



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Návrh technologického zařízení pro
malý pivovar**

**Design of technological equipment
for a small brewery**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

Marek Vlasák

Studijní program: B2341 STROJÍRENSTVÍ

Studijní obor: 3901R051 Konstruování podporované počítačem

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Kříčka, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vlasák** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **484056**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh technologického zařízení pro malý pivovar

Název bakalářské práce anglicky:

Design of technological equipment for a small brewery

Pokyny pro vypracování:

Vytvořte konstrukční návrh technologického zařízení pro malý pivovar a proveďte nezbytné návrhové a kontrolní výpočty. Vytvořte 3D model navrženého řešení a 2D výrobní dokumentaci vybraných konstrukčních uzlů a komponentů. Součástí práce bude i rešerše konstrukčních řešení obdobných zařízení a způsobů jejich pohonů.

Seznam doporučené literatury:

ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: ČVUT, 2003.
KUGL, O. Projekt - III. ročník. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.
DRAŽAN, F., KUPKA, L. Jeřáby. Praha: SNTL, 1968.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jaroslav Kříčka, Ph.D. ústav konstruování a částí strojů FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **05.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **03.06.2022**

Platnost zadání bakalářské práce:


Ing. Jaroslav Kříčka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. František Lopot, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis oěkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

29.4.2022
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Návrh technologického zařízení pro malý pivovar“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Kříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

Poděkování

Tímto děkuji svému vedoucímu práce Ing. Jaroslavu Kříčkovi, Ph. D., za odborný dohled, cenné rady a přínosné konzultace. Dále děkuji Bc. Karlu Fousovi za poskytnutí dat týkajících se maloobjemového vaření piva a potřebných informací ke zhotovení této práce. Děkuji členům své rodiny, kteří moje studium štědře podporují.

Anotační list

| | |
|-----------------------|--|
| Jméno autora: | Marek Vlasák |
| Název BP: | Návrh technologického zařízení pro malý pivovar |
| Anglický název: | Design of technological equipment for a small brewery |
| Rok: | 2022 |
| Studijní program: | B2341 Strojírenství |
| Obor studia: | 3901R051 Konstruování podporované počítačem |
| Ústav: | Ústav konstruování a částí strojů |
| Vedoucí BP: | Ing. Jaroslav Kříčka, Ph.D. |
| Bibliografické údaje: | Počet stran: 45 Počet obrázků: 24 Počet tabulek: 6 Počet příloh: 15 |
| Klíčová slova: | Míchadlo, pivovar, míchání kapaliny |
| Keywords: | Stirrer, brewery, liquid mixing |

Anotace:

Cílem této práce je provést návrh technologického zařízení pro malý pivovar, kromě konstrukčního řešení budou součástí práce i pevnostní a kontrolní výpočty. Bude vytvořen 3D model sestavy v programu Autodesk Inventor a výkresy jednotlivých dílů a podsestav v souladu s normami ISO. První část práce bude zaměřena na rešerši technologických zařízení používaných v pivovarech.

Abstract:

The aim of this work is to design a technological device for a small brewery. In addition to the design solution, strength and control calculations will also be included. A 3D assembly model in Autodesk Inventor and ISO-compliant drawings of individual parts and subassemblies will be created. The first part of the work will focus on the search for technological equipment used in breweries.

Obsah

| | |
|--|----|
| Úvod | 6 |
| Historie pivovarnictví | 6 |
| Moderní proces výroby piva | 6 |
| 1. Cíle práce | 8 |
| 2. Ohřev, míchání kapalin | 9 |
| 2.1. Způsoby míchání | 9 |
| 2.2. Typy mechanických míchadel | 10 |
| 3. Zařízení pro míchání a ohřev využívaná v pivovarech | 13 |
| 3.1. Průmyslové pivovary | 13 |
| 3.2. Alternativní řešení | 15 |
| 4. Míchadla využívaná v domácím prostředí | 17 |
| 4.1. Komerčně dostupné řešení | 17 |
| 4.2. Domácí výroba míchacího zařízení | 19 |
| 5. Návrh konstrukce míchacího zařízení | 21 |
| 5.1. Postup návrhu při stanovení hlavních parametrů | 21 |
| 5.1.1. Nádoba | 21 |
| 5.1.2. Fyzikální vlastnosti tekutiny | 23 |
| 5.1.3. Geometrie míchadla | 24 |
| 5.1.4. Výkonová charakteristika míchadla | 26 |
| 5.2. Konstrukce míchadla | 27 |
| 5.2.1. Schéma zařízení | 27 |
| 5.2.2. Výběr pohonu | 28 |
| 5.2.3. Zatížení mechanismu | 28 |
| 5.2.4. Konstrukce vnější části | 29 |
| 5.2.5. Konstrukce vnitřní části | 31 |
| 5.2.6. Volba materiálu | 33 |
| 5.3. Kontrola zatížení míchadla | 34 |
| 5.3.1. Odstředivá síla v lopatce | 34 |
| 5.3.2. Krut hřídele | 34 |
| 5.3.3. Kontrola svaru | 36 |
| 5.3.4. Zatížení spojky | 36 |
| 5.3.5. Zatížení ložisek | 37 |
| 5.3.6. Průhybová charakteristika lopatek | 39 |
| Závěr | 41 |
| Bibliografie | 42 |

Úvod

Historie pivovarnictví

Pivo je jeden z nejstarších a nejdéle vyráběných nápojů na světě, jeho původ se datuje již zhruba do sedmého tisíciletí před Kristem, během kterého se objevilo v oblasti starověké Mezopotámie, ovšem vzhledem ke stáří tohoto data není v dnešní době možné jeho původ určit přesněji. Jisté ovšem je, že od té doby dochází při jeho výrobě k nepřetržitému vývoji a optimalizaci procesu v závislosti na postupném vylepšování technologií, získávání zkušeností a poznatků a v neposlední řadě také díky exaktnímu technickému popisu jednotlivých operací a výrobě specializovaných prvků zařízení přesně na míru stanoveným požadavkům. Průmyslová výroba piva začala v polovině 19. století, v roce 1867 byl založen první pivovar určený k masové produkci piva, americký Budweiser. [1] Ve stejném roce vychází také dílo „Studie o pivu“, jehož autorem byl Louis Pasteur a ve kterém je podrobně popsána novodobá technologie výroby piva založená na filtraci a pasterizaci. Do té doby se podávalo pivo nefiltrované, které bylo zpravidla konzumováno pomocí slámky, která zbavila nápoj nejhrubších nečistot. Jeho výroba probíhala decentralizovaně v daleko menším a primitivnějším měřítku, této specializaci se v Evropě věnovaly především kláštery, města a později také šlechta. Vždy se jednalo o značně důležitou komoditu z hlediska strategického rozložení sil v daném regionu a získání prestižního postavení, proto byly předpisy ohledně výroby piva a jeho distribuce často předmětem diskuze na nejvyšších politických postech a vzniklo mnoho dokumentů a ustanovení upravující platná pravidla v tomto odvětví, přičemž o některých z nich převládá až dodnes obecná povědomost i mezi širokou veřejností, například Právo várečné (právo platnému obyvateli určitého města, který toto právo získal, bylo umožněno vařit v rámci vlastního obydlí pivo a nápoj poté prodávat) či Právo mílové (toto právo zaručovalo monopol řemeslníků sdružených v cechu na provozování a prodej svých výrobků či služeb nejen uvnitř městských hradeb, ale také v okruhu přibližně jedné míle kolem města). Zajímavý je také výnos bavorského vévody Viléma IV. z roku 1516 zvaný „Zákon o čistotě piva“, který je dosud stále v platnosti a který udává, že k výrobě nápoje smí být použito pouze chmelu, sladu a vody. V tomto výčtu nejsou uvedeny kvasinky, ovšem ty představují neodmyslitelnou surovinu a s jejich využitím se počítá samozřejmě. [2]

Moderní proces výroby piva

Podstata výroby tohoto nápoje vždy spočívala v kvašení obilného materiálu, jehož výsledkem byl produkt tekutého skupenství s určitými typickými charakteristikami, mezi které patřila například nasládlá chuť či mírný obsah alkoholu. Kvašení se provádí do dnešní doby prakticky stále stejně jako kdykoli dříve, nicméně v průběhu času se ostatní fáze výroby značně měnily, přizpůsobovaly se aktuálně získaným vědeckým poznatkům, dostupnosti jednotlivých užívaných surovin a měnícím se požadavkům zákazníků. V dnešní době se především ve velkopřmyslové praxi ustálil obecný postup, kterého se drží mezinárodní pivovary a drtivá většina běžně dostupných piv je vyrobena tímto způsobem. Postup obsahuje tři základní fáze:

1. Šrotování sladu

Sladem je nazýváno naklíčené a usušené obilné zrna ječmene. Slad je ručně vysypán do šrotovacího zařízení, ze kterého je vzniklý sladový šrot vsypán přímo do varného procesu.

2. Varný proces - dvourmutový postup

Proces vaření piva probíhá ve varně. Do vystírací kádě se nejprve převede sladový šrot, který se smísí s vodou o teplotě cca 37 °C, dále se přidá horká voda 80 °C a při výsledné teplotě cca 52 °C se převede 1/3 objemu do rmutovacího kotle. Ve rmutovacím kotli se podíl zahřívá až těsně pod bod varu a převede se zpět do vystírací kádě. Tento postup se opakuje ještě jednou s cílem převést většinu extraktu ze sladu (hlavně cukerného) do roztoku. Výsledkem je cukerný roztok o teplotě 77 °C, takzvané sladina. Sladina se potom procesem scezování a vyslazování zbaví pevných částic, takzvaného mláta. Vzniklé mláto je hlavním odpadním produktem výroby a využívá se jako krmivo pro hospodářská zvířata, díky své výživnosti se jedná o neobyčejně dobrou stravu například pro vepře. Finálně je předpřipravený polotovár uveden do intenzivního varu za přidání chmele, jehož výsledkem je hlavní meziprodukt zvaný mladina. Mladina se nechá sedimentovat ve vířivé kádě a dále se celý objem zchladí pomocí chladiče na zákvasnou teplotu cca 8 °C. Do studené mladiny se zároveň přidají pivovarské kvasnice v množství cca 0,8-1 l/hl.

3. Hlavní kvašení, dozrávání, filtrace

V následujících fázích varného procesu dochází k dalším úpravám vzniklého produktu tak, aby vznikl požadovaný výrobek se všemi charakteristickými vlastnostmi, ovšem během nich již nedochází k míchání kapaliny, proto budou zmíněny pouze ve zkratce. Hlavní kvašení probíhá v otevřených kádích v chlazeném odděleném prostoru (při teplotě cca 7-10 °C). Kádě a tanky jsou z nerezové oceli a jsou umístěné v prostoru s dobře dimenzovanou kanalizací a se zajištěnou cirkulací vzduchu. Přibližně za týden vznikne mladé pivo, které se přepustí do ležáckého sklepa, nebo se zchladí až na 0 °C a nechá se cca 14 dnů dozrát a následně se filtruje. Následuje dozrávání piva v ležáckých tancích opět z nerezové oceli, umístěných v chlazeném prostoru o teplotě 7-10°C. Proces dozrávání trvá 21-30 dnů. Posledním procesem je filtrace piva, po které je již produkt připraven ke stáčení do sudů a konzumaci. [3]

1. Cíle práce

Z daného postupu je jasné patrné, že výroba nápoje není úplně triviální a je k ní potřeba relativně velké množství rozličného příslušenství, pomocí kterého bude umožněno jednotlivé kroky realizovat. Všechna tato zařízení prochází nepřetržitým vývojem a během let jich vzniklo nespočet různých variant lišících se navzájem téměř v každém myslitelném ohledu. Tato práce má za cíl zaměřit se na jednu z částí technického vybavení varny, konkrétně tu, která má na starosti zajišťovat správné promíchávání tekutiny v různých fázích procesu. V rešerši bude rozebráno, co vše je potřeba vzít při návrhu míchacího zařízení v úvahu a jak na tyto požadavky reagují jednotlivá současně používaná míchadla. Dále bude kladen důraz především na skutečnost, že kromě komplexních zařízení ve velkopivovarech existuje v tomto odvětví i relativně významná skupina pivovarníků produkujících v daleko menších dávkách, a jaké jsou jejich možnosti vytvářet obdobný produkt i s omezeným rozpočtem vyžadujícím hledat alternativní, snáze dostupné a univerzálnější technologie. Druhá část práce bude věnována konstrukčnímu návrhu míchadla podle konkrétních požadavků zákazníka. Bude se jednat o technický návrh zahrnující výkonové, pevnostní a kontrolní výpočty hlavních prvků, případně analýzu zatížení pomocí vhodného simulačního programu. Bude vytvořen 3D model v programu CAD, přičemž použité komponenty a podsestavy budou mít své výrobní výkresy.

2. Ohřev, míchání kapalin

Pro dodržení správného postupu vaření piva dochází v některých fázích k ohřívání produktu na určitou přesně stanovenou teplotu, a je tedy nezbytně nutné zajistit, aby teplo pronikalo do celého objemu kapaliny pokud možno plynule a kontrolovatelně a následně aby bylo možné danou teplotu bez výkyvů udržovat. Pro dosažení optimálního výsledku musí být ohřev prováděn co nejrovnoměrněji, jediné tak lze docílit toho, že nebude docházet k přílišnému lokálnímu zahřátí, které má v nejhorších případech za následek připálení a znehodnocení celé várky. Samotné vnášení tepla lze však řídit pouze do určité míry a nikdy jím nedosáhneme zcela rovnoměrného ohřívání, proto jsou nedílnou součástí procesu také mechanismy zajišťující míchání kapaliny. Mohlo by se zdát, že se jedná o značně triviální problematiku, ovšem opak je pravdou, neboť vzhledem k moderním poznatkům rozlišujeme podle charakteristiky pohybu částic uvnitř nádoby několik rozdílných způsobů, jak míchat tekutinu, přičemž právě při vaření piva je v závislosti na probíhající fázi procesu využito hned několika z těchto způsobů, je tedy nutné zajistit, aby bylo varné zařízení schopno postupně obstarat všechny požadované alternativy.

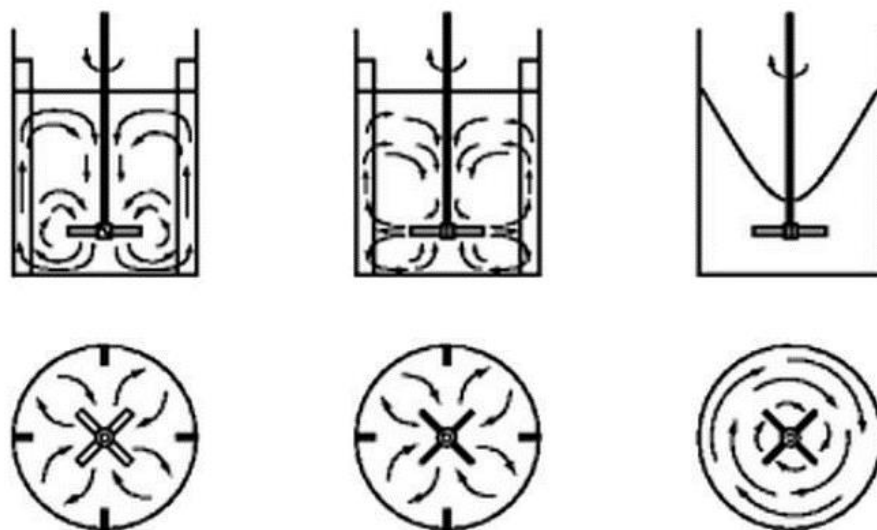
2.1. Způsoby míchání

Při zkoumání probíhajících jevů je zavedena patřičná terminologie, využívaná v rámci oborů zabývajících se hydromechanickými a chemickými procesy. Nádobu, ve které dochází k ohřevu, nazýváme reaktorem, o zahřívání tekutině poté referujeme jako o vsádce. Účely míchání jsou následující: [4]

- Homogenizace – proces, při kterém se díky promíchání dosáhne z původní směsi stejnorodé látky
- Vznos tuhé fáze
- Přestup tepla
- Dispergace (rozptýlení) nemísitelných látek

Míchání můžeme rozdělovat do několika kategorií podle různých příslušných kritérií, nejprve lze například charakterizovat mechanismus, jakým je kapalina uváděna v pohyb. Jako první typ míchání uvažujeme mechanické, které je v pivovarnické praxi používáno jednoznačně nejčastěji, proudění je v nádobě vytvořeno mechanickým, obvykle rotačním míchadlem. Tomuto typu se budeme dále podrobněji věnovat, setkáváme se ovšem i s dalšími podpůrnými způsoby míchání. Rozlišujeme ještě pneumatické, které funguje na tom principu, že do spodní části reaktoru je přiveden plyn, který je rozptýlen vhodným zařízením do bublin a stoupáním promíchává obsah. Tento způsob je méně účinný než míchání mechanické, ovšem jeho výhodou je jednodušost, nízké investiční i provozní náklady a absence pohyblivých částí. Posledním často používaným typem je míchání hydraulické, které je realizováno pomocí přečerpávání velkého objemu kapaliny za malého tlaku. Kapalina je do reaktoru přiváděna tangenciálně umístěnými ponořenými tryskami. [5]

Další důležité rozdělení je určeno charakterem, jakým se tekutina pohybuje, tzv. režim míchání. Odlišujeme tři základní druhy, přičemž jejich charakteristika bude nejlépe patrná z obrázku 1. [6]



Obrázek 1: Charakter proudění tekutiny: zleva 1) axiální, 2) radiální, 3) tangenciální, zdroj: [6]

Axiální proudění zajišťuje nejúčinnější prostup tepla a rozptýlení aditivních látek do celého objemu, proudnice v nádobě směřují především ve směru rovnoběžným s osou nádoby. Radiální proudění má podobné uspořádání, proudnice v tomto případě mají hlavně radiální směr. Tangenciální proudění je obecně problematictější a přináší oproti zbývajícím způsobům řadu komplikací: v reaktoru vzniká středový vír, kvůli kterému dochází k zhoršení objemové využitelnosti reaktoru a který může také způsobovat nepřiměřenou aeraci (nucené vnášení vzduchu) z prostoru nad hladinou. Také při něm dochází k horší tepelné výměně, pokud je vsádka zahřívána odspodu. Ovšem právě díky svým specifickým vlastnostem je tento způsob v některých případech také užitečný. Vznikající vír se používá ve fázi vaření piva za přidávání chmele k tomu, aby se částice chmelu ke konci procesu usadily na dně kádě, čímž je na konci procesu umožněno odebrat tekutinu z reaktoru s minimálním množstvím nečistot, které by bylo třeba zpětně vyfiltrovat. Proces bude ještě podrobněji popsán níže.

2.2. Typy mechanických míchadel

Mechanická míchací zařízení jsou vyráběna v různých tvarech podle toho, jakému účelu budou v provozu sloužit. Některé často využívané a významné modely jsou typizovány podle nezávazné normy CVS 69 1013, která uvádí jejich geometrické parametry, zároveň s tím jsou pro ně zhotoveny příkonové charakteristiky. Základní typy jsou uvedeny v tabulce 1, převzaté z práce „Konstrukce a provoz zařízení pro farmaceutický průmysl“ (Ženkl K., 2005), uvedené jako zdroj [8].

| Číslo | Název a norma | Schéma | Geometrie |
|-------|---|--------|---|
| 1 | Kotvové míchadlo CVS 69 1014 | | $T / d = 1,11$ $h_v / d = 0,8$ $h / d = 0,12$ $H_2 / d = 0,055$ |
| 2 | Šroubové míchadlo s usměrňovacím válcem CVS 69 1028 | | $T / d = 2$ $h_v / d = 1,5$ $s / d = 1$ $D' / d = 1,1$ $H' / D' = 1,15$ |
| 3 | Pásové míchadlo CVS 69 1029 | | $T / d = 1,05$ $h_v / d = 1$ $s / d = 1$ $h / d = 0,1$ |
| 4 | Turbínové míchadlo s dělicím kotoučem CVS 69 1021 | | $T / d = 3 \div 4$ $h / d = 0,2$ $l / d = 0,25$ $d_1 / d = 0,75$ 6 lopatek |
| 5 | Šestilopátkové míchadlo se šikmými lopatkami CVS 69 1020 | | $T / d = 3 \div 4$ $\alpha = 45^\circ$ $h / d = 0,20$ |
| 6 | Třílopatkové míchadlo se šikmými lopatkami CVS 69 1025.3 | | $T / d = 3 \div 4$ $\alpha = 45^\circ$ $h / d = 0,20$ |
| 7 | Vrtulové míchadlo s konstantním stoupáním šroubovice CVS 69 1019 | | $T / d = 3 \div 4$ $s / d = 1$ $h / d = 0,22$ $R / d = 0,4$ $R_1 / R = 0,16$ |
| 8 | Zubové míchadlo CVS 69 1038.1, .2 | | $T / d = 2 \div 4$ provedení 1 $h / d = 0,1$ $d_2 / d = 0,8$ provedení 2 $h / d = 0,075$ $d_2 / d = 0,85$ |

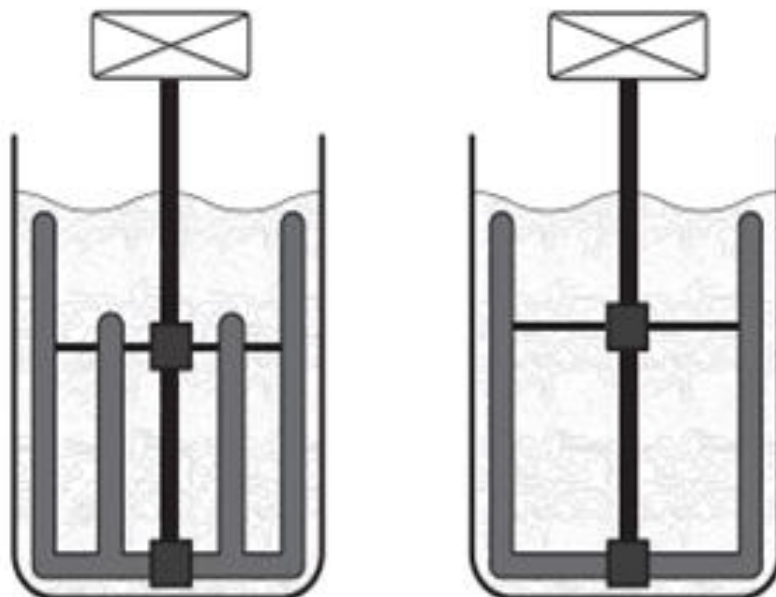
Tabulka 1: Základní typy mechanických míchadel, zdroj: [8]

Z tohoto seznamu jsou v našem případě podstatná míchadla vrtulová a především lopatková. Ta jsou dále ještě rozdělována na míchadla se šikmo skloněnými lopatkami a s kolmými lopatkami. Úhel naklonění lopatek určuje charakter proudění, šikmo skloněné lopatky jsou vhodné pro dosažení axiálního pohybu, neboť tekutina je usměřována ve směru osy míchadla, zatímco kolmé lopatky vytváří spíše proudění tangenciální, především pokud nejsou u stěn instalovány narážky, jejichž cílem je právě tangenciální proudění přerušit a změnit charakter míchání na jeden ze zbývajících dvou způsobů, tedy axiální nebo radiální.



Obrázek 2: Typy míchadel: zleva 1) lopatkové s kolmými lopatkami, 2) vrtulové, 3) lopatkové se šikmo skloněnými lopatkami, zdroj: [6]

U pivovarů s větším objemem nádob je občas využíváno i míchadla kotvového. To je sice tvarově složitější, ovšem jeho využití zaručuje, že kapalina bude skutečně promíchána v celém objemu rovnoměrně, čehož by pomocí lopatek nešlo docílit – lopatkové míchadlo by při běžném chodu nedokázalo dostatečně ovlivnit horní část nádoby, což by se dalo řešit zvýšením výkonu míchadla a zrychlením pohybu lopatek. V tu chvíli by ovšem již byla rychlost kapaliny u dna příliš velká, což by mohlo způsobit řadu komplikací, například nadměrné zatěžování komponent uvnitř nádoby (topné spirály) či vznik kavitace na lopatkách. [7] [8] Na obrázku níže je možné porovnat konstrukci jednoduchého kotvového míchadla (vpravo) a složeného míchadla se dvěma páry lopatek (vlevo).

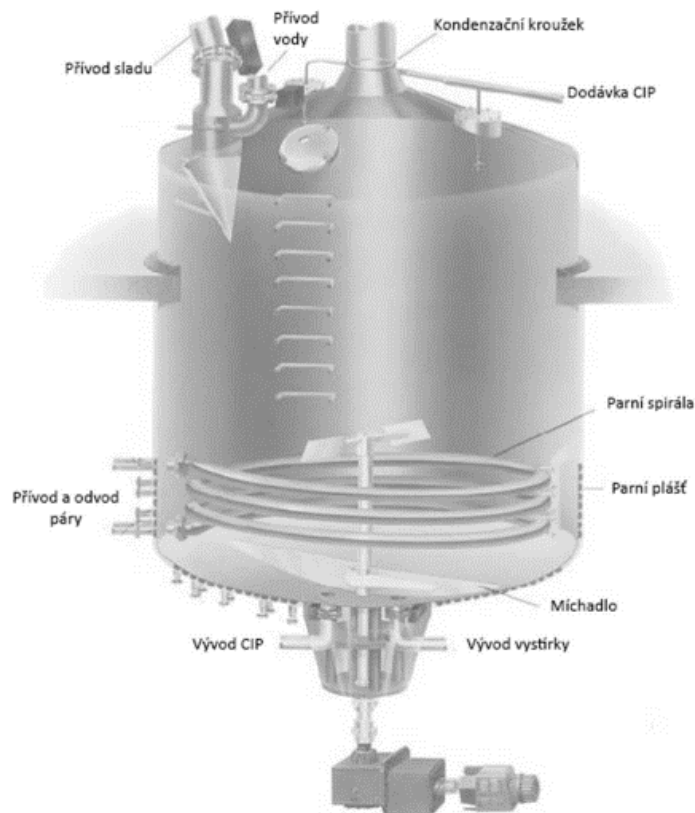


Obrázek 3: Příklady míchadel: a) kotvové míchadlo se dvěma páry lopatek, b) jednoduché kotvové míchadlo, zdroj: [7]

3. Zařízení pro míchání a ohřev využívaná v pivovarech

3.1. Průmyslové pivovary

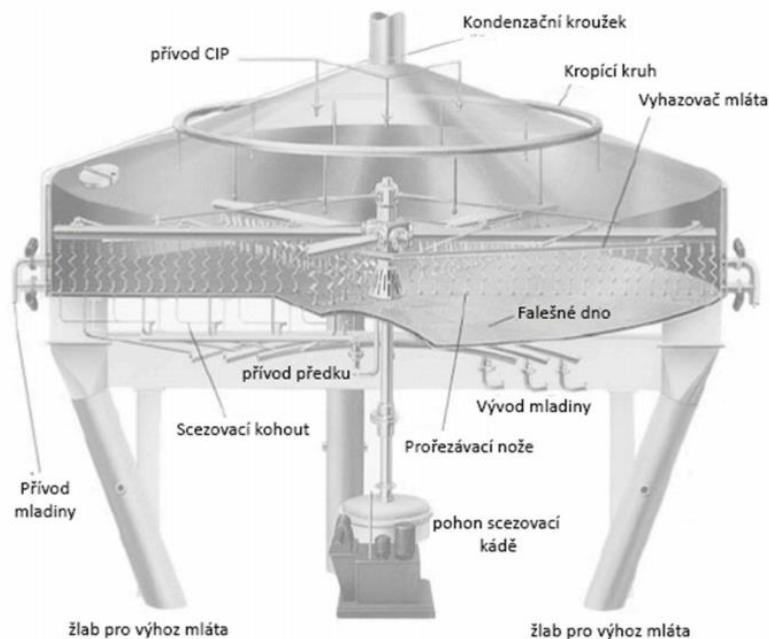
Vzhledem ke snaze o dosažení co nejvyšší optimalizace zařízení pro stanovenou technologii je nyní u průmyslových pivovarů platný standard, že v průmyslových pivovarech je pro každou jednotlivou část procesu instalováno speciální jednoúčelové zařízení, které obstarává míchání a ohřev podle předem pevně stanovených ustálených parametrů, přičemž i množství a mechanicko-chemické vlastnosti vsádky mezi jednotlivými cykly zůstává stejné. První fáze ohřevu probíhá ve vystírací kádi (ekvivalentní název také vystírací pánev). Do té je teplo vnášeno pomocí topné spirály, která je situována po obvodu varné nádoby a kterou prochází vodní pára. Tímto způsobem dochází již k částečné distribuci energie do celého objemu během samotného ohřevu, což je samozřejmě výhodné. V této nádobě je dále situováno lopátkové (v některých případech vrtulové) míchadlo se šikmo skloněnými lopatkami, které přestup tepla dále podporuje.



Obrázek 4: Vystírací kádě, zdroj: [9]

Další nádoba, ve které probíhá ohřev, je rmutovací pánev, ve které je uspořádání a celkové technické řešení obdobné. Ovšem právě ve rmutovací pánvi se můžeme u velkopřůmyslových výrobců někdy setkat s využitím kotvových míchadel různých tvarů.

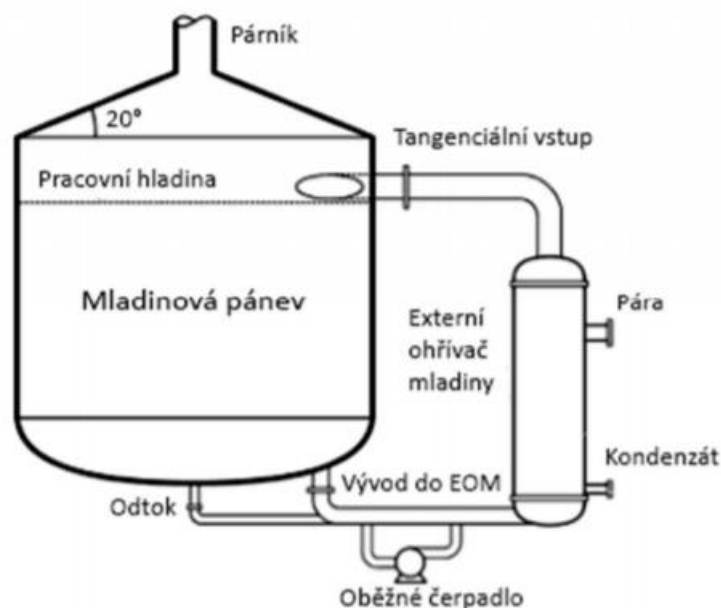
Polotovar dále pokračuje do scezovací kádě, což je nejkomplexnější nádoba, která je během celého procesu využita. Oproti vystírací kádi má navíc falešné dno, na které se při scezování usazuje mláto. Dále obsahuje čerpadlo, které přečerpává první, špatně scezené, výstřelky (předek) zpět do scezovací kádě. Pro zajištění dostatečného průtoku je důležité takzvané prořezávání mladiny, což mají na starosti otočné nože, u kterých je možné regulovat mezeru mezi noži u výšce od falešného dna. Nože se tím pádem starají i o promíchávání. [9]



Obrázek 5: Scezovací kád', zdroj: [9]

Poslední nádoba, ve které se při tradičním postupu výroby piva odehrává výrazné ohřívání tekutiny, je mladinová pánev, ve které dochází k přidávání chmele a intenzivnímu vaření. Právě tento proces má však svá specifika, kterými se značně odlišuje od předchozích kroků a která vyžadují značně rozdílnou konstrukci nádoby. Během chmelovaru je snaha o to vyvařit z peletky chmelu co nejvíce charakteristické hořké chuti, ovšem zároveň by nemělo dojít k přílišnému rozptýlení pevných částic v objemu, neboť v závěru procesu je výrobek, tzv. mladina, odčerpáván do odkalovacího zařízení (dříve tzv. štoky), přičemž na dně nádoby zůstává vrstva vyvařeného chmele a vysráženého kalu. [10] Z tohoto důvodu je zde využito tangenciálního míchání, které vytvořením víru dokáže soustředit nežádoucí částice do středu nádoby, zároveň dochází k jejich „tlačení“ směrem ke dnu, což vede k žádanému vzniku usazenin.

Míchání v tomto případě většinou nezajišťuje mechanické míchadlo, nýbrž k nádobě je připevněno externí čerpadlo, které nasává tekutinu z nádoby a po urychlení ji vhání zpět v daném směru tak, aby vznikl očekávaný efekt. V tomto případě se liší také způsob ohřívání kapaliny, ten je proveden pomocí externího vařáku, aby mohl vnitřní prostor nádoby zůstat pokud možno nenarušený dalšími předměty, které by rušily proud kapaliny a tvorbu víru. Tepelný výměník, který může být buď deskový nebo trubkový, je instalován do porubí sloužícího k míchání. Do kontaktu s ním tedy přichází právě poháněná kapalina, která je následně vehnána zpět do reaktoru, čímž je zajištěn vnos tepla do celé vsádky. Schéma tohoto systému je na obrázku 6.



Obrázek 6: Mladinová pánev, zdroj: [9]

3.2. Alternativní řešení

Zmiňovaná řešení představují optimální variantu pro komerční pivovary produkující obrovské množství výrobku, jehož prodej dokáže zajistit dostatečný výnos k pokrytí vysoké ceny provozu těchto reaktorů, přičemž kromě vstupních nákladů je nutné počítat také s nutností častých revizí a poměrně náročnou údržbou pořízeného majetku. Zdaleka ne každé pivo však musí být vyráběno velkosériově, po celém světě existuje také nespočet producentů vařících pivo pouze na lokální úrovni, ať už se jedná o menší soukromé pivovary, či přímo domácí výrobu jednotlivců. V obou případech je samozřejmě nemožné, aby se pivo vařilo stejným způsobem jako ve větších pivovarech, z tohoto důvodu existují alternativní cesty, jak jednotlivé procesy zpracovávat.

Základní rozdíl spočívá především ve snaze vyhnout se jednoúčelovým zařízením, většina procesů je naopak prováděna v podobných nádobách za použití totožného vybavení, které by tak mělo být navrhováno s ohledem na co nejvyšší univerzalitu a využitelnost pro různorodé aplikace.

Teplo je přiváděno většinou pomocí elektrické či plynové spirály instalované z vnější strany nádoby, může být vedena buď kolem celého pláště, případně pouze pode dnem. Jedná se o lacinější a technicky výrazně jednodušší řešení, nevýhodou je ovšem méně rovnoměrný vnos tepla vyžadující zajištění dostatečného míchání. Zároveň pokud zespondu probíhá ohřev, nebylo by výhodné mít ve dně instalována další zařízení, především právě míchadlo, v tomto případě se tedy využívá míchadel s horním uchycením. Stále je ovšem třeba myslet na to, že nejintenzivněji je třeba promíchávat vsádku právě u dna, kde dochází k největší akumulaci tepla, proto musí být lopatky vedeny až do spodní části nádoby.

Pro názornou ukázkou je přiložena fotografie zařízení Libereckého minipivovaru Hroch (Obrázek 7), na které je možné si jednotlivé části detailně prohlédnout. Varna je složena ze tří nádob, přičemž nádoba nalevo je mladinová pánev, uprostřed je rmutovací pánev a napravo leží zcezozací kád'. Proces začíná ve rmutovací pánvi, ve které se vaří voda se sladem. Zařízení je vybaveno elektrickým topným tělesem v prostoru kolem nádoby, místo víka je instalována konstrukce pro uchycení míchadla, přičemž na obrázku je vidět motor a převodové ústrojí transformující dodanou energii na výstup, kterým je hřídel míchadla. Tekutina je následně pomocí červené hadice dopravena do nádoby napravo, ve které

dochází k oddělení mláta. Zcezovací kád' je vybavena falešným dnem s otvory pro umožnění prostupu tekuté složky, na kterém se během procesu zcezování usazují pevné částice obilí, ty se následně po proběhnutí filtrace manuálně odstraní pomocí dvířek ve spodní části nádoby. V této části procesu nedochází k ohřívání díla, instalované svrchní míchadlo tedy neslouží k vytvoření axiálního proudění pro maximální přestup tepla, jeho funkce je v tomto případě čerení usazeného mláta, aby byl urychlen proces filtrace a nedošlo k zanesení otvorů. Tomu odpovídá i příslušné nastavení převodové skříně, která má vyšší převodový poměr obstarávající na výstupu pomaloběžný rotační pohyb. Čirá kapalina následně pokračuje do mladinové pánve. Přívod kapaliny není v tomto případě veden vrchem, tak jak tomu bylo u předchozích nádob, nýbrž ve spodní části je umístěno čerpadlo a sekundární oběh sloužící k realizaci tangenciálního míchání. Z tohoto důvodu není také nutné, aby bylo instalováno mechanické míchadlo. Produkovaný objem takto sestavené a dimenzované varny činí 80 hl ročně, přičemž při jedné várce je většinou vyrobeno zhruba 100 l nápoje. [11]



Obrázek 7: Varna minipivovaru Hroch, zdroj: [11]

4. Míchadla využívaná v domácím prostředí

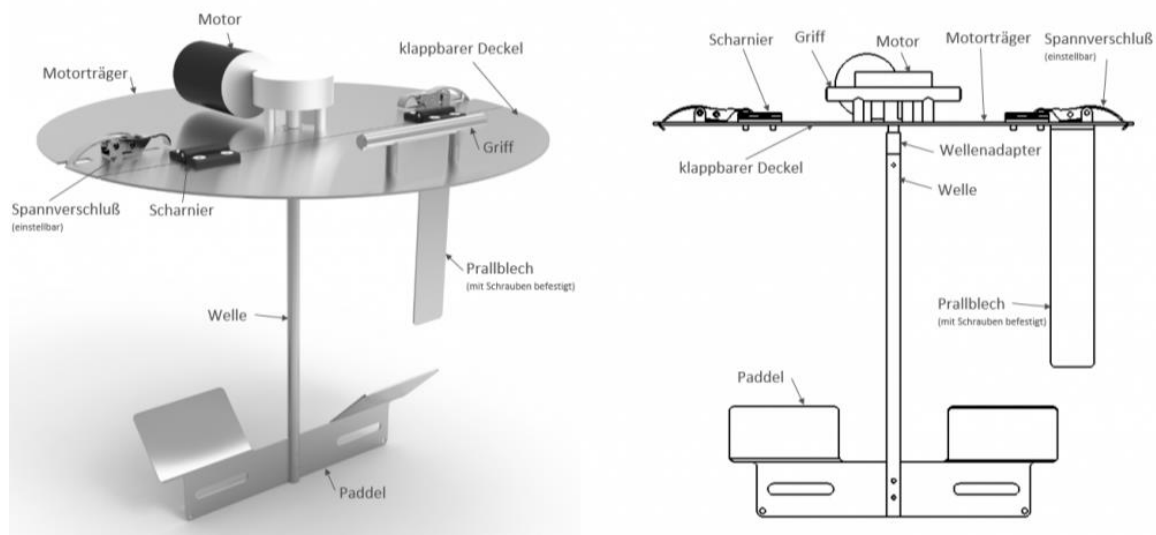
Vaření v domácím prostředí je specifické především tím, že míra mechanizace a automatizace procesů je redukována na minimum a mnoho operací je prováděno ručně. To vyplývá i z podstaty instalace zařízení, které má často mobilní charakter, neboť většina domácích pivovarníků nemá doma prostory pro trvalé umístění varny. Z tohoto důvodu jsou využívány pouze takové komponenty, se kterými lze bez problému manipulovat a které nepotřebují instalaci na pevně.

Přívod tepla je téměř vždy prováděn přímým ohřevem spodku nádoby plamenem. Jedná se o velmi jednoduché, přitom robustní řešení, které odpovídá klasickému ohřívání jakékoli potraviny v hrnci při vaření. Množství přiváděného tepla je snadno regulovatelné s takřka okamžitou reakční dobou, není potřeba žádné speciální vybavení kromě klasického plynového hořáku, a při domácím vaření lze navíc využít jakoukoli dostupnou nádobu bez další technologické úpravy. Lze také bez problému alternovat i objem vařené dávky. Hlavní nevýhoda tohoto systému je značně nerovnoměrný ohřev. U dna dochází k výraznému stoupání teploty a hrozí připalování, navíc není tak snadné udržovat vsádku na konkrétní požadované teplotě.

Promíchávání je možné pro dosažení uspokojivého výsledku provádět i ručně pomocí vařečky. Tento způsob je ovšem jednak velmi nespolehlivý, jednak relativně náročný, neboť vyžaduje i několik hodin v podstatě nepřerušovaného míchání. Kromě vzniklého diskomfortu je nutné počítat také se zcela nahodilou možností kontroly, regulace a opakovatelnosti. Několikrát bylo zmíněno, že optimálního výsledku je možné dosáhnout pouze při pečlivém řízení celého procesu a za použití vhodných nástrojů pro daný účel. V případě ručního míchání je vše doslova v rukou pracovníka s vařečkou, a lze jen spoléhat na jeho fyzickou sílu a předchozí zkušenosti. Vaření piva sice nespadá do stejné kategorie jako například výroba různých chemikálií, a nároky na preciznost tedy nedosahují laboratorních podmínek, proto je možné do určité míry zanedbat drobné odchylky od ideálního postupu a přitom stále dosáhnout velmi obstojného výsledku. Je tedy možné si s touto jednoduchou metodou vystačit, některým nadšencům dokonce přináší právě ruční míchání ten pravý požitek z vlastní výroby piva. Odlišná situace však nastává v momentě, pokud již není řeč o zcela amatérské úrovni a cílem je vařit větší množství nápoje, eventuálně mít vyšší kontrolu nad výslednou kvalitou. V tomto případě se již prakticky není možné bez mechanického míchadla obejít. Pořízení tohoto zařízení však překvapivě není vůbec jednoduchý úkol, sehnat komerční produkt je sice možné, ovšem pouze ve velmi omezené míře a s mnohými komplikacemi, o kterých bude podrobněji referováno níže. Z tohoto důvodu jsou pivovarníci – nadšenci často nuceni vytvářet si míchadlo svépomocí sami doma, což vzhledem k relativní jednoduchosti a přímočarosti zařízení naštěstí nepředstavuje nespílitelný úkol, ovšem i v tomto případě musíme vzít v potaz mnoho komplikací a problémů, se kterými se tento přístup nevyhnutelně pojí a které by bylo záhodno pokud možno eliminovat.

4.1. Komerčně dostupné řešení

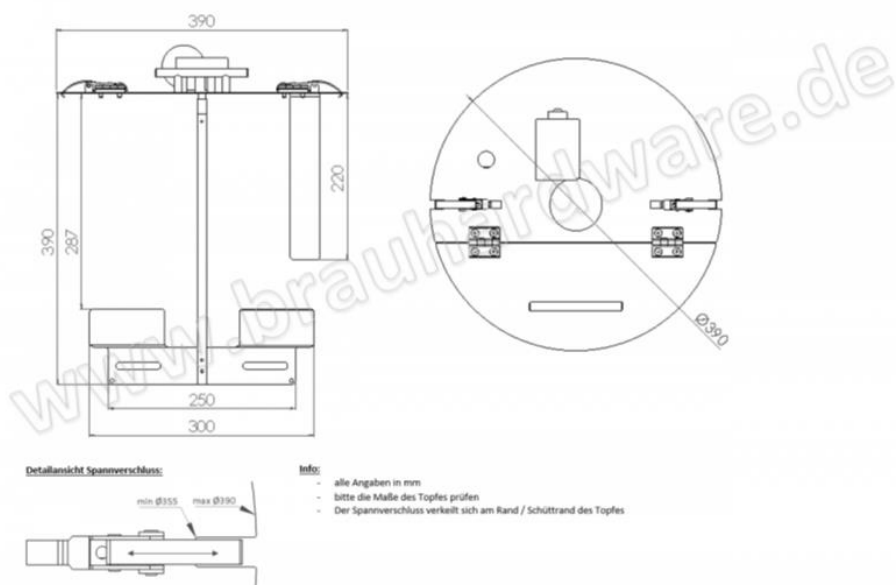
Ač je kultura domácího pivovarnictví v naší zemi značně rozšířená, kompletní míchací zařízení nenabízí žádný tuzemský výrobce, je tedy nutné nechat si zboží v případě potřeby importovat ze zahraničních regionů. Německý internetový obchod Brauhardware (<https://www.brauhardware.de/>) nabízí zařízení zvané „Rührwerk 10 Gallonen“, tedy v překladu „míchací zařízení na 10 galonů“, které poskytuje v určitých konkrétních případech téměř přesně to, co lze od míchadla očekávat. Na tomto zařízení můžeme pozorovat všechny podstatné části, které jsou pro zajištění základní funkce míchadla potřebné. Popis jednotlivých komponent je uveden na grafice poskytnuté výrobcem.



Obrázek 8: Popis komponent míchacího zařízení, zdroj: <https://www.brauhardware.de/de/Ruehrwerk10Gal.html> [26.3.2022]

Základem konstrukce je víko, které se v tomto případě ukotvuje pro zajištění polohy k hornímu okraji hrnce pomocí napínacích závěrů (Spannverschluss). Víko je rozděleno na dvě části, přičemž jedna drží během celého procesu pevně na místě (Motorträger), druhá je uchycena pomocí pantů a je možné s ní manipulovat (klappbarer Deckel), což umožňuje nahlížení do reaktoru během vaření, případně přidávání potřebných ingrediencí jako sladu či cukru bez nutnosti manipulovat složitě s celým zařízením. Na pevné části víka je uchycen elektromotor (Motor), který dodává potřebný točivý moment, který je následně přes převodovou skříň transformován na hřídel míchadla (Welle). Na opačném konci hřídele je pevně přidělán tvarovaný plech tvořící obě lopatky (Paddel). Ty jsou v tomto případě natočeny pravděpodobně v úhlu 45°, ovšem tento parametr není nikde oficiálně uveden, proto se jedná pouze o osobní odhad. Z víka směrem dolů je ještě šrouby připevněn obdélníkový kus plechu směřující dolů do nádoby, což je tzv. narážka (Prallblech).

Kromě popisu jednotlivých částí je nám poskytnut ještě obrázek zachycující obecné rozměry zařízení, jedná se o schematický nástin sloužící především ke stanovení připojovacích rozměrů a optimální velikosti nádoby.



Obrázek 9: Rozměry míchacího zařízení, zdroj: <https://www.brauhardware.de/de/Ruehrwerk10Gal.html> [26.3.2022]

Další údaje na stránkách dávají údaje o použitém materiálu, zařízení je až na panty vyrobeno z nerezové oceli, blíže nespecifikované, a tloušťka využívaného plechu je 2 mm, přičemž povrch je broušený. Součástí setu není elektromotor ani zdroj napětí, ty si musí zákazník dokoupit zvlášť. Elektromotor je na internetové stránce nabízen hned u míchadla jako doporučené příslušenství, ovšem uvedené technické informace uvádí pouze to, že v závislosti na zapojení může motor operovat v otáčkách buď 45 rpm nebo 65 rpm. Například o hodnotách výkonu a dodávaného kroutícího momentu není na stránkách hovořeno.

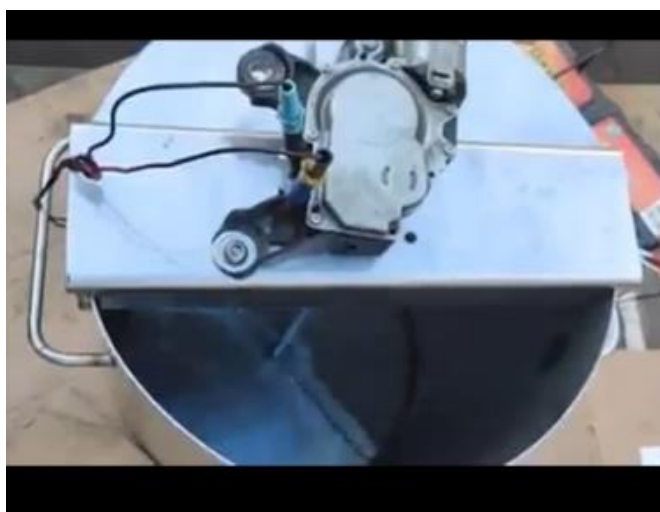
Základní komplikace spočívá v tom, že toto míchací zařízení je kompatibilní pouze s jedním konkrétním hrncem jasně stanovené velikosti a tvaru, na žádný jiný by vzhledem ke konstrukci míchadla nebylo možné provést řádné upevnění mechanismu a zaručit jeho bezproblémovou funkčnost. Odpovídající hrnec je nepřekvapivě jedna z dalších položek nabízených k prodeji v obchodu Brauhardware, ovšem pokud si zákazník přeje zařídit domácí varnu na jiný než tento predefinovaný objem 10 galonů (cca 38 litrů), není mu v takovém případě již nabízena žádná adekvátní alternativa a nabízí se pouze jediný způsob, jakým je možné si opatřit vlastní automatické míchadlo, jehož vlastnosti budou přizpůsobeny představám a osobním požadavkům majitele. Tímto způsobem je domácí samovýroba takového zařízení, a přestože je tato cesta jistě namáhavá a může představovat značnou časovou i finanční zátěž, jedná se o natolik podstatnou věc, že pokusy o řešení tohoto problému nejsou zdaleka ojedinělé.

4.2. Domácí výroba míchacího zařízení

Výroba podobného zařízení představuje řešení relativně komplexního problému v oboru, který je většinou amatérských pivovarníků značně vzdálený a který nemá s potravinářstvím téměř nic společného. Velké pozitivum je v tomto případě skutečnost, že vaření domácího piva je v dnešní době velmi komunitní záležitost s širokou přidruženou skupinou nadšenců, v rámci které je díky moderním komunikačním technologiím možné rozebrat na rozličných internetových fórech a diskuzních kanálech veškerou přidruženou problematiku. Například ve skupině na Facebooku s názvem „Domácí pivo – Homebrewing“ je možno najít fotografie několika domácích míchadel.



Obrázek 10: Domácí míchadlo, zdroj: : http://4.bp.blogspot.com/-xLbeTdVnV88/Vred4Y5Ro5I/AAAAAAAAA_U/izRfA-Czufs/s1600/P60207-192712.jpg [27.3.2022]



Obrázek 11: Domácí míchadlo, zdroj:

<https://www.facebook.com/groups/domacipivo/permalink/10158781059799393/> [27.3.2022]

Je očividné, že základní princip je vždy totožný, vycházející z konstrukčního provedení komerčně nabízeného míchadla firmy Brauhardware. Odlišnosti nacházíme pouze v detailech a jsou dány především tím, k jakým prostředkům a dílům měl konstruktér přístup. Ze základních komponent vyskytujících se na původním produktu jsou přítomny v určité podobě téměř všechny kromě narážky, která nepředstavuje natolik zásadní díl, aby bez něj nebylo zařízení schopné fungovat, ovšem celková funkčnost je jejím vynecháním částečně omezena.

5. Návrh konstrukce míchacího zařízení

Z rozboru dané problematiky lze vyvodit několik základních poznatků, které budou pro další část práce podstatné a bude pomocí nich možné stanovit předpoklady pro výrobu takového zařízení. Základní konstrukce míchadla je inspirována komerčním provedením, neboť vzhledem ke svým mnohým výhodám a značné jednoduchosti se jedná o vhodnou variantu pro většinu zákazníků. Základní části zařízení budou tedy víko či obdobná horní nosná část usazená na hraně hrnce, motor připevněný na víku a hřídel s lopatkami umístěná do vertikální polohy v ose nádoby, na kterou bude přiváděn potřebný točivý moment pomocí motoru se spojkou. Koncept bude navíc rozšířen o další konstrukční prvky, které zvýší variabilitu zařízení, jedná se především o konstrukci umožňující modifikovat úhel sklonu lopatek zajišťující možnost vyvolat proudění jak axiálního, tak i tangenciálního charakteru. Dále by bylo užitečné mít nastavitelnou délku hřídele a ovládat tudíž výšku ode dna, ve které se budou lopatky pohybovat.

5.1. Postup návrhu při stanovení hlavních parametrů

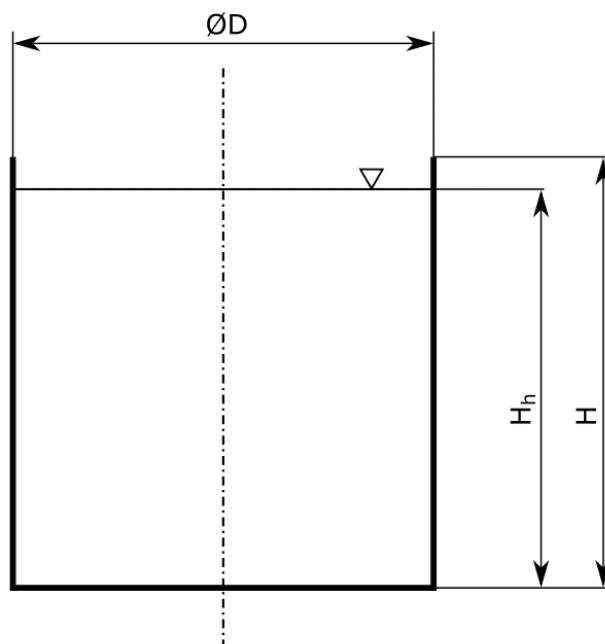
- Pro zadaný objem zvolit vhodnou nádobu a stanovit její příslušnou geometrii
- Podle fyzikálních vlastností kapaliny a účelu míchání stanovit geometrii a procesní parametry míchadla
- Stanovit potřebný příkon, určující výběr vhodného elektromotoru
- Provést konstrukční návrh zařízení, především převodové soustavy a vhodného uložení jednotlivých komponent
- Provést kontrolní výpočty na pevnost nejvíce namáhaných částí, tedy hřídel v krutu, lopatky v ohybu, vliv působících axiálních sil atd. [12]

5.1.1. Nádoba

Nádoba bude v našem případě klasický kuchyňský hrnec, ve výpočtech bude tedy bez větší chyby uvažován jednoduchý válcový tvar s plochým dnem. Zaoblení na hraně mezi dnem a stěnou nádoby je vzhledem k ostatním rozměrům zanedbatelné, jeho vliv tedy nebudeme uvažovat. Kromě plochého dna může nádoba nabývat i odlišných tvarů, norma CVS 69 rozeznává ještě kuželovou a klenutou geometrii dna, přičemž reaktory těchto tvarů mohou být v některých ohledech výhodnější. [13] Ovšem takové nádoby musí být montovány napevno, neboť samy o sobě nedokáží držet rovnováhu při položení na vodorovný povrch, zároveň se jedná o účelovější a dražší zařízení, proto se s nimi v malonákladových pivovarech většinou nesetkáme.

Tvar nádoby je určen třemi základními rozměry, ze kterých budou následně odvozeny další parametry. Podstatný bude průměr hrnce a jeho výška, dále pak výška hladiny tekutiny uvnitř. U tohoto posledního rozměru musíme při jeho určování uvažovat značnou nejistotu, neboť na rozdíl od zbylých parametrů není pevně daný, ale je pokaždé znovu definován při novém plnění nádoby, každá jednotlivá várka bude tedy dosahovat více či méně odlišné výšky hladiny. To by ovšem nemělo představovat zásadní problém, neboť tento rozměr slouží především k určení objemu kapaliny a následně potřebnému příkonu k jeho promíchání, takže pokud bude při výpočtech uvažován zcela naplněný reaktor, budou stanoveny parametry dostatečné pro maximální zátěž, které budou logicky vyhovovat i menší vsádce. Parametry jsou definovány příslušnými kótami na obrázku níže, využít bude hrnec

Prestona 71 l, dostupný například v internetovém obchodě Gastro-technica¹, jehož příslušné rozměry jsou uvedeny na stránkách prodejce.



Obrázek 12: Schéma nádoby

Parametry:

$$D = 450 \text{ mm}$$

$$H = 450 \text{ mm}$$

$$V = 71 \text{ l} = 71\,000\,000 \text{ mm}^3$$

Ze stanoveného objemu lze následně určit výšku hladiny při maximálním naplnění.

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H_h$$

$$H_h = \frac{4V}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 71\,000\,000}{\pi \cdot 450^2} = 446,4 \text{ mm}$$

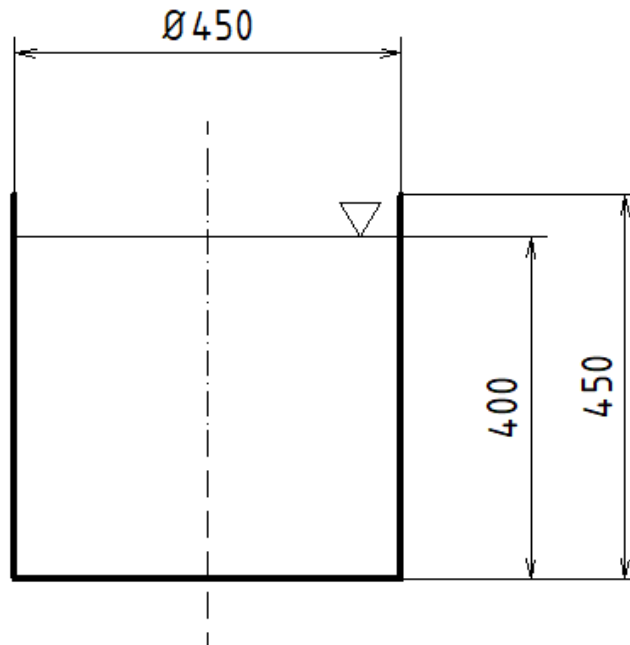
Pokud by v nádobě skutečně byla tekutina o deklarovaném objemu 71 litrů, hladina by byla ve výšce 446,4 mm ode dna, tedy 3,6 mm pod úrovní horního okraje hrnce. Je tedy patrné, že objem hrnce nelze považovat za objem vsádky, kterou je možno v nádobě prakticky připravovat, neboť ve zcela naplněné nádobě by bylo nemožné ponořit do tekutiny míchadlo a uvádět ji v pohyb, aniž by došlo k vytečení části obsahu přes okraj. Je tedy třeba odhadem stanovit maximální výšku hladiny, která by ještě umožňovala provádění praktických kroků přípravy piva bez zbytečných ztrát. Při pozorování ručního míchání pomocí vařečky se ukázalo jako výhodné, pokud je mezi horním okrajem hrnce a hladinou v ustáleném režimu alespoň 50 mm vzdálenost. Z tohoto údaje vychází potřebné parametry.

¹ https://www.gastro-technica.cz/hrnce-vysoke/hrnec-vysoky-71-l-prumer-450-mm-z-nerezove-oceli-s-poklickou-prestona-210113?from=listing&campaign-id=20&fbclid=IwAR3ue9E_9vDnxA38cz8_edXwaALLzYJp-VZjeB-PQqjIF9e-SZhu1uOQN7Q

$$H_h = 400 \text{ mm}$$

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H_h = \frac{\pi \cdot 450^2}{4} \cdot 400 = 63617251 \text{ mm}^3 = 63,62 \text{ l}$$

Potřebné rozměry nádoby budiž tedy stanoveny takto:



Obrázek 13: Rozměry nádoby

5.1.2. Fyzikální vlastnosti tekutiny

Nyní je třeba určit základní fyzikální charakteristiky míchané směsi a pokusit se co nejpřesněji pojmenovat hydromechanické procesy, které bude v tomto případě nutné brát v úvahu. Nejedná se o komplexní rozbor celé přidružené problematiky z hlediska mechaniky tekutin, neboť to je samo o sobě téma velmi rozsáhlé a složité, značně přesahující rámec této práce. Naopak cílem bude co nejsrozumitelněji shrnout základní poznatky a pomocí již známých ověřených vztahů či normovaných parametrů získat potřebné informace.

V každé fázi varného procesu je možné považovat soustavu za heterogenní. Heterogenními systémy zde míníme systémy sestávající ze dvou navzájem nerozpustných fází. Podle toho, o jaké fáze jde, můžeme rozlišovat míchání systémů *kapalina-plyn*, *kapalina-kapalina* a *kapalina-pevná fáze*, přičemž v našem případě se bude jednat o třetí nabízenou možnost. [5] Pevnou složku bude tvořit během rmutování obilný slad, který bude následně ve fázi chmelení nahrazen částicemi rozemletého chmele. Příkon při míchání suspenzí v turbulentní oblasti lze počítat ze známých hodnot příkonového čísla pro míchání čistých kapalin, jestliže za hustotu do příkonového čísla dosazujeme hustotu suspenze vypočtenou ze vztahu [12]

$$\rho_{su} = c_v \cdot \rho_s + (1 - c_v)\rho_l$$

Kde ρ_{su} je výsledná hustota suspenze, ρ_s hustota pevné a ρ_l hustota kapalně fáze, c_v je objemová koncentrace. Hustotu kapalně fáze, kterou je v našem případě voda, lze určit pomocí známých tabulkových hodnot. Je ovšem třeba zohlednit, že hustota se bude během ohřívání měnit, v úvahu připadají hodnoty v rozmezí 998,2 až 971,8 kg/m³, odpovídající teplotám od 20 °C do 80 °C. [14] Pro

další výpočty zvolíme jako směrodatný údaj maximální hodnotu hustoty na daném intervalu, tedy $\rho_l = 998,2 \text{ kg/m}^3$, neboť pro výpočet příkonu míchadla se bude jednat o nejméně příznivou variantu. Hustota pevné složky bude charakterizována hustotou sušiny pivovarského mláta. Jedná se o prefabrikovaný produkt, jehož fyzikální vlastnosti jsou značně závislé na konkrétním výrobcu, kvalitě jednotlivé dávky, způsobu uskladnění a mnoha dalších aspektech, není proto jednoduché tuto hodnotu precizně stanovit. Budeme ovšem uvažovat, že se jedná o téměř čistý ječmen, jehož hustota se pohybuje v rozmezí 1130 až 1330 kg/m^3 , vybereme tedy opět méně příznivou variantu $\rho_s = 1330 \text{ kg/m}^3$. [15]

Objemová hustota se bude odvíjet od množství ječmene, který bude do určité vsádky vložen. Pro obvyklé druhy piva, například světlý ležák plzeňského typu, je v receptuře nejčastěji uváděn poměr 10 kg sladu na 35 l vody. [16] Budeme-li se však opět snažit najít krajní případ v náš neprospěch, výjimečně je možné setkat se i s recepty, ve kterých je uveden poměr 10 kg sladu na 30 l vody, tyto hodnoty můžeme považovat za limitní. Z těchto parametrů lze následně určit potřebnou objemovou koncentraci.

$$\begin{aligned} V_l &= 35 \text{ l} \\ m_s &= 10 \text{ kg} \\ \rho_s &= 1330 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{m_s}{\rho_s} = \frac{10}{1330} = 0,00751879 \text{ m}^3 = 7,519 \text{ l}$$

$$c_v = \frac{V_s}{V_s + V_l} = \frac{7,519}{7,519 + 35} = 0,1768$$

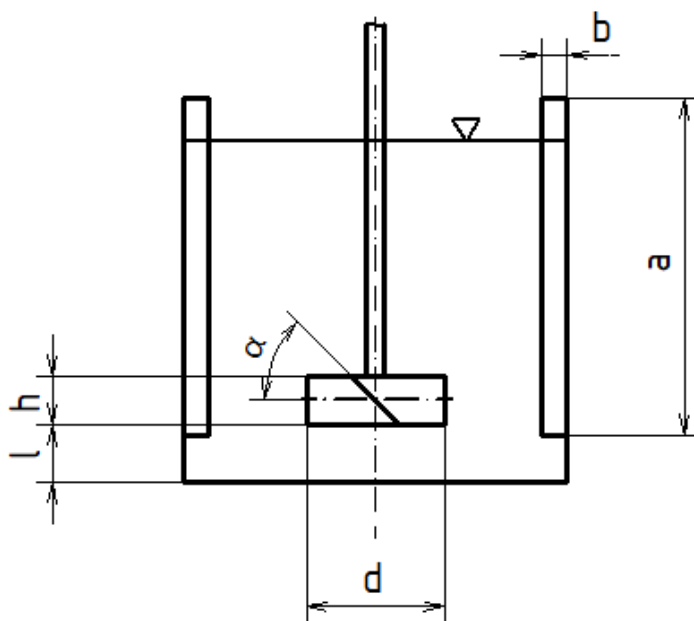
Nyní jsme již schopni určit hledanou hustotu suspenze.

$$\rho_{su} = 0,1768 \cdot 1330 + (1 - 0,1768) \cdot 998,2 = 1056,86 \text{ kg/m}^3$$

5.1.3. Geometrie míchadla

Určení rozměrů bude vycházet pokud možno co nejvíce ze zavedených norem a z ověřených postupů. V této souvislosti byla navázána spolupráce s expertem na tekutinové mechanismy panem Prof. Ing. Tomášem Jiroutem, Ph. D. zastávajícího roli vedoucího Ústavu procesní a zpracovatelské techniky na Fakultě strojní ČVUT, který při posudku daného problému doporučil pro zaručení funkčnosti takto dimenzovaného zařízení postupovat následujícím způsobem.

Geometrie a uspořádání lopatek bude vycházet z normy CVS 69 a z poznatků získaných praxí při navrhování reaktorů s obdobnou geometrií. Definován je průměr lopatkového ústrojí d , výška lopatky h , úhel sklonu lopatky α , optimální umístění nade dnem l , dále šířka narážky b a výška narážky a . [17] Parametry jsou zobrazeny na následujícím schématu.



Obrázek 14: Schéma zařízení

Určení číselných hodnot je odvozeno od rozměrů reaktoru, ve kterém bude míchadlo pracovat. Jako stěžejní rozměr bude sloužit vnitřní průměr nádoby D , z něj jsou následně odvozeny příslušné poměry podle doporučených poměrů:

$$d = 0,5 \div 0,6 \cdot D$$

$$h = 0,2 \div 0,25 \cdot d$$

$$l = 0,4 \div 1 \cdot d$$

$$b = 0,1 \div 0,15 \cdot D$$

$$a \geq H \cdot l$$

Výška zarážky je závislá na vzdálenosti míchadla ode dna, pro její funkčnost je nutné, aby její spodní hrana zasahovala do oblasti pod spodní hranou míchadla. Úhel alfa není definován vzhledem k tomu, že snahou bude vytvořit zařízení s nastavitelným sklonem lopatek, tedy právě tento úhel bude možné operativně měnit. Charakter vyvolaného proudění v závislosti na nastavení tohoto parametru byl již podrobněji rozebírán výše, obecně platí, že využívané sklony lopatky jsou $\alpha=90^\circ$ pro tangenciální míchání a $\alpha=45^\circ$ pro axiální. Situace však bude do značné míry více než sklonem lopatek ovlivněna tím, jestli v nádobě budou či nebudou umístěny narážky, bylo by tedy vhodné, aby existovala možnost jejich odebrání či instalace podle potřeby.

Konkrétní hodnoty rozměrů pro náš případ budou tedy pro potřeby následujících výpočtů definovány takto:

$$d = 225 \text{ mm}$$

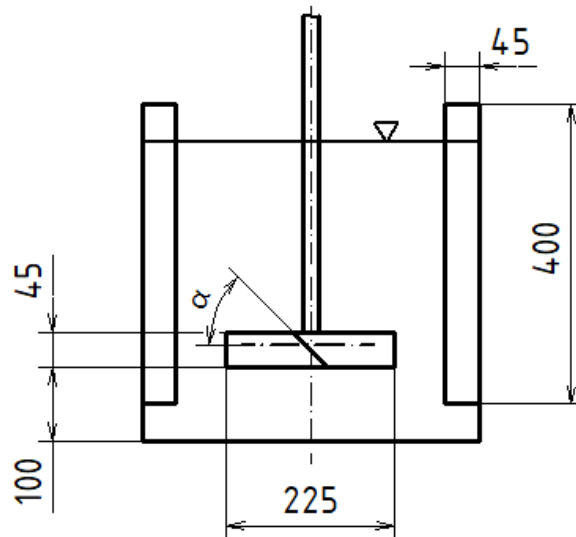
$$h = 50 \text{ mm}$$

$$l = 80 \text{ mm}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$a = 400 \text{ mm}$$

Schéma:



Obrázek 15: Rozměry zařízení

5.1.4. Výkonová charakteristika míchadla

Minimální potřebný příkon pohonu bude odvozen od celkového zatížení mechanismu, které bude mít dva základní zdroje. Prvním z nich bude zatížení vyvolané odporem kapaliny vůči pohybu lopatek, druhým pak ztráty v mechanismu při přenosu točivého momentu na výstupní hřídel dané nedokonalou účinností převodů a uložení.

Výpočet příkonu potřebného k míchání spadá opět do oblasti tekutinových mechanismů, jedná se o diferenciální rovnici zahrnující v sobě vlastnosti tekutiny vyjádřené Reynoldsovým číslem, tenzory rychlostí deformací v daných směrech a další parametry, odvození se nachází ve zdroji [5] na stranách 70 – 77. Výstupem výpočtu je zjištění příkonového čísla P_o , jedná se o bezrozměrné kritérium a je dáno vztahem

$$P_o = \frac{P}{\rho n^3 d^5}$$

P je hodnota zjišťovaného příkonu, ρ je hustota míchané směsi, n jsou otáčky míchadla a d značí průměr lopatek. Pro rozličné kapaliny a druhy pohonů jsou příkonová čísla již většinou určena, po konzultaci s panem Prof. Ing. Tomášem Jiroutem, Ph. D. byla stanovena hodnota

$$P_o = 0,8$$

Parametry P a n , budou stanoveny z kritéria tzv. příkonové zátěže, které je uváděno v jednotkách $[W/m^3]$ a stanovuje příkon spotřebovaný na promíchávání jednotkového objemu kapaliny. Ve výpočtu je zahrnuto i zaručení dostatečné homogenizace a vnosu pevných částic. Podle doporučení byl tento parametr číselně vyjádřen jako $120 W/m^3$, při uvažování rezervy pro platnost i v extrémních případech je příkonová zátěž stanovena jako

$$P_V = \frac{P}{V} = 150 \frac{W}{m^3}$$

Objem míchané kapaliny již známe, je tedy možné dopočítat výkon.

$$V = 63,62 \text{ l} = 0,06362 \text{ m}^3$$

$$P = P_V \cdot V = 150 \cdot 0,06362 = 9,543 \text{ W}$$

Z hodnoty příkonového čísla je nyní možné určit i minimální potřebné otáčky lopatek

$$n = \sqrt[3]{\frac{P}{\rho \cdot P_o \cdot d^5}} = \sqrt[3]{\frac{9,543}{1056,86 \cdot 0,8 \cdot 0,225^5}} = 2,69 \text{ s}^{-1} = 161,4 \text{ min}^{-1}$$

Pomocí otáček a výkonu je možné určit potřebný dodávaný moment.

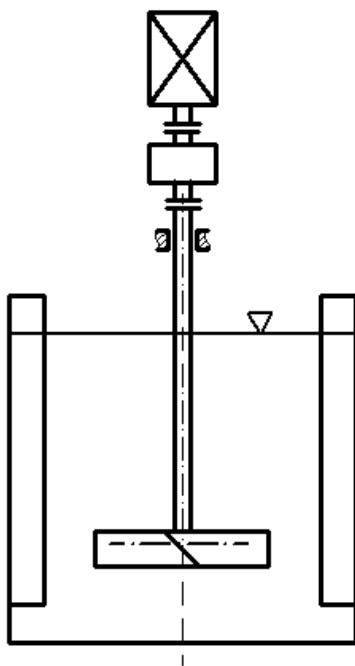
$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 161,4}{60} = 16,90 \text{ s}^{-1}$$

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{9,543}{16,9} = 0,56 \text{ Nm}$$

5.2. Konstrukce míchadla

5.2.1. Schéma zařízení

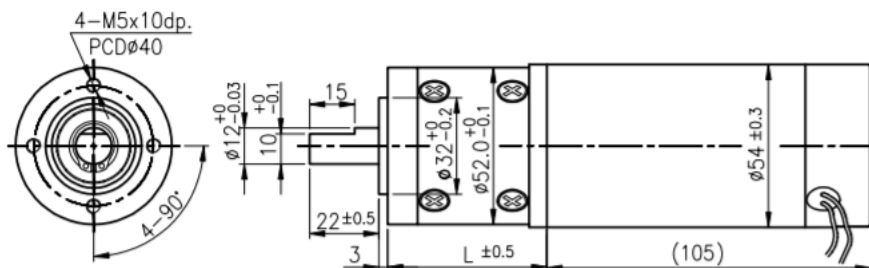
Schéma poháněné části bylo již uvedeno výše v rámci stanovení příslušné geometrie, pro schéma celého mechanismu bude obsahovat navíc ještě pohonné a převodové ústrojí.



Obrázek 16: Schéma pohonu

5.2.2. Výběr pohonu

Podle požadované hodnoty výkonu byl zvolen pohon PG521-24-19-B z obchodu „Stejnoseměrné motory.cz“². Parametry jsou uvedeny v tabulce níže.



Obrázek 17: Pohon, zdroj: <https://www.dcmotory.cz/images/115s-pg521-schema.png> [3.4.2022]

Vlastnosti motoru

| Jm. napětí [V] | Jm. moment [g-cm] | Jm. otáčky [ot/min] | Jm. proud [mA] | Otáčky naprázdno [ot/min] | Proud naprázdno [mA] | Jm. výkon [W] |
|----------------|-------------------|---------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---------------|
| 12 | 900 | 3620 | ≤4100 | 4000 | ≤1200 | 33,5 |
| 24 | 1300 | 3550 | ≤2850 | 4000 | ≤700 | 48,6 |

Vlastnosti motoru s převodovkou

| Převodový poměr | | 3:1 | 4:1 | 12:1 | 15:1 | 19:1 | 26:1 | 43:1 | 53:1 | 66:1 | 81:1 | 100:1 |
|-----------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 12 V | Jm. moment [kg-cm] | 2,5 | 3,1 | 7,7 | 9,5 | 11,8 | 16 | 23 | 28 | 35 | 44 | 54 |
| | Jm. otáčky [ot/min] | 1030 | 835 | 295 | 238 | 192 | 139 | 84 | 68 | 55 | 44 | 36 |
| 24 V | Jm. moment [kg-cm] | 3,6 | 4,5 | 11 | 13,5 | 17 | 23 | 33 | 41 | 51 | 62 | 78 |
| | Jm. otáčky [ot/min] | 1000 | 815 | 285 | 230 | 185 | 136 | 82 | 67 | 54 | 44 | 35 |
| Hmotnost [g] | | 1395 | 1395 | 1580 | 1580 | 1580 | 1580 | 1770 | 1770 | 1770 | 1770 | 1770 |

Tabulka 2: Charakteristiky pohonu, zdroj: <https://www.dcmotory.cz/dc-motory-planetova-prevodovka/serie-pg521.html> [3.4.2022]

Jedná se o stejnosměrný elektromotor přímo spojený s převodovkou, což bude s konstrukčního hlediska pro tento případ výhodné, neboť nebude potřeba provádět dodatečnou montáž. Napájecí napětí bude 24 V a zvolený poměr převodovky 19, což bude znamenat dosažení jmenovitého momentu 17 kg-cm (= 1,67 Nm) při jmenovitých otáčkách 185 min⁻¹. Jmenovitý výkon motoru je 48,6 W.

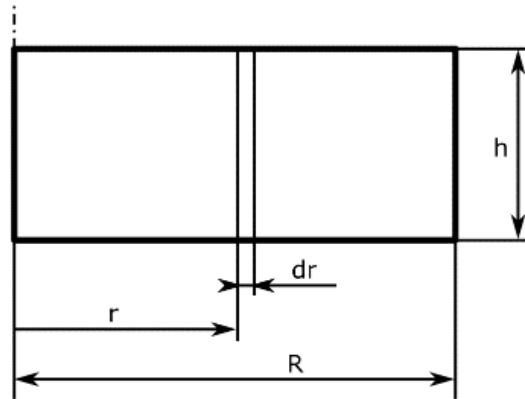
5.2.3. Zatížení mechanismu

Pro účely dimenzování bude stanoveno zátěžové pole vzniklé tlakem v kapalině při pohybu míchadla jmenovitou úhlovou rychlostí. Odpor prostředí je vyjádřen vztahem

$$F = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S$$

² <https://www.dcmotory.cz/dc-motory-planetova-prevodovka/serie-pg521.html>

Pro určení síly na jednu lopatku budou zavedeny následující souřadnice.



Obrázek 18: Souřadnice elementu

$$dS = h \cdot dr$$

$$v = r \cdot \omega$$

$$dF = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho \cdot (r \cdot \omega)^2 \cdot h \cdot dr$$

$$F = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot h \cdot \int_0^R r^2 dr = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot h \cdot \frac{1}{3} [r^3]_0^R = \frac{1}{6} \cdot C_x \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot h \cdot R^3$$

$$R = 112,5 \text{ mm} = 0,1125 \text{ m}$$

$$h = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$$

$$\rho = 1056,86 \text{ kg/m}^3$$

$$C_x = 1,2$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{1}{60} = 2 \cdot \pi \cdot 185 \cdot \frac{1}{60} = 19,37 \text{ s}^{-1}$$

$$F = \frac{1}{6} \cdot 1,2 \cdot 1056,86 \cdot 19,37^2 \cdot 0,05 \cdot 0,1125^3 = 5,65 \text{ N}$$

$$R_T = \sqrt[3]{\frac{F \cdot 6}{2 \cdot C_x \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot h}} = \sqrt[3]{\frac{5,65 \cdot 6}{2 \cdot 1,2 \cdot 1056,86 \cdot 19,37^2 \cdot 0,05}} = 0,089 \text{ m}$$

$$M_k = 2 \cdot F \cdot R_T = 2 \cdot 5,65 \cdot 0,089 = 1,01 \text{ Nm}$$

$$P = M \cdot \omega = 1,01 \cdot 19,37 = 19,6 \text{ W}$$

Vybraný motor bude pro daný režim zatížení dostatečně výkonný.

5.2.4. Konstrukce vnější části

Míchadlo si rozdělíme na dvě pomyslné části. První část zahrnuje komponenty, které se během procesu vaření nachází v neustálém kontaktu s kapalinou a jsou uvnitř nádoby, zařadíme sem lopatky,

hřídel a narážky včetně všech podpůrných a spojovacích komponent zajišťujících upevnění lopatek a nastavení jejich sklonu. Do druhé části budou spadat konstrukční prvky zařízení umístěné nad hladinou, tedy motor, spojka, převodové ústrojí a nosná soustava těchto částí sloužící k propojení s nádobou. Nosným prvkem celé konstrukce bude víko vyrobené z nerezového plechu o tloušťce 2 mm, které bude spojeno s nádobou pomocí tří pákových uzávěrů. Na víku bude připevněn motor, a to takovým způsobem, aby bylo zajištěno vymezení vzdálenosti a dostatečně předpětí pro správné fungování řemenového převodu, který bude podrobněji popsán níže. Vnější část bude dále zahrnovat díly potřebné pro ukotvení ložisek, zároveň do ní bude implementován také mechanismus pro řízení hloubky ponoření míchadla. Tento mechanismus bude realizován využitím dvou hřídelů, přičemž jeden bude dutý s otvorem dostatečným pro bezproblémové vsunutí plného hřídele a jeho uložení s vůlí. Hřídele budou spojeny pomocí pružné spojky s dutým středem, jejíž přenastavením bude moci uživatel adaptivně regulovat hloubku ponoření. Při uvolnění spojky bude vnitřní plný hřídel, který směřuje do nádoby a nese lopatky, axiálně posuvný vůči zbytku zařízení. Po nastavení požadované výšky lopatek bude spojka utažena a vznikne tak pevný spoj mezi vnitřním a vnějším hřídelem.

Dutý hřídel bude pomocí ložisek uložen tak, aby bylo zajištěno jeho rotační uložení, a bude pevně propojen se zubovou řemenicí. Mezi motorem a hřídelem bude realizován přenos rotačního pohybu pomocí řemenového převodu, přičemž využít bude zubový řemen zamezující prokluzu mezi hnací a hnanou větví. Vzhledem k tomu, že motor má otáčky shodné s požadovanými otáčkami na výstupu, bude převodový poměr $i=1$. Pro aplikaci byl vybrán řemen 2GT 06 NF 134. Jedná se o nylonový řetěz vyztužený skelnými vlákny, jehož využívání je velmi rozšířené například při stavbě 3D tiskáren. Pevnost řemenu je 80 N/mm, přičemž délková míra je vztažena k šířce řemene. V našem případě bude využit profil s šířkou 6 mm, pro který byly nalezeny příslušné řemenice FLOMORE-40x6-12. Rozměry pro výpočet osové vzdálenosti, předepínací síly a výsledné síly v řemenu jsou dány takto, přičemž z je počet zubů řemenice, t je rozteč, L je délka řemene, P_M je výkon motoru a n jsou otáčky. [18]

$$\begin{aligned} f_{max} &= 80 \text{ N/mm} \\ z &= z_1 = z_2 = 40 \\ t &= 2 \text{ mm} \\ L &= 268 \text{ mm} \\ b &= 6 \text{ mm} \\ P_M &= 48,6 \text{ Nm} \\ n &= 185 \end{aligned}$$

Roztečný průměr řemenice:

$$d = \frac{z \cdot t}{\pi} = \frac{40 \cdot 2}{\pi} = 25,46 \text{ mm} = 0,0255 \text{ m}$$

Osová vzdálenost:

$$a = 0,5 \cdot \left(L - \frac{t}{2} (z_1 + z_2) \right) = 0,5 \cdot \left(268 - \frac{2}{2} (40 + 40) \right) = 94 \text{ mm}$$

Úhly opásání:

$$\beta = \beta_1 = \beta_2 = 180^\circ$$

Tažná síla v řemenu:

$$F_v = \frac{P_M \cdot 60 \cdot 10^3}{t \cdot z \cdot n} = \frac{48,6 \cdot 60 \cdot 10^3}{2 \cdot 40 \cdot 185} = 197,03 \text{ N}$$

Statické předpětí řemene:

$$F_s = \frac{F_v}{2 \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)} = \frac{197,03}{2 \cdot \sin\left(\frac{180}{2}\right)} = 98,52 \text{ N}$$

Maximální síla v řemenu:

$$F_{max} = f_{max} \cdot b = 80 \cdot 6 = 480 \text{ N}$$

Součinitel bezpečnosti:

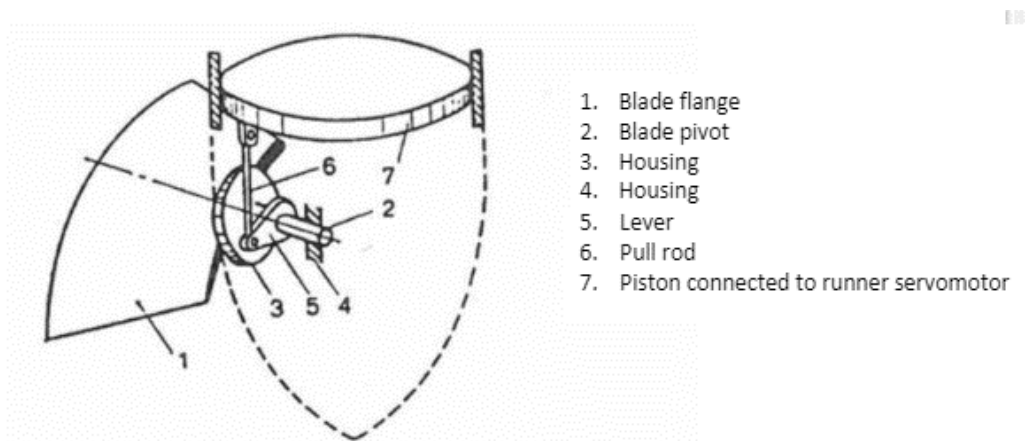
$$k = \frac{F_{max}}{F_v + F_s} = \frac{480}{197,03 + 98,52} = 1,63$$

Řemen bude pro tuto aplikaci dostatečně pevný. Radiální síla F_r působící na hřídel bude srovnatelná se silou F_v a bude tedy uvažována hodnota 197,03 N.

5.2.5. Konstrukce vnitřní části

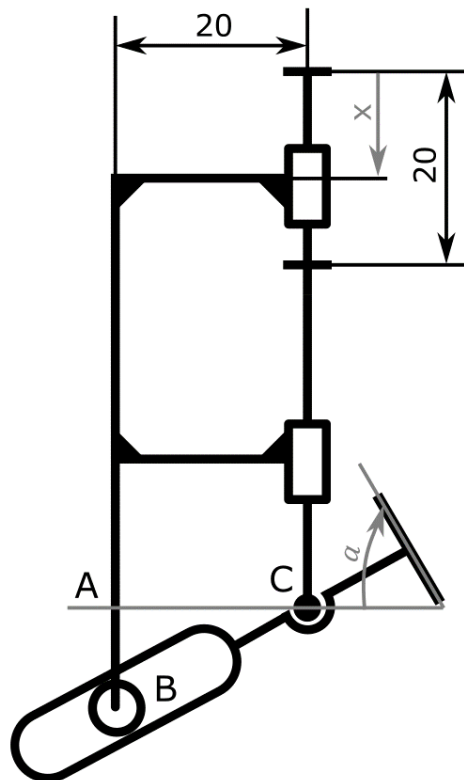
Do vnitřní části patří komponenty určené pro styk s kapalinou, tedy hřídel, lopatky a narážky. Hlavní úkol spočívá v navržení takového řešení, které by umožňovalo provést připojení lopatek k hřídeli modulárně, tedy aby bylo možné upravovat podle potřeby jejich aktuální sklon. Teoreticky lze uvažovat variantu, při které by nastavování probíhalo pouze mezi určitými diskrétními hodnotami úhlu alfa, tedy především aby bylo možné nastavit úhly 45° a 90° . Ovšem pro zaručení vyšší všestrannosti bude vhodnější využít regulaci plynulou, která umožní nastavení v celém rozsahu mezi těmito krajními hodnotami. V takovém případě je třeba zajistit, aby sklon jedné a druhé lopatky byl navzájem shodný a aby jejich ovládání probíhalo centrálně, neboť při nezávislém nastavování úhlu každé lopatky by docházelo k nepřesnostem způsobujícím nesymetrické zatížení mechanismu. Při navrhování ovládacího systému je potřeba brát v úvahu vysoké nároky dané skutečností, že v provozu bude zařízení umístěno téměř neustále pod hladinu vroucí kapaliny obsahující mnoho nečistot. Toto prostředí neumožňuje takové varianty, ve kterých by kvůli tvarové složitosti hrozilo ukládání sedimentu na těžko omyvatelných místech, což by mohlo způsobit poškození zařízení či ztrátu zdravotní nezávadnosti produktu.

Konstrukční řešení bylo inspirováno mechanismem pro ovládání sklonu lopatek v Kaplanově turbíně, jehož princip je popsán v publikaci [19]. Schéma mechanismu je graficky znázorněno níže.



Obrázek 19: Nastavení sklonu lopatek Kaplanovy turbíny, zdroj: [19]

Píst (7), jehož poloha je řízena pomocí servomotoru, je pomocí ojnice (6) a kliky (5) pevně propojen s osou lopatky, čímž je zajištěna translace lineárního pohybu pístu na rotační pohyb lopatkové příruby. V případě míchadla pro pivovar bude místo servomotoru pro nastavení polohy zařízení sloužit manuálně ovládané táhlo, jehož ovládací část bude sahat mimo prostor nádoby. Díky tomu bude možné měnit sklon během procesu vaření, aniž by muselo být víko deinstalováno z nádoby. Přímocharý pohyb táhla bude omezen pojistnými kroužky, které stanoví maximální rozsah nastavení úhlu lopatek. Schéma mechanismu je znázorněno níže. Funkci zajištění lopatky proti posunutí v axiálním směru bude plnit šroub s podložkou umístěný na konci horizontální části hřídele.



Obrázek 20: Mechanismus nastavení sklonu lopatky

Pomocí nastavení horní posuvné vazby ve směru x bude upravován úhel lopatky α . Délka úsečky \overrightarrow{AC} bude konstantní a její délka bude 20 mm. Délka úsečky \overrightarrow{AB} bude přímo úměrná nastavení táhla, pro posouzení mechanismu bude třeba stanovit geometrické uspořádání pro dvě krajní polohy, tedy pro $x=0$ a $x=20$.

$$\begin{aligned}
 x &= 0 \text{ mm} \\
 \overrightarrow{AB} &= 0 \text{ mm} \\
 \overrightarrow{ACB} &= \tan^{-1} \left(\frac{\overrightarrow{AB}}{\overrightarrow{AC}} \right) = \tan^{-1}(0) = 0^\circ \\
 \alpha &= 90 - \overrightarrow{ACB} = 90 - 0 = 90^\circ \\
 \overrightarrow{CB} &= \overrightarrow{AC} = 20 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x &= 20 \text{ mm} \\
 \overrightarrow{AB} &= 20 \text{ mm} \\
 \overrightarrow{ACB} &= \tan^{-1} \left(\frac{\overrightarrow{AB}}{\overrightarrow{AC}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{20}{20} \right) = 45^\circ
 \end{aligned}$$

$$\alpha = 90 - \overline{ACB} = 90 - 45 = 45^\circ$$

$$\overline{CB} = \frac{\overline{AB}}{\sin(\alpha)} = \frac{20}{\sin(45)} = 28,28 \text{ mm}$$

Na styku lopatkové a hřídelové části v bodě B bude nutné zajistit posuvnou vůli nejméně 8,28 mm.

5.2.6. Volba materiálu

V potravinářském odvětví je volba vyhovujícího materiálu obzvláště důležitá, jelikož bude docházet k přímému a relativně dlouhodobému kontaktu mezi zařízením a upravovaným polotovarem určeným k následné konzumaci. Bude tedy třeba brát na zřetel jednak všechna hlediska běžně zohledňovaná při návrhu jakékoli součásti, tedy především zajištění dostatečné pevnosti a časové výdržnosti, k tomu však také mít přehled o hygienických a bezpečnostních opatřeních vycházejících z povahy výrobku. Zvláště vnitřní část bude v tomto ohledu kritická, neboť bude třeba volit materiály přímo určené pro využití v potravinářském průmyslu. Primárně bude využita nerezová ocel, která se vyznačuje především svojí odolností vůči vlivu vody a slabých kyselin, díky čemuž nevzniká ani při jejím bezprostředním kontaktu s potravinami žádné zdravotní riziko. Zároveň zaručuje dostatečnou pevnost, navíc si zachovává svoje vlastnosti až do vysokých teplot blízcích se hranici 450 °C, příslušné typy tohoto materiálu splňují tedy všechny standardy vyžadované pro využití v potravinářství a mají k tomuto účelu patřičnou certifikaci.

Konkrétní zvolená ocel je označena normou ČSN 17 240 (DIN 1.4301, AISI 304), jedná se o austenitickou chrom-niklovou ocel tzv. potravinářskou, která je díky své odolnosti vůči vodě a slabým kyselinám certifikována pro použití v potravinářském či farmaceutickém průmyslu. Vyznačuje se také dobrou svařitelností bez nutnosti následné tepelné úpravy. Vlastnosti tohoto materiálu jsou shrnuty v následujícím přehledu.

Mez kluzu $R_{p0,2}$: $\geq 190 \text{ N/mm}^2$

Mez pevnosti v tahu R_m : $500 - 700 \text{ N/mm}^2$

Hustota: 7850 kg/m^3

Youngův modul: 200000

Tvrdość (Brinell): 215 HB

Chemické složení:

| C | Cr | Mn | Si | Ni | P | S | N | Fe |
|-------------|-------------|------------|----------|------------|-------------|-------------|-------------|---------|
| $\leq 0,07$ | 17.5 - 19.5 | ≤ 2.0 | ≤ 1 | 8.0 – 10.5 | ≤ 0.05 | ≤ 0.03 | ≤ 0.11 | Balance |

Tabulka 3: Chemické složení materiálu, zdroj: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Slu%C5%BEby/P%C5%99ehled-materi%C3%A1l%C5%AF/nerezov%C3%A1-ocel/1-4301-nerezov%C3%A1-ocel.html> [5.4.2022]

Další materiál, který připadal v úvahu, byl hliník. Ovšem narozdíl od oceli může při dlouhodobém styku s tekutinou začít docházet k uvolňování kovových částí do okolního prostředí, přičemž podpurnými faktory pro tento jev je zvýšená teplota a kyselost působícího elementu. Hodnota pH vařeného piva se pohybuje mezi 4,3 a 4,7, tedy značně kyselé prostředí, které nebude pro hliník vhodné. Z tohoto důvodu bylo jeho využití pro jakýkoli ponořený díl raději zamítnuto. Je nicméně možné ho využít pro komponenty v horní části míchadla, které nebudou vlivu kapaliny trvale vystaveny. V takovémto případě lze využít i plastu, ovšem vzhledem k zahřívání mechanismu je třeba brát ohled na to, že mechanické vlastnosti materiálu musí být zachovány až do teploty minimálně 100 °C.

5.3. Kontrola zatížení míchadla

Konstrukce bude zatěžována především odporovými silami působícími proti pohybu lopatek, ovšem vzhledem k celkovému dimenzování je třeba brát v úvahu i další vlivy, například vlastní tíhu zařízení. V rámci kontrolních výpočtů budou řešeny tyto hlavní aspekty:

- Odstředivá síla v jedné lopatce při otáčení
- Krut hřídele
- Zatížení spojky
- Průhybová charakteristika lopatek

Poslední bod, tedy průhybová charakteristika lopatek, bude vzhledem k náročnějšímu způsobu zatížení a geometrii vyhodnocena metodou konečných prvků pomocí programu Abaqus.

5.3.1. Odstředivá síla v lopatce

Touto silou bude za pohybu lopatka působit ve směru kolmém na osu rotace hlavní hřídele, zatíženo tedy bude axiální uchycení lopatky realizované šroubem velikosti M4 umístěným na konci vodorovné části hřídele.

Hmotnost lopatky:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot l_L \cdot h_L \cdot s_L = 7850 \cdot 0,105 \cdot 0,05 \cdot 0,001 = 0,042 \text{ kg}$$

Poloměr těžiště:

$$r_t = 0,5 \cdot 0,105 + 0,0075 = 0,06 \text{ m}$$

Odstředivá síla působící na jednu lopatku:

$$F_o = m \cdot r_t \cdot \omega^2 = 0,042 \cdot 0,06 \cdot 19,37^2 = 0,95 \text{ N}$$

Zatížení šroubu:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4 \cdot F_o}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 0,95}{\pi \cdot 3,141^2} = 0,123 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Z výpočtu je očividné, že šroub bude pevnostně vyhovovat a bude zajištěna i bohatá rezerva pro případné překročení jmenovité úhlové rychlosti.

5.3.2. Krut hřídele

Hřídel je složena ze dvou částí, první část ležící mezi motorem a regulační spojkou, má mezikruhový profil a její délka je konstantní. Druhá část vede od regulační spojky k lopatkám, její profil je kruhový a délka závisí na nastavení, pro výpočet krutu bude uvažováno takový případ, při kterém bude mít hřídel maximální možnou délku. Pro výpočet bezpečnosti bude uvažován maximální točivý moment, který může elektromotor dodávat.

Mezikruhová část:

Průřezový modul v krutu:

$$W_k = \frac{\pi D^4 - d^4}{16 D} = \frac{\pi 12^4 - 9^4}{16 \cdot 12} = 231,94 \text{ mm}^3$$

Napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{1,67 \cdot 10^3}{231,94} = 7,2 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Bezpečnost:

$$k = \frac{\tau_{Dk}}{\tau_k} = \frac{0,6 \cdot \sigma_D}{\tau_k} = \frac{0,6 \cdot 190}{7,2} = 15,83$$

Kruhová část:

Průřezový modul v krutu:

$$W_k = \frac{\pi}{16} \cdot d^3 = \frac{\pi}{16} \cdot 8^3 = 100,53 \text{ mm}^3$$

Napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{1,67 \cdot 10^3}{100,53} = 16,6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Bezpečnost:

$$k = \frac{\tau_{Dk}}{\tau_k} = \frac{0,6 \cdot \sigma_D}{\tau_k} = \frac{0,6 \cdot 190}{16,61} = 6,86$$

Spoj mezi podélnou a příčnou částí

Průřez má obdélníkový profil o šířce 12 mm a tloušťce 3 mm.

Průřezový modul v krutu:

$$W_k = \frac{1}{3} \cdot b \cdot t^2 = \frac{1}{3} \cdot 12 \cdot 3^2 = 36 \text{ mm}^3$$

Napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{1,67 \cdot 10^3}{36} = 46,38 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Bezpečnost:

$$k = \frac{\tau_{Dk}}{\tau_k} = \frac{0,6 \cdot \sigma_D}{\tau_k} = \frac{0,6 \cdot 190}{46,38} = 2,49$$

Všechny části hřídele budou pevnostně vyhovovat podle návrhu, přičemž bude zajištěna minimální bezpečnost 2,49.

5.3.3. Kontrola svaru

Na hřídeli bude působit kombinované zatížení od krutu a od axiální síly působící v dolní části hřídele. Vliv axiální síly bude vzhledem k její velikosti zanedbatelný, uvažováno bude tedy pouze zatížení krutem.

$$M_k = 1,67 \text{ N}$$

$$\tau_{D\perp} = 0,75 \cdot 190 = 142,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

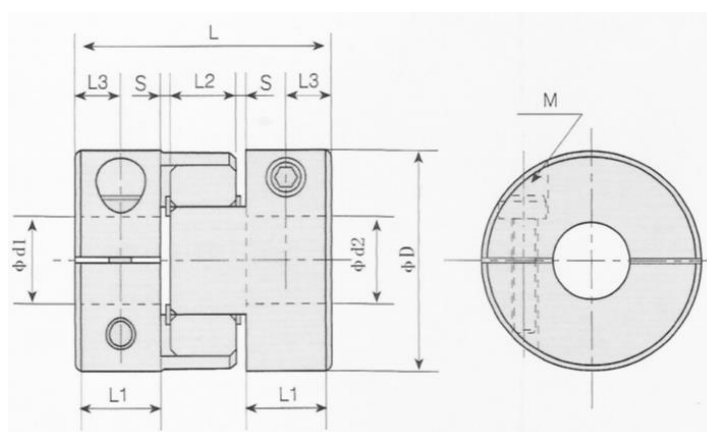
$$\tau_{\perp} = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_k}{2 \cdot \frac{1}{3} \cdot l \cdot a^2} = \frac{1,67 \cdot 10^3}{2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 12 \cdot 1,4^2} = 106,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$\tau_{\perp} < \tau_{D\perp}$$

Navržený svar splňuje požadavek na únosnost a jeho bude v aplikaci vyhovovat.

5.3.4. Zatížení spojky

Krouticí moment působící na spojky je známý, jeho hodnota v ustáleném režimu je 1,01 Nm. Podle této hodnoty byla vybrána v závislosti na parametrech uvedených od výrobce spojka COUP-LINK LK20-C25 s dutým pružným elementem, jejíž parametry jsou uvedeny níže.



Obrázek 21: Spojka, zdroj: <http://www.cncshop.cz/lk20-c25-pruzna-spojka-6nm-sverna> [15.4.2022]

| Model | Ød1 Ød2 Bore | ØD | L | L1 | L2 | S | L3 | M | Wrench Torque (N . m) |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|------------|------------|-----------|--------------------------|
| LK20-C14-□□□□ | 2 3 4 5 6 7 | 14 | 22 | 7 | 6 | 1.0 | 3.5 | M2.5 | 1.0 |
| LK20-C20-□□□□ | 4 5 6 7 8 10 | 20 | 30 | 10 | 8 | 1.0 | 5.0 | M3 | 1.3 |
| LK20-C25-□□□□ | 4 5 6 6.35 8 10 11 12 | 25 | 34 | 11 | 10 | 1.0 | 5.0 | M4 | 1.5 |
| LK20-C30-□□□□ | 8 9.5 25 10 | 30 | 35 | 11 | 10 | 1.0 | 5.0 | M4 | 1.7 |

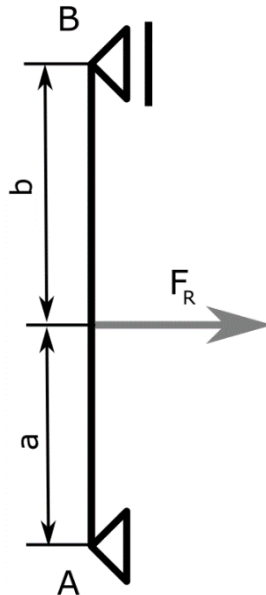
Tabulka 4: Vlastnosti spojky, zdroj: <http://www.cncshop.cz/lk20-c25-pruzna-spojka-6nm-sverna> [15.4.2022]

Hmotnost: 91 g

Maximální moment: 6 Nm

5.3.5. Zatížení ložisek

Vnější dutý hřídel bude v soustavě uložen pomocí dvou ložisek, která budou zatížena jak radiální silou od řemenu, tak axiální silou vyvolanou hmotností nesených částí, tedy hřídelů, ozubené řemenice, lopatek a zařízením pro nastavení jejich sklonu. Použita budou dvě ložiska, jedno radiální, a jedno axiálně radiální sloužící pro zachycení axiální síly. Uložení ložisek je patrné na následujícím schématu.



Obrázek 22: Zatížení ložisek

Síla F_R je vyvozena řemenovým převodem a její hodnota byla již stanovena výše jako 197,03 N. Tato síla bude rozložena na ložiska A a B v takovém poměru, aby byla dodržena momentová věta o rovnováze sil. Bude tedy platit:

$$\begin{aligned}F_R &= 197,02 \text{ N} \\a &= 14,5 \text{ mm} \\b &= 16,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$F_R \cdot b + F_R^A \cdot (b + a) = 0$$

$$F_R^A = -\frac{F_R \cdot b}{(b + a)} = -\frac{197,02 \cdot 16,8}{(16,8 + 14,5)} = -105,75 \text{ N}$$

$$F_R + F_R^A + F_R^B = 0$$

$$F_R^B = -F_R - F_R^A = -197,02 + 105,75 = -91,27 \text{ N}$$

Záporné hodnoty značí, že síla bude působit v opačném směru, než je uvedena síla F_R , ovšem pro výpočet výdržnosti ložisek je podstatná pouze velikost síly. Na radiálně-axiální ložisko v podpoře A bude navíc působit ještě axiální síla složená jednak vlivem tíhy nesených dílů, jednak vlivem sil vzniklých během míchání. Síla ve směru osy hřídele vzniká při nastavení lopatek do jiného úhlu než $\alpha=90^\circ$, v uvažovaném rozmezí regulace bude její velikost největší pro úhel $\alpha=45^\circ$. Axiální síla bude v tomto případě vyjádřena následujícím vztahem.

$$F_A = F \cdot \cos \alpha = 5,65 \cdot \cos 45 = 4,0 \text{ N}$$

Hmotnost dílů je u normalizovaných komponent stanovena výrobcem, u ostatních je závislá na použitém materiálu a množství, které bylo pro výrobu jednotlivých komponent použito. Objem dílů byl automaticky vypočítán pomocí počítačového programu CAD.

Objem lopatky:

$$V_L = 8034,7 \text{ mm}^3$$

Objem polohovacího mechanismu:

$$V_{PM} = 18364,5 \text{ mm}^3$$

Objem hřídele (plná + dutá část):

$$V_H = (45221,5 + 4081,3) = 49302,8 \text{ mm}^3$$

Hmotnost spojky, řemenice, ložiska SKF 7201 BEP:

$$m_S = 0,091 \text{ kg}$$

$$m_{\check{R}} = 0,024 \text{ kg}$$

$$m_L = 0,036 \text{ kg}$$

Hmotnost spojovacího materiálu a pojistných kroužků:

$$m_P = 0,022 \text{ kg}$$

Celková hmotnost:

$$\begin{aligned} m &= \rho \cdot (2 \cdot V_L + V_{PM} + V_H) + 2 \cdot m_L + m_S + m_{\check{R}} + m_P \\ &= 7850 \cdot (2 \cdot 8034,7 + 18364,5 + 49302,8) \cdot 10^{-9} + 2 \cdot 0,036 + 0,091 + 0,024 \\ &\quad + 0,022 = 0,87 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tíhová síla:

$$G = m \cdot g = 0,87 \cdot 9,81 = 8,53 \text{ N}$$

Celková axiální síla:

$$F_{AC} = F_A + G = 4 + 8,53 = 12,53 \text{ N}$$

Pro aplikaci byla zvolena následující ložiska:

Podpora A:

Ložisko: SKF 7201 BEP

| | | |
|----------------------------|----------------|--------------|
| Basic dynamic load rating | C | 7.61 kN |
| Basic static load rating | C ₀ | 3.8 kN |
| Fatigue load limit | P _u | 0.16 kN |
| Reference speed | | 28 000 r/min |
| Limiting speed | | 26 000 r/min |
| Minimum axial load factor | A | 0 |
| Minimum radial load factor | k _r | 0.095 |

Tabulka 5: Parametry ložiska SKF 7201 BEP, zdroj: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/single-row-angular-contact-ball-bearings/productid-7201%20BEP> [15.4.2022]

$$\frac{F_A}{C_0} = \frac{12,53}{3800} = 0,003$$

$$\frac{F_A}{F_R^A} = \frac{12,53}{105,75} = 0,118$$

$$e = 0,19$$

$$0,118 < 0,19 \rightarrow X = 1; Y = 0$$

$$F_E = X \cdot F_R^A + Y \cdot F_A = F_R^A = 105,75 \text{ N}$$

$$L_h = \left(\frac{C}{F_R^A}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{7610}{105,75}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 185} = 3,35 \cdot 10^7 \text{ h}$$

Podpora B:

Ložisko: SKF 61801

| | | |
|---------------------------|----------------|--------------|
| Basic dynamic load rating | C | 1.74 kN |
| Basic static load rating | C ₀ | 0.915 kN |
| Fatigue load limit | P _u | 0.039 kN |
| Reference speed | | 70 000 r/min |
| Limiting speed | | 36 000 r/min |
| Minimum load factor | k _r | 0.015 |
| Calculation factor | f ₀ | 13.4 |

Tabulka 6: Parametry ložiska SKF 61801, zdroj: <https://www.skf.com/cz/productinfo/productid-61801> [15.4.2022]

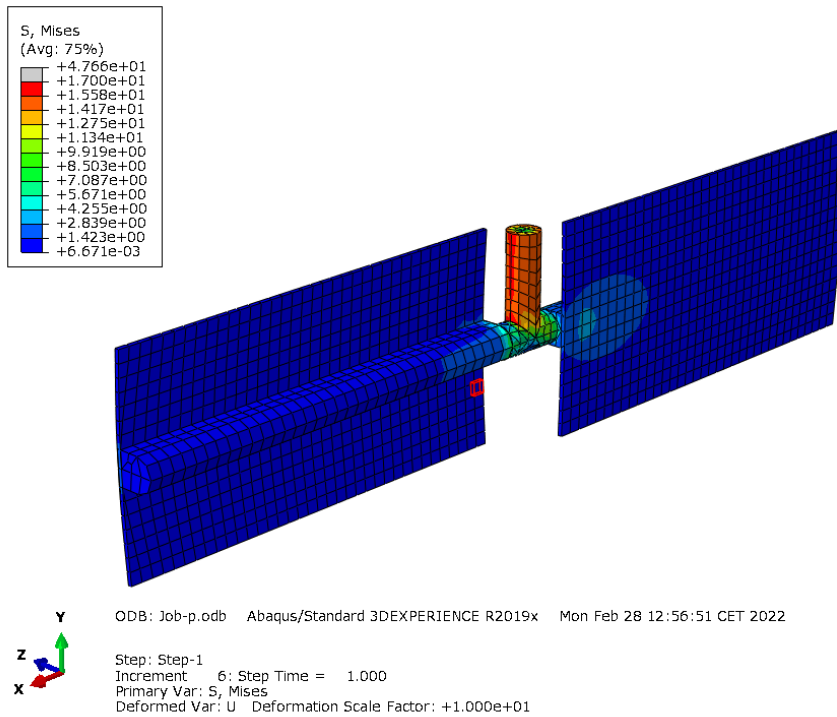
$$L_h = \left(\frac{C}{F_R^B}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{1740}{91,27}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 185} = 6,24 \cdot 10^5 \text{ h}$$

Vzhledem k relativně velmi malým zatěžujícím silám budou mít takto dimenzovaná ložiska takřka neomezenou životnost.

5.3.6. Průhybová charakteristika lopatek

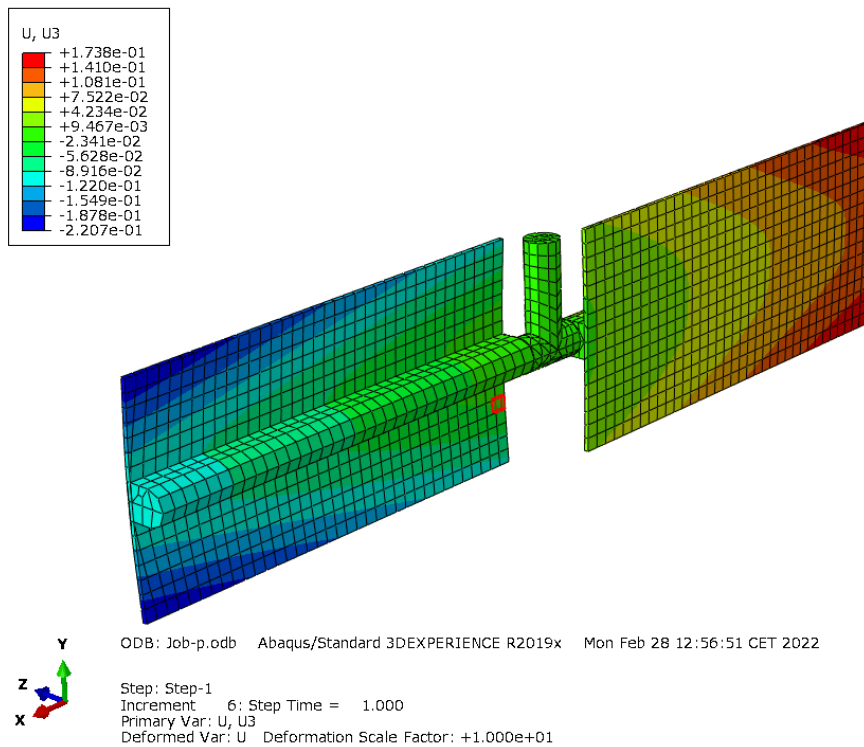
Schematický model v programu Abaqus byl sestaven tak, aby co nejpřesněji reflektoval geometrii skutečného zařízení. Zároveň byly zavedeny některé úpravy v geometrii dílů, aby byla simulace zjednodušena a získané výpočty se vztahovaly ke zkoumanému jevu, tedy k napětí v lopatkách a jejich ohybu v závislosti na vzdálenosti od osy rotace hřídele. Metodou konečných prvků je možné si ověřit, že takto dimenzované zařízení bude pevnostně vyhovovat.

Analýza napětí:



Obrázek 23: Analýza napětí

Analýza průhybu:



Obrázek 24: Analýza průhybu

Závěr

V rešerši byl nastíněn proces výroby piva a jaké vybavení je pro tuto činnost potřebné, přičemž hlavní důraz byl kladen na mechanismy ohřevu a promíchávání nápoje. Následně byl proveden rozbor běžně využívaných zařízení v průmyslové praxi.

Praktická část byla zaměřena na konstrukční návrh míchacího zařízení pro malý pivovar, jehož kapacita odpovídá výrobě zhruba 65 litrů piva na jednu dávku, čemuž jsou podřízeny procesní a mechanické charakteristiky soustavy. Návrh zařízení vycházel z konstrukčního řešení odpovídajících modelů, ovšem jeho funkčnost byla rozšířena o možnost nastavitelné výšky lopatek nade dnem nádoby a dále o adaptivní řízení jejich sklonu. Tím je umožněno dosažení optimálních podmínek míchání pro libovolný objem vsádky, velikost dávky tedy nemusí vždy odpovídat 65 litrům a může být upravena podle konkrétní potřeby. Změna úhlu natočení lopatek zajišťuje, že je možné dosáhnout jak axiálního, tak i tangenciálního charakteru míchání, míchadlo je tedy použitelné v každé fázi výrobního procesu a zaniká tím nutnost implementace relativně nákladné mladinové pánve, neboť její funkci nyní dokáže obstarat i modifikovaná rmutovací pánve s navrženým míchadlem. V rámci návrhu byl vytvořen 3D model a příslušná 2D výkresová dokumentace, přičemž hlavní části zařízení byly dimenzovány s přihlédnutím k návrhovým a kontrolním výpočtům.

Bibliografie

- [1] Wikipedia: Pivo, „<https://cs.wikipedia.org/wiki/Pivo>,“ [Online]. [Přístup získán 4 4 2021].
- [2] iRozhlas, „https://www.irozhlas.cz/veda-technologie_historie/nic-nez-voda-jecmen-a-chmel-nemecky-zakon-o-cistote-piva-plati-uz-500-let_201604220955_mhromadka,“ 22 4 2016. [Online]. [Přístup získán 27 7 2021].
- [3] P. H. Slavičín, Technologický postup výroby, „<http://www.pivovar-hradek.cz/clanek/8-Technologicky-postup-vyroby/index.htm>,“ [Online]. [Přístup získán 4 4 2021].
- [4] VŠCHT, Syllabus Základy bioinženýrství N319002, <https://ub.vscht.cz/files/uzel/0018853/q0qKL67MSUwqLY4HAA.pdf?redirected> [Online]. [Přístup získán 4 4 2021]
- [5] F. N. V. J. T. Rieger, Hydromechanické procesy II. 1. vyd., Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.
- [6] VŠCHT, „Míchání ve vsádkových reaktorech,“ [Online]. Available: http://tresen.vscht.cz/kot/wp-content/uploads/Vicefazove_reaktory_MICHANI_JN.pdf?fbclid=IwAR00Vso7pgOoHKEhu3Ah99kWO-rvITdJxE1VKTogK6bRtDqpO88j0VOTQ_E. [Přístup získán 6 4 2021].
- [7] O. M. Pavel Hasal, Potravinářské inženýrství a bioinženýrství, Praha: VŠCHT, 2020.
- [8] M. Jurečka, „Erozní účinky kavitace,“ VUT, Brno, 2010.
- [9] K. Ilavský, „Návrh varny mikropivovaru,“ ČVUT FS, Praha, 2017.
- [10] Jak na domácí pivo, "<http://www.jaknapivo.cz/blog/2014/01/16/vyroba-piva-ze-surovin/>". [Online]. [Přístup získán 6 4 2021].
- [11] J. Klajl, „Minipivovar Hroch,“ <https://ceskepivo-ceskezlato.cz/pivovar-hroch/>, Liberec, 2017.
- [12] T. Jirout, „Hydromechanické procesy - Míchání v kapalném prostředí,“ FS ČVUT, Praha. 2005
- [13] K. Ženkl, „Konstrukce a provoz zařízení pro farmaceutický průmysl,“ ČVUT, Praha, 2019.
- [14] „tzb info,“ [Online]. Available: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/7-tepelne-vlastnosti-vody-pri-tlaku-nasyceni>. [Přístup získán 19 9 2021].
- [15] Medek, J., Čerpání pivovarského mláta, Brno: VUT, 2010.
- [16] „Pivotéka,“ [Online]. Available: <https://www.pivoteka.cz/clanek/domaci-cesky-lezak-klasicky-ze-sladu-4>. [Přístup získán 20 9 2021].
- [17] V. Pešava, „Intenzifikace míchání v technologii suspenzní polymerace PVC,“ ČVUT, Praha, 2018.
- [18] J. Pospíšil, „Externí elektrický pohon čerpadla Commonrail,“ ČVUT, Praha, 2017.
- [19] H. Isaksson, „Uncertainties in Kaplan Cam Curve,“ Luleå University of Technology, Luleå, 2015.
- [20] Wikipédia: Historie piva, „https://cs.wikipedia.org/wiki/Historie_piva,“ [Online]. [Přístup získán 4 4 2021].
- [21] ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
- [22] ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: ČVUT, 2003.
- [23] KUGL, O. Projekt - III. ročník. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.
- [24] DRAŽAN, F., KUPKA, L. Jeřáby. Praha: SNTL, 1968.

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Charakter proudění tekutiny: zleva 1) axiální, 2) radiální, 3) tangenciální, zdroj: [6] | 10 |
| Obrázek 2: Typy míchadel: zleva 1) lopatkové s kolmými lopatkami, 2) vrtulové, 3) lopatkové se šikmo skloněnými lopatkami, zdroj: [6] | 12 |
| Obrázek 3: Příklady míchadel: a) kotvové míchadlo se dvěma páry lopatek, b) jednoduché kotvové míchadlo, zdroj: [7] | 12 |
| Obrázek 4: Vystírací kád', zdroj: [9] | 13 |
| Obrázek 5: Scezovací kád', zdroj: [9] | 14 |
| Obrázek 6: Mladinová pánev, zdroj: [9] | 15 |
| Obrázek 7: Varna minipivovaru Hroch, zdroj: [11] | 16 |
| Obrázek 8: Popis komponent míchacího zařízení, zdroj: https://www.brauhardware.de/de/Ruehrwerk10Gal.html [26.3.2022] | 18 |
| Obrázek 9: Rozměry míchacího zařízení, zdroj: https://www.brauhardware.de/de/Ruehrwerk10Gal.html [26.3.2022] | 18 |
| Obrázek 10: Domácí míchadlo, zdroj: : http://4.bp.blogspot.com/-xLbeTdVnV88/Vred4Y5Ro5I/AAAAAAAAA_U/iZRfA-Czufs/s1600/P60207-192712.jpg [27.3.2022] | 19 |
| Obrázek 11: Domácí míchadlo, zdroj: https://www.facebook.com/groups/domacipivo/permalink/10158781059799393/ [27.3.2022] | 20 |
| Obrázek 12: Schéma nádoby | 22 |
| Obrázek 13: Rozměry nádoby | 23 |
| Obrázek 14: Schéma zařízení | 25 |
| Obrázek 15: Rozměry zařízení | 26 |
| Obrázek 16: Schéma pohonu | 27 |
| Obrázek 17: Pohon, zdroj: https://www.dcmotory.cz/images/115s-pg521-schema.png [3.4.2022] .. | 28 |
| Obrázek 18: Souřadnice elementu | 29 |
| Obrázek 19: Nastavení sklonu lopatek Kaplanovy turbíny, zdroj: [19] | 31 |
| Obrázek 20: Mechanismus nastavení sklonu lopatky | 32 |
| Obrázek 21: Spojka, zdroj: http://www.cncshop.cz/lk20-c25-pruzna-spojka-6nm-sverna [15.4.2022] | 36 |
| Obrázek 22: Zatížení ložisek | 37 |
| Obrázek 23: Analýza napětí | 40 |
| Obrázek 24: Analýza průhybu | 40 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Základní typy mechanických míchadel, zdroj: [8] | 11 |
| Tabulka 2: Charakteristiky pohonu, zdroj: https://www.dcmotory.cz/dc-motory-planetova-prevodovka/serie-pg521.html [3.4.2022] | 28 |
| Tabulka 3: Chemické složení materiálu, zdroj: https://www.kipp.cz/cz/cs/Slu%C5%BEby/P%C5%99ehled-materi%C3%A1l%C5%AF/nerezov%C3%A1-ocel/1-4301-nerezov%C3%A1-ocel.html [5.4.2022] | 33 |
| Tabulka 4: Vlastnosti spojky, zdroj: http://www.cncshop.cz/lk20-c25-pruzna-spojka-6nm-sverna [15.4.2022] | 36 |
| Tabulka 5: Parametry ložiska SKF 7201 BEP, zdroj: https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/single-row-angular-contact-ball-bearings/productid-7201%20BEP [15.4.2022] | 38 |
| Tabulka 6: Parametry ložiska SKF 61801, zdroj: https://www.skf.com/cz/productinfo/productid-61801 [15.4.2022] | 39 |

Seznam příloh

| | |
|---|------|
| S01_P01 (Výkres hřídele)..... | [1] |
| S01_P02 (Výkres táhla)..... | [2] |
| S01_P03 (Výkres lopatky)..... | [3] |
| S01_P04 (Výkres víka) | [4] |
| S01_P05 (Výkres narážky) | [5] |
| S01_V01 (Výkres dutého hřídele)..... | [6] |
| S01_V02 (Výkres víčka)..... | [7] |
| S01_V03 (Výkres víčka s ložiskem) | [8] |
| S01 (Výkres sestavy) | [9] |
| KUSOVNIK_P01_HRIDEL | [10] |
| KUSOVNIK_P02_TAHLO..... | [11] |
| KUSOVNIK_P03_LOPATKA..... | [12] |
| KUSOVNIK_P04_VIKO..... | [13] |
| KUSOVNIK_P05_NARAZKA | [14] |
| KUSOVNIK_S01_MICHADLO | [15] |