrodynamických parametrů při
proudění mladiny do vířivé kádě na účinnost separace
hrubých kalů**

Bc. Vojtěch Hořejší

© 2023 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Vojtěch Hořejší

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Optimalizace hydrodynamických parametrů při proudění mladiny do vířivé kádě na účinnost separace hrubých kalů

Název anglicky

The optimisation of hydrodynamic parameters during wort flow to the whirlpool on the efficiency of coarse break separation

Cíle práce

Cílem práce je optimalizace hydrodynamických parametrů při proudění mladiny do vířivé kádě na účinnost separace hrubých kalů, které vznikají při chmelovaru ve formě lomu a obsahují části o velikosti 30 – 80 μm . Tyto kaly je nutno separovat ještě před procesem kvašení mladiny, protože jejich přítomnost zhoršuje průběh kvašení, protože zanášejí povrch kvasničných buněk a zhoršují následnou filtraci piva. Po jejich separaci ve vířivé kádě by mladina měla obsahovat pouze do 100 mg v litru. Vířivá kádě pracuje podle vynálezu A.Einsteina, který jako první popsal funkci dostředivé síly, která se ve vířivé kádě pro separaci hrubých kalů využívá. Hodnota velikosti dostředivé síly bude korelována s objemem separovaných hrubých kalů. Na základě získaných výsledků bude provedena optimalizace procesu separace hrubých kalů.

Metodika

Na začátku procesu separace hrubých kalů se pomocí Imhofferova kuželu nebo zcejchovaným nefelometrem stanoví objem hrubých kalů v mladině, měřených v mladinové pánvi. Poté se tato mladina za různých rychlostí načerpá tangenciálním nátokem do vířivé kádě, podle světlosti přívodního potrubí a doby čerpání se stanoví rychlost proudění. Ze znalostí geometrie vířivé kádě se stanoví odstředivá/dostředivá síla. Po ukončení rotace mladiny se odebere vzorek mladiny a stanoví se opět Imhofferovým kuželem/nefelometrem konečný objem přítomných hrubých kalů. Dále se provede vyhodnocení vlivu působení dostředivé síly na účinnost separace hrubých kalů a následně se proces optimalizuje.

Doporučený rozsah práce

40 – 70 stran

Klíčová slova

pivo, mladina, hrubé kaly, vířivá kád', Imhofferův kužel

Doporučené zdroje informací

Basařová,G.a kol:Pivovarství, Praha VÚPS 2010 ISBN 978-80-7080-734-7

Chládek,L.: Pivovarství Praha Grada 2007, ISBN 978-80-247-16-16-9

Kosař,K,Procházka,S.: Technologie výroby sladu a piva, VÚPS Praha 2000, ISBN 80-902658-6-3

Kunze,W.:Technology Brewing and Malting, VLB Berlin 2010 ISBN 978-3-921690-64-2

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Ladislav Chládek, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Konzultant

doc.Ing.Petr Vaculík Ph,D

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2021

doc. Ing. Jan Maláták, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Optimalizace hydrodynamických parametrů při proudění mladiny do vířivé kádě na účinnost separace hrubých kalů“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 31. 3. 2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Ladislavu Chládkovi, CSc. za ochotu, vstřícnost a poskytnutí užitečných rad při zpracování diplomové práce. Také bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli cenné rady a připomínky k tomuto tématu, zejména pak obsluze pivovaru, na jehož půdě jsem prováděl svůj výzkum.

Optimalizace hydrodynamických parametrů při proudění mladiny do vířivé kádě na účinnost separace hrubých kalů

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou separace hrubých kalů z mladiny při procesu vaření piva. Hrubé kaly jsou pevné částice, které negativně ovlivňují proces kvašení a filtraci piva a je tedy nutné je z mladiny separovat. Separace hrubých kalů probíhá ve vířivé fungující na základě vzniku dostředivé síly, kterou jako první popsal Albert Einstein. Cílem práce je výzkum vlivu hydrodynamických parametrů při proudění mladiny na účinnost procesu separace hrubých kalů. Výzkum probíhal v konkrétním pivovaru, kde byla také provedena analýza jeho technologické vybavenosti. S ohledem na získané informace byl naplánován a popsán postup měření. Hydrodynamické parametry při měření byly měněny pomocí řízení výkonu mladinového čerpadla. V diplomové práci je pro různé hydrodynamické parametry vypočtena dostředivá síla a rovněž stanoven objem hrubých kalů pomocí Imhoffova kuželu, což je speciální laboratorní pomůcka. Následně je vyhodnocen vliv dostředivé síly na účinnost separace hrubých kalů a výsledky výzkumu jsou porovnány s odbornou literaturou. Na základě výsledků výzkumu je pivovaru doporučena optimalizace procesu separace hrubých kalů a shrnut její ekonomický přínos.

Klíčová slova: pivo, mladina, vířivá kád', hrubé kaly, Imhoffův kužel, nátoková rychlost, čerpadlo, chmelovar

The optimisation of hydrodynamic parameters during wort flow to the whirlpool on the efficiency of coarse break separation

Abstract

The diploma thesis deals with the issue of separating coarse break from wort during the brewing process. Coarse break are solid particles that negatively affect the fermentation process and beer filtration, and it is therefore necessary to separate them from the wort. The separation of coarse break takes place in a whirlpool operating on the basis of the emergence of centripetal force, which was first described by Albert Einstein. The aim of the work is to investigate the influence of hydrodynamic parameters during wort flow on the efficiency of the coarse break separation process. The research took place in a specific brewery, where an analysis of its technological equipment was also carried out. Taking into account the information obtained, the measurement procedure was planned and described. Hydrodynamic parameters during measurement were changed by controlling the power of the wort pump. In the diploma thesis, the centripetal force is calculated for various hydrodynamic parameters and the volume of coarse break is also determined using an Imhoff cone, which is a special laboratory tool. Subsequently, the influence of centripetal force on the efficiency of coarse break separation is evaluated and the research results are compared with scientific literature. Based on the results of the research, optimization of the coarse break separation process is recommended to the brewery and its economic benefit is summarized.

Keywords: beer, wort, whirlpool, coarse break, Imhoff cone, inflow velocity, pump, boiling with hops

Obsah

1 Úvod	12
2 Cíl práce	13
3 Metodika	14
4 Teoretická východiska	15
4.1 Historie výroby piva.....	15
4.2 Pivo v Čechách.....	15
4.2.1 Středověk	16
4.2.2 Založení městského pivovaru v Plzni	17
4.2.3 Období světových válek.....	18
4.2.4 Období mezi roky 1945–1989	18
4.2.5 Období po roce 1989.....	18
4.3 Co je pivo?	19
4.4 Suroviny pro výrobu piva.....	19
4.4.1 Slad	19
4.4.2 Chmel.....	20
4.4.3 Voda.....	20
4.4.4 Kvasnice.....	20
4.5 Šrotování	21
4.6 Vystírání a rmutování.....	21
4.7 Scezování sladiny	22
4.8 Výroba mladiny.....	23
4.8.1 Chmelovar.....	23
4.8.2 Způsoby otopů mladinové pánve	23
4.8.3 Mladinová pánev s vnitřním vařákem	24
4.8.4 Mladinová pánev s vnějším vařákem.....	25
4.8.5 Chmelení.....	26
4.8.6 Dávkování chmele a chmelových výrobků.....	27
4.8.7 Koagulace bílkovin a tvorba lomu	28
4.8.8 Vylučování hrubých a jemných kalů	28
4.9 Separace hrubých kalů	29
4.10 Chladící stoky.....	30
4.11 Usazovací kád'	31
4.12 Vířivá kád'	33
4.12.1 Konstrukce vířivé kádě	34
4.12.2 Princip fungování vířivé kádě.....	36

4.12.3	Doba odlučování kalů	44
4.12.4	Rychlost spílání mladiny	45
4.12.5	Kontrola průběhu separace hrubých kalů	46
4.13	Separace hrubých kalů odstřediváním	48
4.13.1	Starší typy komorových odstředivek	49
4.13.2	Talířové odstředivky	50
4.13.3	Samoodkalovací odstředivky	51
4.14	Chlazení mladiny	52
4.14.1	Jednostupňové chlazení mladiny	53
4.14.2	Dvoustupňové chlazení mladiny	54
4.15	Kvašení mladiny	55
4.15.1	Spilka	55
4.15.2	První fáze hlavního kvašení (zapašování)	56
4.15.3	Druhá fáze hlavního kvašení (nízké kroužky)	56
4.15.4	Třetí fáze hlavního kvašení (vysoké kroužky)	56
4.15.5	Čtvrtá fáze hlavního kvašení (propadání)	57
4.16	Sudování a ležení (dokvašení) piva	57
4.17	Filtrace	57
5	Vlastní práce	59
5.1	Představení pivovaru	59
5.1.1	Šrotování a sladovna	59
5.1.2	Varná souprava	61
5.1.3	Scezovací kád'	64
5.1.4	Vířivá kád'	65
5.1.5	Rmutovystírací/mladinová pánev	68
5.1.6	Zásobník horké vody	69
5.1.7	Hlavní čerpadlo	69
5.1.8	Chlazení mladiny	71
5.1.9	Kvašení	73
5.2	Měření a výpočty po ukončení chmelovaru	74
5.2.1	Měření objemu hrubých kalů	75
5.2.2	Výpočet hmotnosti mokrých hrubých kalů	78
5.2.3	Výpočet hmotnosti suchých hrubých kalů	79
5.3	Měření a výpočty po separaci hrubých kalů	81
5.3.1	Stanovení teoretické nátokové rychlosti	81
5.3.2	Měření číslo 1	83
5.3.3	Měření číslo 2	84
5.3.4	Měření číslo 3	86
5.3.5	Měření číslo 4	86

5.3.6	Měření číslo 5	87
5.3.7	Měření číslo 6	87
5.3.8	Měření číslo 7	88
5.3.9	Měření číslo 8	88
5.4	Porovnání teoretických a reálných hodnot průtoku a nátokové rychlosti	90
5.5	Stanovení dostředivé síly	92
5.6	Porovnání velikosti dostředivé síly s objemem hrubých kalů.....	94
5.7	Porovnání výsledků s doporučenými hodnotami z literatury.....	98
5.7.1	Nátoková rychlost	98
5.7.2	Objem a hmotnost hrubých kalů po separaci	99
5.8	Optimalizace procesu separace hrubých kalů	100
5.9	Ekonomický přínos optimalizace procesu separace hrubých kalů.....	101
6	Závěr.....	103
7	Seznam použitých zdrojů	106
8	Přílohy	108

Seznam obrázků

Obrázek 1	Schéma vnitřního vařáku s usměrněným tokem mladiny	25
Obrázek 2	Schéma mladinové pánve s externím vařákem	26
Obrázek 3	Chladicí stok U Fleků.....	31
Obrázek 4	Usazovací kád'	33
Obrázek 5	Provedení dna vířivých kádí.....	34
Obrázek 6	Schéma vířivé kádě	35
Obrázek 7	Odstředivá síla v nádobě	37
Obrázek 8	Sedimentace v nádobě	38
Obrázek 9	Sekundární víření v nádobě.....	39
Obrázek 10	Instalace pro rozbití vírů	40
Obrázek 11	Prstencová mřížka pro přerušení víru.....	40
Obrázek 12	Víry ve vířivce a Ekmanova spirála	41
Obrázek 13	PMMA laboratorní vířivá kád'	42
Obrázek 14	Pokus M. Jakubowski a, b	43
Obrázek 15	Pokus M. Jakubowski c, d	43
Obrázek 16	Pokus M. Jakubowski e, f.....	44
Obrázek 17	Kalový kužel	46
Obrázek 18	Imhoffův kužel – schéma	47
Obrázek 19	Imhoffův kužel – stupnice ml.....	48
Obrázek 20	Schéma talířové odstředivky	50
Obrázek 21	Dekantér	51
Obrázek 22	Deskový chladič mladiny	53
Obrázek 23	Schéma vířivé kádě a jednostupňového chlazení mladiny	54
Obrázek 24	Schéma dvoustupňového chlazení mladiny	55
Obrázek 25	Sklad, pytlovaný slad	60

Obrázek 26 Šrotovník a váha na slad.....	61
Obrázek 27 Varná souprava VN 50 L	62
Obrázek 28 Varná souprava.....	63
Obrázek 29 Ovládací panel varné soupravy	64
Obrázek 30 Scezovací kád'-kypřící zařízení	65
Obrázek 31 Vířivá kád'-pohled dovnitř.....	66
Obrázek 32 Vířivá kád'-pohled zevnitř	67
Obrázek 33 Vířivá kád' – potrubí, filtr.....	68
Obrázek 34 Rmutovystírací pánev	69
Obrázek 35 Hlavní čerpadlo	70
Obrázek 36 Charakteristika čerpadla	71
Obrázek 37 Chladicí jednotka.....	72
Obrázek 38 Ovládací panel chlazení	73
Obrázek 39 Ležácký sklep s CK tanky	74
Obrázek 40 Odebírání vzorku	76
Obrázek 41 Sedimentace vzorku z mladinové pánve v Imhoffově kuželu.....	77
Obrázek 42 Filtrace mladiny.....	78
Obrázek 43 Sušina hrubých kalů	80
Obrázek 44 Prudký nátok mladiny do vířivé kádě	85
Obrázek 45 Pomalý nátok mladiny do vířivé kádě.....	89

Seznam tabulek

Tabulka 1 Výpočet odhadované teoretické rychlosti nátoku mladiny.....	82
Tabulka 2 Teoretické a reálné hodnoty průtoku a rychlosti	90
Tabulka 3 Dostředivá síla	93
Tabulka 4 Porovnání F_D a V_k	94
Tabulka 5 Nátoková rychlost, objem separovaných kalů	99

Seznam grafů

Graf 1 Teoretická nátoková rychlost mladiny	83
Graf 2 Průtok	91
Graf 3 Nátoková rychlost.....	91
Graf 4 Závislost objemu separovaných hrubých kalů na dostředivé síle	95
Graf 5 Závislost objemu separovaných hrubých kalů na dostředivé síle (20–50 %)	96
Graf 6 Závislost objemu separovaných hrubých kalů na dostředivé síle (50–80 %)	97
Graf 7 Porovnání objemu separovaných kalů s hranicí 100 mg/l.....	100

Seznam použitých vzorců

Vzorec 179	
Vzorec 2 Rychlost	82
Vzorec 3 Průtok.....	83
Vzorec 4 Dostředivá síla.....	92
Vzorec 5 Úhlová rychlost	93

1 Úvod

Pivo je jedním z nejstarších nápojů vařených lidstvem vůbec. V dnešní době si drží pozici nejprodávanějšího alkoholického nápoje na světě a na území naší republiky je některými lidmi vnímáno dokonce jako národní poklad. Podle posledních dat Českého statistického úřadu z roku 2021 vypil průměrný Čech za tento rok neuvěřitelných 135,5 litrů piva, což je nejvyšší hodnota napříč všemi státy. Pivo se tedy určitě dá považovat za jakousi formu kulturního dědictví, kterou naši předkové zdokonalovali po staletí. Díky tomu si dnes můžeme pivo vychutnat v takové podobě, jak jej známe. Přestože se dnes již proces vaření piva podstatně neinovuje, často je při jeho vaření kladen důraz na optimalizaci jednotlivých kroků technologického postupu výroby.

Diplomová práce se zabývá problematikou procesu separace hrubých kalů a jeho optimalizací. Hrubé kaly jsou pevné částice vznikající při procesu chmelovaru a je nutno je separovat ještě před procesem kvašení mladiny, protože zanášejí povrch kvasničných buněk, což negativně ovlivňuje proces kvašení. Vysoký obsah kalů také zhoršuje filtraci piva i jeho výslednou kvalitu, proto je žádoucí kaly co nejdokonaleji odstranit.

Pro separaci hrubých kalů se v dnešní době nejčastěji využívá takzvaná vířivá kád'. Vířivá kád' pro separaci hrubých kalů využívá dostředivé síly, která působí na pevné částice hrubých kalů a vynáší je do středu vířivé kádě. Dostředivá síla vzniká na základě tangenciálního načerpání mladiny do vířivé kádě a formuje v jejím středu kalový kužel. Tento jev popsal již Albert Einstein a při separaci hrubých kalů se používá dodnes.

Teoretická část diplomové práce vychází z odborné literatury a vědeckých článků. Zasazuje práci do historického kontextu, přibližuje obecně používaný technologický postup výroby piva a detailně se zaměřuje na vířivou kád' a proces separace hrubých kalů.

V praktické části je popsán konkrétní pivovar, ve kterém probíhal výzkum procesu separace hrubých kalů. Na základě úprav hydrodynamických parametrů při proudění mladiny do vířivé kádě, měření objemů hrubých kalů v mladině a provedení řady výpočtů je proces separace hrubých kalů v pivovaru zoptimalizován.

2 Cíl práce

Cílem práce je optimalizovat hydrodynamické parametry při proudění mladiny do vířivé kádě a tím zvýšit účinnost procesu separace hrubých kalů, které vznikají v mladině při chmelovaru. Rozměry těchto částic se pohybují v rozmezí 30–80 μm . Hrubé kalý je nutno separovat ještě před procesem kvašení mladiny, protože zanášejí povrch kvasničných buněk. Zanášení povrchu kvasničných buněk zhoršuje průběh kvašení, filtraci piva, i jeho výslednou kvalitu. Po separaci hrubých kalů ve vířivé kádi by mladina měla obsahovat pouze do sta miligramů kalové sušiny na jeden litr.

Vířivá kád' funguje podle jevu, který popsal již Albert Einstein. Ten jako první popsal dostředivou sílu, které se využívá ve vířivé kádi při separaci hrubých kalů. Hodnota velikosti dostředivé síly bude korelována s naměřených objemem hrubých kalů po procesu separace v mladině. Na základě získaných výsledků bude provedena optimalizace procesu separace hrubých kalů.

3 Metodika

Pro účely výzkumu je vybrán konkrétní pivovar, ve kterém budou probíhat měření a je s ním navázána spolupráce. Na základě analýzy strojního zařízení pivovaru je naplánován postup měření. Na začátku procesu separace hrubých kalů se odebere vzorek mladiny z mladinové pánve a pomocí Imhoffova kuželu se stanoví objem hrubých kalů v jednom litru mladiny. Ze vzorku mladiny před separací hrubých kalů je za pomoci metody filtrace, vážení a následných výpočtů stanovena hmotnost mokrých hrubých kalů i jejich sušiny.

Po odebrání vzorku se mladina za různých rychlostí řízených výkonem čerpadla načerpá tangenciálním nátokem do vířivé kádě. Podle světlosti přívodního potrubí a času, za který se přečerpá známý objem mladiny, se vypočte pro jednotlivé výkony čerpadla rychlost proudění. Ze znalosti geometrie vířivé kádě a rychlosti proudění je vypočítána odstředivá/dostředivá síla. Po ukončení rotace mladiny je při každém měření odebrán vzorek vyčiřené mladiny a opět je Imhoffovým kuželem stanoven konečný objem přítomných hrubých kalů v mladině po separaci. Dále je provedeno vyhodnocení vlivu působení dostředivé síly na účinnost separace hrubých kalů. Na základě výsledků výzkumu je pivovaru navrženo doporučení pro optimalizaci procesu separace hrubých kalů.

4 Teoretická východiska

4.1 Historie výroby piva

Je historicky doloženo, že lidé pili kvašené nápoje odpradávná. Pravděpodobně nejstarší takový nápoj bylo víno. Víno révové a medovinu však ještě předcházelo víno datlové. První pokusy o výrobu piva, které je naším národním nápojem, jsou daleko starší, než uvádějí některé literární údaje. Historici se nejprve domnívali, že vaření piva má původ ve starověkém Egyptě. Na základě archeologických vykopávek ve staré Mezopotámii bylo prokázáno, že pivo dovedli vařit již starověcí Sumerové (CHLÁDEK, 2007, s. 12).

Podle dnešních představ začalo lidstvo vařit pivo v době, kdy naši předkové začali přecházet od kočovného způsobu života k cílenému usazování a pěstovat obilí pro svoji obživu. K tomu docházelo v období přibližně 10 000–15 000 let před Kristem (CHLÁDEK, 2007, s. 12). Tajemství vzniku piva se snažilo objasnit mnoho odborníků i milovníků tohoto zlatavého moku. V jednom jsou však všichni zajedno. Příprava piva nebyla vynálezem, ale důsledkem souhry náhodných procesů. Jedna z teorií se domnívá, že do obilné kaše se při dešti dostala voda a kaše pak na slunci samovolně zkvasila. Tento nápoj se vůbec nepodobal dnešnímu pivu, ale byl to zkvašený produkt s příjemnou omamnou chutí (BASAROVÁ a kol., s. 18).

4.2 Pivo v Čechách

Na našem území mají dějiny výroby piva velice dlouhou historii. Asi do poloviny prvního století našeho letopočtu obývali naše země nejprve kmeny Keltů a později Markomani a Kvádové. Historici jsou přesvědčeni, že výrobu piva zcela jistě znali, i když k ní ještě nepoužívali chmel.

Až Slované, kteří přišli na naše území začátkem šestého století, vařili pravděpodobně jako první na světě chmelená piva. Historici se totiž domnívají, že si ze své pravlasti kromě jiných plodin, přinesli také chmel. V 17. a 18. století se stalo pivo předmětem obchodu. Všichni lidé, kteří měli potřebné znalosti a suroviny, se až do konce 19. století běžně zabývali domácí výrobou piva a to zvláště v těžkých válečných dobách. Až do desátého století byla výroba piva velmi primitivní (CHLÁDEK, 2007, s. 31).

4.2.1 Středověk

Ke zdokonalení vaření piva docházelo při zakládání klášterů, které měly vlastní pivovary. Basařová a kol. (2011, s. 21) ve své knize uvádí, že první písemná zmínka o výrobě piva se váže k Břevnovskému klášteru. Tamní benediktíni vyráběli pivo a víno již v roce 993, kdy byl jejich klášter vysvěcen českým biskupem Vojtěchem. V této době se pití piva v českých zemích velice rozmohlo. Biskup Vojtěch se obával nadměrného požívání alkoholu mnichy a vynutil si na papeži zákaz výroby a konzumace alkoholických nápojů služebníky Páně na celém území Čech (CHLÁDEK, 2007, s. 32). Tento zákaz platil i po jeho smrti, než ho ve 12. století zrušil papež Innocence IV. na prosbu krále Václava I. Následně byla pivu vrácena funkce postního nápoje, což bylo mimo jiné příčinou velkého rozmachu pivovarnictví nejen v klášterech, ale i v řadách šlechticů a měšťanů (BASAŘOVÁ a kol., 2011, s. 21).

Nadační listina staroboleslavské kapituly, vydaná českým knížetem Břetislavem, je prvním historickým dokladem, přímo souvisejícím s procesem výroby piva (CHLÁDEK, 2007, s. 33). Kníže Vratislav II., který panoval od roku 1085 do roku 1092, založil vyšehradskou kapitolu a v její nadační listině se panovníkům kromě platů, darů a nemovitostí přiděluje také desátek chmele pro vaření piva. Zmiňuje se zde také pivovar na Trávníku, ležící na břehu Botiče přímo pod Vyšehradem (BASAŘOVÁ a kol. 2011, s. 22).

Se vznikem královských měst je také spojen další rozvoj pivovarnictví v našich zemích. Panovníci si zejména ve 12. a 13. století upevňovali moc v daných regionech zakládáním měst, která řídili jejich zástupci. Jako nástroj k udržení loajality poddaných sloužilo takzvané právo várečné, což bylo nové privilegium vaření piva. Právo várečné získali pouze ti, kteří vlastnili ve městě dům a byli tak řádnými občany královského města. To byl začátek pivovarství v celé řadě královských měst. Mezi nejstarší královská města, ve kterých se vařilo pivo, patřily Svitavy (rok založení 1256), Žatec (rok založení 1261), který je proslulý v celém světě vynikajícím chmelem a České Budějovice, které založil Přemysl Otakar II. v roce 1265. Právo vařit pivo mělo samozřejmě i město Plzeň, založené Václavem II. roku 1295. Na tomto místě nejprve měšťané vařili pivo v každém z právovárečných domů, ale později se rozhodli postavit společný pivovar. Tato skutečnost je doložena zmínkou z roku 1305 (CHLÁDEK, 2007, s. 34).

Chládek (2007, s. 35) dále uvádí, že ke sdružování právovárečníků začalo poté docházet ve většině měst. Vznikaly další společné pivovary, které měly lepší vybavení

a postupně začaly získávat i stálé zaměstnance. Ve městech tak vznikla nová skupina obyvatel, která byla pojmenována pivovarská chasa. V období středověku se vaření piva nepovažovalo za řemeslo, ale za obchod. Řemeslem bylo uznáváno pouze sladovnictví. Tato skutečnost přinášela konflikty mezi měšťany, protože pivo mohl připravovat každý, kdo měl právo várečné. Česká piva byla ve středověku velice chutná. K nejoblíbenějším patřila piva z Rakovníka, Starého Města pražského nebo Domažlic. Pivo bylo dodáváno na císařský dvůr a dokonce se vyváželo do zahraničí.

Se zdokonalováním řemesel docházelo ve středověku ke sdružování do tzv. cechů. Tyto cechy měly své regule a řády. Dohlížely na cenu surovin a samotného piva, kontrolovaly jeho kvalitu a určovaly množství, které směli jednotliví měšťané uvařit. Cechy nejdříve sdružovaly pouze sladovníky, ale později začaly přijímat i pivovarníky a pivovarskou chasu (BASARŮVÁ a kol., 2011, s. 27).

Důležitým mezníkem pro další rozvoj pivovarství bylo zrušení nevolnictví v Českých zemích v roce 1781. Došlo totiž ke značnému přílivu pracovních sil do měst. Byly také učiněny některé významné objevy v oboru techniky (CHLÁDEK, 2007, s. 40).

4.2.2 Založení městského pivovaru v Plzni

Významným mezníkem pro naše, ale i světové pivovarství bylo podle Chládky (2007, s. 41–46) založení Měšťanského pivovaru v Plzni roku 1839. Plzeňské pivo se v té době vařilo velice nekvalitní, a tak se měšťanstvo rozhodlo problém vyřešit. Z Bavorska byl přivezen sládek Josef Groll, který zde byl na zkušené. Ten uvařil první várku světlého piva, vyrobenou spodním kvašením. Plzeňští měšťané byli výsledkem nadšeni. Nový typ piva byl více chmelený, méně sladký a nenechával se úplně prokvasit. Vaření tohoto nového typu piva změnilo pivovarské řemeslo postupně v sladovnický a pivovarský průmysl. Menší pivovary byly nuceny svoji existenci ukončit, nebo musely přejít na výrobu nového typu piva. V Čechách bylo v roce 1879 v provozu 884 pivovarů a pouze jeden z nich vyráběl svrchně kvašená piva. Výroba piva na našem území se od roku 1884 zaměřila na výrobu pouze spodně kvašeného piva. Následně v důsledku toho došlo k významnému poklesu počtu pivovarů na pouhých 571 v roce 1910.

Ke značnému rozvoji pivovarského průmyslu dochází ve druhé polovině 19. století. Mnoho nemoderních závodů je zrušeno a dochází ke vzniku moderních průmyslových provozů, které mají obrovské výrobní kapacity. Tyto velké pivovary snižují cenu piva na

trhu a menší provozy jim nejsou schopny konkurovat a mnohdy krachují. Největší produkce piva byla v Čechách před první světovou válkou, konkrétně od roku 1911 do roku 1912 (CHLÁDEK, 2007, s. 46).

4.2.3 Období světových válek

Výrobu piva taktéž významně ovlivnilo období první světové války. Muži pracující v pivovarech byli povoláni do zbraně a armádě musely být poskytnuty také koně a pivovarské povozy. Tyto skutečnosti ochromily jak výrobu, tak distribuci piva. Válka měla za následek také nedostatek surovin, a tak se k vaření piva používaly různé náhražky.

Po válce dochází k postupnému zvyšování produkce piva. Roste i export, a to především do Německa. K dalšímu strmému poklesu výroby dochází v letech 1933-1937, což bylo období světové hospodářské krize. Následuje znovu oživení trhu a další ranou pro pivovarství je druhá světová válka. V jejím průběhu se vyráběla pouze nízkostupňová piva. Jedinou výjimkou byl plzeňský Prazdroj, neboť dodával pivo německé armádě (CHLÁDEK, 2007, s. 53–54).

4.2.4 Období mezi roky 1945–1989

V období po skončení druhé světové války dochází ke znárodnění nejprve největších a později i menších pivovarů. Dochází ke vzniku velkých národních podniků i dalších subjektů. Na území jednotlivých krajů vzniklo v roce 1960 osm národních podniků. Do západních zemí v té době exportuje pivo jenom Budvar České Budějovice a Prazdroj Plzeň. Zbývající pivovary jsou kapacitně přetíženy a výroba v nich je zastaralá (BASAROVÁ a kol., 2011, s. 115).

4.2.5 Období po roce 1989

Změny na politické scéně přinesly podle Chládky (2007, s. 55–56) i významné změny v pivovarství. Byl zrušen národní koncern a z něj bylo vytvořeno osm státních pivovarských podniků. Některé pivovary byly svým původním majitelům navraceny v restitucích. Téměř všechny ostatní pivovary byly zprivatizovány a množství vlastní zahraniční majitelé. V těchto podnicích dochází k obrovským investicím do pivovarských technologií, kvalita piva roste a to je patrné i na zvyšujícím se vývozu piva i objemu jeho výroby.

4.3 Co je pivo?

Pivo je slabý alkoholický nápoj, který se vyrábí řízeným kvašením cukerného roztoku. Roztok je povařen s chmelem nebo chmelovým výrobkem, kvašen určitým druhem pivovarských kvasinek při daných teplotách a dobách hlavního kvašení a ležení piva. Zdrojem cukru je u nás nejčastěji škrob, který je obsažen v ječném sladu. Výjimečně můžeme škrob nahradit přímo cukrem nebo jinou surovinou, obsahující škrob (CHLÁDEK, 2007, s. 57–58).

4.4 Suroviny pro výrobu piva

K výrobě piva se dnes používají čtyři základní suroviny. Jedná se o vodu, kvasnice, ječné a pšeničné slady a chmel. U některých levnějších druhů piv se místo sladu používají jeho náhražky, tzv. surogáty, což je cukr, nesladovaný ječmen a někdy i kukuřičný sirup (HASÍK, 2013, s. 28).

4.4.1 Slad

Slad je pro výrobu piva nezbytný. Je vyráběn z obilí, a to nejčastěji z ječmene. Ten je nejvhodnější z chuťových důvodů, ale také proto, že jednotlivá zrna jsou obalena slupkou. Tyto slupky, kterým se říká pluchy, umožňují lepší filtraci piva (HASÍK, 2013, s. 29).

Podle Pelikána a kol. (2002, s. 2) slad, jakožto základní surovina, ovlivňuje technologický postup a má podstatný význam pro vlastnosti finálního produktu. Při vaření se vylouhují ze sladu cukry (uhlohydráty) a jejich kvašením pak vzniká alkohol. Nezkvašené zbytky dodávají pivu chuť.

Pivovarské kvasinky nejsou schopny rozkládat některé polysacharidy, obsažené v obilí. Dokáží ale rozkládat jednodušší cukry, které vznikají při klíčení obilí. To se musí nejprve vytřídit a vyčistit. Další základní činností sladovnictví je namáčení, klíčení a sušení obilí. Klíčení probíhá asi 5–6 dní a obilí se musí neustále převrstvovat. Pak se klíčení přeruší a tzv. „zelený“ slad se suší vzduchem. Barva hotového sladu závisí na teplotě sušícího vzduchu. Pro světlá piva je teplota nejnižší, naopak pro tmavá piva nejvyšší. Vyrostlé klíčky se strojně odstraňují a slad je uskladněn. Při klíčení v zrnech vznikají přirozená konzervační činidla, která zabraňující napadání plísněmi (HASÍK, 2013, s. 32).

4.4.2 Chmel

Chmel se přidává do piva během tzv. chmelovaru, kdy se vaří scezená sladina (HASÍK, 2013, s. 33). Mezi nejdůležitější složky chmele patří chmelová pryskyřice, silice a třísloviny. Pryskyřice dávají pivu hořkost a třísloviny pivo čistí při chmelovaru vysrážením bílkovin.

Chmel rozdělujeme na rané, polorané a pozdní odrůdy a rozlišujeme v zásadě tři druhy chmele. Je to zeleňák, poločerveňák a červeňák. Na našem území se pěstuje převážně červeňák a patrně neznámějším a nejobdivovanějším ve světě je poloraný žatecký červeňák. Jeho kvalita je dána úžasnou kombinací všech látek, které obsahuje (HASÍK, 2013, s. 36). Hlávkový chmel se podle Basařové a kol. (2011, s. 53) začal postupně nahrazovat chmelem granulovaným či mletým, nebo jeho extrakty. Jejich kladem je lepší využitelnost hořkých látek. Tyto postupy se používají jak v našich, tak v zahraničních pivovarech. Pivo takto upravené méně podléhá zkáze. Klasický chmel, ne granulát, používá jako jeden z mála českých pivovarů budějovický Budvar (VEČERKOVÁ, 2007, s. 14).

4.4.3 Voda

V potravinářství patří sladařský a pivovarský průmysl mezi největší spotřebitele vody. Na výrobu 100 kg sladu je potřeba 10-15 hl vody a v pivovarech na 1 hl piva 7–10 hl vody. Voda je v pivu zastoupena 80–90%. Kvalita a vlastnosti vody, jak podotýká Hasík (2013, s. 37) mají zásadní vliv na vlastnosti i jakost piva. Důležitá je také tvrdost vody, daná obsahem vápenatých a hořečnatých solí. Vhodnější je použití měkké vody, která na vlastnosti piva tolik nepůsobí.

4.4.4 Kvasnice

Pivovarské kvasnice přeměňují některé cukry v mladině na alkohol a oxid uhličitý. K výrobě piva se používají kvasnice druhu *Sacharomyces*. Pro spodní kvašení je to kmen *Sacharomyces carlsbergensis* a pro kvašení horní kmen *Sacharomyces cerevisiae*. Rozdílná je teplota, při které tyto druhy pracují. Ideální teplota pro spodní kvašení je 8–12°C. Při těchto teplotách nevzniknou vedlejší vonné látky. Pivo voní po sladu a chmelu. Kvasnice při svrchním kvašení pracují nejlépe při 15–25 °C, kdy vznikají vonné látky – estery. Z toho

důvodu mohou tato piva vonět po koření či ovoci, aniž se tam ve skutečnosti přidají (HASÍK, 2013, s. 39).

4.5 Šrotování

Podle Chládky (2007, s. 59) se výroba piva skládá z několika fází, z nichž první je šrotování. Šrotování je proces mechanického zpracování sladu, kterým se zrna sladu rozdrťí. Cílem šrotování je maximalizace výtěžnosti sladu, což je klíčové pro výslednou kvalitu piva. Šrotování může být provedeno různými způsoby a v různých typech strojů, aby se dosáhlo co nejlepšího výsledku. Někdy se před drcením slad navlhčí, aby se usnadnilo drcení a nepoškodily se pluchy, které chrání zrna.

Po dokončení šrotování se získá sladový šrot, který obsahuje rozdrčená zrna sladu. Tento sladový šrot se poté dále zpracovává v dalších fázích výrobního procesu. Sladový šrot se někdy nazývá také jako sladová tluč, což je odborný výraz pro tuto formu sladu.

Správné šrotování sladu je klíčové pro kvalitu a chuť finálního produktu, protože určuje, kolik sladu bude využito v procesu vystírání a kolik enzymů a rozpustných složek sladu se uvolní. Nedostatečné nebo příliš hrubé šrotování může vést k nízké výtěžnosti sladu a nižší kvalitě sladové vody, což může negativně ovlivnit chuť a aroma piva.

4.6 Vystírání a rmutování

Odvážený sladový šrot se na začátku vaření várky smíchá s vodou v takzvané vystírací kádi, nebo ve rmutovystírací pánvi. Takto vzniklá směs se nazývá vystírka, nebo také dílo a je třeba ji rmutovat. Basařová a kol. (2010, s. 159–160) popisují, že se ke rmutování využívají vyhřívané nádoby, které mají kruhový půdorys. Dříve byly tyto nádoby vyhřívány přímým otopem dřevem, nebo uhlím, později pak i topným plynem. V dnešní době se většinou k otopu používá nepřímý duplikátorový ohřev, nejčastěji za použití syté vodní páry, která má přetlak 0,3–0,4 MPa. Další možnosti vyhřívání nádob jsou ohřev tlakovou horkou vodou, vstříkem horké páry přímo do mladiny, nebo horkým olejem. Při ohřívání rmutu záleží rychlost ohřevu na velikosti výhřevné plochy a většinou se teplota rmutu zvyšuje asi o 1 °C za minutu.

Když se sladový šrot promíchá s vodou, tak rozemletá zrna přibližně za 10 minut nabobtnají. Dílo je poté pomalu zahříváno, tedy rmutováno. Když dílo dosáhne teploty 52 °C, vzniká ze zrn škrobový maz. Zahřívání pozvolna pokračuje, až dílo dosáhne takzvané

nižší cukrotvorné teploty, která je asi 65 °C. Při této teplotě začne škrobový maz ztekucovat, což zabere asi půl hodiny. Po ztekucení škrobového mazu se rmut zahřeje na vyšší cukrotvornou teplotu 72–75 °C a zcukřuje.

Tento základní postup lze provádět dvěma způsoby, které se nazývají dekokční rmutování a infuzní rmutování. Tyto varianty mají odlišný technologický postup a i nároky na technické zařízení pivovaru se při každé z nich liší (CHLÁDEK, 2007, s. 60).

Dekokční rmutování je způsob rmutování, který se nejvíce hodí pro spodně kvašená piva plzeňského typu. Při vaření českého ležáku se obvykle používají dva rmuty (HASÍK, 2013, s. 44). První krok spočívá v ohřátí vody na 37 °C a následném přidání sladového šrotu, který se 10–15 minut míchá a ohřívá na 52 °C. Poté se jedna třetina díla (první rmut) přečerpá do rmutovací pánve, kde se zahřívá na teplotu 72–75 °C. Po zcukření se rmut povaří a vrátí k původnímu dílu, což způsobí, že se celé dílo zahřeje na teplotu cca 65 °C. Poté se znovu přečerpá třetina (druhý rmut) a postup se opakuje. Vrácením druhého povařeného rmutu se celé dílo zahřeje na teplotu cca 75 °C (CHLÁDEK, 2007, s. 62).

Infuzní rmutování je nejjednodušší a také nejstarší způsob rmutování piva, který se používá zejména pro piva svrchně kvašená. Na rozdíl od dekokčního způsobu rmutování není potřeba žádné přečerpávání sladiny, a tak stačí jedna nádoba. Při infuzním rmutování se sladový šrot nejdříve vystře do vody o teplotě přibližně 60 °C a ponechá se tam zhruba 45 minut. Poté se teplota díla zvyšuje na 72 °C a udržuje se přibližně další hodinu při této teplotě, aby došlo ke zcukření. (CHLÁDEK, 2007, s. 62)

4.7 Scezování sladiny

Po dokončení procesu rmutování vznikne směs, kterou je třeba rozdělit na dvě fáze – kapalnou (sladinu) a pevnou (mláto). Tento proces se obvykle provádí ve scezovací kádě, kam se dílo přečerpá z vystírací kádě. Mláto, tedy pevná fáze, postupně sedimentuje na dno scezovací pánve, kde vytváří vrstvu, přes kterou protéká sladina, čímž se čistí. Pokud není sladina dostatečně čirá, přečerpá se zpět do scezovací kádě a filtruje se znovu. Když je sladina dostatečně čirá, nazývá se předek. Zbylé mláto, které obsahuje stále hodně cukru, se prolévá horkou vodou, což se nazývá vyslazování. Při vyslazování se horká voda, kterou se propláchnou mláto nazývá výstřelek. Vyslazené mláto lze použít jako krmivo pro zemědělské podniky (CHLÁDEK, 2007, s. 63).

4.8 Výroba mladiny

Chládek (2007, s. 64) uvádí ve své publikaci, že dostatečně čirá scezená sladina se spolu s výstřelky přečerpá do mladinové pánve, kde se promíchají a sacharometrem se změří jejich celková stupňovitost. Když stupňovitost odpovídá požadavkům procesu, může se přejít ke chmelovaru, jehož výsledkem by měla být mladina.

4.8.1 Chmelovar

Chmelovar je proces, při kterém se sladina získaná rmutováním a scezováním vaří v mladinové pánvi spolu s přidaným chmelem, nebo chmelovým extraktem. Při vaření sladiny s chmelem dochází k mnoha fyzikálním, chemickým a biochemickým reakcím, které jsou současně ovlivněny mechanickým pohybem. Výsledkem těchto reakcí je změna složení mladiny, což má vliv na další průběh technologie a vlastnosti piva. Proces chmelovaru je velmi variabilní a závisí na používaných surovinách, technologickém vybavení a různých modifikacích technologického postupu. Cílem těchto modifikací je zajistit kvalitní pivo s určitými specifickými vlastnostmi pro každou značku piva. Kromě vaření s chmelem může být proces chmelovaru ovlivněn i dalšími faktory, jako je délka vaření, teplota, použití různých druhů chmele či další suroviny přidávané během procesu. Celkově je chmelovar velmi důležitý pro konečnou kvalitu piva a jeho proces je pečlivě řízen a upravován v závislosti na potřebách konkrétní značky, nebo druhu piva (BASÁŘOVÁ a kol., 2010, s. 179).

Podle Kosaře a kol. (2000, s. 208) je při procesu chmelovaru velice důležité odpaření přebytečné vody, převedení hořkých látek z chmele a jejich částečná změna, inaktivace enzymů, sterilizace mladiny a koagulace bílkovin. Při vyslazování mláta, jak bylo uvedeno v kapitole 4.7, může sladina obsahovat přebytek vyslazovací vody, kterou je nutno v procesu chmelovaru odpařit, aby byla získána mladina požadované koncentrace. Chmelovar tedy musí být dostatečně dlouhý a také dostatečně intenzivní. Běžně tento proces trvá zhruba 90–120 minut s tím, že u moderních systémů může být i kratší a to zhruba 65–80 minut.

4.8.2 Způsoby otopů mladinové pánve

Při chmelovaru je nutné, aby mladinová pánev měla zdroj tepla, který zajistí dostatečně intenzivní vaření mladiny. Existuje mnoho způsobů, jak vyhřívat mladinovou pánev. Mohou být použity přímé, nebo nepřímé zdroje tepla, paliva tuhá, kapalná, či plynná, sytá pára, nebo

vysokotlaká horká voda. Topná plocha může být umístěna buď pod pánev nebo mohou být použity interní a externí vařáky s různými konstrukcemi (BASAŘOVÁ a kol., 2010, s. 192).

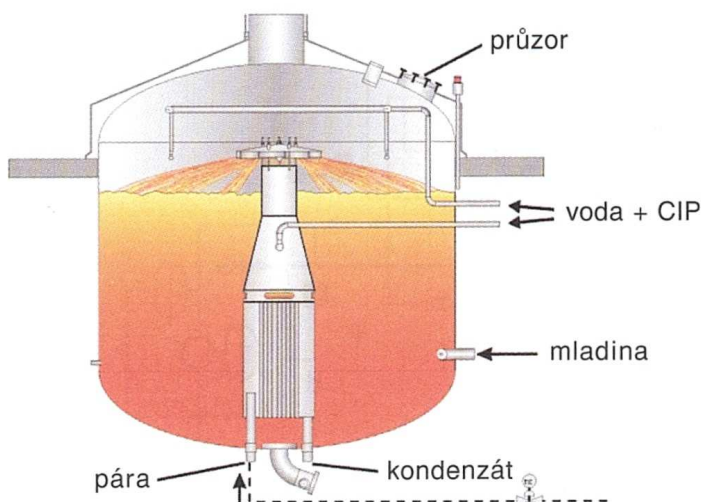
Kosař a kol. (2000, s. 215) popisují ve své publikaci, že se dříve u mladinových pánví používal výhradně přímý otop, od čehož se v současné době ustoupilo. U dnešních pánví převládá hlavně otop nepřímý, a to sytou párou, která má přetlak 0,3–0,4 MPa. Někdy se také používá horká tlaková voda o teplotě 160–170 °C. U větších pánví však není tento otop dostatečný, kvůli malé teplosměnné ploše, a tak bylo nutno plochy upravovat např. topnými hady, konstrukcemi kaskádových perkolátorů a později pak vnitřními vařáky.

4.8.3 Mladinová pánev s vnitřním vařákem

Podle Kosaře a kol. (2000, s. 215) jsou vnitřní vařáky zařízení, která slouží k ohřevu mladiny v mladinových pánvích. Jsou tvořeny válcovými trubkovými výměníky umístěnými v centrální ose mladinové pánve na speciálních nožičkách, které plní funkci přívodu topné páry a odvodu kondenzátu a zároveň udržují pozici interního vařáku ve středu pánve. Mladina prochází vnitřky trubek, ohřívá se k varu a vystupuje do kónického pláště, kde se nachází hrdlo, které navede směs mladiny a vodní páry do vhodně tvarovaného klobouku. Ten rozděluje vystupující směs po hladině mladiny v pánvi (viz obrázek 1). Vzdálenost klobouku od hrdla je polohovatelná, aby se zajistila správná dopadová poloha mladiny.

Výhody vnitřních vařáků jsou zřejmé. Tato zařízení nezabírají mnoho prostoru mimo mladinovou pánev, což je výhodné pro pivovary, které mají omezený prostor. Dále mají nižší pořizovací náklady a menší tepelné ztráty, což je ekonomicky i energeticky efektivnější řešení.

Obrázek 1 Schéma vnitřního vařáku s usměrněným tokem mladiny

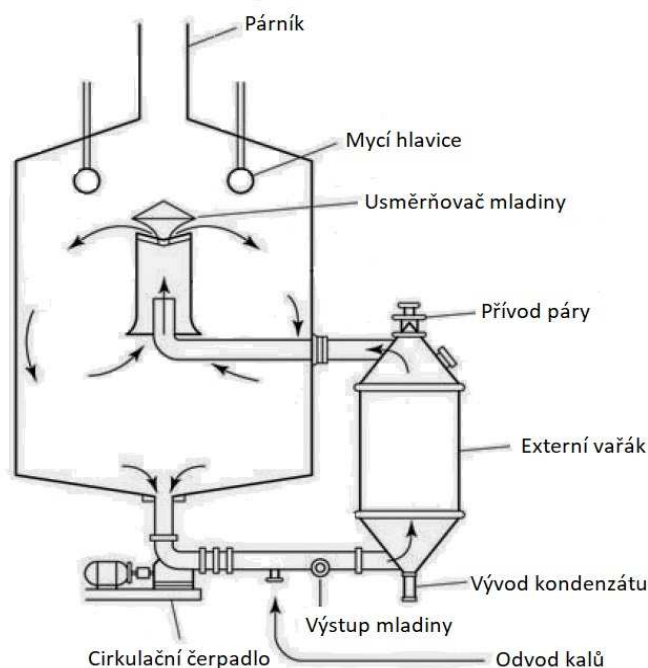


Zdroj: Basařová a kol., 2010, s. 196

4.8.4 Mladinová pánve s vnějším vařákem

Vnější vařák je zařízení sloužící k ohřevu mladiny mimo samotnou mladinovou pánve. Tento vařák (viz obrázek 2) je tvořen z trubkového, nebo deskového tepelného výměníku. Mladina je odebírána čerpadlem ze dna mladinové pánve a vstupuje do externího vařáku, kde se ohřeje na požadovanou teplotu. Poté je mladina opětovně přečerpána zpět do mladinové pánve. Obvykle se u vývodu ohřáté mladiny nachází usměrňovač, který usměrňuje výstup mladiny z vařáku. Teplota mladiny při výstupu z vařáku je regulovatelná škrtícím ventilem, nebo změnou otáček oběhového čerpadla v rozsahu 102–105 °C. Výhodou vnějších vařáků je přesné nastavení výstupní teploty a nižší nároky na čištění. Na rozdíl od vnitřních vařáků zvládnou až čtyřikrát více várek v jednom čistícím cyklu. Avšak nevýhodou vnějších vařáků je vyšší pořizovací cena, vyšší náklady na provoz a nutnost pořízení cirkulačního potrubí a výkonného čerpadla (KOSAŘ a kol., 2000, s. 217).

Obrázek 2 Schéma mladinové pánve s externím vařákem



Zdroj: Vlastní zpracování dle Hough a kol., 1982, s. 506

4.8.5 Chmelení

Basařová a kol. (2010, s. 193) uvádí, že se dříve k obohacení mladiny o hořké chmelové látky používal lisovaný chmel, ale nyní se stále více používají chmelové přípravky, které umožňují snadnější manipulaci a poloautomatické, či automatické dávkování, což přispívá ke snížování nákladů. K dispozici je dnes celá řada granulovaných chmelových výrobků, standardních dvousložkových extraktů, které obsahují i polyfenolové látky, jednosložkových extraktů obsahujících pouze pryskyřice a silice, extraktů vyrobených pomocí superkritického oxidu uhličitého, nebo speciálních izoextraktů, které je možno používat i za chladu k dodatečnému ochmelení a dosažení požadované hořkosti.

V poslední době se z chmele vedle extraktů hořkých látek také vyrábějí extrakty chmelových polyfenolů. Tyto extrakty napomáhají zlepšovat chuť a aroma piva, prodlužují jeho trvanlivost a snižují riziko vzniku nepříjemných chutí a zápachu. Mohou mít také pozitivní vliv na stabilitu pěny a vzhled piva. Extrakty dále pozitivně ovlivňují i koloidní stabilitu piva, která je též významná pro udržení kvality piva a jeho trvanlivosti a zároveň pro zachování konzistence a vzhledu. Při výběru chmele a chmelových výrobků je důležité

znát odrůdu chmele, ze které byly připraveny. Přípravky z vysokoobsažných chmelů vyžadují delší dobu varu k odstranění sensoricky negativních složek. Na druhé straně se výrobky z jemných a ušlechtilých chmelů, které jsou dražší, používají při diferencovaném dávkování a až v posledních dávkách, aby zůstal zachován vyšší podíl jemného spektra aromatických látek v mladině.

4.8.6 Dávkování chmele a chmelových výrobků

V dnešní době se podle Basařové a kol. (2010, s. 193) určuje množství chmele a chmelových přípravků na základě obsahu α -hořkých kyselin v jednotlivých produktech. Pro stanovení dávky se vychází z požadovaného množství izosloučenin ve vyráběném pivu, které se pohybuje v rozsahu 18–36 mg na jeden litr u českých piv. U zahraničních piv je rozptyl spíše směrem k nižší hodnotě a předpokládaného využití množství hořkých látek chmele a chmelových přípravků. To je ovlivněno hlavně druhem chmelení a technologickým postupem konkrétního pivovaru. Výtěžnost hořkých látek se pohybuje v průměru od 25 do 35 % a je nižší při krátkém chmelovaru, intenzivním chlazení mladiny, teplém kvašení a dlouhém dokvašování.

Způsob dávkování chmele a chmelových výrobků se odlišuje podle druhu používané suroviny a technologického postupu chmelovaru. Tradiční chmelovar vyžaduje 90–120 minut na rozpuštění a izomeraci α -hořkých kyselin pro hlávkový chmel. Při použití více druhů hlávkového chmele je pravidlem nejdříve dávkovat vysokoobsažné chmele a aromatické chmele přidat až ke konci varu. Granulovaný chmel potřebuje 70–90 minut na rozpuštění, chmelový extrakt 90 minut za atmosférického tlaku. Hodnoty času pro nízkotlaký a vysokotlaký var jsou nižší, ale mohou u nich vznikat problémy s dosažením požadovaného chmelového aroma.

Chmelení se obvykle provádí ve třech dávkách. Je ale také možné chmelení provádět pouze v jedné, nebo ve dvou dávkách. Basařová a kol. (2010, s. 194) doporučují jednorázovou dávku přidat buď na začátku, nebo zhruba 15 minut po začátku varu.

Když se chmelení bude dělat ve dvou fázích, je vhodné první dávku o objemu zhruba 75 % z celkového chmelení dát na začátku, nebo asi 10 minut po začátku varu. Zbýlých 25 % (druhou dávku) pak přidat asi 10–30 minut před koncem varu.

Při třech dávkách se obvykle první část z celého chmelení (asi 50 %) přidá na začátku, nebo asi 10 minut po začátku varu. Druhý díl (asi 35 %) se přidá zhruba 50–60 minut před

koncem varu a zbylých asi 15 % se přisype cca 10–30 minut před dovařením. Časové rozložení dávkování chmelových výrobků závisí na typu vyráběného piva. Pro piva s nižší hořkostí a slabším chmelovým aroma stačí jedna dávka po začátku chmelovaru, u piv s požadovanou vyšší hořkostí a chmelovým aroma se doporučují dvě, nebo i tři dávky chmele, či chmelových výrobků.

4.8.7 Koagulace bílkovin a tvorba lomu

Basařová a kol. (2010, s. 183–184) popisují, že proces koagulace (srážení částic v roztoku do větších celků) dusíkatých látek při vaření piva a jejich vysrážení ve formě lomu (vloček) jsou důležité prvky pivovarské technologie, které ovlivňují chuť a koloidní stabilitu piva. Hlavními faktory, které ovlivňují koagulaci proteinů při chmelovaru, jsou teplota, doba, tlak, pohyb, složení mladiny a pH. Když nedochází k dokonalému vysrážení lomu, zůstává v mladině rozpuštěno velké množství vysokomolekulárních sloučenin, které ztěžují filtraci piva a mohou způsobit předčasnou tvorbu koloidních zákalů a tzv. bílkovinnou hořkost piva, což je nežádoucí.

Koagulace dusíkatých látek je fyzikálně-chemický proces, který probíhá ve dvou stupních. V prvním stupni dochází k dehydrataci proteinů a v druhém stupni dochází ke koagulaci dusíkatých látek, kdy se v amfoterních dusíkatých látkách pozitivní a negativní skupiny vzájemně neutralizují a vylučují se z roztoku nejdříve jako jemný, později jako hrubší lom. Optimální pH pro vylučování proteinů z roztoku je 5,2.

Při přípravě technologického postupu je třeba volit kompromis optimální teploty a doby varu pro dané technologické zařízení. Nesmí se zbytečně zkracovat doba a snižovat teplota varu, přestože se jedná o ekonomicky přínosné postupy, neboť je třeba uvážit, že i nadměrná teplota a doba varu značně mění vlastnosti mladiny a následně tedy i piva.

4.8.8 Vylučování hrubých a jemných kalů

Během procesu vaření piva dochází ke koagulaci proteinů, což zahrnuje tvorbu jak hrubých, tak jemných kalů. Polyfenoly obsažené ve sladu a chmelu nejsou přímo vázány na proteiny, ale jsou vázány na dusíkaté látky pomocí vodíkových můstků. Tyto vodíkové můstky jsou velmi nestabilní při vaření, ale redukční vlastnosti polyfenolů chrání volné SH-skupiny proteinů a umožňují další interakce mezi proteiny a polyfenoly. K interakcím mezi proteiny a polyfenoly dochází až při poklesu teploty pod 80 °C. Hrubé, neboli horké

kaly, se vylučující po ukončení chmelovaru a v počátečních fázích chlazení mladiny, či při tangenciálním nátoku mladiny do vířivé kádě. Jemné, neboli chladové kaly, se vylučující při dochlazování mladiny na zákvasnou teplotu (BASAROVÁ a kol., 2010, s. 184).

4.9 Separace hrubých kalů

Po úspěšně provedeném chmelovaru v mladině vznikne hrubý kal, tvořený vysráženými vločkami ve formě lomu, jak bylo již uvedeno v předchozí kapitole. Obvyklá velikost částic hrubých kalů je zhruba 30–80 μm . Úplné rozmezí výskytu ale zahrnuje částice o velikostech od 0,5 do 500 μm a je tedy podstatně širší. Čím jsou vločky větší, tím rychleji sedimentují a tím kompaktnější vrstvu sedimentu tvoří. Skládají se zejména z bílkovin, hořkých látek, mastných kyselin, polyfenolů a minerálních látek, přičemž jejich vzájemný poměr může značně kolísat. Kosař a kol. (2000 s. 230) uvádí ve své publikaci, že množství hrubého kalu se může pro různé postupy vaření piva výrazně lišit. Tato hodnota významně závisí na rmutovacím postupu, obsahu dusíku a rozluštění sladu, zákalu při scezování, provzdušnění mladiny, pH a na době a intenzitě chmelovaru. S intenzitou rmutování klesá množství hrubých kalů v mladině. Když při chmelovaru dochází k poklesu pH, množství hrubých kalů naopak roste.

Hrubé kaly je z mladiny nutno pokud možno úplně oddělit. Je to z důvodu, že hrubé kaly zanášejí povrch kvasničných buněk, tím se snižuje účinnost procesu kvašení. Dále zhoršují vyčiření a filtrovatelnost piva, což může způsobit častější zanášení filtrů a celkové zpomalení procesu filtrace. Když pivo obsahuje vyšší množství hrubých kalů, může pak mít nežádoucí hrubou hořkost, kalovou chuť a mohou být zhoršeny jeho pěnotvorné vlastnosti. Dalším negativním dopadem vysokého obsahu hrubých kalů v mladině je častější zanášení potrubí a jiných strojních zařízení pivovaru. Po separování hrubých kalů by měla celková hmotnost sušiny hrubých kalů v mladině být nižší, než 100 mg na jeden litr.

Nedostatečné odloučení hrubých kalů může být zapříčiněno nevhodnou metodou, či nevhodnou konstrukcí zařízení pro separaci hrubých kalů, ale také nedostatky, případně chybami v předchozích operacích, jako je například kalné scezování, které může být způsobeno špatnou kvalitou použitého sladu, vysokým pH při rmutování a chmelovaru, nebo nedostatečným provařením, či poškozením lomu nešetrným mícháním a čerpáním.

K separaci hrubých kalů se používá řada postupů, které se stále vyvíjejí. Kosař a kol. (2000, s. 230–231) rozdělují zařízení určená pro sběr a separaci hrubých kalů následovně:

- Chladicí stoky
- Usazovací kád'
- Vířivá kád'
- Sběrače kalů
- Odstředivky

4.10 Chladicí stoky

Basařová a kol. (2010, s. 211) popisují, že chladicí stoky jsou ploché nádoby, vyráběné ze železných a dříve také měděných plátů. Disponují mírně skloněným dnem a jsou umístěny na železných nosnících, obvykle nad spilkou v prostoru, který je dobře odvětrávaný pomocí postranních žaluzií. Výška mladiny v chladicích stokách po přečerpání je v rozmezí 150 až 300 mm. V pivovaru hrozilo nebezpečí infekce z okolního prostředí, proto byly stoky někdy umísťovány do uzavřených prostor a větrány za pomoci filtrovaného vzduchu.

Fungují tím způsobem, že se po chmelovaru mladina s teplotou 95–97 °C přečerpává na chladicí stok do rovnoměrné vrstvy, která se postupně ochlazuje díky konvekci, což je proces přenosu tepla pomocí proudění média, v tomto případě vzduchu. Konvekce funguje tak, že vzduch se ohřívá v místě, kde je mladina nejteplejší, stoupá vzhůru a tím umožňuje proudění chladnějšího vzduchu z okolí k mladině. Tento proud vzduchu pak ochlazuje vrstvu mladiny a tento proces se opakuje, dokud se celá mladina nepodchladí na požadovanou teplotu. Mladina se ochlazuje také vlivem odparu. Odpar má vliv na ochlazování mladiny na chladicím stoku prostřednictvím toho, že odpařováním vody z mladiny spolu s vodní párou odchází i teplo a tím se snižuje její teplota. Rychlost ochlazování také závisí na výšce vrstvy mladiny, teplotě, proudění a vlhkosti vzduchu, což může být velice často ovlivněno ročním obdobím.

Ochlazování i usazování kalů je v prvních fázích chlazení podporováno pohybem mladiny. Dříve bylo ke stahování mladiny k ventilu používáno ručních hřebel, později křídlových větráků, nebo proudu sterilního vzduchu, který byl naháněn nad mladinu. Kosař a kol. (2000, s. 231) uvádí, že s ohledem na nebezpečí kontaminace bylo nutné podle teploty

ovzduší obvykle po 1–2 hodinách zahájit spílání. To bylo z důvodu, aby teplota mladiny neklesla pod 60 °C. Po sespílání mladiny zůstává na povrchu chladicího stoku vrstva kalové mladiny, která má zhruba 5% objem původní várky. Kalová mladina se odváděla do sběrače kalů a byla následně dále zpracována, což mnohdy zahrnovalo i sterilizaci, protože kalová mladina byla velice často kontaminována. Následné zpracování kalové mladiny probíhalo buď na takzvaném kalolisu, nebo za použití odstředivek.

Odparem a ochlazením se sníží objem mladiny ve stoku asi o 7–10 % a hodnota extraktu původní mladiny díky tomu vzroste zhruba o 0,4–1 %.

Dříve hojně využívané chladicí stoky byly ale kvůli značným nevýhodám spojeným zejména s kontaminací, tepelnými ztrátami a náročností na prostor postupně nahrazovány uzavřenými nádobami, a to nejdříve usazovacími káděmi a později pak káděmi vířivými.

Na území České republiky se v současnosti moc chladicích stoků nepoužívá. Jako příklad lze uvést pivovar U Fleků, kde chladicí stok (viz obrázek 3) dodnes používají. Jedná se o jeden z posledních funkčních stoků na světě.

Obrázek 3 Chladicí stok U Fleků



Zdroj: Pivni info, ©2023

4.11 Usazovací kád'

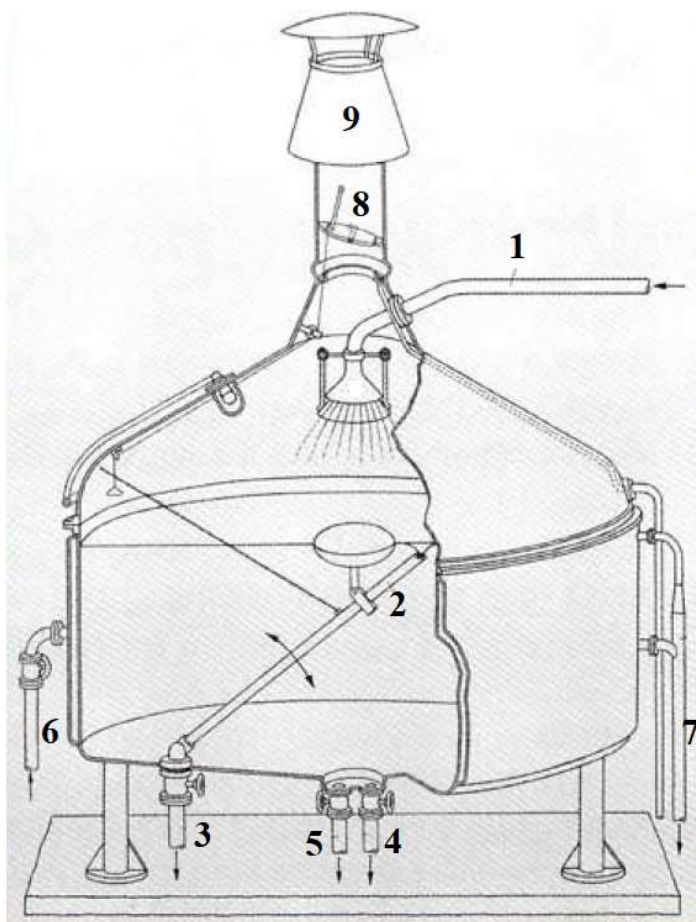
Podle Basařové a kol. (2010, s. 212) se nástupcem chladicích stoků stala uzavřená kád', která se nazývá kád' usazovací (někdy také chladicí kád'). Její velkou výhodou proti chladicím stokům je snížené nebezpečí infekce mladiny a podstatně nižší nároky na prostor.

Bývá to většinou ocelová válcovitá uzavřená nádoba s vestavěnými chladíci hady, popřípadě chladícím duplikátorem, které slouží ke zchlazení mladiny na požadovanou teplotu. Nádoba má ploché dno s mírným spádem ke středu a speciální míchadlo s plovákem, pro odtah vyčiřené mladiny. Tento mechanismus funguje tak, že míchadlo stávající se z duté odtahové trubky pro vyčiřenou mladinu, kterou je třeba odebrat z hladiny mladiny v usazovací kádi, má k sobě připevněno plovák, který drží otvor pro odtah mladiny u její hladiny a vyhýbá se tak nasátí kalů, jak je patrné z obrázku č. 4.

Do kádě se načerpá mladina do výšky 1 až 2 metrů (v závislosti na velikosti pivovaru a jeho výstavu), tím se celé zařízení sterilizuje, protože mladina je horká. Následně se mladina začne chladit. K tomu slouží buď chladící šneky, což je vlastně spirálově natočená trubka, ve které proudí chladící médium, nebo chladící duplikátor, kterým je vestavěný další plášť nádoby ve stěně a chladící médium tak proudí po stranách kádě. Jako chladící médium se většinou používá varní, nebo studniční voda. Mladina se chladí zhruba na teplotu 50 °C, ale při teplotě kolem 60 °C se hrubé kaly ještě krátce zvíří míchadlem, aby s sebou při opětovné sedimentaci strhly i část vyloučených jemných kalů. Po opětovném usazení a dosažení požadované teploty mladiny se mladina začne odčerpávat plovákovým zařízením. Na dně usazovací kádě pak zbývá kalová mladina, která je vypuštěna do sběrače kalů a zpracovává se stejně jako u chladících stoků.

Jsou zde také omezeny tepelné ztráty, protože ohřátá voda, které dodala chlazená mladina své teplo, může být dále použita bez nutnosti ji ohřívat z počáteční teploty.

Obrázek 4 Usazovací kád'



Zdroj: Kunze, 2004, s. 337

1 – přívod horké mladiny, 2 – míchadlo s plovákem, 3 – odvod vyčiřené mladiny, 4 – odvod kalové mladiny, 5 – odvod znečištěné vody, 6 – přívod chladícího média, 7 – odvod horkého chladícího média, 8 – regulovatelná klapka, 9 – párník

4.12 Vířivá kád'

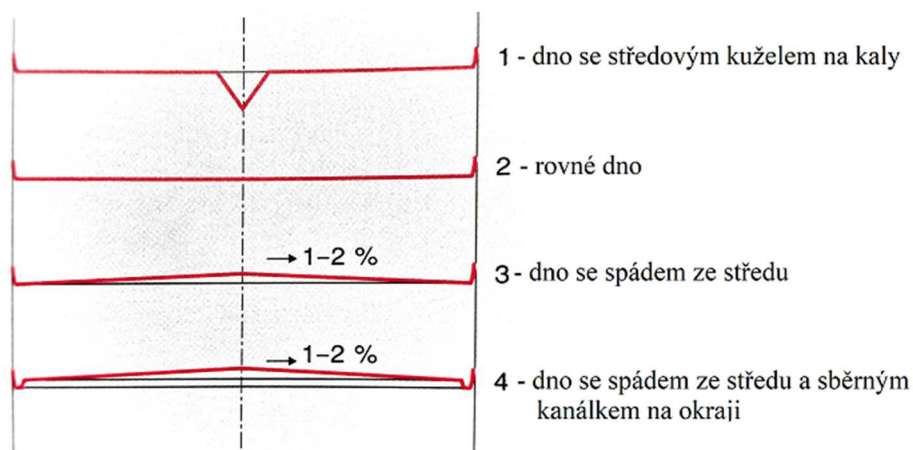
Přibližně od roku 1960 se v pivovarech stále častěji instalují vířivé kádě pro separaci hrubých kalů. Jedná se o nejelegantnější metodu odstraňování hrubých kalů, která je ze všech metod separace nejméně nákladná. Vířivá kád' je vertikální válcová nádoba bez vnitřních armatur, do které se mladina čerpá tangenciálně (podél stěny kádě). Tím se v kádi vytváří rotační proudění, které způsobuje, že se hrubé kaly usazují ve tvaru kužele ve středu nádoby. Mladina se pak odčerpává po stranách, přičemž se usazené kaly do otvorů pro odčerpání nedostanou (KUNZE, 2004, s. 337–338).

4.12.1 Konstrukce vířivé kádě

Kosař a kol. (2000, s. 231–232) popisují ve své knize, že materiál pro výrobu vířivých kádí je většinou nerezavějící ocel. Když má vířivá kád' vhodnou konstrukci, mělo by při správném provozním režimu být možné odtáhnout veškerou mladinu bez stržení kalů z kalového kužele. Kalový kužel v sobě zadržuje mladinu o objemu asi 1 % z celkové várky piva. V porovnání s usazovacími káděmi, nebo chladicími stoky je to zhruba pětina, což je nespornou výhodou vířivé kádě.

Dno vířivé kádě je ploché. Obvykle má mírný sklon 1–2 stupně směrem ke stěnám kádě. Někdy může být také bez sklonu, ale s malým vypouštěcím kuželem ve středu, což je na obrázku č. 5 první příklad provedení. Sklon je závislý na umístění vypouštěcího otvoru na kaly (BASAŘOVÁ a kol. 2000, s. 213).

Obrázek 5 Provedení dna vířivých kádí



Zdroj: Basařová a kol., 2010, s. 215

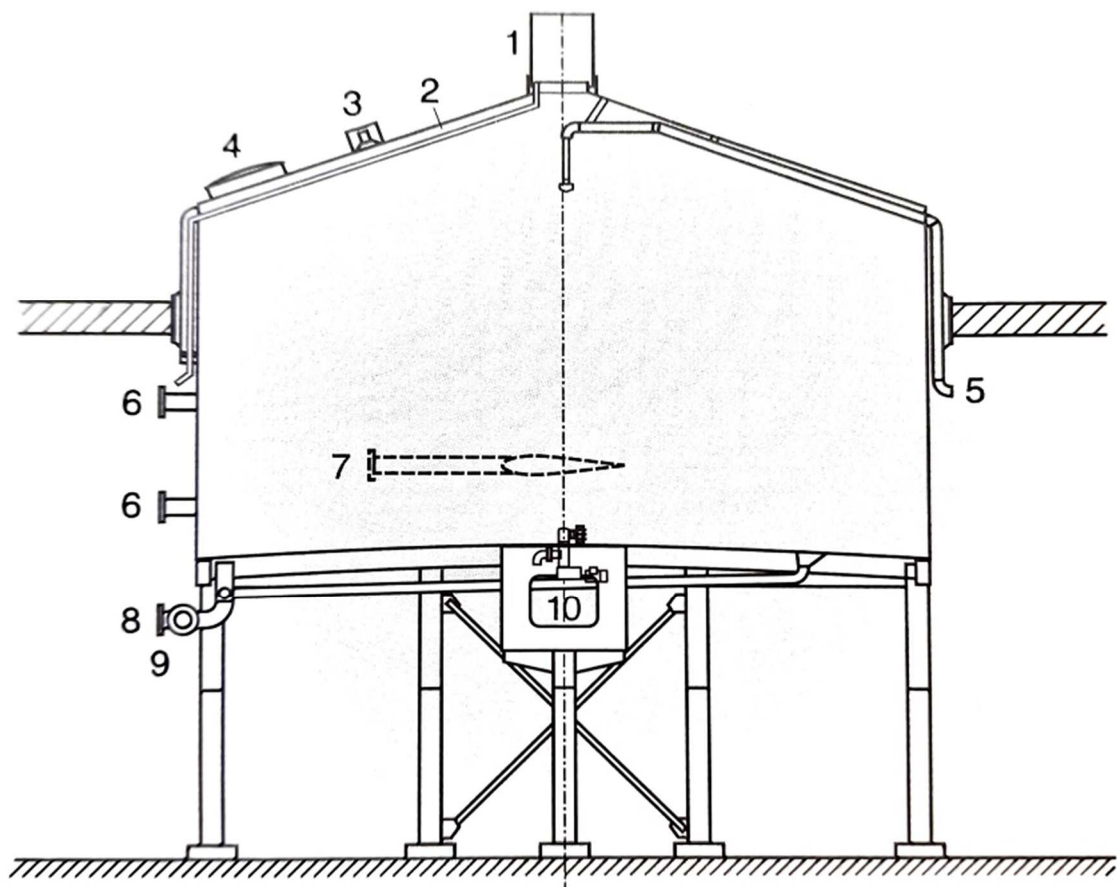
Podle Kosaře (2000, s. 233) urychluje sklon dna kádě vytékání mladiny z kalového kužele a tím snižuje její zadržování v usazených kalech. Ve středu kádě se většinou nachází rotační tryska pro rozplavení kalového kužele (viz obrázek č. 6), jejíž činnosti také napomáhá spád dna od středu ke stěnám.

Dalším prvkem konstrukce vířivé kádě je sběrný odtokový žlábek, který se umísťuje ke stěnám kádě. Je poměrně náročný na konstrukci i uložení kádě, ale jeho výhodou je, že urychluje proces vyplachování usazených kalů a nemá vliv na separační funkci kádě. Další modifikací sběrného žlábků je sběrná vana. Sběrná vana je nádoba kruhového půdorysu,

kteřá se umísťuje do středu vířivé kádě a nemá praktický žádnou výhodu, naopak zhoršuje separační efekt vířivé kádě.

Uvnitř kádě by pod úrovní hladiny mladiny neměly být umístovány žádné armatury z důvodu nenarušování rotačního pohybu mladiny. Průlez i zakončení trysek by měly kopírovat vnitřní povrch kádě, jediná rotační hlavice pro oplach kalů by měla být umístěna nad vnitřním povrchem kádě, protože ze svého umístění pod párníkem (viz obrázek č. 6) nijak nebrání v rotačním pohybu mladiny a je na ideálním místě pro oplach povrchu kádě.

Obrázek 6 Schéma vířivé kádě



Zdroj: Basařová a kol., 2010, s. 213

1 – párník, 2 – odvod kondenzátu z párníku, 3 – osvětlení, 4 – průlez, 5 – vstup CIP a mycí hlavice, 6 – výstup pro odčerpání vyčiřené mladiny, 7 – tangenciální vstup mladiny, 8 – výstup CIP, 9 – odvod kalové mladiny, 10 – rotační tryska pro rozplavení kalového kužele

Vířivá kád' by měla být dobře tepelně izolována. Díky izolaci by si mladina měla ponechat teplotu 95–97 °C a na základě její vysoké teploty se využije maximální možné množství tepelné energie pro ohřev varní vody, která je v pivovaru hojně spotřebovávána. Pro správný průběh separace hrubých kalů je také nutné vhodně zvolit její rozměry. Nejdůležitější rozměry pro ovlivnění separace jsou výška mladiny po dočerpání (H) a průměr vířivé kádě (D). Tyto základní rozměry by podle Kosaře a kol. (2000 s. 233) měly být ve společném poměru $H : D$ 0,6 – 0,4 : 1. Basařová a kol. (2010, s. 213) uvádí širší interval výšky mladiny a konečný poměr $H : D$ 0,4 – 0,8 :1. Plocha dna by pak měla odpovídat množství chmelení použitého při jedné várce. Množství chmelového granulátu by nemělo přesahovat 2 kg na m².

Mladinové potrubí přivádějící horkou mladinu do vířivé kádě by mělo být co nejprímější a bez ostrých zatáček. Mělo by být konstruováno takovým způsobem, aby rychlost mladiny v potrubí nepřesáhla 3,5 m·s⁻¹. Mladinové čerpadlo musí pracovat v optimálním výkonu a bez kavitace. Příliš vysoký výkon čerpadla může negativně ovlivnit finální vlastnosti piva. Nátoková rychlost mladiny do vířivé kádě by měla být zhruba 3,5 – 5 m·s⁻¹. Kunze (2004, s. 339) uvádí, že by nátoková rychlost měla být pouze do 3,5 m·s⁻¹. Této rychlosti by měl být přizpůsoben rozměr trysky, která ústí do stěny vířivé kádě. Tryska by měla být vedena s co možná nejmenším odklonem od tangenciály, aby mladina přicházela do kádě co možná nejvíce rovnoběžně s její stěnou. Výška trysky by se měla nacházet v jedné třetině až jedné čtvrtině výšky sloupce načerpané mladiny.

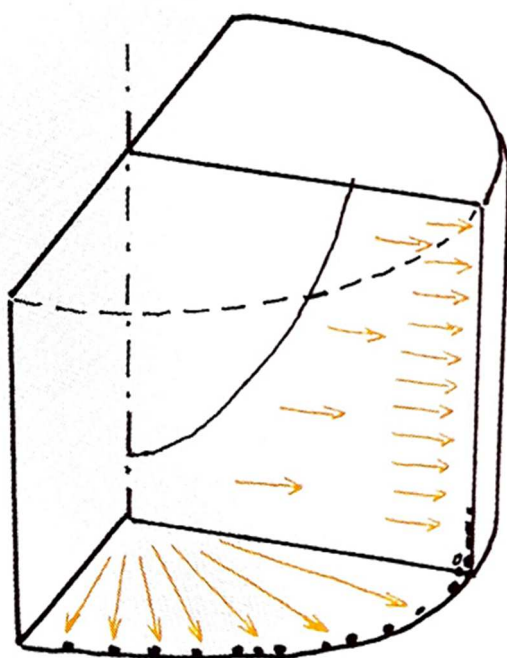
Potrubí pro odčerpání vyčiřené mladiny (viz obrázek č. 6), které je nazýváno spílací potrubí, mívá většinou tři odtoky. Je zaústěno do dna kádě v blízkosti její stěny a pak dvakrát do válcového pláště nádoby. Výška odtoků v plášti bývá asi 0,15 a 0,5 výšky načerpané mladiny (H). Díky několika úrovním odčerpávání vyčiřené mladiny je možné zkrátit dobu jejího odpočinku začátkem odčerpávání v horní části (KOSAŘ a kol. s. 233).

4.12.2 Princip fungování vířivé kádě

Wolfgang Kunze (2004, s. 338) popisuje princip fungování vířivé kádě na jednoduchém experimentu. Při experimentu je použita válcová nádoba s průměrem alespoň 40 cm s rovným dnem. Tato nádoba je zhruba do poloviny svojí výšky naplněna vodou. Do nádoby je vsypána lžíce písku a lžíce lehčího zrnitého materiálu. Podmínkou je, aby materiál

byl těžší než voda, pro názornou ukázkou může být použita nadrcená křída. Lžíce se nasypou do nádoby a materiál zůstane ležet po dně tam, kam dopadl. V dalším kroku je voda i se vsypaným materiálem rozmíchána tak, aby se co nejrychleji otáčela. Poté by mělo být patrné, že zrnka písku i zrnka lehčího materiálu jsou působením odstředivých sil, značených na obrázku č. 7 oranžovou šipkou vytlačovány ven a shromažďují se kolem stěny nádoby, zatímco hladina vody má tvar paraboloidu s nejnižším bodem hladiny ve středu, jak je patrné z obrázku. Tento jev je velice známý a není tedy až tak překvapivý.

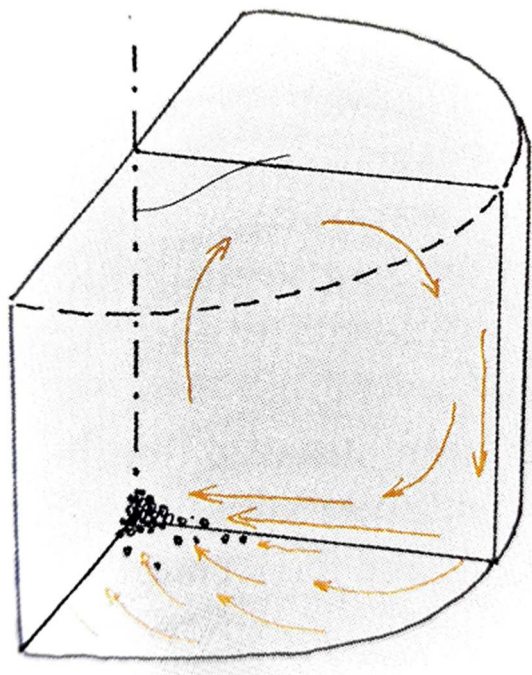
Obrázek 7 Odstředivá síla v nádobě



Zdroj: Kunze, 2004, s. 338

V další části experimentu se zastaví míchání a dále se pozoruje, co se odehrává v nádobě. Písek a křída se ve spirálovitém směru začnou přesunovat do středu nádoby na základě působení odstředivé síly a tam se shromáždí ve formě sypké hromádky, která se i dále otáčí s vodou (viz obrázek č. 8). Shora je možné pozorovat formování vířivých proudů, které způsobují, že vnější částice v hromádce neustále mění svou polohu. Dále je patrné, že rychlost kapaliny u vnější stěny klesá a s její klesající rychlostí se také vyrovnává hladina kapaliny, což je patrné i z obrázku č. 8.

Obrázek 8 Sedimentace v nádobě



Zdroj: Kunze, 2004, s. 338

Tento jev je způsoben brzdícím účinkem vznikajícím třením o stěnu a dno nádoby. Příčinou je, že v takzvané hraniční vrstvě byla narušena rovnováha mezi tlakovými a odstředivými silami. V této u dna se nacházející hraniční vrstvě je rychlost kapaliny značně snížena třením u dna, zatímco u hladiny, kde se kapalina setkává pouze se vzduchem je tření prakticky zanedbatelné a nepředstavuje pro vodu téměř žádnou brzdou sílu. V důsledku popsaného jevu dochází k cirkulaci uvnitř nádoby, která se zastaví po velmi krátké době právě z důvodů tření o stěnu.

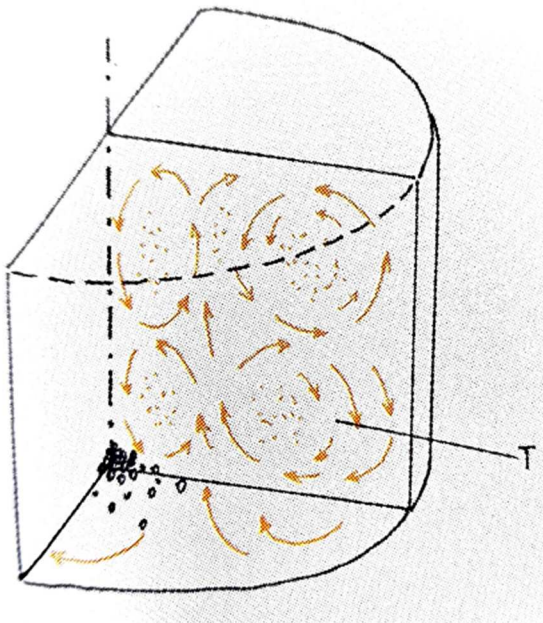
David F. Long a kol. (2014, s. 1) ve svém článku uvádí, že tento pozoruhodný jev popsal již Albert Einstein a nazval ho anglickým názvem „Teacup effect“, volně přeloženo do češtiny jako efekt čajového hrnečku. „Teacup effect“ popisuje jev, při kterém se čajové lístky v konvici s čajem při míchání dostávají ke středu dna. Tento jev byl poprvé pozorován v roce 1966 a poté podrobně studován v laboratoři v roce 1993. Albert Einstein v roce 1926 vydal teoretickou práci, ve které popsal, jak vlny na povrchu kapaliny v nádobě způsobují rotaci malých objektů na povrchu kapaliny.

„Teacup effect“ lze využít ke studiu proudění kapalin v různých aplikacích, jako například ve vodních turbínách, nebo právě vířivých kádích. Využití poznatků o proudění

kapalin a hydrodynamice může být užitečné také v jiných oborech, jako je třeba biomedicínské inženýrství. Studium proudění kapalin může pomoci lépe porozumět rozličným prouděním kapalin a turbulentním proudům, což může vést k vylepšení návrhu různých strojů, které využívají proudění kapalin.

Podle Kunzeho (2004, s. 339) kromě Einsteinem popsané hlavní cirkulace ve víru, se s klesající rychlostí otáčení kapaliny objevují i další rušivé sekundární proudy v podobě rotujících vírů, které mohou značně ovlivnit a ztížit vírový efekt a tedy i sedimentaci při jeho narušení. Víry jsou zobrazeny na obrázku č. 9.

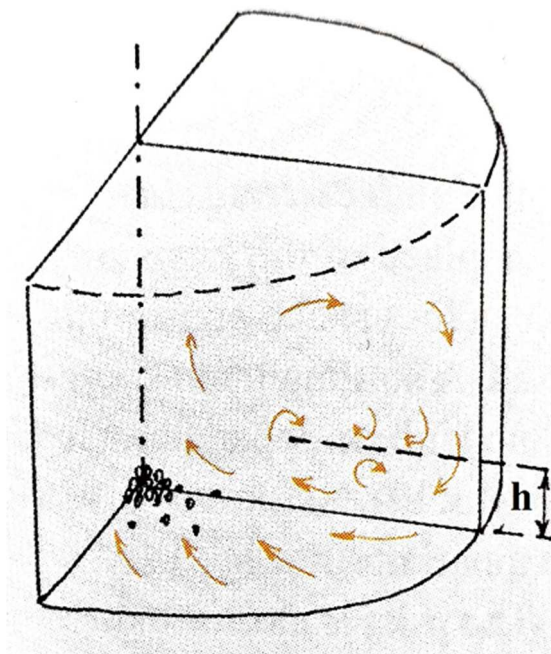
Obrázek 9 Sekundární víření v nádobě



Zdroj: Kunze, 2004, s. 338

V případech některých vířivých kádí dochází ke tvorbě nežádoucích sekundárních vírů ve velké míře. V minulosti byly provedeny pokusy o zabránění vlivu nežádoucích vírů na ideální průběh sedimentace a vířivého efektu. Bylo použito například speciálních mřížek nebo kroužků, které byly instalovány v určité výšce (h) nad dnem vířivé kádě, jak je vidět na obrázku č. 10.

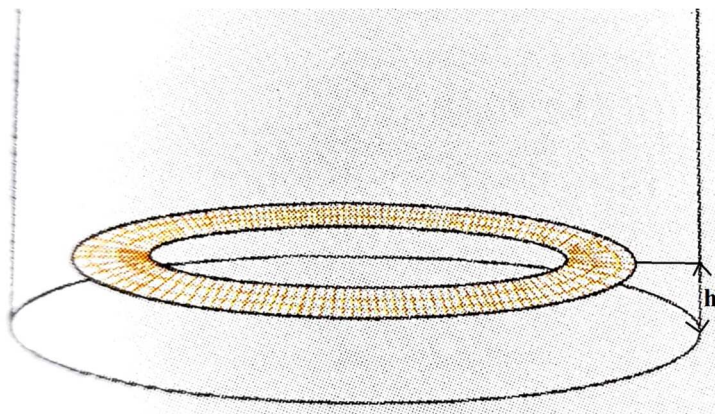
Obrázek 10 Instalace pro rozbití vířů



Zdroj: Kunze, 2004, s. 338

Instalace těchto prvků dovnitř nádoby způsobila rozříznutí a přerušení vířivého proudu, čímž se omezil jeho negativní vliv na sedimentaci. Na obrázku č. 11 je vyobrazená prstencová mřížka sloužící právě k těmto účelům. Díky přerušení torusového víru se omezí vznik dalších vířů kdekoli ve vířivé kádě a proces usazování hrubých kalů pak může proběhnout správným způsobem tak, že se vytváří nerušené proudění podél dna směrem ke středu kádě, které uprostřed formuje kalový kužel (KUNZE, 2004, s. 339).

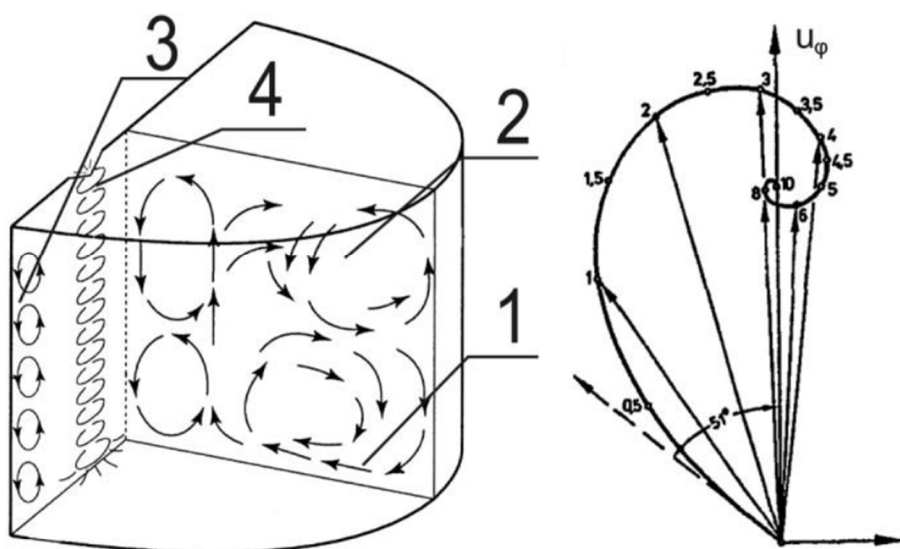
Obrázek 11 Prstencová mřížka pro přerušení víru



Zdroj: Kunze, 2004, s. 340

Marek Jakubowski prováděl výzkum v Polsku na Technické univerzitě v Koszalinu, který se zabýval problematikou proudů ve vířivé kádi. Výzkum zahrnoval pozorování, simulaci a měření jevů, které probíhají ve vířivé kádi. Ve svém vědeckém článku M. Jakubowski (2013) popsal víry vznikající ve vířivé kádi podle levé strany obrázku č. 12. Na pravé straně obrázku je vidět takzvaná Ekmanova spirála, po níž se pohybují částice na dně vířivé kádě při procesu víření.

Obrázek 12 Víry ve vířivce a Ekmanova spirála



Zdroj: Jakubowski, 2015

- 1 – proudění vytvářející kalový kužel
- 2 – centrální vír
- 3 – Taylorovy-Görtlerovy víry
- 4 – vír obíhající kolem osy rotace kapaliny

M. Jakubowski se rozhodl zdokumentovat tvorbu kalového kuželu ve vířivé kádi. Pro vizualizaci fází tvorby sedimentačních kuželů byla použita zkušební laboratorní vířivá kád' (viz obrázek č. 13) vyrobená z methylpolymetakrylátu (PMMA), což je průhledná látka. Díky čiré stěně kádě bylo možné pozorovat a zdokumentovat, co se děje s pevnými částicemi

v kapalině při procesu víření. Průměr nádrže byl $D = 0,64$ m a jmenovitá výška náplně $H = 0,64$ m.

Obrázek 13 PMMA laboratorní vířivá kád'

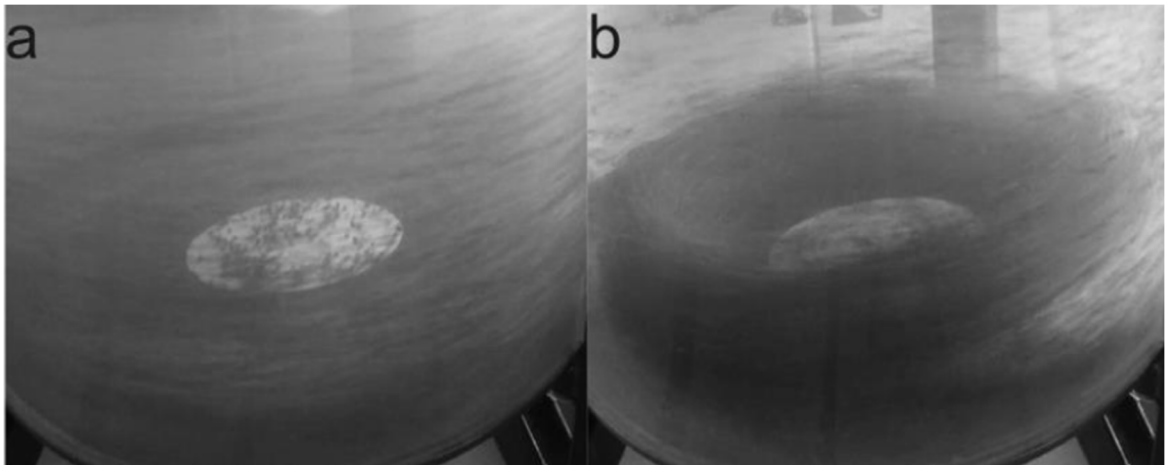


Zdroj:Jakubowski a kol., 2013

V pokusu byly použity polymerní částice, které zastupovaly nerozpustné kaly (koncentrace částic v tekutině byla 1 %) a voda, skrze kterou se dal dobře pozorovat pohyb částic. Vířivá kád' měla několik vstupů pro tangenciální čerpání, v tomto pokusu byl použit vstup nejbližší ke dnu kádě, rychlost čerpání 1,7 m/s a poměr $D : H = 1 : 1$. Na následujících obrázcích (č. 14, č. 15 a č. 16) jsou zachyceny charakteristické geometrické fáze tvorby sedimentačního kužele. Podle výzkumu a opakovaných pokusů bylo zjištěno, že způsob tvorby kuželů je velmi specifický a díky tomu je možné určit jeho charakteristické fáze.

- a) Po načerpání suspenze do vířivé kádě se částice zpočátku shlukují podél stěn, kde je rychlost suspenze nejvyšší a tvoří kruh podél stěn nádrže (obrázek č. 14 a).
 $t = 40$ s
- b) Na obrázku č. 14 b je vidět, že se kruh již plně zformoval a je možné pozorovat neustálé zmenšování jeho vnitřního průměru.
 $t = 100$ s

Obrázek 14 Pokus M. Jakubowski a, b



Zdroj: Jakubowski a kol., 2013

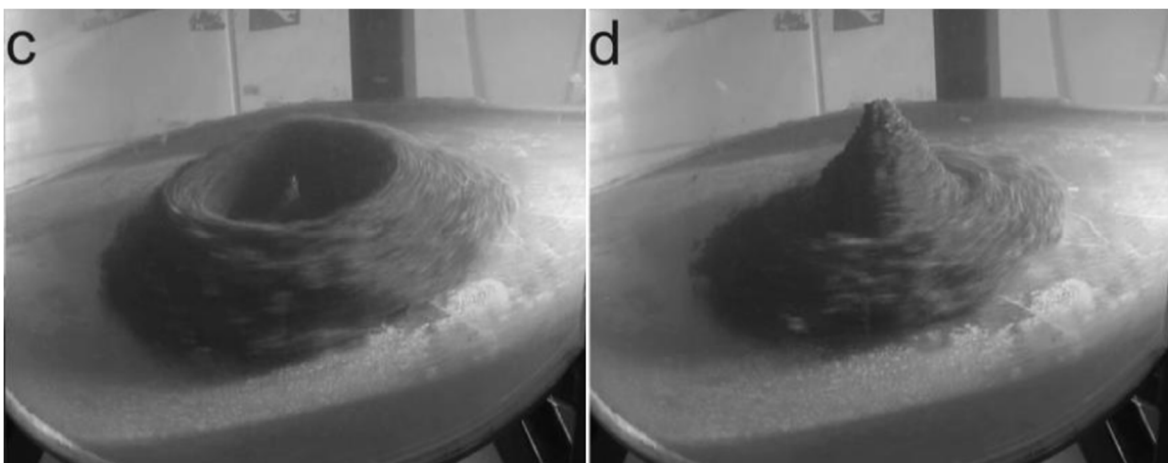
- c) Při zmenšování vnitřního průměru torusu nakonec dojde k jeho uzavření, což vede k vytvoření zárodku kalového kuželu. V této fázi se někdy na povrchu kuželového zárodku může objevit jedna až dvě vírové trubice, které strhávají dočasně sediment směrem vzhůru, jak je vidět na obrázku č. 15 c.

$t = 150 \text{ s}$

- d) Na obr. č. 15 d je vidět již zformovaný kužel, který rotuje společně s kapalinou.

$t = 220 \text{ s}$

Obrázek 15 Pokus M. Jakubowski c, d



Zdroj: Jakubowski a kol., 2013

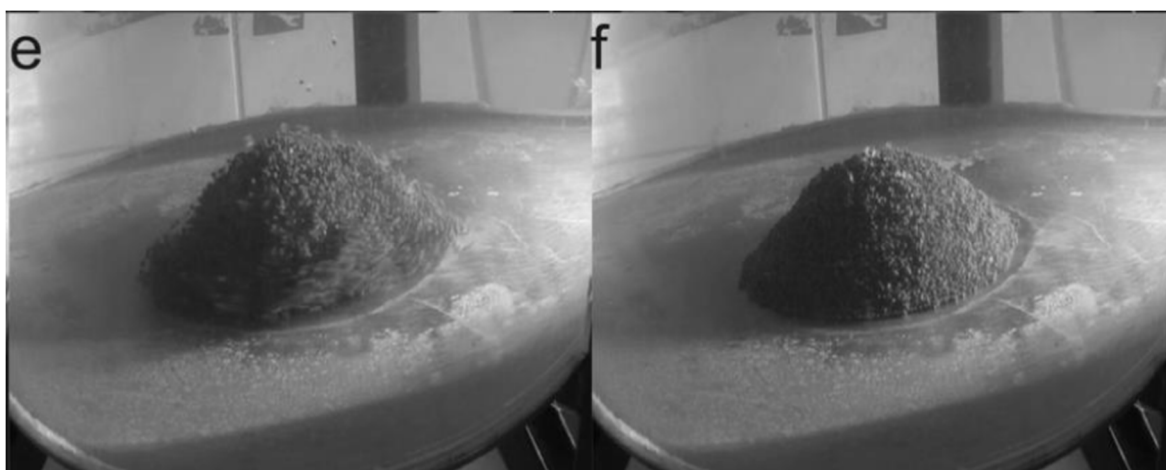
- e) Kužel se následně pomalu přestane otáčet spolu s kapalinou a zůstane stacionární ve středu kádě. Rychlost otáčení kapaliny se snižuje a kužel již přestává mít špičatý tvar. Pohyb kuželu se zastavuje. (viz obrázek č. 16 e).

$t = 430 \text{ s}$

- f) Se snižující rychlostí se i kapalina nakonec zastaví a kužel sedimentů se plně zformuje do svého konečného geometrického tvaru, který je zachycen na obrázku č. 16f.

$t = 550 \text{ s}$

Obrázek 16 Pokus M. Jakubowski e, f



Zdroj: Jakubowski a kol., 2013

Na fotografiích skrz transparentní stěnu kádě byly zachyceny jednotlivé fáze víření a lze si díky nim názorněji představit, k čemu uvnitř vířivé kádě dochází při separaci hrubých kalů.

4.12.3 Doba odlučování kalů

Doba odlučování kalů ve vířivé kádě se v různých pivovarech liší a může se pohybovat mezi 20, 30, až 60 minutami. Účinnost oddělení kalů závisí také na velikosti jeho částic, protože menší částice sedimentují hůře a pomaleji, než ty větší. Vysoká viskozita mladiny a nízká rychlost její rotace též snižují separační efekt. Během odpočinku mladiny se ve vířivé kádě vytvoří kužel kalů uprostřed dna. Když je odpočinek mladiny a separace kalů u konce, zahájí se spílání vyčiřené mladiny. Při spílání mladiny je nejdříve stahován vyčiřený roztok spílacím potrubím nad dnem ve stěně kádě a nakonec se mladina vypouští pomaleji nejspodnějším odtokovým otvorem ve dně kádě. Toto opatření má zabránit roztečení kužele kalů, které by mohlo nastat, kdyby hladina mladiny rychle klesla pod vrchol kalového kužele.

Víření mladiny probíhá v uzavřené nádobě při mírném ochlazení asi na 95 °C, což znamená, že je téměř bez odparu. Aby bylo dosaženo účinné separace kalů, je důležité omezit dobu odpočinku mladiny ve vířivé kádí na minimální možnou dobu (přibližně 15–30 minut), protože při takto vysokých teplotách dochází k reakcím, které zvyšují barvu mladiny a vytvářejí prekurzory a komponenty, které se již neodpařují a ovlivňují negativně chuť a aroma piva. Nicméně čas odpočinku mladiny se nesmí zkrátit na úkor správného průběhu separace kalů (BASAROVÁ 2010, s. 215).

4.12.4 Rychlost spílání mladiny

Po spílání mladiny je třeba provést proces chlazení, který využívá chladicího výměníku. Chladicí výměník následuje přímo za vířivou kádí a z toho důvodu na něm také závisí rychlost spílání mladiny. Chladicí výměník ovlivňuje rychlost spílání svým výkonem. To je z důvodu, že mladina se z cca 95 °C musí zchladit na požadovanou teplotu (asi 6 °C), která je jasně dána a doba spílání se tedy musí upravit podle výkonu chladiče. U novějších chladicích zařízení je možné spílání zkrátit až na 50–60 minut (BASAROVÁ a kol. 2010, s. 215). Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.12.3, rychlost spílání není po celou dobu konstantní. Mění se podle klesání hladiny mladiny ve vířivé kádí. Když se hladina blíží k vrcholu kalového kužele, je třeba rychlost spílání snížit, aby nedošlo ke strhávání usazených kalů do vyčiřené mladiny. Optimální pro proces spílání je spojitě snižování spílací rychlosti. Toho lze poměrně jednoduše docílit instalací mladinového čerpadla s frekvenčním měničem, který umožní regulovat otáčky čerpadla a tím i jeho výkon a rychlost spílání. Kosař a kol. (2000, s. 233) zmiňují, že po ukončení procesu spílání by měl na dně vířivé kádě zůstat kalový kužel, který má mezi svým okrajem a stěnou vířivé kádě mezikruží alespoň 60 cm, ve kterém se kaly nenachází. Velikost mezikruží je ale samozřejmě závislá na velikosti vířivé kádě. Na obrázku č. 17 je vidět dno vířivé kádě po sespílání mladiny. Lze si všimnout kalového kužele, který se také někdy nazývá „kalový koláč“, protože po odčerpání mladiny většinou neudrží tvar kuželu. Na obrázku je patrné také mezikruží bez kalů, což spolu s kompaktním kalovým kuželem značí správný průběh procesu víření i spílání.

Obrázek 17 Kalový kužel



Zdroj: Craftkettle, ©2023

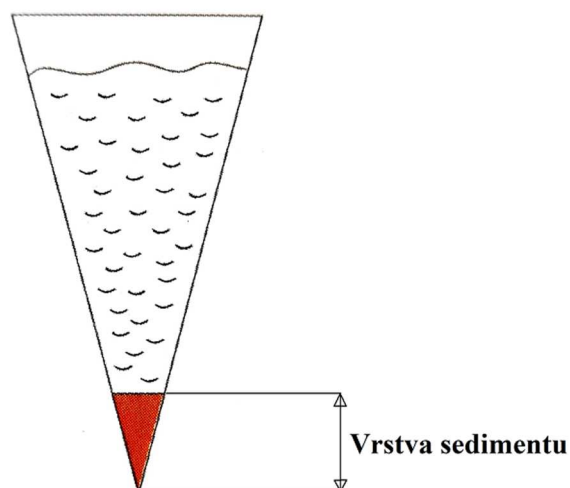
4.12.5 Kontrola průběhu separace hrubých kalů

Pro správné fungování vířivé kádě je základním požadavkem, aby mladina čerpaná do kádě měla vhodné parametry pro separaci hrubých kalů a byla vhodná pro víření. V mladině, která je vhodná pro víření se většinou do 10 minut kaly usadí na dno. Když nejsou všechny parametry mladiny vhodné, může sedimentace kalů trvat i déle. Možné příčiny špatné separace hrubých kalů ve vířivé kádi jsou:

- Nedostatečné, či špatně provedené scezování
- Nevyhovující instalace čerpadel
- Příliš rychlý přítok do vířivé kádě
- Příliš vysoká rychlost spílání vyčiřené mladiny
- Příliš velké smykové napětí zejména v ohybech potrubí
- Příliš silné sekundární proudy
- Příliš rychlý nátok mladiny do vířivé kádě
- Nepříznivý poměr mezi výškou hladiny mladiny a průměrem vířivé kádě
- Armatura uvnitř kádě brání ideálnímu víření

Aby bylo zjištěno, jak úspěšně separace hrubých kalů proběhla, je třeba provést kontrolu procesu. Metody pro kontrolu průběhu separace hrubých kalů jsou různé. Kunze (2004, s. 339) zmiňuje ve své publikaci, že jedna z nejméně náročných na výbavu a poměrně přesných metod je metoda měření sedimentace podle Imhoffa. Při měření se používá takzvaný Imhoffův kužel (někým také nazýván Imhofferův). Imhoffův kužel je laboratorní nádoba většinou vyrobená ze skla, má tvar kuželu (viz obrázek č. 18), a používá se k měření obsahu pevných látek v tekutině.

Obrázek 18 Imhoffův kužel – schéma



Zdroj: Kunze, 2004, s. 339

Kužel je pojmenován po německém hygienikovi Karlu Imhoffovi, který ho vynalezl v roce 1908. Imhoffův kužel je používán v široké škále odvětví včetně průmyslového zpracování odpadních vod, výroby piva, či v laboratořích pro zkoušky kvality vody. Kužel může mít různá provedení, jak s uzavřenou špičkou, tak zakončená takzvanou olivkou, nebo skleněným kohoutem. Kužel má na své stěně měřicí stupnici, která může být v různých jednotkách. Na obrázku č. 19 je stupnice v ml. Celková kapacita kuželu je obvykle 1 litr, což umožňuje měřit relativně velká množství sedimentovaných pevných látek. Kužel se naplní kalovou suspenzí a nechá se sedimentovat po dobu potřebnou k dostatečnému usazení pevných látek. Tato doba se může lišit v závislosti na odvětví, kde se zkouška provádí.

Většinou se používá hodinový časový interval, ale čas je možné upravit pro specifické požadavky měření. Pro správné porovnání naměřených hodnot je vždy nutné v jednom měření vycházet ze stejně dlouhých sedimentačních časů. Během sedimentace se pevné látky, které jsou těžší než voda, postupně usazují na dně kuželu. Po uplynutí sedimentačního času se odečte množství sedimentovaných pevných látek na stupnici a tím je měření dokončeno (KUNZE, 2004, s. 340).

Obrázek 19 Imhoffův kužel – stupnice ml



Zdroj: archiv autora

4.13 Separace hrubých kalů odstřediváním

Další možností separace hrubých kalů jsou odstředivky. Nahrazují prostou sedimentaci vloček hrubých kalů, ke které dochází na chladících stokách, či v usazovací kádi. Odstředivky využívají k separaci odstředivé síly. V bubnu odstředivek je tíhová síla nahrazována až tisícnásobně větší silou odstředivou. V suspenzi mladiny a částic kalů by docházelo k sedimentaci několik hodin, odstředivka je zvládne oddělit dokonce během několika sekund (KOSAŘ a kol., 2000, s. 234).

Podle Stokesova zákona ovlivňuje rychlost odstředování několik prvků:

- Počet otáček odstředivky
- Délka dráhy
- Viskozita kapaliny
- Velikost částic
- Rozdíl měrných hmotností kapaliny a částic

Když je mladina horká, je i méně viskózní a větší částice hrubých kalů se pak oddělují podstatně lépe, než když je mladina studená a vzroste tím její viskozita. Kosař a kol. (2004, s. 234) také zmiňují, že se odstředivky dají použít k separaci kalů z objemu celé várky, někdy se ale také používají pouze k odstředování kalové mladiny, která byla vedlejším produktem jiných způsobů separace hrubých kalů.

4.13.1 Starší typy komorových odstředivek

Komorové odstředivky jsou zařízení, která se používají k oddělení pevných a kapalných složek směsi, například při separaci hrubých kalů v procesu vaření piva, nebo při separaci kalů z čistírny odpadních vod. Komorové odstředivky pracují na principu rotace, kdy se směs vstříkne do rotační komory s vysokou rychlostí otáčení. V důsledku toho se pevné a kapalně složky oddělují a pevné složky jsou odstraněny z komory odstředivkou.

Starší typy komorových odstředivek mají nižší výkon, pracují s rychlostí otáčení kolem 4 000 otáček za minutu a mají průměr komory mezi 200 až 400 mm. Tyto odstředivky mají většinou pouze jednu komoru. Pro zvýšení čířícího účinku se používají vícekomorové odstředivky a mohou tak dosáhnout vyšší účinnosti oddělení pevných a kapalných složek.

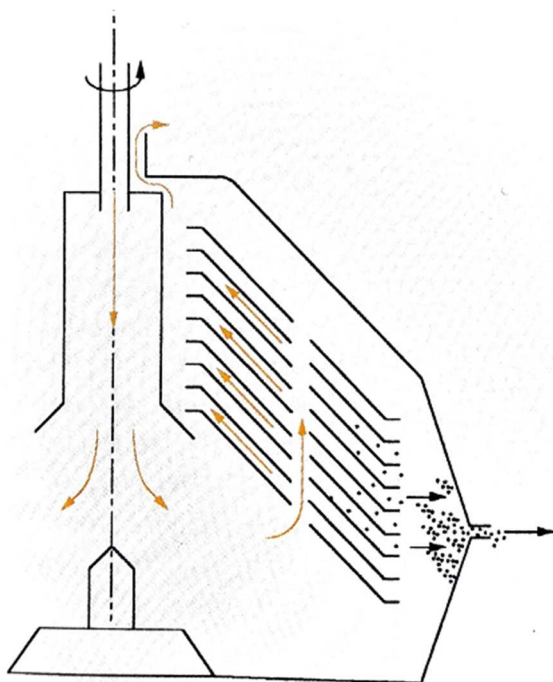
Objem kalového prostoru v odstředivce určuje jeho kapacitu, tedy kolik kalu s určitým obsahem kapaliny může být odstředěno za jednu várku. Například výkonné odstředivky mohou odstředit až 70 kg kalů s obsahem kapaliny 70 %, což odpovídá zhruba 5 000 kg sypání na várku. Vyšší výkon odstředivek znamená také větší kapacitu a rychlost číření, což vede ke zlepšení efektivity procesu. V dnešní době se ale již prakticky nepoužívají (BASAROVÁ a kol., 2010, s. 216).

4.13.2 Talířové odstředivky

Kosař a kol. (2000, s. 235) popisují, že se k separaci kalů používají také talířové odstředivky nebo dekantéry. Talířové odstředivky mají otáčející se talířový buben, který obsahuje až 200 talířů ve tvaru komolého kužele, které jsou do sebe zasunuté. Separační plocha talířů má úhel sklonu 50–60 stupňů a mezera mezi jednotlivými talíři je zajištěna navařenými distančními plátky o velikosti 0,3 – 0,4 mm. Na obvodu talířů jsou otvory, které po složení talířů vytváří vertikální kanálky. Buben talířové odstředivky se v závislosti na svém průměru a pevnosti materiálu, ze kterého je vyroben, může otáčet 5–8 tisíc krát za minutu.

Při provozu talířové odstředivky se mladina vstříkují pod sadu talířů a rozděluje se do mezer mezi talíři pomocí vertikálních kanálků. Při rotaci se těžší částice, jako jsou částice kalové, posouvají odstředivou silou ke kraji talířového bubnu a po spodní ploše výše uloženého talíře kloužou směrem dolů, jak je vidět na schématu č. 20. Naopak lehčí mladina stoupá nahoru podél vnější plochy níže uloženého talíře ke středové ose odstředivého separátoru. Odtud je pak odváděna mimo odstředivku. Vzhledem k tenké vrstvě usazovací dráhy kalových částic je proces separace velmi rychlý.

Obrázek 20 Schéma talířové odstředivky

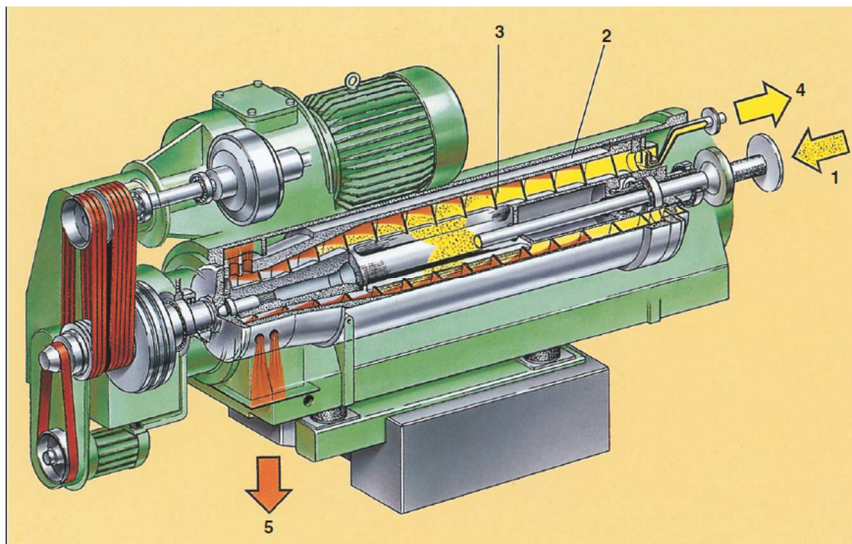


Zdroj: Kunze, 2004, s. 245

Rotující buben má v sobě takzvaný kalový prostor, kde se shromažďuje kal. Z kalového prostoru se může kal vyprazdňovat buď nárazově, nebo kontinuálně.

Když se zpracovává mladina a požadavky pro výkonnost jsou do $100 \text{ hl}\cdot\text{h}^{-1}$, je možné použít horizontální šnekové odstředivky, které se nazývají dekantéry. U dekantéru se buben i šnek otáčejí ve stejném směru, ale rychlost jejich otáček se liší. Kaly, které jsou odděleny od tekutiny odstředivou silou, jsou přesunuty na vnitřní stěnu bubnu a následně jsou pomocí rychleji rotujícího šneku rychle odstraněny do kónické části stroje, kde se dále zahušťují. Dekantér a řez jeho útrobní částí je vidět na obrázku č. 21 (KOSAŘ a kol. 2000, s. 236).

Obrázek 21 Dekantér



Zdroj: Kosař a kol., 2000, s. 236

1 – nátok kalové mladiny, 2 – rotující buben, 3 – vynášecí šnek, 4 – odvod vyčiřené mladiny, 5 – odvod kalů

4.13.3 Samoodkalovací odstředivky

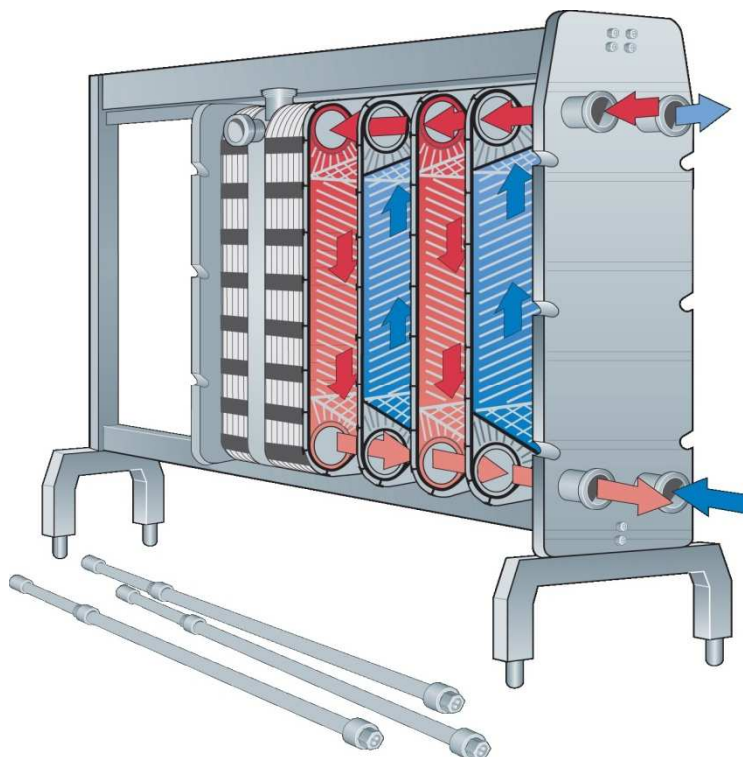
Samoodkalovací odstředivky fungují jako talířové odstředivky, ale mají vylepšený mechanismus odstraňování kalů. Po naplnění kalové komory se tlaková pojistka otevře a kalová hmota se rychle oddělí (odstřelí) od tekutiny během několika sekund. Odkalování je plně automatické a může být provedeno buď částečně nebo úplně, v závislosti na potřebách.

Další metodou separace hrubých kalů z horké mladiny je křemelinová filtrace, která je považována za nejučinnější. Používají se převážně svíčkové filtry s výkonem 12 hektolitřů na 1 metr čtvereční filtru. Do filtrů se přidává filtrační přípravek, jako je například perlit, v množství 120 až 150 gramů na 1 hl mladiny. Při filtraci má mladina teplotu 90 až 95 °C (BASAROVÁ a kol., 2010, s. 216).

4.14 Chlazení mladiny

Dle Chládky (2007, s. 65–66) je nutno vyčiřenou mladinu ochladit na zákvasnou teplotu přibližně 6 °C, která je ideální pro várečné kvasnice. Dále je nutné mladinu provzdušnit, aby kvasnice měly potřebný kyslík. Dříve se pro chlazení mladiny používaly chladiče sprchové, nebo trubkové, v dnešní době se ale pro chlazení používají takzvané deskové chladiče mladiny, které mohou být jednostupňové, nebo dvoustupňové. Deskové chladiče pracují na principu protiproudého chodu mladiny a chladícího média, což je znázorněno na obrázku č. 22, kde horní levý otvor (tmavě červená šipka) je vstup horké mladiny do chladiče a pravý dolní otvor je vstup chladícího média (tmavě modrá šipka). Těmito vstupy jsou obě kapaliny načerpány, aby si následně mezi sebou v deskovém chladiči vyměnily teplo a z výstupu dole vlevo (světle červená šipka) pak vychází ochlazená mladina, která předala své teplo chladícímu médiu, které vystupuje z chladiče vpravo nahoře (světle modrá šipka).

Obrázek 22 Deskový chladič mladiny



Zdroj: Dairy Processing, ©2023

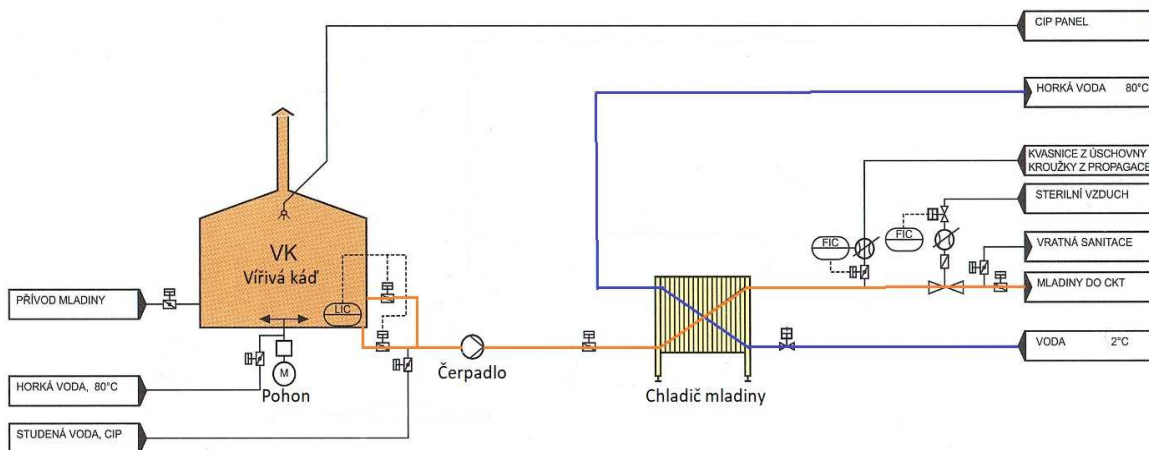
4.14.1 Jednostupňové chlazení mladiny

Jednostupňový chladič mladiny je používán především ve velkých provozech, které za den vaří větší počet várek piva. Funkčně se jedná o soubor paralelně uspořádaných profilovaných desek, které jsou nejčastěji vyrobeny z nerezového plechu a jejich tloušťka bývá cca 1 mm. Mezi deskami proudí střídavě horká mladina, jejíž okruh je na obrázku č. 23 vyznačen oranžovou barvou a chladivo, které je na obrázku č. 23 znázorněno modrým okruhem. Svazek desek je ložený na nosné vodící tyči stojanu mezi přítlačnou deskou a pevným čelem. Když jsou desky jednostupňového chladiče zapojeny paralelně, bývá zvykem, že všechny vstupy i výstupy jsou vyvedeny z pevného čela chladiče.

Schéma na obrázku 23 znázorňuje přečerpání mladiny o teplotě cca 99 °C čerpadlem do jednostupňového deskového chladiče, kterým protiproudě prochází chladící médium o teplotě 0 až -1 °C, nebo ledová voda, do které se přidává nemrznoucí kapalina. Ledová voda, nebo chladící médium chladí horkou mladinu, která prochází deskami na zákvasnou teplotu pohybující se mezi 6–8 °C (teplota závisí na zvoleném druhu kvasnic pro konkrétní druhy piva). Mladinu je poté třeba provzdušnit sterilním vzduchem, aby byl při procesu

kvašení v mladině přítomný kyslík. Zchlazenou a provzdušněnou mladinu je potřeba co nejdříve zakvasit, protože je (na rozdíl od horké mladiny) ideální pro množení nežádoucích mikroorganismů (KOSARĚ a kol., 2000, s. 238–239).

Obrázek 23 Schéma vířivé kádě a jedноступňového chlazení mladiny

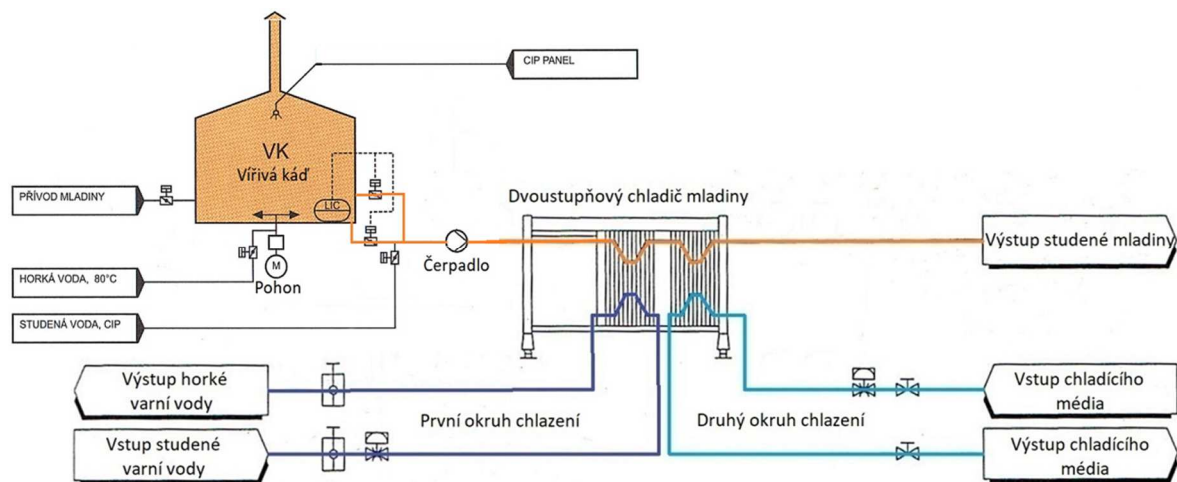


Zdroj: Vlastní zpracování dle Basařové a kol., 2010, s. 214

4.14.2 Dvoustupňové chlazení mladiny

Na obrázku č. 24 je zobrazené schéma dvoustupňového chlazení mladiny. Chládek (2007, s. 66) uvádí, že dvoustupňové chlazení mladiny je využíváno zejména v pivovarech menších rozměrů, které neuvaří více, než 8 várek piva v jednom dni. Dvoustupňový deskový chladič, jak už sám název napovídá, má dva chladící stupně, které ochlazují jeden okruh mladiny. Z vířivé kádě je mladina o teplotě až 99 °C čerpána do chladiče, kde se na prvním chladícím stupni chladí varní vodou s teplotou asi 15 °C na zhruba 22 °C. Poté vchází předchlazená mladina do druhého stupně chlazení, kde je z 22 °C dochlazena na požadovanou zákvasnou teplotu 6–8 °C. Do druhého okruhu chlazení se jako chladící médium nejčastěji používá ledová voda, solanka, nebo jiné chladivo. Po dochlazení na zákvasnou teplotu se mladina musí provzdušnit stejným způsobem, jako u chlazení jedноступňového.

Obrázek 24 Schéma dvoustupňového chlazení mladiny



Zdroj: Vlastní zpracování dle Kosaře a kol. 2000, s. 239 a Basařové a kol., 2010, s. 214

4.15 Kvašení mladiny

Kvašení piva je proces, který je zodpovědný za vytvoření charakteristické chuti a aroma piva. Během kvašení jsou sacharidy, které jsou přítomné v mladině, přeměněny na alkohol a oxid uhličitý, což jsou dva hlavní produkty kvašení. Kromě toho se během kvašení vytvářejí i další chemické sloučeniny, jako jsou estery, aldehydy, ketony, vyšší alkoholy a sloučeniny síry. Tyto sloučeniny jsou zodpovědné za chuťové vlastnosti a aroma piva. Průběh fermentace, tedy i organoleptické vlastnosti piva (vlastnosti vnímané pomocí smyslových orgánů) jsou ovlivněny různými faktory jako například složením mladiny, druhem použitých kvasnic, zákvasnou dávkou, teplotou kvašení, tlakem, objemem, tvarem nádob apod. (KOSAŘ a kol., 2000, s. 253).

4.15.1 Spilka

Kvašení piva dříve probíhalo v místnosti nazývané spilka, dnes se ale většinou proces kvašení omezuje na uzavřené kvasné tanky. Pro zajištění bezpečnosti musí být spilka dostatečně větraná, aby se zabránilo hromadění oxidu uhličitého, který vzniká během kvašení. Oxid uhličitý je těžší než vzduch, což způsobuje, že se hromadí u země i v kádích. Pokud se v místnosti nachází více než 10 % oxidu uhličitého, může dojít k akutnímu ohrožení života, proto musí být vzduch odsáván ventilátory, umístěnými nízko u podlahy. Prostor spilky musí být dostatečně tepelně izolovaný a udržovaný v teplotě 5–10 °C. Hygienická

ochrana je zde také velmi důležitá, protože zamezí množení nežádoucích mikroorganismů, které by mohly nepříznivě ovlivnit kvalitu piva. Je třeba dbát i na to, aby stropy nad káděmi byly řešeny způsobem, který eliminuje kapání zkondenzované vody do kádí (KOSAŘ a kol., 2000, 254).

4.15.2 První fáze hlavního kvašení (zaprašování)

V menších pivovarech lze pozorovat velice zajímavý průběh hlavního kvašení v otevřených kvasných kádích. Během prvního stádia hlavního kvašení se zakvašená mladina začíná asi po 12–24 hodinách od zahájení kvašení zaprašovat, což signalizuje uvolňování oxidu uhličitého. Tento oxid uhličitý se hromadí na povrchu mladiny a tvoří pěnu. Chládek (2007, s. 68) zmiňuje, že když se tento proces blíží ke konci, pěna se začne stahovat do středu kádě, protože vznikající oxid uhličitý stoupá po stěnách kádí vzhůru a tlačí tak pěnu doprostřed. V této fázi kvašení je zaznamenán velmi nízký úbytek extraktu původní mladiny, což je množství zbytkového cukru v mladině, pouze do 0,35 % za den. Rovněž nárůst teploty mladiny není výrazný, pouze asi o 0,3 °C za den.

4.15.3 Druhá fáze hlavního kvašení (nízké kroužky)

Druhá fáze hlavního kvašení, jak popsali Kosař a kol. (2000, s. 257), probíhá rychleji než první fáze. Asi po 36 hodinách od začátku kvašení se na povrchu mladiny objevují nízké bílé kroužky, které naznačují začátek této fáze. Tento proces je charakteristický bílými růžicemi pěny, které se tvoří na povrchu mladiny a trvá obvykle 2 až 3 dny. V dané fázi kvašení je zaznamenán vyšší úbytek extraktu a to zhruba v rozmezí 0,8 až 1,2 % za den. Teplota mladiny také stoupá rychleji než v první fázi.

4.15.4 Třetí fáze hlavního kvašení (vysoké kroužky)

Třetí fáze hlavního kvašení, nazývaná fáze vysokých kroužků, je obdobím největší aktivity kvasnic, kdy dochází k nejvíce biochemickým reakcím, které vedou ke vzniku alkoholu a oxidu uhličitého. V této fázi kvašení se barva kroužků mění z bílé na hnědou. Tento jev je způsoben tím, že oxid uhličitý, který se produkuje během kvašení, vynáší různé nečistoty a materiály na povrch. Během této fáze dochází k úbytku extraktu, což je množství cukru v mladině. Úbytek extraktu během této fáze může dosahovat až 1,8 % denně a je důležité jej sledovat, protože příliš rychlý úbytek extraktu může vést ke snížení kvality výsledného piva (CHLÁDEK, 2007, s. 69).

4.15.5 Čtvrtá fáze hlavního kvašení (propadání)

Chládek (2007, s. 70) popisuje, že poslední a čtvrté stádium kvašení je charakteristické tím, že se kroužky postupně propadají a vytvářejí jednolitou vrstvu, která má rezavou až hnědočernou barvu. V této fázi je úbytek extraktu velmi nízký, nepřesahující 0,3 % za den, což naznačuje, že proces kvašení je téměř u konce. V této fázi se z mladiny stane mladé pivo, které je připravené k následnému sudování. Suza (2008, s. 82) uvádí, že pokud jsou do mladého piva přidány kroužky z kvasící mladiny z druhého nebo třetího dne kvašení, vznikne pivo s kvasnicemi, které se někdy nazývá pivem kroužkovým. Toto pivo má výraznou chuť a aroma, jež pochází z kvasnicových esterů a dalších látek, které jsou produktem kvašení. Pivo s kvasnicemi, neboli kroužkové pivo, je populární mezi pivními konzumenty pro svou specifickou chuť a vůni.

4.16 Sudování a ležení (dokvašení) piva

Ideální dobu pro sudování mladého piva lze určit pomocí vizuální kontroly, měřením obsahu alkoholu, nebo zdánlivého obsahu extraktu a teploty. Při této kontrole je důležité dohlížet na to, aby mladé pivo nebylo příliš „propadlé“ ani „zelené“ a aby dokvašování probíhalo se správnou intenzitou (KOSARĚ a kol., 2000, s. 259–260).

Poté, co je mladé pivo připraveno k sudování, se přečerpá do ležáckých tanků, kde leží při teplotě 0–3 °C. Během této doby dochází k dosažení chuťové zralosti a k nasycení oxidem uhličitým, který způsobuje, že pivo má říz. Každé pivo vyžaduje pro ležení různou dobu v závislosti na jeho druhu.

Jakmile je fáze ležení ukončena, pivo je připraveno k filtraci. Některé malé řemeslné pivovary svá piva však nefiltrují, což umožňuje zachování jejich přirozeného charakteru. Po dokončení ležení jsou taková piva připravena k okamžité konzumaci a mohou být čepována přímo z ležáckých tanků. Jiná piva jsou stáčena do sudů nebo lahví a expedována k distribuci (CHLÁDEK, 2007, s. 70).

4.17 Filtrace

Podle Chládky (2007, s. 70) velké a střední pivovary pivo filtrují, aby získaly průzračné pivo, které dále pasterizují. Pasterizace je proces, při kterém se pivo zahřeje na vysokou teplotu, aby se zabili přeživší kvasinky a bakterie, což snižuje riziko zkažení piva a zlepšuje jeho vzhled a chuť. Pivo může být pasterizováno pouze tehdy, když neobsahuje žádné zbytky

kvasničných buněk. Po procesu filtrace a pasterizace se pivo stáčí do sudů, lahví, nebo cisteren a je připraveno k distribuci a konzumaci. Díky filtraci a pasterizaci je pivo stabilnější a má delší dobu skladovatelnosti, což také umožňuje distribuci do vzdálených oblastí se zachováním jeho kvality.

5 Vlastní práce

Vlastní práce se zabývá popisem a provedením konkrétního výzkumu, který byl uskutečněn za účelem optimalizace hydrodynamických parametrů při proudění mladiny do vířivé kádě a analýzy jejich vlivu na separaci hrubých kalů v konkrétním pivovaru. Cílem experimentu bylo zjistit, jaký vliv mají některé hydrodynamické parametry na separaci hrubých kalů, jejíž smyslem co nejvíce snížit jejich obsah v mladině. Na základě výpočtů a měření jsou výsledky vyhodnoceny a porovnány s odbornou literaturou. Je provedena optimalizace procesu separace hrubých kalů a zhodnocen její ekonomický přínos.

5.1 Představení pivovaru

Práce probíhala v novém výzkumném a výukovém školním pivovaru v nově otevřeném pavilonu Výukového centra zpracování zemědělských produktů (VCZZP) Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů (FAPPZ), který byl slavnostně otevřen 28. června 2022 v dopoledních hodinách. Pivovar se nachází v prvním patře pavilonu. Je obsluhován převážně sládky z řad studentů, z nichž mají někteří i středoškolské vzdělání v oboru pivovarnictví. Pivovar byl vyroben na zakázku, nejedná se tedy o produkt sériové výroby a je proto svým provedením unikátní. Hlavním výrobcem pivovaru je firma Czech brewery system s.r.o. se sídlem v Opavě, ale na jeho výrobě se podílelo více subjektů. V následujících kapitolách bude popsáno technologické zařízení pivovaru a s ním i technologický postup vaření piva, který se v daném provozu používá.

5.1.1 Šrotování a sladovna

V pivovaru se pro vaření piva používají různé druhy sladů od více distributorů. Pivovar má vlastní prostor, ve kterém se slad skladuje (viz obrázek na levé straně). Slad je ložen v pytlích určených pro použití v potravinářství, které jsou většinou prodávány po 25 kg. Ve skladu jsou vhodné podmínky pro uchovávání sladu, neproniká tam přímé sluneční záření, prostor je suchý a teplota se pohybuje okolo 20 °C. Pivovar má i svou vlastní sladovnu ve které se slad šrotuje. Sladovna se nachází hned vedle skladu, takže za pomoci ručního vozíku s koly není až tak problematické pytel se sladem dopravit do sladovny.

Obrázek 25 Sklad, pytlovaný slad



Zdroj: archiv autora

Sladovna je vybavena váhou, na které se slad odvažuje a dvouválcovým šrotovníkem Ss Grain Mill od společnosti Ss Brewtech (viz obrázek 26). Šrotovník Ss Grain Mill má robustní hliníkovou konstrukci s elektromotorem a dvojitými mlecími válci z uhlíkové oceli s protisměrným otáčením. Tyto mlecí válce jsou speciálně navrženy pro rozdrčení obilovin s minimálním poškozením slupky, což umožňuje zachovat chuť a vůni obilovin. Nastavení mezery drtících válců se provádí mechanicky a mezeru lze nastavit na několik možných rozměrů a obsluha si tak může zvolit jemnost šrotování sladu v závislosti na zvoleném druhu či typu procesu vaření piva. Na šrotovníku lze rozemlet až 160 kg sladu za hodinu. Podnosový zásobník šrotovníku má kapacitu 7,6 kg, což je pro velikost provozu dostačující.

Obrázek 26 Šrotovník a váha na slad



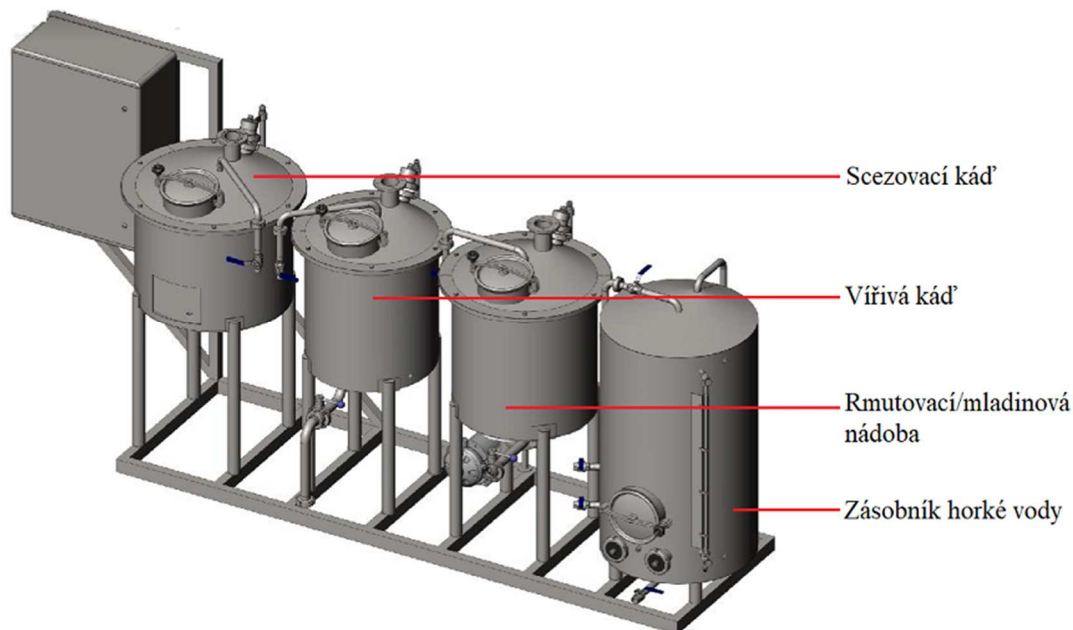
Zdroj: Archiv autora

Pivovar disponuje také vlastním hvozdem (viz příloha č 1), máčírnou a klíčírnou (viz příloha č 1 vpravo), což je strojní zařízení sloužící k úpravě obilí a výrobě sladu. V současné době se při vaření piva v pivovaru používá spíše slad kupovaný, nicméně zařízení je připraveno k použití při výuce i při běžném provozu.

5.1.2 Varná souprava

Celonerezová varná souprava nesoucí označení VN 50 L má jmenovitý výstav 50 litrů na várku a je určena k výrobě mladiny dekokčním nebo infuzním způsobem. Skládá se celkem ze 4 samostatných nádob – rmutovací nádoby, scezovací kádě, zásobníku horké vody z a vířivé kádě, jak je vidět na nákresu (viz obrázek 27).

Obrázek 27 Varná souprava VN 50 L



Zdroj: Vlastní zpracování dle interní dokumentace poskytnuté pivovarem

Na obrázku (č. 28) je fotografie pivovaru v reálné podobě, nádoby jsou zde shodně s nákresem (č. 27). Na obrázku je patrné, že v prostoru pod varní soupravou se nachází záchytný bazén s okrajovou zídkou vysokou asi 20 cm, která má obklady odolné vůči chemikáliím, aby v případě potřeby mohl zachytit i agresivní kapaliny. Bazén je vyspádován směrem ke středu, kde se nachází odtokový kanál. Tento kanál slouží k odtoku vody a kapalin po zemi a brání tak hromadění vody pod varnou soupravou. Podlahový odpad je důležitý pro udržení čistoty a hygieny v pivovaru a umožňuje snadné čištění a údržbu. Na fotografii je také vidět, že nádoby varní soustavy jsou propojeny potrubím, které umožňuje různé přečerpávání kapaliny mezi jednotlivými nádobami.

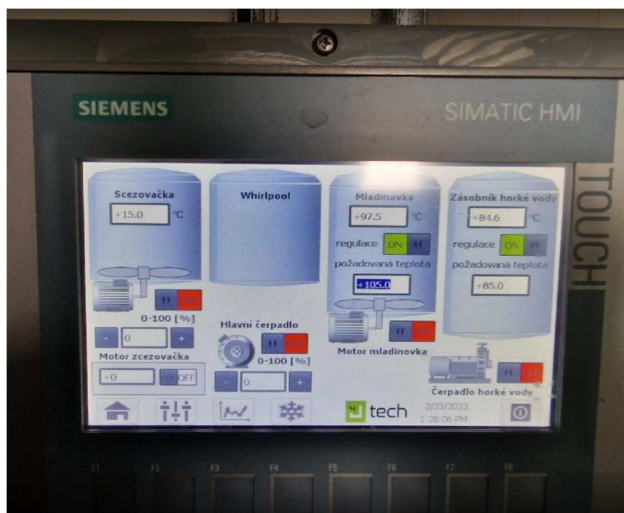
Obrázek 28 Varná souprava



Zdroj: archiv autora

Aby se kapalina mohla dopravovat potrubím, je varná souprava také vybavena dvojicí čerpadel umístěných pod soupravou. Varnou soupravu je možné obsluhovat pomocí ovládacího panelu (na obrázku č. 28 vlevo nahoře). Na ovládacím panelu, který je voděodolný, je možné monitorovat teplotu kapaliny uvnitř nádob (s výjimkou vířivé kádě), zapínat, nebo vypínat míchadla nádob, nastavovat požadované teploty, či obsluhovat čerpadla. Vedle těchto základních funkcí lze na ovládacím panelu zobrazit grafy průběhu vaření, nebo třeba monitorovat teplotu v ležáckých tancích. Na obrázku č. 29 je ovládací panel, na kterém je patrné snadné a intuitivní ovládání.

Obrázek 29 Ovládací panel varné soupravy



Zdroj: archiv autora

5.1.3 Scezovací kád'

Scezozací kád' je důležitým prvkem výrobní linky pivovaru. Slouží k oddělení mláta od sladiny (viz kapitola 4.7). Tato konkrétní scezozací kád' má skutečný objem 64 litrů, vnější průměr 550 mm a 400 mm na výšku. Kád' obsahuje 4 segmenty se scezozacím dnem, které umožňují propustnost 12 % a trysky pro vyplachování pod sítem pro snadné čištění o vnitřním průměru 20 mm. Dále obsahuje kypřicí zařízení se dvěma rameny (viz obrázek 30), sloužící k prořezávání mláta a zlepšení průtočnosti sladiny. Motor o výkonu 1,1 kW a 400 V, který je řízen frekvenčním měničem pro možnost nastavení rychlosti otáčení kypřicího zařízení. Scezozací kád' má rotační sanitační sprchu pro čištění. Kád' také obsahuje obdélníkový průlez pro výhoz mláta o rozměrech 185x235 mm a sanitační vlez s vnitřním průměrem 250 mm. Kád' je tepelně zaizolována vrstvou plastifikované vaty o průměru 50 mm. Vnější plášť je vyroben z nerezového plechu síly 1 mm a klobouk kádě v nerezovém provedení je propojen s odvětrávacím potrubím. Scezozací kád' je uvnitř vybavena světlem, aby bylo na proces scezozací dobře vidět.

Obrázek 30 Scezovací kád'-kypřící zařízení

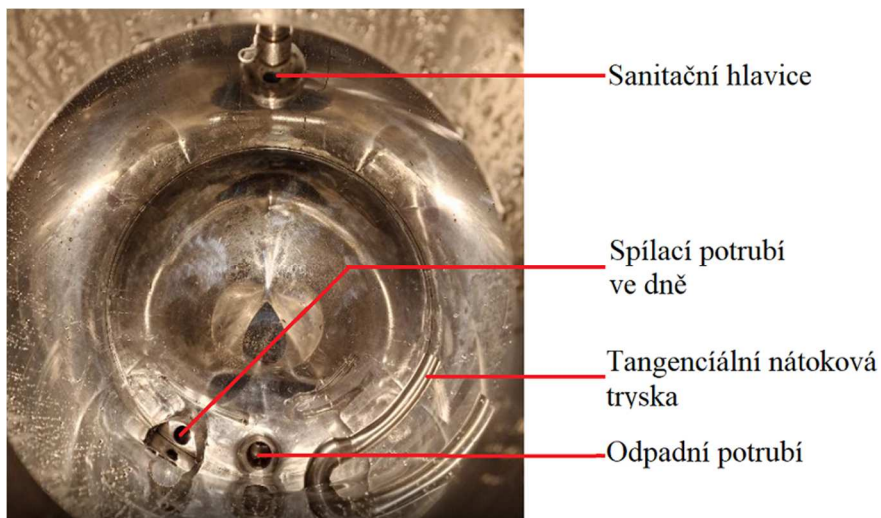


Zdroj: archiv autora

5.1.4 Vířivá kád'

Ve vířivé kádi probíhá proces separace hrubých kalů a je vzhledem k cílům diplomové práce nejdůležitější součástí varné soupravy. Z toho důvodu je v této kapitole popsána a zobrazena do nejmenších detailů. Skutečný objem kádě je 72 litrů, vnější průměr je 550 mm a výška 450 mm. Kád' je tepelně izolována 50 mm tlustou vrstvou plastifikované vaty. Její vnitřní průměr je 450 mm. Kád' je opatřena sanitační vymývací hlavicí a klobouk kádě v nerezovém provedení je propojen s odvětrávacím potrubím. Dno vířivé kádě je vyspádováno od středu směrem ke stěnám. Vířivá kád' je uvnitř opatřena světlem 12V/35W, aby bylo možné pohodlně sledovat průběh separace hrubých kalů.

Obrázek 31 Vířivá kád'-pohled dovnitř

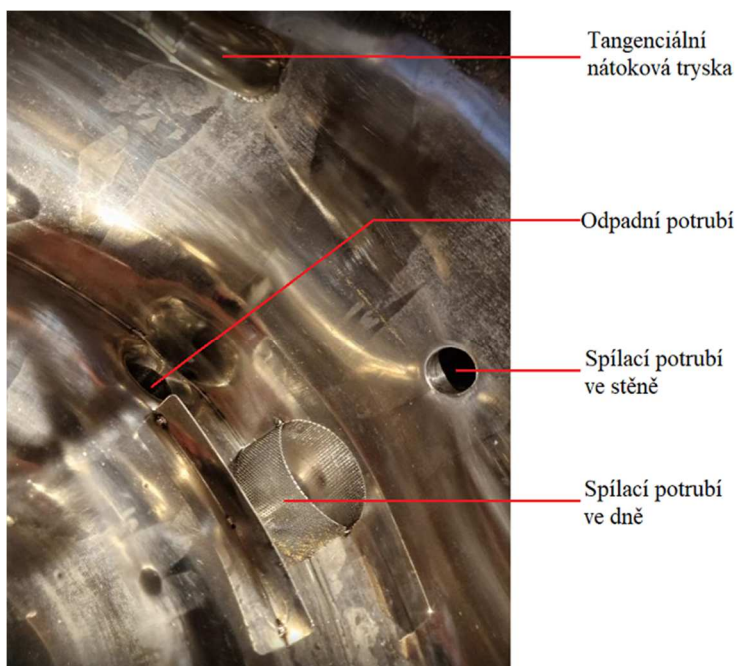


Zdroj: archiv autora

Na obrázku č. 31 je pohled do vířivé kádě a je vidět, že dno má spád od středu ke stěnám. Dále je zde vidět technologické řešení tangenciálního nátoku mladiny do vířivé kádě navařenou nátokovou tryskou kopírující zakřivení obvodu nádoby. Její vnitřní průměr je 20 mm. Odpadní potrubí se využívá pro čištění od vyseparovaných kalů a sanitaci nádoby.

Na fotografii pořízené uvnitř kádě (viz obrázek č. 32) je vidět otvor spílacího potrubí ve stěně a detail děrovaného plechu pro ochranu spílacího potrubí ve dně od nasávání stržených hrubých kalů z kalového kuželu.

Obrázek 32 Vířivá kád'-pohled zevnitř

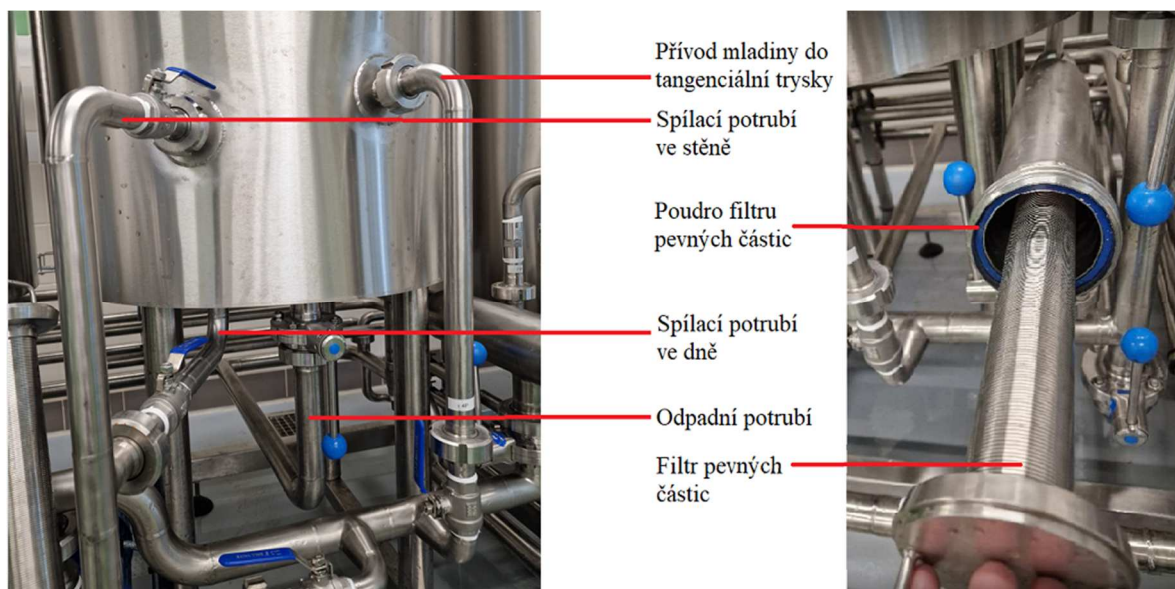


Zdroj: archiv autora

Pohled na potrubní cesty vířivé kádě z vnějšku (obrázek č. 33) přibližuje geometrii potrubí vedoucího k vířivé kádi. Spílací potrubí vyvedené ve stěně a dně kádě může být zavíráno, nebo otevíráno ventily dle potřeby (nejprve se při spílání otevírá pouze horní ventil) a vede přes filtr pevných částic (na obrázku č. 33 vpravo), který je schopen odfiltrovat zbytky hrubých kalů před přečerpáním do ležáckých tanků ke kvašení, kam se kaly mohou dostat jen v malé míře. Filtr mladiny je schopen přefiltrovat až $2000 \text{ l} \cdot \text{hod}^{-1}$ (je tedy vzhledem k velikosti pivovaru silně předimenzován) a jeho vnitřní průměr je 80 mm. Čištění se provádí otočením čela pouzdra filtru, kde se nachází závit a následně je možné jej vytáhnout a vyčistit tlakovou vodou.

Dále je na obrázku vidět trubka pro přívod horké mladiny ze rmutovystírací pánve. Trubka vede do kádě v přímém stoupání a pak je prakticky pod pravým úhlem zaústěna do stěny kádě, kde se až použitou vnitřní armaturou (viz obrázek č. 31) stává pomyslnou tečnou k obvodové stěně kádě. Podle kapitoly (4.12.1) není toto technické provedení (včetně vnitřní armatury) ideální. Nicméně při zhotovování pivovaru samozřejmě záleží i na možnostech využití prostoru a v případě malého výukového pivovaru je řešení dostačující. Odpadní potrubí ze dna kádě je soustavou trubek navedených ke kanalizaci, v případě potřeby je možné ho navést i do některé z kádí pomocí systému ventilů.

Obrázek 33 Vířivá kád' – potrubí, filtr

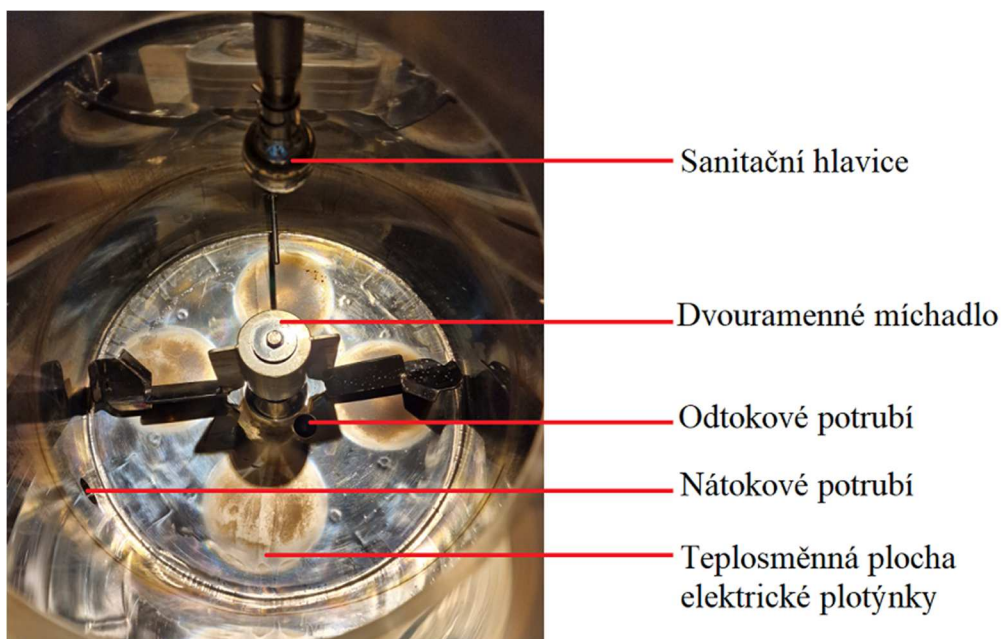


Zdroj: archiv autora

5.1.5 Rmutovystírací/mladinová pánev

Další nádobou ve varní soupravě je rmutovystírací pánev. V pivovaru se používá pro vystírku, rmutování i chmelovar, kdy se po dokončení chmelovaru čerpá mladina z této nádoby přímo do vířivé kádě, kde následuje proces separace hrubých kalů. Rmutovystírací pánev má objem 98 litrů a její vnější rozměry s izolací jsou 600 mm v průměru a 500 mm na výšku. Izolace o síle 50 mm je provedena z plastifikované vaty a vnější plášť je vyroben z nerezového plechu o síle 1 mm. Ohřev dna zajišťují čtyři samostatné elektrické plotýnky (což je již po pár použití na dně pánve patrné viz obrázek č. 34). Dvouramenné míchadlo s převodkou 1,1 kW 400V umožňuje řádné promíchání rmutu. Pánev je také vybavena světlem pro snadnou kontrolu procesů v ní probíhajících. Pánev je vybavena sanitární vymývací hlavicí s průměrem 20 mm a sanitacním vlezem o průměru 250 mm pro snadné čištění pánve. Klobouk v nerezovém provedení je propojen s odvětrávacím potrubím, což umožňuje účinné odvětrávání.

Obrázek 34 Rmutovystírací pánev



Zdroj: archiv autora

5.1.6 Zásobník horké vody

Horkovodní nádrž je důležitou součástí výrobní linky pro výrobu piva. Slouží k udržování zásob horké vody pro všechny fáze procesu. Tato konkrétní horkovodní nádrž má objem 126 litrů a rozměry s izolací o vnějším průměru 500 mm a výšce 1 000 mm a je samozřejmě také zaizolována vrstvou plastifikované vaty o tloušťce 50 mm. Její vnější plášť je vyroben z nerezového plechu o tloušťce 1 mm. Nádrž je vybavena kruhovým průřezem o průměru 220 mm, stavoznakem o vnitřním průměru 20 mm, topným tělesem pro ohřev vody o výkonu 3 kW s napětím 230V a vstupní a výstupní armaturou o vnitřním průměru 25 mm. Kromě toho nádrž obsahuje přepad s vnitřním průměrem 32 mm a hladinový plovák. Horkovodní nádrž je osazena čerpadlem na vodu Calpeda C 20E 230/400 V o výkonu 0,37 kW a tlakovým spínačem.

5.1.7 Hlavní čerpadlo

K varné soupravě přísluší také „hlavní“ vysokotlaké čerpadlo, které je pro měření a cíl práce také velice důležitým prvkem, protože je zodpovědné za čerpání mladiny ze rmutovystírací pánve do vířivé kádě a hraje tedy klíčovou roli v možnostech obměňování nátokové rychlosti mladiny úpravou svého výstupního výkonu.

Hlavní čerpadlo je vyrobeno společností Ebara a nese označení DWO 150 400V a je vidět na obrázku č. 35. Toto čerpadlo v pivovaru slouží, jak už bylo naznačeno, k dopravování kapaliny (jak meziproductů piva, tak například sanitačního roztoku). Je vyrobeno z nerezové oceli a je odolné vůči korozi a kavitaci a je proto vhodné na použití v provozu, kde se v čerpané kapalině mohou vyskytovat i pevné částice. Jmenovitý výkon čerpadla je 1,1 kW a jeho průtok se pohybuje od 100 do maximálních 550 l/min. Jeho maximální výtlak je 9,8 m, což je ale výška kterou v pivovaru těchto rozměrů rozhodně nemusí překonávat. Čerpadlo je uloženo pod varnou soupravou na pomezí svezovací a vířivé kádě, což lze vidět na obrázku (č. 28). Má stupeň krytí IP55, což je vzhledem k provozu a místu uložení čerpadla vhodné. Čerpadlo je také vybaveno integrovanou ochranou proti přetížení a je velice tiché, což je žádoucí pro pohodlí obsluhy pivovaru.

Obrázek 35 Hlavní čerpadlo

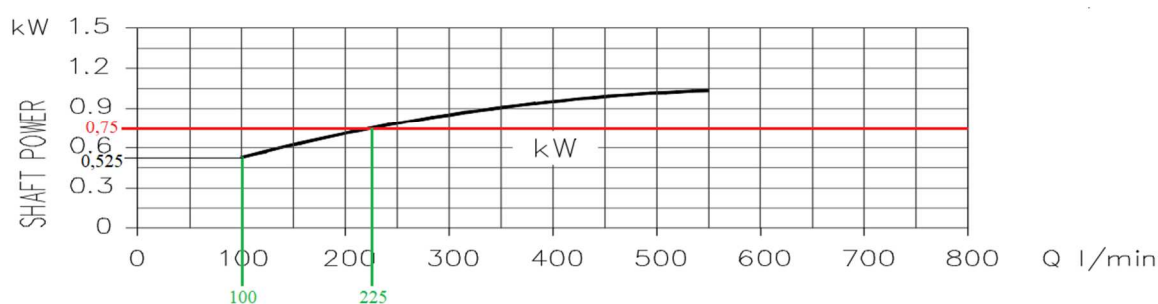


Zdroj: archiv autora

Pro účely výzkumu a výuky je výkon čerpadla možné upravovat, což není vždy v pivovarech běžnou praxí. Tento fakt podstatně ovlivnil, že byl pro měření a výzkum spojený s diplomovou prací zvolen právě tento konkrétní pivovar. Výkon čerpadla je možné řídit pomocí nainstalovaného frekvenčního měniče, který současně shora omezuje maximální výkon čerpadla z 1,1 kW na 0,75 kW. Vzhledem k velikosti pivovaru a vzdálenostem dopravování kapaliny není ztráta výkonu způsobená instalací frekvenčního měniče pro pivovar nežádoucí, naopak snížení maximálního výkonu (a tím i průtoku) je

v konkrétních podmínkách provozu vhodné, protože jak bylo zmíněno v kapitole 4.12.1, příliš vysoký výkon čerpadla může negativně ovlivnit finální vlastnosti piva. Frekvenční měnič umožňuje řízení výkonu čerpadla od 0 do 100 %, přičemž jeho minimální výkon je 0,525 kW a maximální výkon 0,75 kW. Velice důležitou charakteristikou čerpadla pro diplomovou práci je průtok. Podle průtoku a znalosti světlosti nátokové trysky je možné stanovit obvodovou rychlost mladiny ve vířivé kádi. Frekvenční měnič by měl teoreticky nastavovat výkon čerpadla na výstupní průtok v intervalu od 100 do 225 l·min⁻¹, jak je naznačeno v obrázku č. 36. Obrázek č. 36 je charakteristika čerpadla Ebara DWO 150, která vyjadřuje závislost výkonu čerpadla v kW na jeho průtoku udávaném v l·min⁻¹.

Obrázek 36 Charakteristika čerpadla



Zdroj: Vlastní zpracování dle materiálů společnosti EBARA

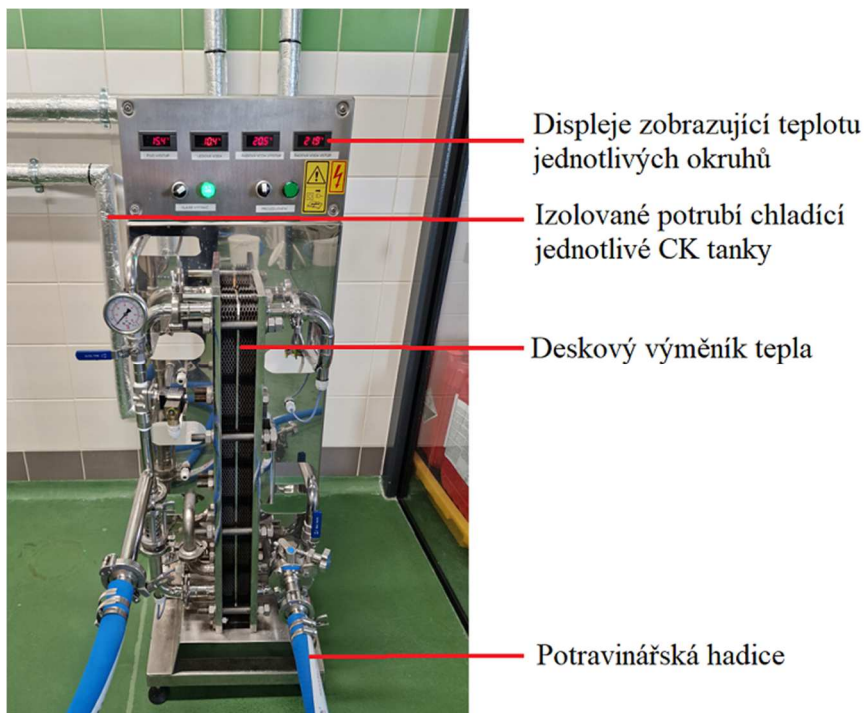
Čerpadlo je ovládané z řídicího panelu, kde je možné zvolit na displeji zapnuto, nebo vypnuto a příslušnou hodnotu procent výkonu, na kterou má čerpadlo pracovat, což je vidět na obrázku č. 29. pod nádobou Whirlpool v sekci Hlavní čerpadlo. Při procesu separace hrubých kalů je procentuální výkon čerpadla díky frekvenčnímu měniči obsluhou pivovaru většinou nastavován na hodnoty v intervalu 30–40 %. Na základě zkušenosti obsluhy je tento interval pro průběh separace hrubých kalů vhodný.

5.1.8 Chlazení mladiny

V pivovaru se po dokončení procesu separace hrubých kalů ve vířivé kádi přečerpá pomocí čerpadla vyčiřená mladina do cylindricko-kónických kvasných tanků. Aby se to ale mohlo uskutečnit, je třeba mladinu nejdříve zchladit na zákvasnou teplotu. K tomu

v pivovaru slouží deskový chladič s kondenzační jednotkou GCU-25, který je na obrázku č. 37. Chladič se nachází spolu s kvasnými tanky v ležáckém sklepe (který je na stejném podlaží jako varna, ale v oddělené místnosti bez oken). Chladič se využívá jak pro přímé zchlazení mladiny čerpané do kvasných tanků, tak pro kontinuální chlazení jednotlivých kvasných tanků, protože z technických důvodů v tomto pivovaru není možné, aby se tanky nacházely v místnosti, která si udržuje stále nízkou teplotu. Ke každému z kvasných tanků vede tepelně z izolované chladicí potrubí, aby bylo možné v tancích udržovat požadovanou teplotu. Vzhledem k tomu, že do prostoru ležáckého sklepa není od varné soupravy přivedeno přímé potrubí, kterým by bylo možné mladinu čerpat přes chladič přímo do kvasných tanků, je v pivovaru využíváno propojení mobilními potravinářskými hadicemi, určenými pro tento účel. Jsou vyrobeny pro snadnou sanitaci, snadné propojení nádob a také jsou odolné vůči vysokým teplotám horké mladiny a pracovním tlakům požadovaných provozem pivovaru.

Obrázek 37 Chladicí jednotka

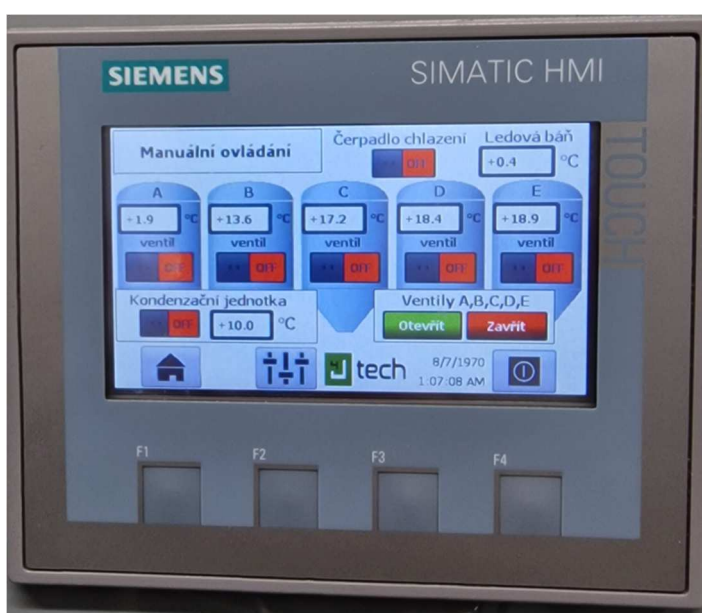


Zdroj: archiv autora

Chladič je dvoustupňový a má tedy dva okruhy. Jeden okruh je chlazen řádovou vodou a druhý okruh pomocí roztoku glykolu (viz obrázek č. 24). Chladicí výkon zařízení

je 4 500 W, což stačí pro zchlazení až 470 l mladiny o 10 °C za hodinu. To je pro provoz a kapacitu pivovaru naprosto dostačující. Chladič je zařízení s poměrně vysokou hlučností, která činí 70 dB ve vzdálenosti 1 m od zařízení, nicméně ve srovnání se staršími zařízeními je hlučnost přijatelná a nijak významně nenarušuje práci v pivovaru. Chladicí zařízení má svůj vlastní ovládací panel umístěný na zdi za kvasnými tanky (viz obrázek č. 38). Na displeji je možné ovládat chladicí jednotku a nastavovat rozdílné teploty pro chladicí okruhy a jednotlivé CK tanky.

Obrázek 38 Ovládací panel chlazení



Zdroj: archiv autora

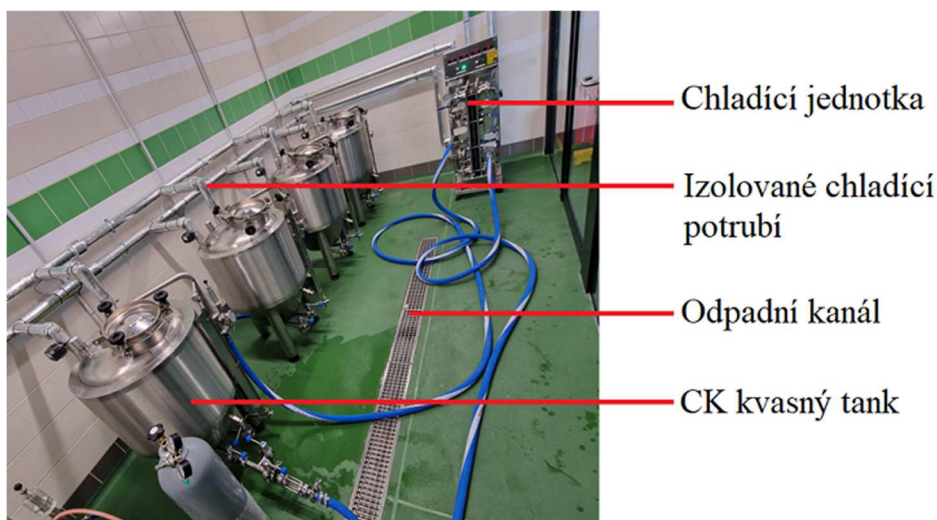
5.1.9 Kvašení

Po zchlazení mladiny na zákvasnou teplotu v deskovém chladiči je mladina za pomoci potravinářské hadice přečerpána do cylindricko-kónický kvasných tanků sloužících pro kvašení a zrání (ležení) piva. V pivovaru se nachází celkem pět kvasných tanků s užitečným objemem 100 l a celkovým objemem 120 l pro kvašení a zrání piva. Tanky jsou vyrobeny z potravinářské nerezové oceli, mají klasický tvar CK tanku a jsou konstruovány pro tlaky do 3 barů. Jejich plášť je dvojitý a tanky jsou izolovány polyuretanem. Každý z tanků obsahuje chladicí duplikátor, který je přímo napojen izolovaným potrubím na chladicí jednotku, jak je patrné z obrázku č. 38. Teplota v CK tancích je řízená ovládacím panelem

chladicího zařízení (viz obrázek č. 38) a každý může mít rozdílnou teplotu vzhledem k potřebám pivovaru, který může současně nechat zrát až pět různých druhů piva najednou.

Po dokončení ležení piva je pivo připraveno k lahvování, či sudování. Pivovar disponuje vlastní plničkou lahví i sudů a v případě potřeby může nechat pivo dozrávat i v nerezových KEG sudech. Po procesu vaření piva je také pivovar nutné vysanitovat, k čemuž zde slouží čisticí a dezinfekční stanice CIP 52 o objemu 2x 50 l. Na mytí sudů používá obsluha pivovaru myčku KEG sudů Lukramk. Vzhledem k tomu, že problematika plnění láhví, sudů a sanitace pivovaru na rozdíl od předchozích kapitol nemá přímý vliv na předmět zkoumání diplomové práce, nebudou v práci tyto procesy dále podrobněji rozebrány.

Obrázek 39 Ležácký sklep s CK tanky



Zdroj: archiv autora

5.2 Měření a výpočty po ukončení chmelovaru

S obsluhou pivovaru bylo dojednáno, že pro relevantní výsledky a účely měření bude celý technologický postup vaření piva probíhat identicky, aby naměřené hodnoty měly vypovídající hodnotu. To v praxi znamená, že při vaření piva bylo vždy použito stejné množství surovin, a to jak vody, tak sladu, tak i chmelového granulátu. Tyto suroviny byly zpracovány pokaždé shodným způsobem, což zahrnovalo i stejnou dobu trvání každého procesu a provedení všech operací za shodných tlaků a teplot. Tím se zajistilo, že mladina

po ukončení chmelovaru měla při každém měření stejné parametry i stejný objem a po procesu separace hrubých kalů pak bylo možné spolu výsledky porovnávat.

Při procesu bylo konkrétně použito tří různých druhů sladů. Slad Pale Ale (5 kg), plzeňský slad (4,5 kg) a slad jménem Crispy Ale (1,5 kg). Chmelovar (viz kapitola 4.8.1) trval vždy 90 minut a chmelení probíhalo ve třech dávkách (viz kapitola 4.8.6) a bylo použito dvou druhů chmelového granulátu. Konkrétně chmelení El Dorado (22,2 g) a chmelení Ekuanot (11,8 g). Chmelový granulát byl vždy navážen na laboratorní váze a časové rozestupy mezi dávkami byly při všech měřeních shodně dodrženy.

5.2.1 Měření objemu hrubých kalů

Po ukončení chmelovaru probíhajícíím ve víceúčelové rmutovystírací pánvi (v práci dále nazývané mladinová pánev, z důvodu, že proces chmelovaru probíhá v mladinové pánvi a jeho výsledkem je mladina) je mladina připravena k načerpání do vířivé kádě, kde dojde k procesu separace hrubých kalů, a tedy před samotným přečerpáním obsahuje větší objem hrubých kalů, které je potřeba separovat, protože mají negativní vliv na výslednou kvalitu piva. Pro měření jejich objemu byla zvolena zkouška Imhoffovým kuželem, který musel být po mnoha nezdárných pokusech o jeho vypůjčení z různých institucí zakoupen u specializované firmy. Tento konkrétní Imhoffův kužel (viz obrázek 19) má objem 1000 ml a na své stěně zakreslenou stupnici od 0 do 100 ml. Jeho tvar je unikátní, aby bylo možné z jeho stupnice pohodlně odečítat i malé hodnoty. Pro představu v jeho špičce je první mililitr stupnice rozdělen na 10 dílků po 0,1 ml (a má výšku cca 30 mm), což je desetitisícina celkového objemu kuželu a je tedy možné ze stupnice poměrně přesně odečítat i velice malé objemy sedimentovaných částic. Pro srovnání u litrového odměrného válce (který byl před zakoupením špatně sehnatelného Imhoffova kuželu jednou z uvažovaných variant pro měření) je stupnice pouze po deseti ml, které mají výšku asi 3,5 mm, z čehož vyplývalo, že měření objemu kalů odměrným válcem by bylo velice nepřesné a bylo zavrhnuto.

Vzorek mladiny z mladinové pánve se po ukončení chmelovaru vždy odebíral shodným způsobem. Bylo k tomu použito pivovarské naběračky s dlouhou rukojetí, která je na obrázku č. 40. na levé straně.

Obrázek 40 Odebírání vzorku



Zdroj: archiv autora

Vzhledem k vysoké teplotě mladiny a par vycházejících z kruhového průlezu, kterým byl vzorek odebírán bylo nutno její použití z důvodu bezpečnosti. Na základě nedůvěry v odolnost Imhoffova kuželu vůči vysokým teplotám byl vzorek naběračkou nejprve odebrán do kádinky z varného skla s objemovou stupnicí, ve které byl následně po dobu tří minut zchlazován proudící řádovou vodou po stěně kádinky. Následně byl vzorek promíchán lžičkou, aby se hrubé kaly, které již na základě své vyšší hmotnosti začaly sedimentovat, roznesly po celém objemu mladiny. Vzorek byl pak přelit do Imhoffova kuželu, který byl umístěn ve vodorovné poloze jeho otevřené části (špičkou dolů) v laboratorním kruhu připevněném křížovou spojkou na laboratorní stojan.

Dalším krokem měření objemu hrubých kalů v mladině odebrané z mladinové pánve byla samotná sedimentace kalů v Imhoffově kuželu. Pro tento proces bylo třeba zvolit čas sedimentace a při každém měření ho striktně dodržet, aby při každém měření měly kaly stejnou dobu na sedimentaci a výsledky se tak daly porovnat. Čas sedimentace byl nakonec oproti původně zamýšlené hodině zvolen 45 min z důvodu nutnosti měření dalšího vzorku po separaci hrubých kalů, vlastnění pouze jednoho Imhoffova kuželu, omezeného času obsluhy pivovaru a vyhodnocení, že kaly v kuželu byly vždy téměř usazené do půl hodiny a nebylo tak nutné čas dále prodlužovat. Čas 45 minut byl vždy měřen na stopkách a použit ve všech v práci následujících měřeních pomocí Imhoffova kuželu.

Sedimentace hrubých kalů vzorku odebraného z mladinové pánve je vidět na obrázku č. 41. Na tomto obrázku se sedimentace v Imhoffově kuželu zachycena ve třech časech. Na

levé straně je fotografie pořízena v čase sedimentace $t = 4$ min, uprostřed $t = 15$ min a vpravo $t = 45$ min.

Obrázek 41 Sedimentace vzorku z mladinové pánve v Imhoffově kuželu



Zdroj: archiv autora

Na obrázku je vidět postupná sedimentace kalů, které z původního rovnoměrného rozmístění po mladině již asi po deseti minutách vytvořily evidentní vrstvu sedimentu, oddělenou od zbytku mladiny. Po patnácti minutách už sedimentace probíhala velice pomalu a po třiceti minutách už se výsledky skoro neměnily. V čase $t = 45$ min bylo měření vzorku ukončeno a ze stupnice byla odečtena hodnota 62 ml mokrých hrubých kalů v jednom litru mladiny odebrané z mladinové pánve.

Toto měření objemu hrubých kalů z mladinové pánve předcházelo každému měření objemu hrubých kalů po procesu separace hrubých kalů ve vířivé kádi. Vzhledem k použití stejného technologického postupu a stejných surovin pro přípravu mladiny nebude v práci dále každé z těchto jednotlivých měření provedených po chmelovaru podrobně popsáno a rozebráno. Výsledky všech těchto měření byly z důvodu shodného předchozího postupu pouze zanedbatelně odlišné, nebo stejné a práce bude tedy dále vycházet z objemu hrubých kalů po ukončení chmelovaru 62 ml na 1 litr mladiny.

5.2.2 Výpočet hmotnosti mokrých hrubých kalů

Pro účely splnění cíle práce bylo nutné zjistit hmotnost mokrých hrubých kalů v mladině, protože s touto hodnotou bude třeba dále počítat. Aby mohla být zjištěna jejich hmotnost, byl zvolen postup jejich oddělení od mladiny a zvážení rozdílu hmotností.

Nejprve byl zvážen 1 litr mladiny odebraný po chmelovaru z mladinové pánve. Vzorek o objemu 1 l byl následně přefiltrován přes filtrační papír, jak je vidět na obrázku č. 42. Pro tento účel při měření posloužil kávový filtr s konvicí. Tím došlo k oddělení hrubých kalů a jejich zachycení do filtračního papíru.

Obrázek 42 Filtrace mladiny



Zdroj: archiv autora

Zbýlý objem mladiny (nyní už bez kalů) byl znovu zvážen. Po odečtení hmotnosti filtrovaného vzorku od hmotnosti vzorku před filtrací byla zjištěna hmotnost mokrých kalů, které obsahuje 1 litr mladiny po dokončení chmelovaru. Následně byla hmotnost kalů v 1 litru mladiny vynásobena celkovým objemem mladiny a tím získána celková hmotnost mokrých hrubých kalů v jedné várce. Vydělením hmotnosti hrubých kalů v 1 litru jejich objemem byla získána jejich přibližná hustota. Stejný výpočet byl proveden pro zjištění odhadované hustoty mladiny. Výpočet byl následující:

- Hmotnost 1 l mladiny po chmelovaru ... $m_1 = 1\,072,34\text{ g}$
- Hmotnost mladiny po filtraci ... $m_2 = 996,82\text{ g}$
- Hmotnost kalů v 1 l mladiny ... $m_k = 1\,072,34 - 996,82 = 75,52\text{ g}$
- Objem kalů v 1 l mladiny ... $V_k = 62\text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$

- Objem přefiltrované mladiny ... $V_{mf} = 1\,000 - 62 = 938$ ml
- Objem mladiny v jedné várce ... $V_m = 50$ l
- Hmotnost kalů v jedné várce ... $m_{k(50l)} = 50 \cdot 75,52 = 3\,776$ g
- Vzorec pro výpočet hustoty:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

- Hustota mokrých kalů ... $\rho_k = \frac{m_k}{V_k} = \frac{75,52}{62} = 1,218$ g · ml⁻¹
- $\rho_k = 1\,218$ kg · m⁻³
- Hustota mladiny ... $\rho_m = \frac{m_z}{V_{mf}} = \frac{996,82}{1\,000-62} = 1,063$ g · ml⁻¹
- $\rho_m = 1\,063$ kg · m⁻³

Na základě výpočtu lze usuzovat, že v 1 litru mladiny o hustotě 1 063 kg·m⁻³ se po ukončení chmelovaru nachází asi 75,52 g mokrých hrubých kalů o hustotě 1 218 kg·m⁻³ a v jedné várce o objemu 50 l je celkově asi 3,776 kg mokrých hrubých kalů.

5.2.3 Výpočet hmotnosti suchých hrubých kalů

Autoři publikací, ze kterých je v práci čerpáno shodně uvádí, že mladina po separaci hrubých kalů ve vířivé kádi by měla obsahovat pouze do 100 mg sušiny na litr mladiny (KOSAŘ a kol., 2000, s. 230; KUNZE, 2004, s. 336; BASAŘOVÁ a kol., 2010, s. 215). Pro porovnání naměřených výsledků s uváděnou hodnotou je tedy vhodné, aby v práci mohl být proveden přepočet naměřené hodnoty mililitrů mokrých kalů v Imhoffově kuželu na miligramy sušiny hrubých kalů, která je pak porovnatelná s hodnotou 100 mg·l⁻¹.

Aby bylo možné určit hmotnost sušiny hrubých kalů bylo zapotřebí kaly vysušit. Po určování hmotnosti mokrých kalů (viz 5.2.2) bylo z jednoho litru mladiny odfiltrováno 62 ml hrubých kalů. Ty byly zachyceny ve filtračním papíru, který byl i s kaly následně vysušen. Sušení probíhalo v domácím prostředí v horkovzdušné troubě, která byla zapnuta pouze na minimální teplotu 30 °C, a filtrační papír společně s kaly byl tedy sušen spíše prouděním vzduchu, nežli jeho vysokou teplotou. Zhruba po šesti hodinách byl filtrační papír s kaly vyjmut a ponechán při pokojové teplotě asi dalších 24 hodin. Na obrázku č. 43 je na levé straně vysušený filtr s hrubými kaly, na pravé straně je vidět část sušiny hrubých kalů, která byla po vážení vyjmuta z filtračního papíru. V kalové sušině jsou patrné chmelové zbytky.

Obrázek 43 Sušina hrubých kalů



Zdroj: archiv autora

Poté byl filtrační papír spolu s vysušenými kaly zvážen. Od výsledku byla odečtena hmotnost samotného nového totožného filtračního papíru. Kaly se ve filtračním papíru při vysoušení ponechaly se záměrem nezkrslit měření (vážení) jejich neúplným vyjmutím z filtračního papíru a to jak za mokrého, tak suchého stavu. Po odečtení hmotnosti filtračního papíru byla získána hmotnost sušiny hrubých kalů v 1 l mladiny, která současně odpovídala objemu 62 ml kalů. Hmotnost kalů v 1 litru mladiny byla vydělena 62 a tím se získala hmotnost sušiny 1 ml mokrých hrubých kalů. Výpočet hmotnosti suchých kalů vypadal následovně:

- Objem mokrých kalů v 1 l mladiny ... $V_k = 62 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$
- Hmotnost vysušeného filtračního papíru s kaly ... $m_f = 7,03 \text{ g}$
- Hmotnost filtračního papíru ... $m_p = 1,65 \text{ g}$
- Hmotnost sušiny kalů v 1 l mladiny ... $m_s = m_f - m_p = 7,03 - 1,65 = 5,38 \text{ g}$
- $5,38 \text{ g}$ sušiny kalů = 62 ml mokrých kalů
- Hmotnost sušiny 1 ml mokrých kalů ... $m_{sk(1 \text{ ml})} = 5,38 : 62 = 0,0868 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$
- 1 ml usazených kalů v Imhoffově kuželu = 86,8 mg kalové sušiny

5.3 Měření a výpočty po separaci hrubých kalů

Když byl z mladinové pánve odebrán vzorek pro měření podle kapitoly 5.2.1, je mladina v mladinové pánvi připravena na proces separace hrubých kalů. To probíhá tím způsobem, že obsluha pivovaru otevře a zavře potřebné ventily potrubí, aby byl možný nátok mladiny z mladinové pánve do vířivé kádě, na ovládacím panelu varné soupravy (viz obrázek 29) se zvolí požadovaná procenta výkonu hlavního čerpadla a čerpadlo se zapne. Pro účely diplomové práce bylo nutné zhruba zvolit počet měření, která budou provedena. Separace hrubých kalů měla být měřena za různých rychlostí čerpání mladiny do vířivé kádě (což znamená za různých procentuálních výkonů čerpadla). Výkon čerpadla se nastavuje v intervalu od 0 do 100 % (viz kapitola 5.1.7) a bylo proto vhodné rozdělit interval na několik stejných dílů, po kterých bude probíhat měření.

Vzhledem k tomu, že se jedná o výzkumný a výukový pivovar, existovaly na začátku obavy, že obsluha pivovaru nebude chtít vícekrát za sebou vařit stejný druh piva totožným postupem, proto byl původní záměr rozdělit interval po 20 % a provést měření pěti různých rychlostí čerpání. Nicméně po konzultaci s velice ochotnou obsluhou pivovaru se podařilo domluvit, že bude možné provést měření po 10 % a tedy provést až deset stejných technologických postupů vaření piva bez obměny, což bylo vzhledem ke kapacitě pivovaru, četnosti vaření a počtu ležáckých tanků pivovaru od obsluhy pivovaru více než vstřícné. Jediné, co se během technologického postupu měnilo, byl tedy procentuální výkon čerpadla, který přímo ovlivňuje nátokovou rychlost mladiny do vířivé kádě.

5.3.1 Stanovení teoretické nátokové rychlosti

Před začátkem prvního měření zamýšlel autor práce dopředu teoreticky a zjednodušeně stanovit a vypočítat nátokovou rychlost mladiny do vířivé kádě pro po desítkách jdoucí procentuální intervaly výkonu, aby měl dopředu představu o velikosti nátokové rychlosti mladiny do vířivé kádě. To bylo provedeno na základě znalosti průtokové charakteristiky hlavního čerpadla (viz obrázek 36). Z charakteristiky závislosti výkonu čerpadla na jeho průtoku je možné vyčíst, že teoretický výstupní průtok je od 100 (10 %) do 225 (100 %) $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ (maximální hodnota průtoku zde není 550 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ z důvodu omezení výkonu frekvenčním měničem na 0,75 kW). Tento interval teoretického výstupního průtoku čerpadla se rozdělil po 10 % a podle vztahu pro výpočet rychlosti proudění bylo záměrem spočítat průtokovou rychlost mladiny na základě znalosti geometrie nátokového potrubí od

čerpadla do tangenciální trysky vířivé kádě. Bylo předpokládáno, že průměr potrubí se při přechodu z čerpadla do tangenciální trysky změní a změna průměru trubky ovlivní i rychlost proudění, což by se zjednodušeně dalo spočítat pomocí rovnice kontinuity. Po bližším zkoumání geometrie potrubí vedoucího od čerpadla do vířivé kádě bylo ale zjištěno, že potrubí během cesty do tangenciální trysky mění svůj průměr hned několikrát a to ne pouze z většího průměru na menší, ale i naopak. Potrubí také obsahuje několik zatáček, které jsou až pravoúhlé, což je pro konstrukci a montáž mladinového potrubí vedoucího do vířivé kádě nevhodné.

Délka potrubí, ani změny jeho průměrů nebyly v technické dokumentaci zaznamenány, a výpočet rychlosti proudění mladiny se tak stává velice nepřesný a byl proto zjednodušen pouze na průtok vyčtený z průtokové charakteristiky čerpadla nejužším místem mladinového potrubí, kterým je tangenciální tryska o průměru 20 mm.

Vzhledem k tomuto faktu se dá předpokládat, že na základě změn průměrů, stoupání potrubí, jeho zatáček a ztrátami vedením bude reálná průtoková rychlost podstatně nižší, než bylo vypočteno. Dalším faktorem, který bude snižovat vypočtenou hodnotu rychlosti bude tlak mladinového sloupce hromadícího se ve vířivé kádi. Sloupec mladiny bude působit proti výtlaku čerpadla tangenciální tryskou. V následující tabulce jsou rozděleny intervaly výkonu a průtoku po deseti procentech. Hodnoty průtoku jsou pak převedeny z $l \cdot \text{min}^{-1}$ na $m^3 \cdot s^{-1}$ a je vypočtena teoretická odhadovaná rychlost proudění podle následujících vztahů:

- $v = \frac{Q}{S}$ (2)
- $S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,02^2 = 0,000314 \text{ m}^2$

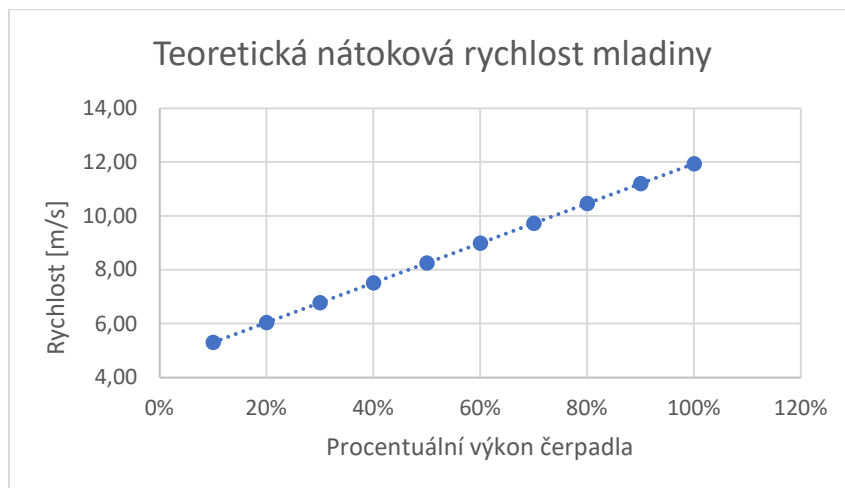
Tabulka 1 Výpočet odhadované teoretické rychlosti nátoky mladiny

Procentuální P [%]	P [kW]	Q [l/min]	Q [m3/s]	v [m/s]
10	0,525	100,0	0,00167	5,31
20	0,55	113,9	0,00190	6,04
30	0,575	127,8	0,00213	6,78
40	0,60	141,7	0,00236	7,52
50	0,625	155,6	0,00259	8,25
60	0,65	169,4	0,00282	8,99
70	0,675	183,3	0,00306	9,73
80	0,70	197,2	0,00329	10,46
90	0,725	211,1	0,00352	11,20
100	0,75	225,0	0,00375	11,94

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě výpočtu teoretické rychlosti proudění mladiny tangenciální tryskou byl sestaven graf vyjadřující závislost nátokové rychlosti na procentuálním výkonu čerpadla.

Graf 1 Teoretická nátoková rychlost mladiny



Zdroj: vlastní zpracování

5.3.2 Měření číslo 1

Bylo určeno, že měření objemu hrubých kalů po procesu separace vířením se bude provádět od nejvyšší rychlosti po nejnižší. Začátek jednotlivých měření bude dále v práci vždy představen od stejného momentu, kterým je nastavování procentuálního výkonu čerpadla. Každému z měření pokaždé předcházela tato totožná fáze podle kapitoly 5.2.1.

Na základě neuspokojivého a nejistého výsledku výpočtu nátokové rychlosti mladiny do vířivé kádě (podle kapitoly 5.3.1) bylo rozhodnuto, že je třeba vypočítat skutečnou nátokovou rychlost mladiny. Tu bylo možné stanovit tak, že se změřil čas, za který se celý objem mladiny z mladinové pánve přečerpá do vířivé kádě. Díky tomu je možné vypočítat průtok mladiny pro jednotlivé procentuální výkony čerpadla. Ze získání hodnoty průtoku a znalosti světlosti tangenciální nátokové trysky ($D=20\text{ mm}$) lze pak vypočítat skutečnou nátokovou rychlost mladiny. Pro výpočet se použije následujících vztahů:

- $Q = \frac{V}{t} [m^3 \cdot s^{-1}]$ (3)
- V ... celkový objem mladiny [m^3]
- t ... doba přečerpání celého objemu mladiny [s]

- $v = \frac{Q}{S} [m \cdot s^{-1}]$
- v ... nátoková rychlost mladiny $[m \cdot s^{-1}]$
- D ... průměr nátokové křivky $[m]$
- S ... plocha průřezu nátokové křivky $[m^2]$
- $S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,02^2 = 0,000314 m^2$

Na řídicím panelu varné soustavy byl nastaven výkon hlavního čerpadla na 100 % a čerpadlo bylo spolu se stopkami zapnuto. Nicméně výkon čerpadla byl tak vysoký, že mladina vycházející z tangenciální nátokové trysky se rozbíjela o „protější“ stěnu a její nátok byl vzhledem k malému poloměru vířivé kádě (pouze 0,225 m) tak prudký, že mladina začala tryskat průlezem vířivé kádě ven do prostoru pivovaru a obsluha byla nucena okamžitě vypnout čerpadlo a následně snížit jeho výkon, který byl s ohledem na velikost pivovaru nepoužitelný.

Po této události bylo spolu s obsluhou pivovaru vyhodnoceno, že se nebude měření provádět pro maximální, ani 90% výkon čerpadla, protože varná souprava není na takto vysoký výkon a nátokovou rychlost konstruována. Bylo by možné průlez uzavřít, ale vysoká rychlost čerpání by také s velkou pravděpodobností negativně ovlivnila výslednou kvalitu piva a při napouštění do vířivé kádě by se mladina do velké míry napěnila, což by znesnadňovala pozorování procesu separace hrubých kalů. Proto bylo rozhodnuto při dalším měření použít výkon čerpadla na 80 %.

5.3.3 Měření číslo 2

Hodnota výkonu čerpadla byla nastavena na 80 % a současně se sepnutím čerpadla byly zapnuty i stopky nátok mladiny do vířivé kádě byl opět poměrně prudký. Na obrázku č. 44 je patrné (na obrázku vlevo), že kromě kopírování kružnice ve směru nátok mladiny se mladina vlivem rychlého styku se stěnou vířivé kádě rozlévá po stěně i vertikálním směrem, což není ideální pro vznik správně formovaného kalového kuželu a průběh separace hrubých kalů. Nátok mladiny v rozdílném než tangenciálním směru zapříčiňuje vznik nežádoucích sekundárních proudů, které negativně ovlivňují separaci hrubých kalů. Na levé straně obrázku je patrné vyspádování kádě od středu směrem ke stěnám a také započítí tvoření pěny, která je způsobeno vysokou rychlostí nátok mladiny. Pěna je překážkou pro

vizuální kontrolu separace hrubých kalů a známkou nešetrného proudění mladiny. Na pravé straně obrázku, který je pořízen asi o 15 vteřin později než levý, je už pěna zformována v souvislou pěnovou vrstvu po celé hladině mladiny.

Obrázek 44 Prudký nátok mladiny do vířivé kádě



Zdroj: archiv autora

V okamžiku dočerpání celého objemu mladiny byl zastaven čas na stopkách i hlavní čerpadlo. Podle naměřené hodnoty času a objemu várky byl vypočten průtok mladiny. Z průtoku a znalosti průřezu nátokové trysky byla vypočtena obvodová rychlost mladiny.

Nátoková rychlost:

- *Procentuální výkon čerpadla* = 80 %
- $t_{80\%} = 27,97 \text{ s}$
- $V = 0,05 \text{ m}^3$
- $D = 0,02 \text{ m}$
- $Q_{80\%} = \frac{V}{t_{80\%}} = \frac{0,05}{27,97} = 0,00180 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- $S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,02^2 = 0,000314 \text{ m}^2$
- $v_{80\%} = \frac{Q_{80\%}}{S} = \frac{0,00180}{0,000314} = 5,72 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Po průběhu procesu víření byl při každém následujícím měření odebrán vzorek mladiny stejným způsobem jako v kapitole 5.2.1. a podle stejných zásad vyhodnocen. Dále v práci budou uvedeny naměřené hodnoty, jejichž získání nebude v práci dále komentováno. Objem hrubých kalů v jednom litru mladiny po separaci hrubých kalů byl pro 80% výkon čerpadla následující:

Objem hrubých kalů v mladině po separaci (fotodokumentace viz příloha 2):

- $V_{k\ 80\ \%} = 0,65\ \text{ml} \cdot \text{l}^{-1}$

5.3.4 Měření číslo 3

Nátoková rychlost:

- *Procentuální výkon čerpadla* = 70 %
- $t_{70\ \%} = 29\ \text{s}$
- $V = 0,05\ \text{m}^3$
- $D = 0,02\ \text{m}$
- $Q_{70\ \%} = \frac{V}{t_{70\ \%}} = \frac{0,05}{29} = 0,00172\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- $S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,02^2 = 0,000314\ \text{m}^2$
- $v_{70\ \%} = \frac{Q_{70\ \%}}{S} = \frac{0,00172}{0,000314} = 5,48\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Objem hrubých kalů v mladině po separaci:

- $V_{k\ 70\ \%} = 0,3\ \text{ml} \cdot \text{l}^{-1}$ (fotodokumentace viz příloha 3)

5.3.5 Měření číslo 4

Nátoková rychlost:

- *Procentuální výkon čerpadla* = 60 %
- $t_{60\ \%} = 33,71\ \text{s}$
- $V = 0,05\ \text{m}^3$
- $D = 0,02\ \text{m}$
- $Q_{60\ \%} = \frac{V}{t_{60\ \%}} = \frac{0,05}{33,71} = 0,00148\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

- $S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,02^2 = 0,000314 \text{ m}^2$
- $v_{60\%} = \frac{Q_{60\%}}{S} = \frac{0,00148}{0,000314} = 4,71 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Objem hrubých kalů v mladíně po separaci:

- $V_{k\ 60\%} = 0,25 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ (fotodokumentace viz příloha 4)

5.3.6 Měření číslo 5

Nátoková rychlost:

- *Procentuální výkon čerpadla* = 50 %
- $t_{50\%} = 43,47 \text{ s}$
- $V = 0,05 \text{ m}^3$
- $D = 0,02 \text{ m}$
- $Q_{50\%} = \frac{V}{t_{50\%}} = \frac{0,05}{43,47} = 0,00115 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- $S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,02^2 = 0,000314 \text{ m}^2$
- $v_{50\%} = \frac{Q_{50\%}}{S} = \frac{0,00115}{0,000314} = 3,66 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Objem hrubých kalů v mladíně po separaci:

- $V_{k\ 50\%} = 0,05 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ (fotodokumentace viz příloha 5)

5.3.7 Měření číslo 6

Nátoková rychlost:

- *Procentuální výkon čerpadla* = 40 %
- $t_{40\%} = 53,7 \text{ s}$
- $V = 0,05 \text{ m}^3$
- $D = 0,02 \text{ m}$
- $Q_{40\%} = \frac{V}{t_{40\%}} = \frac{0,05}{53,7} = 0,00093 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- $S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,02^2 = 0,000314 \text{ m}^2$
- $v_{40\%} = \frac{Q_{40\%}}{S} = \frac{0,00093}{0,000314} = 2,96 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Objem hrubých kalů v mladíně po separaci:

- $V_{k\ 40\ \%} = 1\ \text{ml} \cdot \text{l}^{-1}$ (fotodokumentace viz příloha 6)

5.3.8 Měření číslo 7

Nátoková rychlost:

- *Procentuální výkon čerpadla* = 30 %
- $t_{30\ \%} = 75,95\ \text{s}$
- $V = 0,05\ \text{m}^3$
- $D = 0,02\ \text{m}$
- $Q_{30\ \%} = \frac{V}{t_{30\ \%}} = \frac{0,05}{75,95} = 0,00066\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- $S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,02^2 = 0,000314\ \text{m}^2$
- $v_{30\ \%} = \frac{Q_{30\ \%}}{S} = \frac{0,00066}{0,000314} = 2,1\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Objem hrubých kalů v mladíně po separaci:

- $V_{k\ 30\ \%} = 1,3\ \text{ml} \cdot \text{l}^{-1}$ (fotodokumentace viz příloha 7)

5.3.9 Měření číslo 8

Nátoková rychlost:

- *Procentuální výkon čerpadla* = 20 %
- $t_{20\ \%} = 184,79\ \text{s}$
- $V = 0,05\ \text{m}^3$
- $D = 0,02\ \text{m}$
- $Q_{20\ \%} = \frac{V}{t_{20\ \%}} = \frac{0,05}{184,79} = 0,00027\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- $S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,02^2 = 0,000314\ \text{m}^2$
- $v_{20\ \%} = \frac{Q_{20\ \%}}{S} = \frac{0,00027}{0,000314} = 0,86\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Objem hrubých kalů v mladíně po separaci:

- $V_{k\ 20\ \%} = 1,9\ \text{ml} \cdot \text{l}^{-1}$ (fotodokumentace viz příloha 8)

Měření číslo 7 probíhalo při 20% výkonu čerpadla. Doba přečerpání mladiny byla až nezvykle vysoká proti předchozím hodnotám. Proces čerpání byl pozorně sledován a již od začátku proudění mladiny bylo pravděpodobné, že nepůjde o ideální hodnotu. Výkon čerpadla byl pro správný efekt vířivé kádě moc nízký. Mladina z mladinové trysky spíše vytékala, než tryskala, jak je vidět na obrázku č. 45.

Obrázek 45 Pomalý nátok mladiny do vířivé kádě



Zdroj: archiv autora

Na levé části obrázku je evidentní, že mladina z trysky vytéká poměrně pomalu. Když se její nátok srovná s nátokem na obrázku č. 44, je patrný podstatný rozdíl. Dále je na levé straně obrázku možné pozorovat, že mladina není tryskána po stěně vířivé kádě, naopak většina jejího objemu se dříve setkává se dnem nádoby, nikoli se stěnou. Takovýto nátok mladiny do vířivé kádě je nevhodný, protože dochází k rozlévání mladiny po dně vířivé kádě, což určitý objem mladiny směřuje dokonce proti chtěnému směru rotace mladiny. Na pravé straně obrázku již hladina mladiny stoupla a na hladině není evidentní vír, který by se měl projevit zvýšením hladiny po stranách s nejnižší hladinou ve středu kádě, přestože mladina proudí ve směru podél stěny kádě.

Již tak poměrně dlouhý čas čerpání mladiny ještě zpomalilo ponoření nátokové trysky pod hladinu mladiny. Se zvyšujícím mladinovým sloupcem začala mladina působit proti výtlaku čerpadla, a tak se při zvyšování hladiny snižoval její přírůstek za čas, což

znamená, že hladina stoupala čím dál pomaleji. Téměř před dokončením čerpání celého objemu mladiny už se výška jejího sloupce zvyšovala opravdu pomalu.

Na základě těchto poznatků bylo rozhodnuto, že pro účely diplomové práce nemá již velký smysl provádět příští měření a výkon čerpadla dále snižovat. Při začátku čerpání by se mladina s nižší nátokovou rychlostí než při 20% výkonu čerpadla více roztékala po dně do všech stran. Dalším důvodem byla nejistota, zdali by čerpadlo při 10% výkonu vytlačilo celý objem mladiny proti jejímu sloupci ve vířivé kádi. S přihlédnutím na průběžné výsledky měření objemů hrubých kalů bylo vyhodnoceno, že se poslední měření s výkonem čerpadla na 10 % se neuskuteční.

5.4 Porovnání teoretických a reálných hodnot průtoku a nátokové rychlosti

Po dokončení výpočtů nátokových rychlostí mladiny do vířivé kádě, které vycházely z průtoků mladiny tangenciální tryskou, vypočtených na základě změřené doby přečerpání padesáti litrů mladiny, je možné porovnat teoretické a reálné hodnoty porovnat, aby byla získána představa o ztrátách vzniklých vedením mladiny potrubím. V tabulce číslo 2 je reálný a teoretický průtok a jejich rozdíl. Stejným způsobem jsou v tabulce zobrazeny i pro nátokovou rychlost.

Tabulka 2 Teoretické a reálné hodnoty průtoku a rychlosti

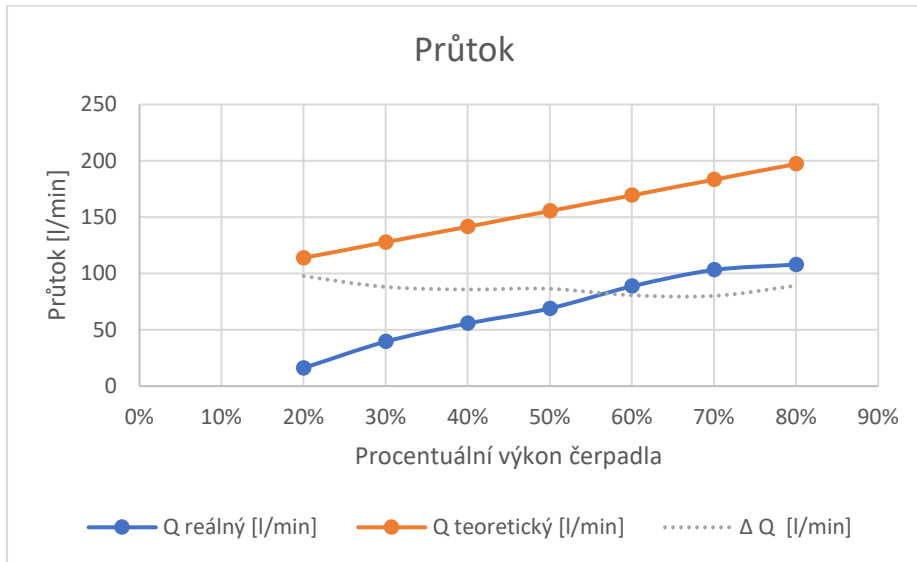
Procentuální P [%]	Q reálný [l/min]	Q teoretický [l/min]	ΔQ [l/min]
20	16,2	113,9	97,7
30	39,6	127,8	88,2
40	55,8	141,7	85,9
50	69	155,6	86,6
60	88,8	169,4	80,6
70	103,2	183,3	80,1
80	108	197,2	89,2

Procentuální P [%]	v reálná [m/s]	v teoretická [m/s]	Δv [m/s]
20	0,86	6,04	5,18
30	2,1	6,78	4,68
40	2,96	7,52	4,56
50	3,66	8,25	4,59
60	4,71	8,99	4,28
70	5,48	9,73	4,25
80	5,72	10,46	4,74

Zdroj: vlastní zpracování

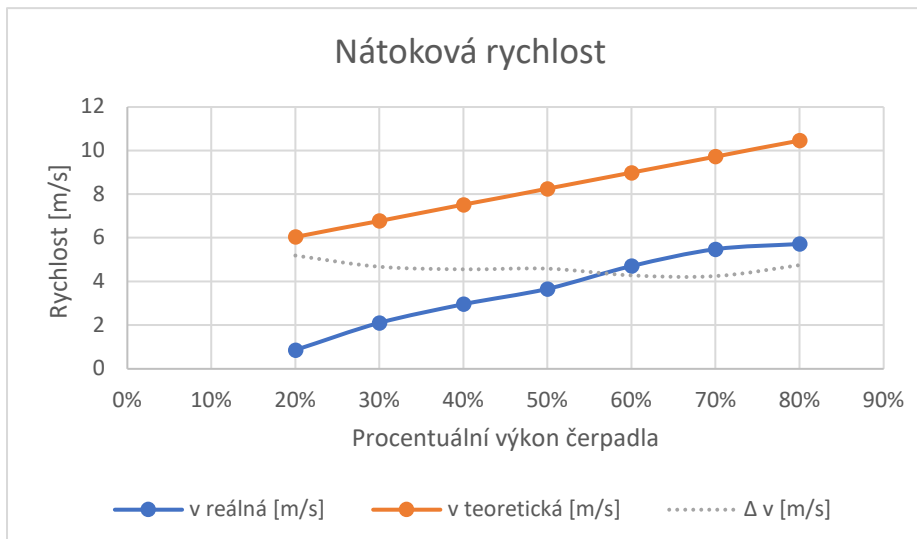
Z hodnot uvedených v tabulkách byly pro lepší vizualizaci a porovnání výsledků sestrojeny grafy. Graf 2 zobrazuje hodnoty průtoku a graf 3 hodnoty nátokové rychlosti. Křivky v grafech mají podobný průběh, protože nátoková rychlost je stanovena na základě znalosti průtoku mladiny.

Graf 2 Průtok



Zdroj: vlastní zpracování

Graf 3 Nátoková rychlost



Zdroj: vlastní zpracování

Z grafů průtoku a nátokové rychlosti lze usuzovat, že teoretický průtok i nátoková rychlost stanovené na základě průtokové charakteristiky čerpadla na obrázku č. 35 neodpovídají realitě. Reálné hodnoty jsou podstatně nižší, než teoretické, což je způsobeno ztrátami vzniklými při dopravování mladiny do vířivé kádě. Tyto ztráty jsou významně ovlivněny nevhodnou montáží mladinového potrubí (viz kapitola 5.1.4 a 5.3.1).

V grafech je také zobrazena tečkovaná křivka, která vyjadřuje velikost rozdílu teoretických a reálných hodnot. Tato křivka je prakticky rovnoběžná z osou x, což znamená, že rozdíly hodnot jsou si velmi podobné a ztráty vedením nemění reálný průběh křivky, ale posouvají ji do nižšího intervalu hodnot o podobném rozpětí. Z grafů vyplývá, že při rozhodnutí v diplomové práci vycházet z teoretických hodnot průtoku a nátokové rychlosti stanovených na základě technické dokumentace čerpadla, by výsledky práce byly značně zkresleny, jak bylo předpokládáno, proto se v diplomové práci nebudou dále zmiňovat.

5.5 Stanovení dostředivé síly

Za účelem porovnat vliv velikosti dostředivé síly, která je zodpovědná za formování kalového kuželu, na účinnost separace hrubých kalů bylo nutné vypočítat jejich hodnotu zvlášť pro každou nátokovou rychlost mladiny. Pro stanovení hodnoty dostředivé síly byla použita zjednodušená úvaha vycházející ze zákona akce a reakce a zanedbávající odpor mladiny při proudění tuhé částice kalu mladinou. Na pevné částice hrubých kalů v mladině působí při načerpání do vířivé kádě odstředivá síla. Kaly se pohybují spolu s mladinou po obvodu vířivé kádě nátokovou rychlostí, v tu chvíli na ně působí odstředivá síla. Podle zákona akce a reakce působí v reakci na odstředivou sílu síla dostředivá, která má stejnou velikost, ale opačný směr. V okamžiku počátku klesání rychlosti rotace mladiny začne klesat i účinek odstředivé síly, v tomto okamžiku jsou si odstředivá a dostředivá síla rovny. Kunze (2004, s. 342) uvádí, že se tohoto jevu využívá při separaci hrubých kalů odstřediváním a odstředivou (dostředivou) sílu lze spočítat podle vztahu:

- $F_D = m \cdot r \cdot \omega^2$ [N] (4)
- F_D ... dostředivá síla [N]
- m ... hmotnost pevných částic v mladině [kg]
- r ... poloměr vířivé kádě [m]
- ω ... úhlová rychlost [$rad \cdot s^{-1}$]

Blahovec a kol. (2016, s. 7) uvádí pro výpočet úhlové rychlosti vztah:

- $\omega = \frac{v}{r} [\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}]$ (5)
- v ... obvodová rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
- r ... poloměr kružnice [m]

Po dosazení a zkrácení lze pak vztah upravit:

- $F_D = m \cdot r \cdot \left(\frac{v}{r}\right)^2 = m \cdot \frac{v^2}{r} [\text{N}]$

Podle uvedeného vztahu byly vypočteny hodnoty dostředivé síly pro jednotlivé nátokové rychlosti a zapsány do tabulky č. 3. Pro výpočet byla použita hmotnost mokrých hrubých kalů vypočtena v kapitole 5.2.2. a vnitřní průměr vířivé kádě určený z jejího vnitřního poloměru (viz kapitola 5.1.4).

- $F_D = m \cdot \frac{v^2}{r} [\text{N}]$
- $m_k (50\text{l}) = 3,776 [\text{kg}]$
- $r = 0,225 [\text{m}]$

Tabulka 3 Dostředivá síla

Procentuální P [%]	v [m/s]	FD [N]
20 %	0,86	12,41
30 %	2,1	74,01
40 %	2,96	147,04
50 %	3,66	224,81
60 %	4,71	372,30
70 %	5,48	503,98
80 %	5,72	549,09

Zdroj: vlastní zpracování

5.6 Porovnání velikosti dostředivé síly s objemem hrubých kalů

Po stanovení velikostí dostředivé síly pro jednotlivé procentuální výkony čerpadla je možné je porovnat s naměřenými hodnotami objemu separovaných hrubých kalů. Hodnoty velikostí dostředivé síly (F_D) a objemu separovaných hrubých kalů (V_k) jsou spolu s velikostmi nátokové rychlosti zobrazeny v následující tabulce:

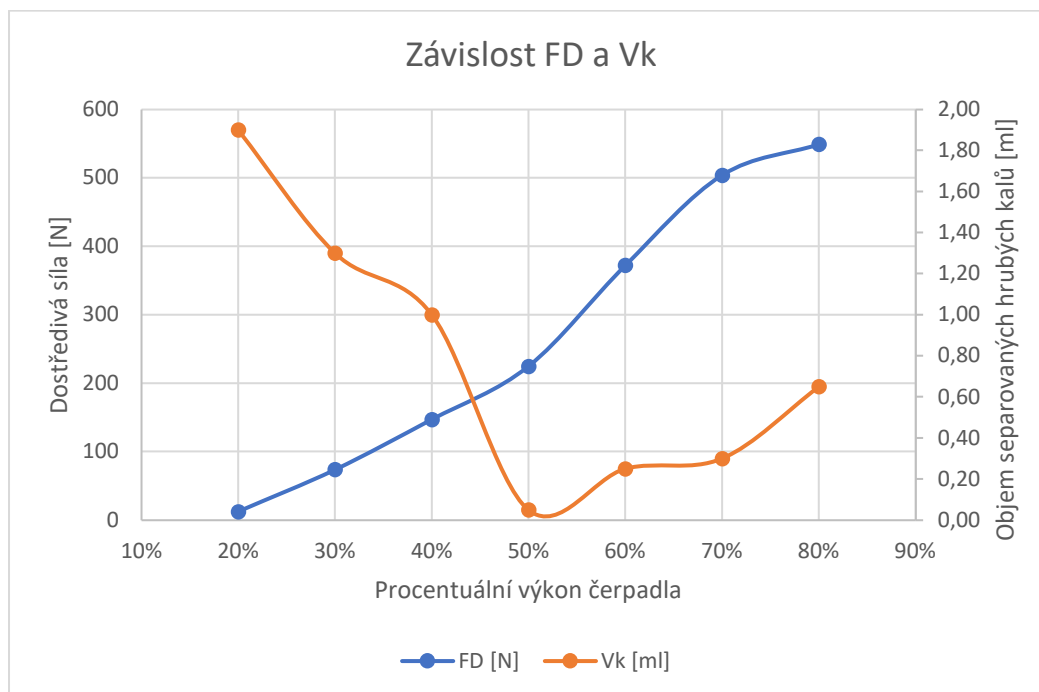
Tabulka 4 Porovnání F_D a V_k

Procentuální P [%]	v [m/s]	F_D [N]	V_k [ml/l]
20	0,86	12,41	1,90
30	2,1	74,01	1,30
40	2,96	147,04	1,00
50	3,66	224,81	0,05
60	4,71	372,3	0,25
70	5,48	503,98	0,30
80	5,72	549,09	0,65

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky lze usuzovat, že s rostoucím výkonem čerpadla roste nátoková rychlost i velikost dostředivé síly působící na částice hrubých kalů. Již před začátkem měření bylo předpokládáno, že účinnost separace hrubých kalů se nebude s rostoucí dostředivou silou zvyšovat do nekonečna, ale začne se v určitém bodě snižovat na základě vzniku negativního sekundární proudění způsobeného prudkým nátokem mladiny do vířivé kádě. V tabulce je vidět, že nejnižší objem hrubých kalů v litru mladiny byl naměřen při 50% výkonu čerpadla. Do této hodnoty se účinnost separace hrubých kalů se zvyšující se nátokovou rychlostí a dostředivou silou zvyšuje. Při zvyšování výkonu čerpadla nad 50 % se pak s rostoucí nátokovou rychlostí a rostoucí dostředivou silou účinnost separace hrubých kalů snižuje. Jejich závislost zobrazuje graf č 4.

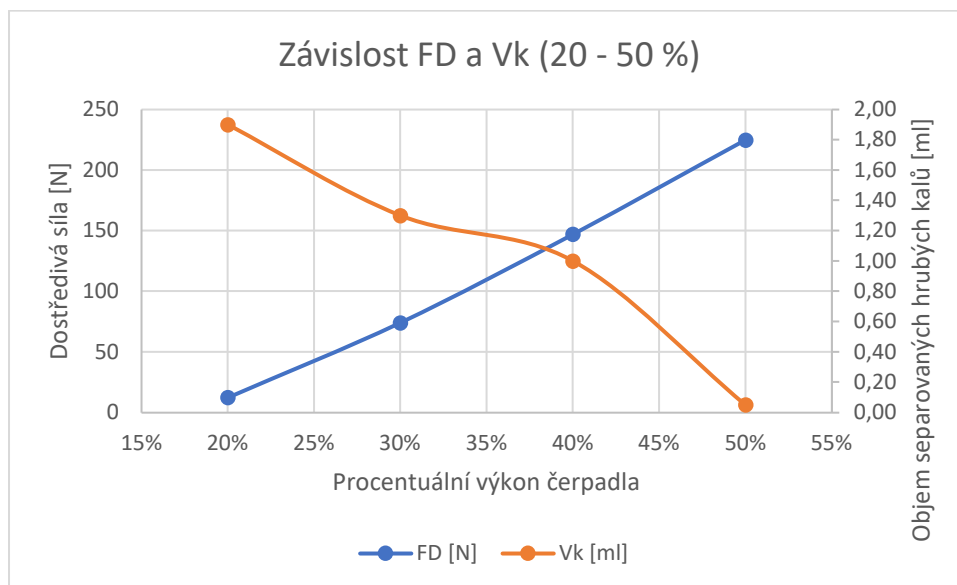
Graf 4 Závislost objemu separovaných hrubých kalů na dostředivé síle



Zdroj: vlastní zpracování

Na ose X leží procentuální výkon čerpadla, na ose Y se v grafu nachází dostředivá síla a objem separovaných hrubých kalů (stupnice na pravé straně). Je evidentní, že nejmenší objem hrubých kalů ($0,05 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$) byl naměřen pro 50% výkon čerpadla a na základě trendu křivky V_k je možné předpokládat, že účinnost separace hrubých kalů je při tomto výkonu čerpadla nejvyšší (mladina obsahovala nejméně hrubých kalů, tedy účinnost je v tomto bodě nejvyšší). Pro zhodnocení závislosti objemu separovaných hrubých kalů na dostředivé síle, byl pro všechny hodnoty z grafu za pomoci excelové funkce correl vypočten korelační koeficient $K_{20-80} \% = -0,7$. Korelační koeficient $-0,7$ znamená, že existuje středně silná negativní korelace mezi objemem separovaných hrubých kalů a velikostí dostředivé síly. Pro lepší přehlednost výsledků je graf rozdělen na dva další grafy špičkovou hodnotou padesátiprocentního výkonu.

Graf 5 Závislost objemu separovaných hrubých kalů na dostředivé síle (20–50 %)

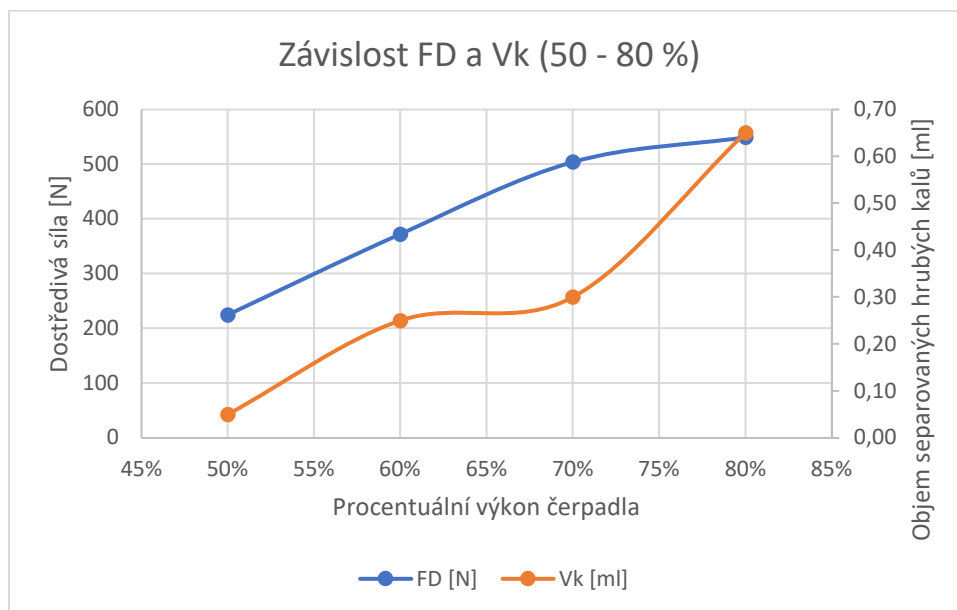


Zdroj: vlastní

Z grafu 5, který vyobrazuje vliv dostředivé síly na separaci hrubých kalů do 50% výkonu čerpadla, lze vyčíst, že s rostoucí dostředivou silou, která má téměř lineární trend se účinnost separace hrubých kalů zvyšuje (účinnost separace hrubých kalů se zvyšuje se snižováním objemu hrubých kalů v mladině).

Je pravděpodobné, že kdyby se nastavil výkon čerpadla na libovolnou hodnotu ležící v intervalu od 10 do 50 %, naměřený objem hrubých kalů by pro tuto hodnotu nebyl příliš vzdálen od oranžové křivky V_k . V daných podmínkách pivovaru nemá smysl provádět separaci hrubých kalů ve vířivé kádi s hodnotou výkonu čerpadla nastavenou pod 20 %, protože při takto nízkém výkonu čerpadla, není dostředivá síla dostatečně velká pro uspokojivé zformování kalového kuželu a průběh separace hrubých kalů. Pro zhodnocení závislosti objemu separovaných hrubých kalů na dostředivé síle v intervalu procentuálního výkonu čerpadla od 20 do 50 %, byl také za pomoci excelové funkce `correl` vypočten korelační koeficient $K_{20-50\%} = -0,98$. Korelační koeficient $-0,98$ mezi objemem separovaných hrubých kalů a velikostí dostředivé síly naznačuje silnou negativní korelaci těchto dvou veličin. To znamená, že s rostoucí velikostí dostředivé síly klesá objem separovaných. Tato korelace je velmi silná, což naznačuje, že existuje vysoká pravděpodobnost, že tato závislost je skutečná a není způsobena pouze náhodou.

Graf 6 Závislost objemu separovaných hrubých kalů na dostředivé síle (50–80 %)



Zdroj: vlastní zpracování

Graf č. 6 zobrazuje hodnoty od 50 do 80 % výkonu čerpadla. Průběh trendu V_k je pro tento interval rozdílný. Zatímco křivka dostředivé síly si drží pomyslný rostoucí lineární průběh, hodnoty naměřeného objemu hrubých kalů v jednom litru mladiny od hodnoty 50 % výkonu čerpadla stoupají. V tomto intervalu procentuálního výkonu čerpadla má zvyšující se velikost dostředivé síly negativní vliv na účinnost separace hrubých kalů. Čím je dostředivá síla větší, tím je nižší účinnost separace hrubých kalů. Je pravděpodobné, že při ještě vyšším procentuálním výkonu čerpadla, pro který nejsou hodnoty objemu hrubých kalů v mladině změřeny, by byla účinnost separace hrubých kalů ještě nižší a oranžová křivka V_k by tak se zvyšující se velikostí dostředivé síly dále rostla.

Tento jev je způsoben vysokou nátokovou rychlostí mladiny do vířivé kádě a tím i příliš vysokou dostředivou silou působící na pevné částice hrubých kalů. Z důvodu velmi prudkého načerpání mladiny do vířivé kádě vznikají v mladině sekundární víry související s příliš vysokou dostředivou silou, které separaci hrubých kalů negativně ovlivňují. Dalším faktorem hrajícím roli ve zhoršující se separaci hrubých kalů je i fakt, že rozměry vířivé kádě výzkumného pivovaru jsou proti klasickým vířivým kádím poměrně malé. Čím menší je poloměr kádě, tím je dostředivá síla větší (při konstantní rychlosti nátoky mladiny). Pro zhodnocení závislosti objemu separovaných hrubých kalů na dostředivé síle v intervalu procentuálního výkonu čerpadla od 50 do 80 %, byl za pomoci excelové funkce correl

vypočten korelační koeficient $K_{50-80\%} = 0,89$. Korelační koeficient 0,89 znamená, že existuje silná pozitivní korelace mezi objemem separovaných hrubých kalů a velikostí dostředivé síly v mladině ve vířivé kádi. To znamená, že čím větší je velikost dostředivé síly, tím větší bude objem hrubých kalů v mladině po procesu separace. Hodnota korelačního koeficientu blízka 1 ukazuje na velmi silnou korelaci mezi veličinami. Změna jedné veličiny je téměř dokonale předpověditelná na základě změny druhé. V tomto případě se dá předpokládat, že zvyšování procentuálního výkonu od 50 % bude mít negativní vliv na separaci hrubých kalů.

5.7 Porovnání výsledků s doporučovými hodnotami z literatury

Vypočtené hodnoty nátokové rychlosti a naměřené hodnoty objemu hrubých kalů pro konkrétní výukový pivovar je vhodné pro kontrolu porovnat s hodnotami uváděnými odbornou literaturou.

5.7.1 Nátoková rychlost

Z poznatků získaných během zpracovávání diplomové práce je usuzováno, že ideální volba velikosti nátokové rychlosti bude záviset na rozměrech vířivé kádě a není proto snadné problém nátokové rychlosti široce zobecnit. Nátoková rychlost, která vychází z geometrie nátokového potrubí a průtoku mladiny čerpadlem matematicky nesouvisí s rozměry vířivé kádě, tudíž pro mladinu o nátokové rychlosti například $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bude víření a proudění probíhat rozdílně ve vířivé kádi s poloměrem 1,5 m, a rozdílně vířivé kádi s poloměrem 0,5 m. Při volbě mladinového čerpadla a jeho průtoku, či rozměrů vířivé kádě je vždy nutné se nad těmito parametry zamyslet.

O vhodné nátokové rychlosti se zmiňuje více autorů. V kapitole 4.12.1 je uvedeno, že dle autora Kunze (2004, s 339) by nátoková rychlost mladiny do vířivé kádě neměla přesáhnout $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, v opačném případě by vysoká rychlost mohla mít negativní vliv na proces separace hrubých kalů. V kapitole 4.12.1 je rovněž interval vhodné nátokové rychlosti publikovaný autory Kosař a kol. (2000, s. 233), který je $3,5\text{--}5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V následující tabulce č. 5 jsou přehledně zobrazeny velikosti nátokových rychlostí a objem separovaných kalů.

Tabulka 5 Nátoková rychlost, objem separovaných kalů

Procentuální P [%]	v [m/s]	Vk [ml]
20	0,86	1,9
30	2,1	1,3
40	2,96	1,0
50	3,66	0,05
60	4,71	0,25
70	5,48	0,30
80	5,72	0,65

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce je zeleně vyznačen řádek s 50% výkonem čerpadla, při kterém byla separace hrubých kalů nejúčinnější. Nejvyšší účinnosti separace hrubých kalů bylo ve vířivé kádi pivovaru dosaženo při nátokové rychlosti $3,66 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. S ohledem na rozmezí nátokových rychlostí uváděné autory odborných publikací lze usoudit, že se při měření došlo k podobnému výsledku, který je uveden v literatuře a hodnota procentuálního výkonu 50 % je vzhledem k nátokové rychlosti $3,66 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vyloženě vhodná.

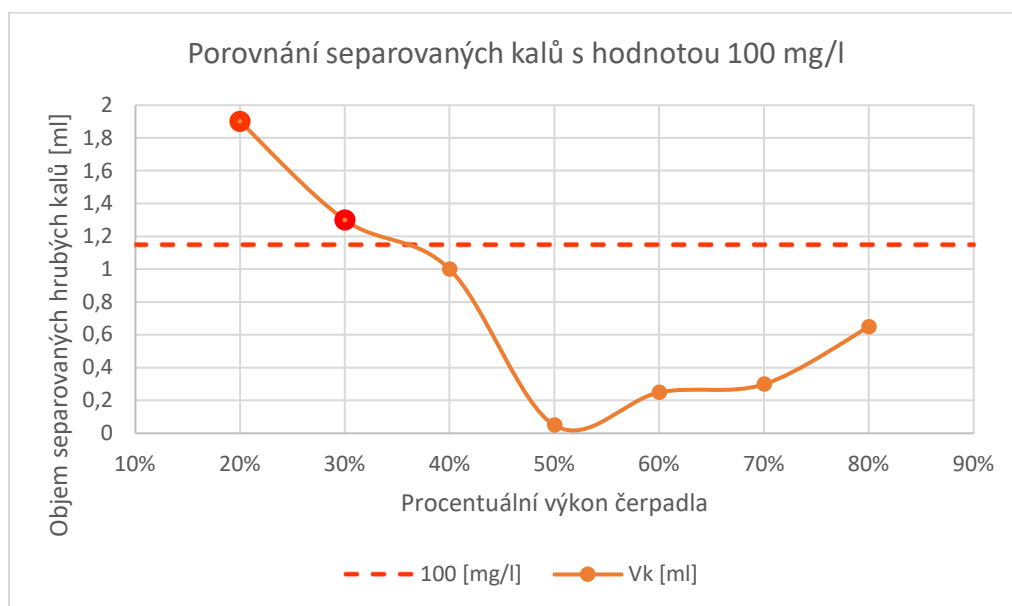
5.7.2 Objem a hmotnost hrubých kalů po separaci

Jak je zmíněno v kapitole 5.2.3, autoři publikací, ze kterých je v práci čerpáno shodně uvádí, že mladina po separaci hrubých kalů ve vířivé kádi by měla obsahovat pouze do 100 mg sušiny na litr mladiny (KOSAŘ a kol., 2000, s. 230; KUNZE, 2004, s. 336; BASAŘOVÁ a kol., 2010, s. 215). V kapitole je rovněž proveden výpočet, jehož výsledkem je:

- 1 ml usazených kalů v Imhoffově kuželu ... 86,8 mg kalové sušiny
- 100 mg kalové sušiny (maximální přípustná hodnota) ... 1,152 ml mokrých kalů

Z výsledků vyplývá, že 100 mg kalové sušiny (hranice udávaná autory) odpovídá naměřené hodnotě objemu mokrých hrubých kalů v jednom litru mladiny 1,152 ml. To znamená, že v případě, že je Imhoffovým kuželem naměřen objem hrubých kalů, který přesahuje hodnotu 1,152 ml v litru mladiny, je takový proces separace hrubých kalů nedostatečný a chybný. Pro dobrou vizualizaci jsou hodnoty vyneseny do grafu č 7.

Graf 7 Porovnání objemu separovaných kalů s hranicí 100 mg/l



Zdroj: vlastní zpracování

V grafu je červenou přerušovanou čarou naznačena hranice 100 mg sušiny hrubých kalů na liter mladiny uváděná autory. Oranžová křivka V_k zobrazuje naměřené objemy separovaných hrubých kalů. Z grafu vyplývá, že proces separace hrubých kalů s procentuálním výkonem čerpadla na 20 a 30 % proběhl neuspokojivě, protože se tyto hodnoty nachází nad maximální přípustnou hranicí obsahu hrubých kalů. Je pravděpodobné, že pro jakýkoli procentuální výkon čerpadla nastavený pod 35 % by byl proces separace hrubých kalů proveden nedostatečně.

5.8 Optimalizace procesu separace hrubých kalů

V kapitole 5.1.7 byl zmíněn interval procentuálního výkonu, ve kterém obsluha pivovaru běžně nastavuje čerpadlo při čerpání mladiny do vířivé kádě. Výkon je obvykle nastaven mezi 30–40 %. Jak je patrné z grafu č. 7, pro hodnotu 30 % se objem separovaných hrubých kalů již nachází těsně nad hranicí obsahu sušiny hrubých kalů přes 100 mg. Tato hodnota je pro správný průběh separace hrubých kalů nedostačující. Horní hranice intervalu uvedená obsluhou pivovaru se však nachází v doporučeném rozmezí 0–100 mg sušiny hrubých kalů na 1 liter mladiny a při nastavení výkonu čerpadla na 40 % je proces separace dostatečný.

Na základě změřených hodnot objemů hrubých kalů v mladině po procesu separace hrubých kalů se dá doporučit varianta, která proces optimalizuje. Podle křivky V_k v grafu č. 7 lze usuzovat, že proces separace hrubých kalů proběhne s nejvyšší účinností s čerpadlem nastaveným na 50% výkon. Podle vývoje trendu je také pravděpodobné, že změna výkonu o 5 %, jak k nule, tak ke stu, nebude mít významně negativní vliv na proces separace hrubých kalů. Pro ideální separování hrubých kalů od mladiny by se měl pivovar držel okolo hodnoty 50 % výkonu hlavního čerpadla.

Měření a výpočty byly provedeny na stejném druhu piva vařeného stejným technologickým postupem, proto se tato hodnota může mírně měnit v závislosti změny postupu vaření piva, či použití jiných surovin, nebo jejich jiného množství. Změna by neměla být markantní, protože objem použitých surovin, a to hlavně chmelového granulátu, se při vaření různých druhů piv bude měnit spíše pouze v jednotkách procent.

5.9 Ekonomický přínos optimalizace procesu separace hrubých kalů

Pro snadnější zhodnocení ekonomického přínosu získaného optimalizací procesu separace hrubých kalů je vzhledem k povaze problému nejdříve zhodnocen negativní ekonomický dopad na pivovar v případě neoptimálně provedeného procesu separace hrubých kalů.

V kapitole 4.9 byly jmenovány negativní dopady neoptimálně provedeného procesu separace hrubých kalů. Na základě těchto poznatků lze usuzovat, že nedostatečná separace hrubých kalů má na pivovar hned několik negativních ekonomických dopadů.

Hrubé kaly v mladině komplikují proces finální filtrace piva, jehož smyslem je upravit pivo před stáčením tak, aby si po dlouhou dobu zachovalo svou čírost a kvalitu. Nedostatečně oddělené hrubé kaly nadměrně zanáší filtrační materiály, síta či membrány, sloužící při procesu filtrace k zachycení pevných částic v pivu. To zvyšuje požadavky na výměnu těchto filtrů a tím i nutnost vynaložení finančních zdrojů na jejich častější výměnu. Při nedostatečně účinné filtraci se do finálního produktu také mohou dostat nežádoucí látky, které snižují jeho výslednou kvalitu a tím i jeho prodejnost. Ve výzkumném pivovaru, kde probíhalo měření, se ale filtrace nepoužívá, tedy z ekonomického přínosu vzniklého usnadněním procesu filtrace nebude pivovar profitovat.

Nedostatečně oddělené hrubé kaly zanáší povrch kvasničných buněk a tím snižují účinnost kvašení, což může prodlužovat délku trvání procesu a negativně ovlivňovat výslednou kvalitu piva, což může opět snížit poptávku po výsledném produktu.

S vyšším obsahem hrubých kalů rostou také nároky na spotřebu energie a údržbu. Vysoký obsah hrubých kalů způsobuje zanášení potrubí a strojních zařízení pivovaru. Zanesení potrubí a strojních zařízení snižuje průtok piva, či mladiny a je třeba vynaložit více energie pro čerpaní, aby byl dosažen požadovaný průtok. Zanesení potrubí a strojních součástí také zvyšuje nároky na údržbu a čištění zařízení. Tím se zvyšuje i nutnost vynaložení finančních zdrojů pro údržbu, které by při optimálním procesu separace hrubých kalů nemusely dosahovat takové výše. Při zanedbání údržby by kaly mohly způsobit až úplné zastavení výrobní linky, což by s sebou zejména ve velkých provozech neslo další zvýšené náklady.

Ekonomický přínos optimalizace procesu separace hrubých kalů je matematicky obtížně vyčíslitelný, nicméně je nesporný. Optimalizace procesu separace hrubých kalů zlepšuje výslednou kvalitu piva, tím může zvýšit poptávku a prodej. To může vést ke větší ziskovosti pivovaru. Optimálně provedená separace hrubých kalů snižuje náklady na energie a údržbu a také zvyšuje celkovou účinnost procesu výroby piva, což má pozitivní ekonomický dopad na pivovar.

6 Závěr

Při chmelovaru vznikají v mladině hrubé kaly, které je nutné z mladiny separovat ještě před procesem kvašení, protože jejich přítomnost negativně ovlivňuje následující technologické operace. Cílem diplomové práce bylo optimalizovat hydrodynamické parametry při proudění mladiny do vířivé kádě, aby se při procesu separace hrubých kalů dosáhlo co nejvyšší účinnosti. Výzkum byl proveden v prostorech výzkumného a výukového školního pivovaru v nově otevřeném pavilonu Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů.

Práce vychází z odborné literatury, vědeckých článků a informací získaných v pivovaru. Práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou. Teoretická část popisuje, jakým způsobem se vyvíjel proces výroby piva a uvádí do historického kontextu. Zabývá se také současným technologickým postupem výroby piva, kde se zaměřuje zejména na vířivou kád' a problematiku separace hrubých kalů.

V praktické části je představen pivovar, na jehož půdě výzkum probíhal. Obsahuje detailní popis strojního zařízení používaného v pivovaru a věnuje zvláštní pozornost vířivé kád' a čerpadlu, zodpovědnému za čerpání mladiny do tangenciální nátokové trysky vířivé kádě. Práce vysvětluje přesný postup měření, které v pivovaru probíhalo. Po chmelovaru byl odebrán vzorek mladiny o objemu jeden litr a pomocí Imhoffova kuželu byl změřen objem hrubých kalů, které obsahoval. Ze vzorku byla za použití metody filtrace a následných výpočtů stanovena hmotnost mokrých hrubých kalů i jejich sušiny, nacházejících se v jednom litru mladiny.

Hodnoty hydrodynamických parametrů při proudění mladiny byly upravovány pomocí frekvenčního měniče instalovaného na čerpadle. Pro účel zkoumání jejich vlivu na proces separace hrubých kalů byly při měření zvoleny různé procentuální výkony čerpadla. Výkon čerpadla ovlivňoval velikost nátokové rychlosti mladiny do vířivé kádě, která byla pro všechny testované výkony čerpadla vypočtena. Při každém ze zvolených výkonů čerpadla byla provedena separace hrubých kalů a pomocí Imhoffova kuželu stanoven jejich výsledný objem v mladině. Ze znalosti rozměrů vířivé kádě a vypočtené nátokové rychlosti mladiny byla pro každý zvolený výkon čerpadla stanovena velikost dostředivé síly, která působí na pevné částice hrubých kalů, které jejím vlivem tvoří kalový kužel usazenin uprostřed vířivé kádě. Hodnoty velikosti dostředivé síly pro každý zvolený výkon čerpadla

byly korelovány s naměřenými objemy hrubých kalů v mladině. Bylo vyhodnoceno, že velikost dostředivé síly ovlivňuje účinnost separace hrubých kalů.

Z naměřených a vypočtených hodnot byly sestaveny grafy zachycující vývoj zkoumaných veličin. Pro pivovar, ve kterém výzkum probíhal, bylo dosaženo nejvyšší účinnosti při procesu separace hrubých kalů s čerpadlem zapnutým na padesát procent výkonu. Pro procentuální výkon čerpadla od dvaceti do padesáti procent se s rostoucí dostředivou silou zvyšovala účinnost separace hrubých kalů až po dosažení maximální účinnosti při padesátiprocentním výkonu. Od padesátiprocentního výkonu čerpadla se následně s růstem dostředivé síly a nátokové rychlosti mladiny do vířivé kádě účinnost separace hrubých kalů začala pozvolna snižovat. Nátoková rychlost mladiny, které se při vyšších výkonech čerpadla dosahovalo, byla příliš vysoká, což zapříčinilo vznik nežádoucích sekundárních vírů, které negativně ovlivňují účinnost procesu separace hrubých kalů.

Naměřené a vypočtené výsledky jsou v diplomové práci porovnány s odbornou literaturou. Výsledkem porovnání je, že nátoková rychlost mladiny při nejoptimálnější variantě procentuálního výkonu čerpadla odpovídá velikosti nátokové rychlosti mladiny doporučené literaturou. Autoři odborných publikací také shodně uvádí maximální přípustnou hranici pro hmotnost sušiny hrubých kalů obsažených v jednom litru mladiny po dokončeném procesu separace hrubých kalů. Na základě výpočtů je tato hranice vynesena do grafu, ze kterého lze usuzovat, že použití nižšího, než třicetiprocentního výkonu čerpadla by vedlo k nedostatečně účinné separaci hrubých kalů.

Ve školním pivovaru se většinou používá třiceti až čtyřicetiprocentní výkon čerpadla. Na základě poznatků výzkumu je pivovaru doporučeno držet procentuální výkon čerpadla okolo hodnoty padesát procent, kdy je při procesu separace hrubých kalů dosahováno nejvyšší účinnosti. Pivovar by se měl při čerpání mladiny do vířivé kádě vyvarovat výkonům čerpadla, které by vedly k nedodržení autory uváděné maximální hranice obsahu kalové sušiny v jednom litru mladiny. Výzkum tuto hranici v konkrétních podmínkách pivovaru stanovuje na třicet procent výkonu čerpadla. V diplomové práci je však zdůrazněno, že jak hodnota výkonu čerpadla pro optimální proces separace hrubých kalů, tak doporučená minimální hranice použitého výkonu pro dostatečnou separaci hrubých kalů, se můžou mírně lišit v závislosti na použitém množství, druhu surovin a technologickém postupu vaření piva.

Optimalizace procesu separace hrubých kalů má pro pivovar obtížně vyčíslitelný ekonomický přínos, nicméně optimalizace tohoto procesu má vliv na zlepšení výsledné kvality piva, což napomáhá zvýšit poptávku, prodej i ziskovost. Optimálně provedená separace hrubých kalů snižuje náklady na energie a údržbu a také zvyšuje celkovou účinnost procesu výroby piva, což má na pivovar pozitivní ekonomický dopad.

7 Seznam použitých zdrojů

Odborná literatura

BASAŘOVÁ, Gabriela. *České pivo*. 3., dopl. vyd. Praha: Havlíček Brain Team, 2011. ISBN 978-80-87109-25-0.

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

BLAHOVEC, Jiří, Jan PETRŮ a Jan SEDLÁČEK. *Kapesní fyzika pro inženýry*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2675-0.

HASÍK, Tomáš. *Svět piva a piva světa*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4648-7.

HOUGH, J.S., D.E. BRIGGS, R. STEVENS a T.W. YOUNG. *Malting and Brewing Science: Volume II HoppedWort and Beer*. 2nd edition. LONDON: Chapman and Hall, 1982. ISBN 0-412-16590-2.

CHLÁDEK, Ladislav. *Pivovarnictví*. Praha: Grada, 2007. Řemesla, tradice, technika. ISBN 978-80-247-1616-9.

KOSAŘ, Karel. *Technologie výroby sladu a piva*. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, 2000. ISBN 80-902658-6-3.

KUNZE, Wolfgang. *Technology Brewing&Malting*. 4th edition. Berlin: VLB Berlin. ISBN 978-3-921690-64-2.

PELIKÁN, Miloš, Drahomír MÍŠA a František DUDÁŠ. *Technologie kvasného průmyslu*. 2. nezm. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002. ISBN 80-7157-578-x.

SUSA, Zdeněk. *Velká česká pivní kniha*. Středokluky: Zdeněk Susa, 2008. ISBN 978-80-86057-43-9.

VEČERKOVÁ, Hana a Jan KISS. *Abeceda piva*. Praha: Česká televize, 2007. Edice České televize. ISBN 978-80-85005-86-8.

Internetové zdroje

Ebara DWO 150 400V nerezové čerpadlo | Pumpa. Jsme specialisté na čerpadla už přes 30 let | Pumpa [online]. Dostupné z: https://www.pumpa.eu/cs/ebara-dwo-150-400v-nerezove-čerpadlo/?gclid=CjwKCAjwzuqgBhAcEiwAdj5dRtFQEAK7SKU92OeiCp7kzztcf47SI48QOkRNnZ8pxRil_3oYa9eTxoCDgQQAxD_BwE

Einstein's Tea Leaf Paradox and Its Relevance to Dissolution Testing. *Dissolution Technologies* [online]. 2014, AUGUST 2014, 2014, 2 [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: http://dissolutiontech.com/DTresour/201408Articles/DT201408_A03.pdf

Heat exchangers | DairyProcessing Handbook. *DairyProcessing Handbook* [online]. Copyright © Tetra Pak 2020 [cit. 31.03.2023]. Dostupné z: <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/heat-exchangers>

JAKUBOWSKI, Marek, Monika STERCZYSKA a Robert MATYSKO. Simulation and experimental research on the flow inside a whirlpool separator [online]. 2013, 2014, 8. Dostupné z: [doi:dx.doi.org/10.14227/DT210314P17](https://doi.org/10.14227/DT210314P17)

Knocking Out — Craft Kettle. Access denied [online]. Copyright © 2023 Craft Kettle. [cit. 31.03.2023]. Dostupné z: <https://craftkettle.com/blogs/learning-corner/knocking-out>

LONG, David, Satish PERIVILLI a John MAUGER. Einstein's Tea Leaf Paradox and Its Relevance to Dissolution Testing. *Dissolution Technologies* [online]. 2014, August 2014, 2014, 2 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: [doi:dx.doi.org/10.14227/DT210314P17](https://doi.org/10.14227/DT210314P17)

Privjet zachvatčikam U Galůšek | Minipivovary | Pivní.info. Pivní.info [online]. Dostupné z: <https://pivni.info/minipivovary/871-privjet-zachvatcikam-u-galusek.html>

ScienceDirect. ScienceDirect [online]. Copyright © [cit. 31.03.2023]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877414000788>

8 Přílohy

Příloha 1 Hvozd, máčírna klíčírna	109
Příloha 2 Měření číslo 2	109
Příloha 3 Měření číslo 3	110
Příloha 4 Měření číslo 4	110
Příloha 5 Měření číslo 5	111
Příloha 6 Měření číslo 6	111
Příloha 7 Měření číslo 7	112
Příloha 8 Měření číslo 8	112

Příloha 1 Hvozď, máčírna klíčirna



Zdroj: archiv autora

Příloha 2 Měření číslo 2



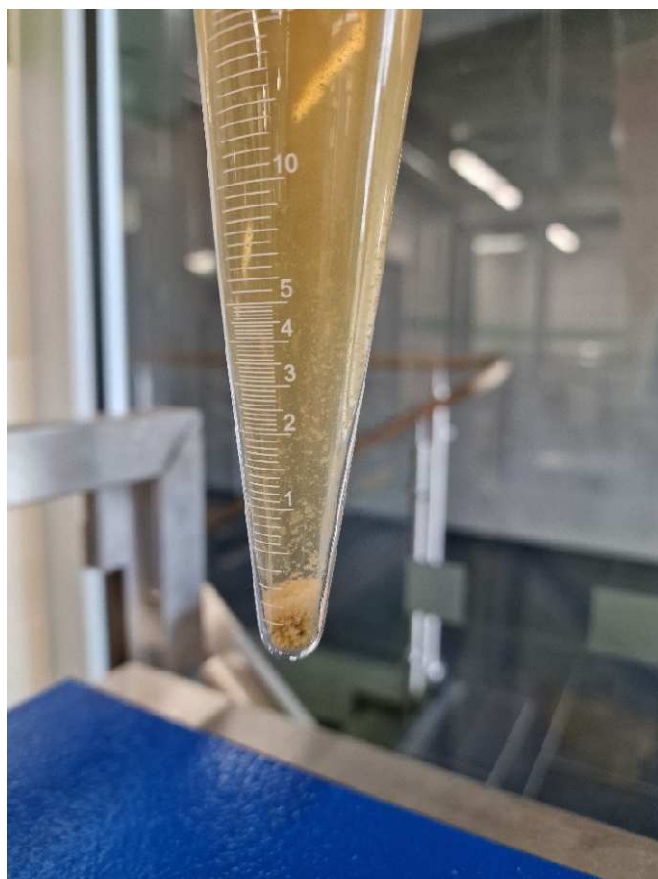
Zdroj: archiv autora

Příloha 3 Měření číslo 3



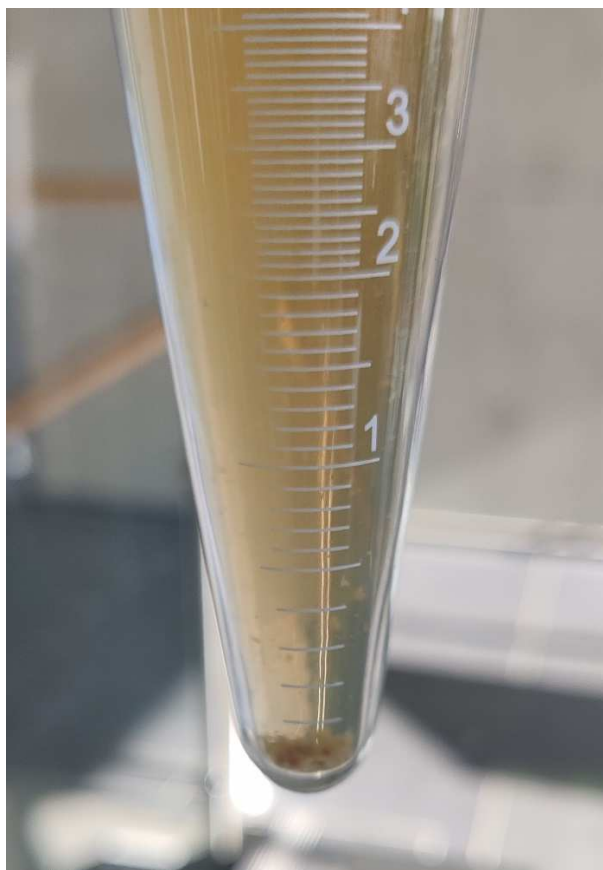
Zdroj: archiv autora

Příloha 4 Měření číslo 4



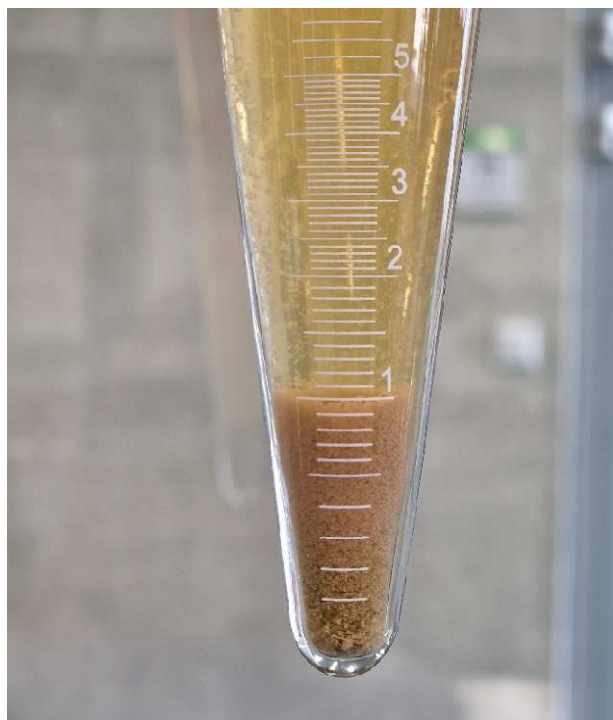
Zdroj: archiv autora

Příloha 5 Měření číslo 5



Zdroj: archiv autora

Příloha 6 Měření číslo 6



Zdroj: archiv autora

Příloha 7 Měření číslo 7



Zdroj: archiv autora

Příloha 8 Měření číslo 8



Zdroj: archiv autora