



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

AUTOMATIZACE DOMÁCÍHO MIKROPIVOVARU

MICROBREWERY AUTOMATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL ŠIRŮČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. TOMÁŠ MARADA, PH.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Širůček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

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

Automatizace domácího mikropivovaru

v anglickém jazyce:

Microbrewery automation

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Piva z menších pivovaru jsou v drtivé většině případů lepší než ta, které se prodávají v supermarketech a v převážné části restaurací. Zejména ta z těch nejmenších pivovarů jsou charakteristická mimo senzorické vlastnosti také nepoužíváním fyzikálních či chemických úprav před stočením do lahví či sudů. Pivo dostanete takové, jaké přišlo přímo z ležáckého tanku, tedy živé a bohaté na zdraví prospěšné látky. Cílem této bakalářské práce je návrh a realizace varného systému pro výrobu piva v domácích podmínkách a jeho kompletní automatizace zvoleným programovatelným automatem.

Cíle bakalářské práce:

1. Na internetu se seznámte s realizacemi varných systému pro výrobu piva.
2. Seznámte se s varným postupem pro výrobu piva v domácích podmínkách.
3. Proveďte návrh varného systému a tento realizujte.

Seznam odborné literatury:

- [1] <http://pivnirecenze.cz/serialy/domaci-vareni-piva>
- [2] <http://www.homebrewing.cz/clanek/3436-Hobby-Mikropivovar-20/index.htm>
- [3] <http://www.homebrewing.cz/clanek/3435-Hobby-Mikropivovar-20-rady-a-vypocty/index.htm>
- [4] <http://www.homebrewing.cz/clanek/3691-Hroch-vari-domaci-pivo-I-zarizeni/index.htm>
- [5] <http://www.homebrewing.cz/clanek/3692-Hroch-vari-domaci-pivo-II-Varny-postup/index.htm>
- [6] <http://www.homebrewing.cz/clanek/3691-Hroch-vari-domaci-pivo-I-zarizeni/index.htm>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 23.11.2014

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

Abstrakt

Práce pojednává o základech technologie výroby piva a surovinách pro výrobu piva potřebných, domácích mikropivovarech, základních postupech a principech užívaných v těchto pivovarech a jejich použití. Dále se věnuje konkrétnímu řešení zvoleného mikropivovaru, jeho návrhu, sestavení a automatizaci, včetně popisu řídicího softwaru. Zvolený mikropivovar je troj nádobový, k ohřevu je použit plynový hořák a přečerpávání zajišťuje čerpadlo. Jako řídicí jednotka slouží programovatelný automat PLC LOGO!

Abstract

Thesis discusses the basics of brewing technology, ingredients needed for beer production, homemade microbreweries, basic procedures and principles used in those breweries and their application. It also discusses the specific solution of selected microbrewery, its design, assembly and automation, including a description of the control software. Selected microbrewery consists of three containers, uses gas burner for heating and transfer pump for pumping. Programmable automatic PLC LOGO! program serves as a control unit of the microbrewery.

Klíčová slova

mikropivovar, LOGO!, pivo, vaření piva, ležák, homebrewing, automatizace mikropivovaru

Key words

microbrewery, LOGO!, beer, beer brewing, lager, homebrewing, microbrewery automation

Bibliografická citace:

ŠIRŮČEK, P. *Automatizace domácího mikropivovaru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Tomáše Marady, Ph.D., na základě vědomostí získaných během studia a poznatků z uvedených zdrojů.

Podpis.....

Poděkování

Chtěl bych takto poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doktoru Tomáši Maradovi za odbornou pomoc s mojí prací a panu doktoru Jiřímu Kovářovi za pomoc s formální stránkou práce. Dále děkuji rodičům, kamarádům a bohu za trpělivost a psychickou i materiální podporu.

Obsah

1. ÚVOD	13
2. ÚVOD DO PIVOVARNICTVÍ	15
2.1. Suroviny pro výrobu piva	15
2.1.1. Voda	15
2.1.2. Slad	15
2.1.3. Chmel	16
2.1.4. Pivovarské kvasinky	16
2.2. Proces vaření piva	16
2.2.1. Získání cukrů ze sladu	17
2.2.2. Sцеzení díla	18
2.2.3. Chmelovar	18
2.2.4. Zchlazení a primární kvašení	18
2.2.5. Stáčení a ležení	19
3. DOMÁCÍ MIKROPIVOVARY	21
3.1. Samospádové řešení	21
3.2. Přecherpávací řešení	22
4. VLASTNÍ ŘEŠENÍ MIKROPIVOVARU	23
4.1. Součásti navrženého mikropivovaru	24
4.1.1. Ohřev	24
4.1.2. Čerpání	25
4.1.3. Míchání	25
4.1.4. Napouštění	26
4.1.5. Chlazení	26
4.2. Postup výroby	27
5. AUTOMATIZACE ZVOLENÉHO ŘEŠENÍ	29
5.1. Řídící jednotka	29
5.2. Senzorický systém	30
5.3. Řídící software	32
6. ZÁVĚR	37
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	38
8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	39
9. PŘÍLOHY	40
Příloha A:	40
Příloha B:	41
Příloha C:	42

1. ÚVOD

Pivo je jedním z nejstarších světa známých nápojů a znali ho již ve starověké Mezopotámii [1]. Od piva jak ho známe dnes, se však tento nápoj velmi lišil, nelze ani s jistotou říci, jestli pivo v té době již obsahovalo chmel, natož určit jeho přesné složení. Mohlo tedy vypadat úplně jinak, než jak ho známe dnes. Lze říci, že pojem pivo je hodně obecný a používal se pro alkoholické nápoje různého složení, které bylo proměnlivé, jak podle doby ve které se pivo vařilo, tak podle zeměpisného umístění. Taktéž v České Republice má vaření piva dlouhou tradici a ve světě je naše pivo známé a uznávané. V dnešních dnech je za pivo označován především nápoj vyráběný ze sladu, což jsou naklíčená obilná zrna, vody, chmele a pivovarských kvasinek. Jejich smícháním ve správném pořadí a za určitých teplot, pak vzniká výsledný produkt. Protože celá technologie je poměrně složitá a její znalost pro pochopení požadavků na pivovar důležitá, věnuji se jí v první části své práce. Přestože i dnes je na výběr z mnoha druhů piv lišících se jak obsahem alkoholu, tak chutí, nejznámější pivo u nás je určitě světlý ležák Plzeňského typu. Mnou zkonstruovaný mikropivovar má sloužit především k výrobě piva tohoto typu.

Mikropivovary [2] jsou zařízení podobná dobře známým komerčním pivovarům, od nichž se liší ve více, či méně důležitých parametrech, z nichž nejdůležitější je jejich velikost. V mikropivovaru jsou vařeny várky piva v objemech od desítek do pár stovek litrů, samotné mikropivovary pak kromě velikosti mohou být rozdílné ještě konstrukcí, mírou automatizace a dalšími parametry, které ovlivňují celý varný proces, ale především kvalitu výsledného piva. Jejich základní rozdělení a popis je další částí mé práce. Z množství různých řešení jsem vybral tu kombinaci, která mi pro můj účel přišla vhodná, a začal stavět vlastní mikropivovar.

Rozhodl jsem se pro konstrukci obsahující tři nádoby, přečerpávání pomocí čerpadla a plynový ohřev. Varná kapacita pivovaru je 25 litrů a vaření jedné várky trvá okolo deseti hodin, z tohoto důvodu je celý proces automatizován a tak až na malé detaily vše může proběhnout bez lidské obsluhy, což přináší, vzhledem k potřebnému času, velkou výhodu. Pro řízení jsem zvolil programovatelný automat LOGO!, k volbě tohoto řešení mě vedla jak moje předchozí znalost tohoto PLC, tak jeho vhodnost pro tuto aplikaci. Právě konstrukci a programování vlastního řešení se věnuji v poslední části své práce.

2. ÚVOD DO PIVOVARNICTVÍ

2.1. Suroviny pro výrobu piva

Pivo se skládá ze čtyř základních surovin: vody, sladu, chmele a pivovarských kvasinek. Jejich smícháním ve správných poměrech a pořadích a následným zkvašením vzniká pivo. Na výsledné kvalitě piva má podíl kvalita každé z jednotlivých surovin. Těch je na trhu mnoho druhů a jejich různé kombinace umožňují vytvářet různé druhy pív.

2.1.1. Voda

Voda pro výrobu piva by měla být co nejměkčí, tudíž by měla obsahovat co nejmenší množství minerálů. Velké komerční pivovary používají vodu z vlastních studní, jež tuto podmínku splňuje a taktéž neobsahuje žádné další chemikálie, jako je tomu třeba v případě pitné vody z domovní rozvodné sítě, v níž je obsažen chlor. Naštěstí přítomnost chloru nemá na chuť, či kvalitu piva přílišný dopad a proto i pitná voda z domovního řádu je pro výrobu piva zcela dostačující a je tudíž využívána jak menšími komerčními pivovary, které si vlastní studnu nemohou dovolit, tak nekomerčními pivovary, jako je například ten, o němž pojednává tato práce.

2.1.2. Slad

Jedná se o naklíčené a poté usušené obilné zrno, nejčastěji ječné, lze však použít i zrna jiných plodin, například pšenice. Slad [1] je pro výrobu piva levice důležitý, protože právě z něj se získají cukry, které jsou při kvašení přeměněny na alkohol. Při procesu výroby sladu jde o rozštěpení polysacharidů, obsažených v něm, na jednoduché sacharidy, které jsou pro pivovarnické kvasinky lépe zpracovatelné a tím pádem vhodnější ke kvašení. Sladování je několikadenní proces probíhající ve sladovnách. Nejdříve je zrno namočeno a uloženo v zhruba deseticentimetrové vrstvě v chladné místnosti, bez přístupu světla, aby začalo klíčit. Vrstva zrna musí být několikrát otočena, aby nedošlo k zplsnivění. Po naklíčení je zrno sušeno, případně praženo a nakonec zbaveno klíčků. Délkou a teplotou sušení je ovlivněna barva sladu a jeho další vlastnosti, jako vůně, chuť a množství enzymů v něm obsažené. Právě dle barvy dělíme slad na světlý, bavorský, tmavý a barevný. Světlý slad je též známý jako plzeňský. Využívá se hlavně pro výrobu světlých typ plzeňského typu. Bavorský je určen k dobarvení pív světlých, nebo k výrobě polotmavých a tmavých pív. Karamelový se používá pro výrobu pív tmavých, případně pro dochucení pív jiných. Tmavý slad již neobsahuje žádné enzymy a je určen pouze k dobarvení. Právě enzymy [3] obsažené ve sladu jsou důležité pro výrobu piva, protože při výrobě piva uvolňují ze sladu do vody potřebné cukry.

Výroba sladu je v domácích podmínkách taktéž možná, ale pro jistou náročnost většina domácích pivovarů kupuje slad ve specializovaných prodejnách. Také já kupuji slad již hotový. Používám slad světlý, protože vyrábím právě ležáky plzeňského typu, mezi domácími pivovary však není výjimkou řada experimentů a proto se použití sladu může od výše popsání použití sladů značně lišit a docházet k nejrůznějším kombinacím.

2.1.3. Chmel

Oproti velmi rozšířeným představám piva, jakožto chmelového nápoje, je spotřeba chmele na várku piva oproti spotřebě sladu velmi malá. Například na 5,5kg ječného sladu se přidává jen 70g granulovaného chmele. Chmel [4] v pivu slouží k dochucení a zbavení piva škodlivých látek, taktéž pivu propůjčuje typickou hořkou chuť. Množství chmele v pivu ovlivňuje především jeho chuť, ale jeho technologický význam není pro zdárné dokončení procesu příliš důležitý, proto při jeho přidávání hraje roli hlavně vlastní představa o chuti výsledného produktu. Chmele je na trhu také množství rozličných druhů, které se liší především hořkostí. Nejznámější je asi Poloraný Červeňák, chmel pěstovaný v okolí Žatce, který se vyznačuje hořkostí menší, než většina jiných chmelů a osobitou chutí. Já používám jiné druhy chmele, například Premium, nebo Bernard, které jsou více hořké, a při každé várce zkouším nový druh, zatím jsem však při jejich použití nezaznamenal velký rozdíl.

2.1.4. Pivovarské kvasinky

Jsou pro výrobu piva velmi důležité. Právě kvasinky [3] rozkládají cukry obsažené v pivu na alkohol a oxid uhličitý a dávají tak pivu potřebný obsah alkoholu a říz. Použití různých kvasinek určuje výsledný typ piva a také nejvíce ze všech surovin ovlivňuje výslednou chuť. Kvasinky lze rozdělit do dvou hlavních druhů a to pro svrchní a spodní kvašení. Při svrchním kvašení probíhá hlavní kvasný proces u hladiny piva a při teplotách okolo 15-20°C. Svrchně se u nás nechávají kvasit především piva černá a pšeničná, ze zahraničních je to pak většina piv typu ALE (IPA, APA).

Obecně lze říci, že svrchní kvašení je ve světě zastoupeno menšinou, zatímco většinou kvašení spodní. Při něm probíhá hlavní kvasný proces na dně díla, na povrch jsou naopak vyplavovány nežádoucí látky, a proto se u tohoto způsobu kvašení v jeho průběhu musí sbírat z hladiny kvasícího piva pěna. Kvašení spodní vyžaduje nižší teploty okolo 8-15°C a vyrábí se jím především světlá piva plzeňského typu. Protože spodní kvašení probíhá za nižších teplot, trvá déle než kvašení svrchní a to zhruba týden až deset dní. Protože se specializují právě na výrobu ležáků, nechávám i já kvasit spodně. Kvasinky se dají získat buď z komerčního pivovaru živé, nebo ve specializovaných prodejnách sušené. Nevýhodou sušených je, že při ležení piva trvá déle, než se vyčeří. Jejich výhodou je naopak lepší dostupnost a proto používám právě je. Kvasinky lze použít opakovaně, po odkvašení jedné várky se seberou ze dna kvasné nádoby a uchovávají při teplotě okolo 6°C do dalšího vaření. Při něm už nevýhoda se zvýšenou dobou usazení kvasinek a vyčeření piva odpadá, protože takto uchované kvasinky jsou živé. Kvasinky je možno uchovávat po dobu do čtyř měsíců, poté se u nich začne objevovat závadný zápach, je však vhodné je spotřebovat dříve. Živé kvasinky by se navíc měli v pravidelných intervalech proplachovat vodou, aby se vyplavili mrtvé kusy.

2.2. Proces vaření piva

Existuje mnoho receptů popisujících výrobu piva, v následujícím popisu se budu věnovat konkrétně postupu, který praktikuji já. Výroba jedné várky mladiny, což je základ pro výrobu piva před přidáním kvasnic, trvá zhruba 10 hodin, s přípravnými pracemi jako šrotování sladu a sestavení pivovaru pak zhruba 12hodin. Jedním z požadavků na můj mikropivovar byla jeho jednoduchá přenositelnost, protože z důvodu víceúčelového využití místnosti, v níž se nachází, musí být před každým vařením složen a po něm opět rozložen.

Vaření piva začíná šrotováním sladu. Při tomto procesu jsou sladová zrna nadrceny na menší části o zhruba třetinové velikosti oproti původnímu zrně. Tento proces je důležitý pro uvolnění cukrů [3] ze sladu do vody. K tomuto účelu lze použít například mlýnek na maso, není však příliš vhodný, protože jeho ostří rozseká pluchy, což vede k problémům při scezování, navíc je jeho použití fyzicky i časově náročné. Mnohem lépe pro tyto účely funguje elektrický mlýnek na kávu, jenž v současnosti používám. Použití mlýnku na kávu je oproti ručnímu mletí rychlejší, navíc mlýnek dovoluje nastavit hrubost namletého zrna. Naopak jeho nevýhoda spočívá v tom, že sladová zrna jsou tužší než zrna kávová, mlýnek se tím pádem více zahřívá a může dojít k jeho přehřátí a poškození. Je tedy nutné zařazovat mezi mletí pauzy pro vychladnutí mlýnku. Pro svoji nízkou cenu, možnost nastavení hrubosti mletí a nezničení zrna rozsekáním (mlýnek obsahuje kameny, jenž zrna nesekejí ale drtí) je toto řešení u domácích mikropivovarů poměrně často využíváno. Přesto do budoucna uvažuji o koupi elektrického šrotovníku, s nímž by mělo být mletí ještě rychlejší.

Po našrotování sladu nastává sestavení pivovaru, jemuž se budu věnovat později a jeho desinfekce, ta je velmi důležitá, protože právě uvařená mladina je na jakékoliv znečištění velmi náchylná a případné nečistoty by mohli znehodnotit celý výsledek. K desinfekci používám potravinářskou desinfekci k tomu určenou, DESAM SOLID, a vodu. Vždy po několika uvařených várkách ještě navíc louh a ocet. Jakmile je vše sestaveno a vydesinfikováno začíná už samotný proces vaření piva.

2.2.1. Získání cukrů ze sladu

V první fázi vaření piva je třeba uvolnit cukry, minerály, dextriny a aromatické látky obsažené ve sladu do vody, což vytvoří základ pro nové pivo. V praxi se uplatňují dvě metody: dekokční [5] a infuzní. Při dekokční se dlo, neboli rmut, jak se nazývá právě voda smíchaná se sladem, zahřívá na určité technologicky dané teploty a postupně se po třetinách objemu celého dila nechává převařit a opět slévá dohromady. Právě podle počtu přelévání se pak dekokční metoda dělí na jedno rmutovou, dvou rmutovou až x-rmutovou. Také já jsem vařil pivo původně dekokčně a to na dva rmuty, pro přílišnou složitost tohoto postupu jsem však pro automatizaci zvolil postup infuzní, který popíšu podrobněji. Infuzní postup je užíván častěji pro piva druhu ALE [6], lze ho však použít i pro světlá piva plzeňského typu.

Při infuzní [7] metodě se nejprve napustí do hrnce voda o objemu 25 litrů, která se zahřeje na teplotu 40 – 50°C. Tato teplota se nazývá vystírací a při ní do vody nasypeme slad. V této chvíli také zapneme míchání, aby se dlo nepřipálilo, nebo nedošlo k místnímu přehřátí dila a tím jeho znehodnocení. Dlo necháme při této teplotě vystírat 20-30 minut, při této prodlevě je dlo průběžně přihříváno, aby se drželo v požadovaném rozmezí teplot. Poté je ohřáto na 62°C a následně ponecháno 20-30 minut na této teplotě. Při dalším ohřevu se teplota zvýší na 72°C a dlo se opět ponechá na této teplotě 20-30 minut. Doporučené zvyšování teploty je 1°C za minutu, rychlejší zvyšování teploty není pro dlo vhodné. Tyto teploty jsou důležité právě pro uvolnění všech požadovaných látek ze sladu do vody, což zapříčiní amylázy obsažené ve sladu. Ty jsou na přesné teploty velice náchylné a proto je důležité určené teploty udržovat v rozmezí maximálně $\pm 3^\circ\text{C}$. Následně je teplota dila zvýšena na 76°C a zařazena prodleva 10 minut. Tato teplota se nazývá odrmutovací a enzymy při ní přestávají pracovat. Při správném dodržení celého postupu by nyní měly být ve vodě obsaženy všechny požadované látky a je možné postoupit k dalšímu bodu.

2.2.2. Scezení díla

Abychom dílo zbavili vyslazeného sladu, je v této fázi celé dílo přečerpáno do scezovací nádoby [5]. Jedná se o nádobu se sítí (Obr. 2.1) umístěným zhruba 8cm nade dnem nádoby a výpustním kohoutem umístěným pod sítí. Dílo se v této nádobě nechá usadit, což trvá okolo 30 minut. Usazený slad vytvoří na povrchu síta filtrační vrstvu, přes kterou se při otevření výpustě dílo přefiltruje a zbaví tak kalů. Z výpustního kohoutu by měla téct čirá, světle hnědá kapalina. Takto přefiltrované dílo se nazývá sladina. V tuto chvíli však vrstva sladu obsahuje ještě hodně cukrů i ostatních prospěšných látek a proto vodou ohřátou na 80°C zalijeme vrstvu sladu, opět necháme usadit a poté výpustím kohoutem přepustíme do nádoby se sladinou. V ní by se mělo nacházet okolo 30litrů sladiny. Zbýlý slad se nazývá mláto a lze využít jako krmivo pro hospodářská zvířata, případně jako přísadku do pečiva.



Obr. 2.1 pohled na scezovací síto

2.2.3. Chmelovar

Sladina je převedena zpátky do varné nádoby a uvedena do varu [7]. Zvyšování teploty by opět nemělo překročit 1°C za minutu. Míchání je zapnuto. Při dosažení varu se do ní vloží 40 gramů chmele a nechá se vařit 30 minut, po této prodlevě pak 20 gramů. Sladina se po přidání chmele nazývá mladinou [1]. Opět se ponechá 30 minut dlouhá prodleva a vloží se 10 gramů chmele. Ohřev se vypne, míchání je ještě 5 minut ponecháno, aby došlo k rozmíchání posledního vloženého chmele rovnoměrně do celého díla. Při chmelovaru se do mladiny uvolňují hořké a aromatické látky a dochází také k vysrážení bílkovin a kalů. Je tedy důležité dodržet požadovanou délku varu, jinak by vysrážení nemuselo proběhnout tak dokonale a vyrobené pivo by bylo kalné. Je nutné, aby po celou dobu chmelovaru docházelo k odparu, který by měl být kolem 10% z celkového množství mladiny. Z tohoto důvodu nelze provádět chmelovar s poklicí. Odpar zajišťuje, že se z mladiny odpaří nežádoucí látky a vůně.

2.2.4. Zchlazení a primární kvašení

Vzniklou mladinu je třeba co nejrychleji zchladit. K tomuto účelu používám měděnou spirálu vloženou do nádoby s mladinou, kterou protéká studená voda. [6] Během chlazení se zároveň na dně nádobí usadí chmel a poslední zbytky nepřefiltrovaného sladu. Po zchlazení je tedy mladina opatrně přepuštěna do další nádoby, tak, aby usazeniny zůstaly v původní nádobě.

Vrstvu usazenin je nutné vylít, zhoršila by kvalitu výsledného produktu. Z nádoby je poté zhruba 1 litr přelit do menšího hrnce a smíchám s kvasinkami. Kvasinky je potřeba s mladinou dobře promíchat a nechat je chvíli rozkvasit. V případě živých kvasinek se jejich aktivita projeví během několika minut hustou pěnou. Po rozkvašení se vzniklá tekutina přelije do zbytku mladiny a rozmíchá. Následně je mladina uložena do lednice a teplota nastavena na 12°C. Pro kvasnice S-23 se jedná o optimální teplotu pro spodní kvašení. Toto kvašení se také nazývá jako primární nebo hlavní [7]. Vytvoří se při něm většina alkoholu a pivo začne dostávat svoji specifickou chuť.

Vznikající mladé pivo je třeba alespoň jednou denně kontrolovat a sbírat vrstvu pěny, která se na pivu vlivem kvašení tvoří. Tato pěna obsahuje velké množství silně hořkých látek a při jejím ponechání by tyto klesli opět do piva, což by negativně ovlivnilo jeho chuť. Mladé pivo je velice náchylné na jakékoliv znečištění, proto při sbírání pěny lze použít jen řádně vydesinfikované nástroje. Taktéž není vhodné, aby se v lednici nacházelo cokoliv jiného, než pivo, protože mladé pivo velice snadno pohlcuje jakékoliv ostatní pachy.

2.2.5. Stáčení a ležení

Po přibližně týdnu kvašení se začne pivo čerit a pěna již dále vzniká jen v malém množství. Je to znamení toho, že primární kvašení končí a je třeba dát pivo ležet [6]. Toto je možné zjistit také pomocí hustoměru, nebo cukroměru, z něhož lze vyčíst, kdy přesně končí hlavní kvašení, ale zároveň je v pivu ještě dostatek cukrů pro vytvoření oxidu uhličitého při ležení v lahvích. Pokud hustoměr není k dispozici, nebo je množství cukrů v pivu pro natlakování lahví oxidem uhličitým už příliš malé, je možné do piva přidat dextrózu, což je jednoduchý cukr. Přidání dextrózy zajistí, že se lahve naplní oxidem uhličitým i pokud kvasnice již spotřebovali všechny využitelný cukr, získaný ze sladu. V tomto případě rozmícháme dextrózu v 1 litru mladiny a opatrně vlijeme do piva, tak aby se rovnoměrně promísila s celým obsahem, ale abychom nerozvířili kvasnice usazené na dně. Doporučené dávkování je 3gramy dextrózy na 0,5 litru piva. Pomocí výpustního kohoutu pak stočíme pivo do lahví a ty necháme ležet v lednici při teplotě okolo 5°C. Používám plastové lahve, nebo lahve od piva Bernard, které mají tu výhodu, že při jejich přetlakování se přebytečný tlak sám upustí. Ležení se taktéž nazývá kvašením sekundárním případně dokvašováním [5]. Stejně jako při kvašení primárním je cukr přeměňován na alkohol a oxid uhličitý, který se však drží v uzavřených lahvích a dodá tak pivu bublinky a říz, v této fázi se také vyváží chuťové složky v pivu. Při nedostatečném naplnění lahví oxidem uhličitým pak pivo chutná zvětrale.

Stáčení do lahví se mi osvědčilo jako nejvýhodnější doba přidávání různých příchutí do piva. Je možné tak vytvořit v každé lahvi jinou příchut' a pivo při dokvašování velice dobře přijímá cizí chutě. Přidáním například medu se pak vytvoří pivo medové. Pivo by mělo ležet různě dlouho podle obsahu alkoholu s tím pravidlem, že čím vyšší obsah alkoholu v pivu, tím delší doba ležení. Nechávám pivo ležet okolo dvou až tří měsíců. Že je pivo dostatečně uležené se pozná tak, že se vyčeří a kvasnice klesnou ke dnu. Takto vyrobené pivo je nepasterizované s vysokým obsahem prospěšných látek a živých kvasinek. Oproti komerčním ležákům je kalnější. Také obsah alkoholu je vyšší.

3. DOMÁCÍ MIKROPIVOVARY

Jak z předchozí kapitoly vyplívá, proces vaření piva je poměrně náročný a proto k jeho ulehčení začali lidé konstruovat zařízení známá jako pivovary [1]. Dříve se pivo vařilo nad ohněm ve velkých hrncích a mladina cedila přes vrstvu slámy, taktéž přesné teploty nutné k uvaření piva nebyly známy a výsledné pivo bylo kalnější s nižším obsahem alkoholu. S postupem času se pak začali konstruovat pivovary měděné, určené už přímo pro výrobu piva. Protože proces vaření byl již v této době poměrně náročný, nemohla si pivovar v žádném případě dovolit každá vesnice a pivovary se už tehdy stavěli pro velké objemy a pivo z nich potom vyváželo do okolí. Mimo to si lidé vařili pivo také doma pro vlastní potřebu, zde se však také nedá mluvit o domácích mikropivovarech, protože pro ně používali klasické domácí náčiní a i recept byl značně jednodušší. Se zvyšováním dostupnosti komerčních piv, pak domácí vaření zaniklo úplně a převládly velké nadnárodní korporace jako Hainecken. Až v posledních letech je opět domácí vaření na vzestupu, domácí mikropivovary se objevují stále častěji a více lidí přichází na to, že vlastnoručním vařením piva můžou docílit jak lepší chuti, tak větší kvality výsledného produktu. Nepopíratelnou výhodou domácího vaření piva je taky velká volnost v konečné chuti produktu.

Domácí mikropivovary jsou nejčastěji dvou až tří nádobové systémy sloužící k ohřevu, míchání a cezení piva ve všech potřebných bodech jeho výroby [2]. Pomineme-li možnost položit vedle sebe tři kuchyňské hrnce větších rozměrů a všechny úkony jako míchání a přelévání provádět manuálně a budeme-li se věnovat přímo zařízením upraveným k vaření piva, pak můžeme rozlišovat dle konstrukce tyto základní systémy:

3.1. Samospádové řešení

Jedná se o zařízení, kde je dílo a následně mladina přepouštěna mezi nádobami změnou výšky jedné, nebo více nádob. (Obr. 3.1-A) Propojením těchto nádob pomocí potravinářské hadice pak dochází k samovolnému přetékání kapaliny z jedné nádoby do druhé. K změně výšky nádoby je obvykle použit elektrický motor s navijákem. Tento systém je výhodný zejména pro dekokční způsob výroby piva, protože k přepuštění určitého objemu z jedné nádoby do druhé a následně zpět dochází velice jednoduše a rychle. K přepuštění díla na scezovací nádobu je pak nutno hadici z momentálně prázdného hrnce odmontovat a vložit do scezovací nádoby. Naopak nevýhodný je tento systém pro větší objemy, protože se zvyšujícím se objemem roste i požadavek na výkon motoru a také celková konstrukce musí být robustnější. Na automatizaci je tento systém také náročnější. Míchání probíhá většinou pomocí elektrického motoru, který roztáčí hřídel s vrtulí umístěnou ve varné nádobě. Ohřev bývá většinou plynový, nebo elektrický. Chlazení může být řešeno libovolným způsobem. Vaříme-li například dekokčně na dva rmuty bude princip celého postupu vypadat zhruba takto. Dílo se zahřeje na požadovanou teplotu a nádoba připojená k navijáku (na obrázku bez ohřevu, odted' značená jako nádoba dva, ta s ohřevem tedy jako nádoba jedna) se přestaví do výšky, ve které v ní budou 2/3 celkového objemu. Zbylá 1/3 se poté rmutuje a následně je přestavením nádoby dva do nejnižší polohy smíchána se zbytkem díla. Opětovným zvednutím do vyšší polohy je znovu 1/3 díla převedena na nádobu jedna, kde probíhá rmutování a poté spuštěním nádoby dva níže smíchána se zbylými 2/3 stejně jako u prvního rmutu. Prázdná z nádob (v tomto postupu nádoba jedna) se pak může manuálně odstavit a vložením síta

modifikovat na scezovací nádobu. Potravinářská hadice je pak z jejího dna odmontována a zavedena do ní seshora, takže se celé dílo přepustí do scezovací nádoby. Podmínkou samozřejmě je, že se nádoba jedna nachází níže než nádoba dva.

3.2. Přecherčavací řešení

Oproti předchozímu řešení zde není tekutina přepouštěna změnou výšky nádob, ale čerpadlem.(Obr. 3.1-B) Tento systém postrádá výhodu předchozího řešení v oblasti využití pro rmutovací způsob výroby. Přesto i v tomto systému lze vařit dekokčně. Pouze je třeba při každém přecherčání přepojovat čerpadlo, což vede ke zvýšení počtu kohoutů, vyšší složitosti tohoto řešení a z toho plynoucí vyšší ceny. Tento systém se tedy hodí více na infuzní postup, případně pro dekokční vaření vyšších objemů, kde je použití předchozího systému již nevhodné. Tento systém je ze všech uvedených asi nejvíce podobný systémům používaných v komerčních pivovarech. Automatizace tohoto systému je oproti předešlému řešení snadnější, za předpokladu, že budeme vařit právě infuzně. Tento systém jsem si vybral pro praktickou realizaci svého pivovaru, a proto ho důkladněji popíšu v následující kapitole.



Obr.3.1. A dvou nádobový pivovar s pohyblivou odkládací nádobou a Obr 3.1.B mikropivovar s čerpadlem [2]

4. VLASTNÍ ŘEŠENÍ MIKROPIVOVARU

Základem pivovaru jsou tři 35 litrové nerezové hrnce a dvě kovové konstrukce o rozdílné výšce navržené tak, aby tekutina, přečerpávaná čerpadlem do nádoby umístěné nejvýše, do ostatních nádob stékala samospádem, takže další čerpadla již nejsou potřeba. (Obr. 4.1) První z hrnců je umístěn na průmyslovém vařiči, tento hrnec plní funkci varné nádoby, ústí z něj vývod k čerpadlu a je osazen deskou s míchadlem [2], napouštěcím ventilem, teploměrem a dvěma hladinovými snímači. Druhý hrnec spočívá na nižší ze dvou kovových konstrukcí, plní funkci přepouštěcí nádoby a přitéká do něj přecezená sladina ze scezovací nádoby umístěné výše. Po dokončení procesu vyslazování je jeho obsah přepuštěn zpět do varné nádoby, kde proběhne chmelovar. Kromě hrnce na nižší konstrukci najdeme také čerpadlo připevněné k nejnižší položené desce. Poslední hrnec je umístěn na vyšší konstrukci, tento slouží jako scezovací nádoba, jeho součástí je tedy nerezové síto. Z pod síta ústí, ze scezovací nádoby do nádoby přepouštěcí, manuálně ovládaný kohout, jímž je možné nastavit rychlost průtoku tak, aby nedocházelo ke strhávání kousků scezovaného sladku. Při automatickém průběhu je tento ventil nastaven na konstantní průtok. Do scezovací nádoby vede hadice z čerpadla, kterou dovnitř přitéká sladina k scezení. Na této konstrukci je umístěna také rozvodová skříň s řídicí jednotkou, zdroji na napětí 24V a 12V a dřevotřísková police na odkládání pivovarnického vybavení. Kovové konstrukce jsou natřené rzi odolnou barvou a vybaveny dřevotřískovými policemi s voděodolnou povrchovou úpravou, na nichž spočívají právě hrnce a většina vybavení. Police jsou ke kovové konstrukci připevněny vruty, konstrukce k sobě připevněny nejsou, stejně tak hrnce ke konstrukcím, což umožňuje snadné rozložení pivovaru a jeho uskladnění. Celá sestava je k dispozici v přílohách ve větším rozlišení. (Příloha C)



Obr. 4.1 zkonstruovaný mikropivovar

4.1. Součásti navrženého mikropivovaru

4.1.1. Ohřev

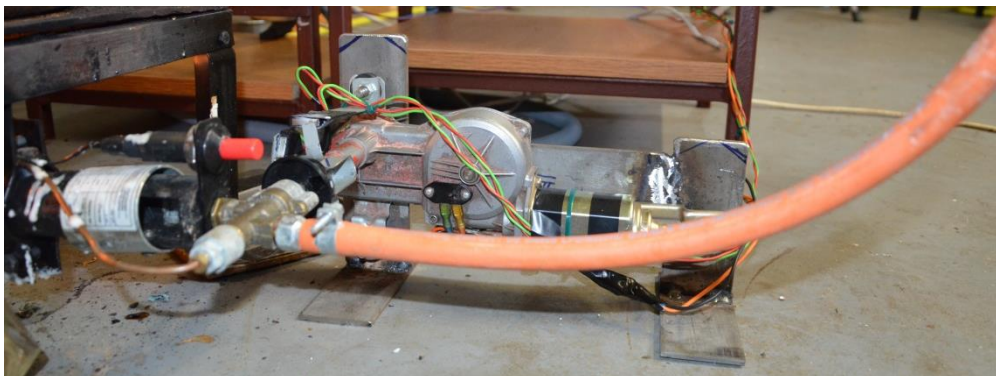
Všechny děje vyžadující ke svému průběhu zvyšování teploty probíhají v jedné nádobě. Jedná se o jeden z nerezových hrnců o objemu 35 l. Její vnitřní průměr je 360mm a její hloubka také 360mm. Ohříváný objem tekutiny pak dosahuje nejvíce 30 l, protože při větším objemu by mohlo dojít zejména v průběhu varu k přetečení hrnce. Pro uvedení takového množství vody do varu je vhodné používat ohřev o výkonu alespoň 3kW, při nižším výkonu se pak rapidně prodlužuje doba potřebná k uvedení objemu do varu. Jednou z variant ohřevu bylo zapojení dvou jednofázových topných spirál, jejichž společný výkon by dosahoval požadované velikosti. Od této varianty jsem upustil, protože v objektu, v němž je pivovar umístěn se nenachází elektrické rozvody schopné vydržet bez svého poškození příkon této velikosti, také cena elektřiny je oproti ceně plynu vyšší a bylo by nutné konstruovat kolem varné nádoby ještě nádobu druhou, v níž by byly umístěny topné tělesa a médium pro přenos tepla k vnitřní nádobě. Při ponoření topných spirál přímo do ohříváného díla by došlo jak k jeho místnímu přehřátí tak k připečení kousků sladu na topná tělesa. Zvolil jsem tedy ohřev pomocí plynu. Využívám průmyslový vaříč MEVA mega Zeus (Obr. 4.2), který podle informací výrobce poskytuje až 7,5kW výkonu. Vaříč je dodáván včetně kovového rámu o rozměrech 410x410 mm, takže varná nádoba může spočívat přímo na tomto rámu, ale protože dno hrnce je velmi tenké a při jeho přímém ohřevu se slad připaluje ke dnu a to i na nižší výkon vaříče, je na tomto rámu nejprve položena kovová plotna a nádoba umístěna až na ní. Tato kovová plotna zabraňuje připalování a přispívá k plynulejšímu změnu teploty varné nádoby, takže se dílo



Obr. 4.2 plynový vaříč Mega Zeus [10]

dále nepřipaluje, ani u dna nezahřívá příliš rychle a to i na plný výkon vaříče. Vaříč je připojen přes regulační ventil na láhev obsahující 10kg Propan-butanu. Součástí vaříče je i piezzo zapalování a bezpečnostní termopojistka, která vypne přívod plynu v případě samovolného zhasnutí plamene. Piezzo zapalování pak bylo pro potřeby automatizace nahrazeno věčným plamenem umístěným v dosahu termopojistky.

Vaříč je spínán pomocí elektrického motoru na napětí 12V (Obr. 4.3), který otáčí přívodním kohoutem plynu na vařiči a otevírá a uzavírá tak tok plynu. Motor otáčí kohoutem v úhlu 0° - 90° a jeho krajní polohy jsou osazeny snímači, takže systém rozpozná, kdy je ventil uzavřen a kdy otevřen.



Obr. 4.3 spínání ventilu plynu

4.1.2. Čerpání

Pro přečerpání celého objemu varné nádoby musí být v nádobě výpust dostatečného průměru, aby jí prošlo dílo obsahující kousky sladu a nedocházelo k ucpání výpustě, nebo k ní připojené hadice. Pro bezpečné splnění předchozí podmínky jsem zvolil výpust průměru 1". U dna varné nádoby je tedy umístěna průchodka nádrže, na ní našroubováno prodloužení a následně hadicová spojka s převlečnou maticí. Vše o průměru 1". Materiálem těchto dílů je mosaz, pro její potravinářskou nezávadnost a dostatečnou teplotní odolnost. Průchodka je těsněna gumovými těsněními z vnitřní i vnější strany hrnce. Prodloužení je vyžadováno z důvodu napojení hadice, která by v blízkosti průmyslového vaříče mohla být poškozena vlivem tepla vznikajícího při chodu vaříče. Tato hadice vede z hadicové spojky až k čerpadlu. Jako čerpadlo jsem zvolil kalové čerpadlo na napětí 230V o příkonu 320W. Průměr na vstupu čerpadla je právě 1". Na výstupu pak $\frac{3}{4}$ ". Výtlačná výška čerpadla je až 3m, což pro potřebu pivovaru stačí. Čerpadlo musí také vydržet teploty do 80°C , udávaná výdrž je 90°C v běžném provozu, což opět pro potřeby pivovaru stačí. Z čerpadla pak vede hadice o průměru $\frac{3}{4}$ " až do scezovací nádoby, umístěné na nejvyšším stojanu. Čerpadlo je umístěno v nižším stojanu, na dřevotřískové desce. Při čerpání vznikají vibrace, které by pro průmyslový počítač a další součásti pivovaru mohli být nevhodné, proto je na tomto stojanu kromě čerpadla umístěno jen minimum dalších prvků, které na vibrace nejsou příliš náchylné.

4.1.3. Míchání

Při ohřevu díla a následně při varu mladiny je nutné celý ohřívaný objem neustále míchat, aby nedošlo k jeho místnímu přehřátí, nebo připálení obsahu nádoby ke stěnám a dnu. K míchání je použit motor na stejnosměrné napětí 12V o příkonu 18,5W. K napájení je použit zdroj pro stolní počítače standartu ATX. Motor obsahuje vestavěnou převodovku s rychlostí na výstupní hřídeli 35ot/min. Při této rychlosti nedochází v žádném bodě výroby k připálení sladu k nádobě. Motor je odolný vůči vodním páram, jenž kolem něj v průběhu varu proudí a může tak být umístěn přímo nad varnou. K dubové desce, na níž spočívá je uchycen čtyřmi šrouby M10. Deska přesahuje přes okraje varného hrnce a vedou skrze ni dva šrouby, mezi stěnou a uchem hrnce. Přitažením podložky ze spodní strany ucha a okraje hrnce pak dojde

k uchycení desky k hrnci, toto spojení je snadno rozebíratelné a umožňuje odebrání celého míchacího zařízení z varné nádoby, což se hodí zejména při její údržbě. Hřídel motoru je přes třecí spojku, umožňující proklouznutí, v případě příliš velkého přenášeného momentu, připojen k hřídeli míchadla, takže při případném zaseknutí míchadla ve varné nádobě nedojde k zničení motoru nebo převodovky, ale k prokluzu v místě spojky. Jako hřídel míchadla slouží nerezová tyč o délce 330mm končící 5mm nade dnem nádoby. Samotné míchadlo je potom nerezový plech tloušťky 1mm, uchycený čtyřmi šrouby M5 a objímkami k hřídeli. Rozměry plechu jsou 34mm x 320mm.

4.1.4. Napouštění

K napouštění pitné vody do pivovaru slouží elektromagnetický solenoidový ventil napájený napětím 230V. Ve výchozí poloze je uzavřen, k otevření dojde až po přivedení elektrického proudu na svorky ventilu, což poskytuje určitou ochranu, protože v případě výpadku napájení, nebo nouzovém vypnutí pivovaru se ventil sám uzavře a nedojde k přetečení nádoby. Tento ventil je přes 3/4" závit připevněn k přívodní hadici přivádějící vodu z domovního řádu. Před hadicí je zařazen dvoucestný rozbočovač a ruční ventil, kterým se otevírá přívod vody před spuštěním pivovaru. K volnému konci rozbočovače je pak možno připojit například hadici s tryskou a použít ji k omytí pivovaru před a po skončení výroby piva.

Elektromagnetický ventil je uchycen přes kovový díl k dubové desce, která je šrouby přitažena k desce, na níž je umístěn motor míchadla. Po otevření solenoidového ventilu teče voda potravinářskou hadicí nasunutou na vývod ventilu do varné nádoby. Konec této hadice je vyveden těsně při stěně nádoby, takže přitékající voda nedopadá na snímače umístěné v nádobě, což by mohlo vést k jejich nechtěnému sepnutí.

4.1.5. Chlazení

K chlazení mladiny, které je nutné po dokončení chmelovaru, používám měděný chladič. Polotovarem pro výrobu chladiče byla trubka o délce 10m a vnějším průměru 6mm. Chladič vznikl jejím stočením do spirály a navinutím na měděnou konstrukci zhotovenou ze stejného polotovaru. Tato konstrukce slouží k držení závitů spirály na místě a navíc plní funkci držadla k snadnější manipulaci s chladičem. Spirála zapadá do varného hrnce, její průměr je tedy přibližně o 20mm menší, než vnitřní průměr hrnce. Před vložením spirály do hrnce je nutné demontovat desku s motorem míchadla, napouštěcím ventilem a senzory, protože toto zařízení brání vložení spirály. Chladicí spirála je jedním koncem připojena přes hadici a ventil ke zdroji studené vody, například z vodovodního řádu. Po otevření ventilu protéká spirálou studená voda, která je mladinou zahřívána a naopak ochlazuje mladinu. Takto zahřátá voda vytéká z druhého konce spirály, zahnutého přes okraj varného hrnce, do nádoby přistavené poblíž, kde je zadržována. Po protečení spirálou se teplota vody zvýší natolik, že ji lze použít k umytí zařízení pivovaru po skončení varného procesu. Proces chlazení trvá zhruba 30 minut, po něm je mladina přepuštěna do nádoby s výpustným kohoutem, jsou do ní přidány pivovarské kvasinky a i s nimi vložena do lednice, kde bude probíhat kvašení mladého piva při teplotě 12°C po dobu okolo deseti dnů.

4.2. Postup výroby

Konstrukce tohoto mikropivovaru začala nápadem vařit si domácí pivo a uvařením první várky v provizorních podmínkách. V tomto kroku jsem ověřil, že výrobu piva zvládám a začal s konstrukcí nynějšího zařízení, jež jsem se později rozhodl automatizovat.

Následně byly vybrány vhodné prostory pro pivovar, splňující všechny nutné požadavky. Tyto prostory obsahují rozvody na pitnou vodu, elektrické rozvody poskytující napětí dostačující zvolenému řešení, podlahu s odtokovým kanálkem, což je nezanedbatelnou výhodou, a výlevku. Další z výhod těchto prostor je jejich stavební oddělení od obytných prostor, díky němuž práce v pivovaru neruší okolní obyvatelé. Vstup do objektu je realizován výsuvnými vraty, k nimž ústí příjezdová cesta, po které může projet osobní automobil. Toho jsem využíval zejména při konstrukci pivovaru, kdy byly díly pivovaru vyrobeny jinde a převezeny do těchto prostor až k finálnímu sestavení.

První návrhová verze počítala s nádobami umístěnými přímo nad sebou, bylo od ní však upuštěno, protože toto uspořádání znamenalo horší přístupnost jednotlivých částí pivovaru a také vyšší požadavky na výtlačnou výšku čerpadla, protože horní nádoba by musela být kvůli míchadlu a senzorům umístěna výše. Tyto problémy byly zjištěny už po první várce uvařené v 35l nádobách a navržena verze nynější, která byla jen s malými změnami realizována.

Poté jsem přistoupil k výrobě jednotlivých komponent, začal jsem s kovovými stojany. Ty jsou svařeny z tyčí L a T profilů a trubek čtvercového průřezu, materiálem je konstrukční ocel. Po svaření byly nerovnosti obroušeny úhlovou brusku a konstrukce natřeny dvěma nátěry rzi odolné barvy. Následně na ně byly našroubovány dřevotřískové desky. Do varného hrnce byla vyvrtána díra pro vsazení průchodky nádrže. K vrtání nerez byl použit Nikl-kadmiový vrták malého průměru, kterým byl nejprve vyvrtán obrys díry, zbývající nerovnosti byly zabroušeny, v případě děr v ostatních nádobách jsem postupoval obdobně. K výrobě scezovacího síta jsem použil jednu z poklic dodanou spolu s hrnci, díky zmenšení jejího obvodu sedí na vnitřní průměr scezovací nádoby a po jejích okrajích nevznikají mezery, těmi by mohli propadnout kousky sladu pod síto a to je nežádoucí. Díry do síta byly vrtány 4mm vrtákem, opět Nikl-kadmiovým. Díry v hrncích byly osazeny výpustěmi, a celý pivovar odvezen na místo jeho provozu.

Následně započaly práce na senzorickém systému, nejprve jsem plánoval použít korkové zátky a zvedat pomocí nich dřevěné tyče, které by svým zvednutím sepnuly snímače polohy umístěné na víku varné nádoby, nicméně tento systém v praxi nefungoval z důvodu přílišné váhy dřevěné tyče. V případě zvolení tyče menšího průřezu hrozilo její zlomení vlivem rotující tekutiny v nádobě a zvětšení plováku nebylo vhodné, zabíral by ve varně příliš prostoru. Tento návrh jsem tedy musel upravit a vyrobit plovákové snímače se silonovými táhly, které bez přítomnosti tekutiny v nádobě táhnou za táhlo dotykového snímače a způsobují tím jeho sepnutí, naopak pokud je v nádobě přítomna tekutina, jsou jí nadnášeny a dotykové snímače jsou rozepnuté. Byla taktéž zhotovena měděná trubice na teploměr, jež je na svém spodním konci zaslepená a brání tak tekutině v nádobě v přímém kontaktu s čidlem, které není voděodolné.

Nakonec byla vyrobena rozvodná skříň a osazena řídicí jednotkou, ta je sestavena z dubových desek a dřevotřísek s povrchovou úpravou a navržena tak, aby se do ní v případě krátkodobého kontaktu s vodou, například při jejím polití, voda nedostala a skříň ochránila

součásti, v ní obsažené. Po zapojení a sestavení celého zařízení dohromady byl napsán program. V této fázi je pivovar připraven k použití.

5. AUTOMATIZACE ZVOLENÉHO ŘEŠENÍ

5.1. Řídící jednotka

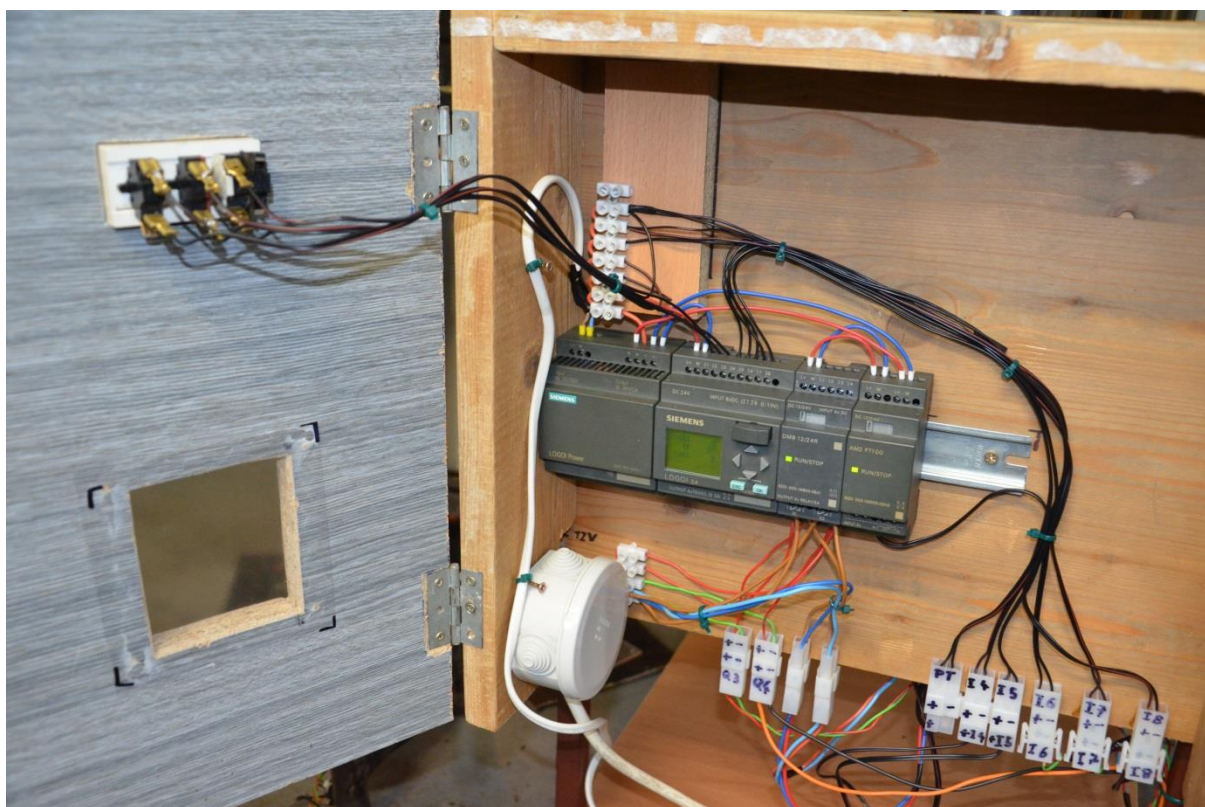
Jako řídicí jednotka je použito PLC LOGO! [8] firmy Siemens. PLC se mi pro účely pivovaru jevilo jako vhodné řešení, protože dokáže běžet dlouhou dobu a v podmínkách náročnějších, než běžné domácí počítače. V prostředí pivovaru je nutné počítat především se zvýšenou vlhkostí prostředí a vibracemi vznikajícími chodem míchadla a čerpadla. Také dvouhodnotová logika zabudovaných vstupů a výstupů účelům mého pivovaru vyhovuje. Verze zvoleného PLC je 0BA4, potřebné napájení 24V stejnosměrného napětí. Poskytuje 8 digitálních vstupů, z nichž dva můžou sloužit jako vstupy analogové a 4 tranzistorové výstupy s výstupním napětím 24V a maximální proudovou zátěží do 0,3A. Pro potřeby pivovaru bylo k tomuto základnímu modulu nutné přidat ještě dva moduly rozšiřující. Protože výstupy základního modulu nedostačovali počtu všech spínaným zařízení, přibyl modul přidavných vstupů a výstupů DM8 12/24R 0BA1. Velkou výhodou tohoto modulu jsou reléové výstupy až do proudu 5A [9] a maximálního napětí až 240V na jeden výstup. Tyto výstupy jsem mohl použít přímo pro spínání všech řízených součástí, protože maximální napětí ani proud nepřekročí dané limity. Z důvodu použití teploměru PT100 k měření teploty ve varné nádobě jsem se rozhodl použít ještě druhý přidavný modul AM2 PT100 [9], s možností připojení dvou teploměrů PT100. Tento modul je schopen získávat data přímo z teploměru PT100 a zobrazovat je v řídicím softwaru již ve stupních Celsia. Oba přidavné moduly jsou stejně jako základní modul napájeny stejnosměrným napětím v hodnotě 24V. Příslušenstvím k řídicí jednotce je napájecí zdroj poskytující právě nutné stejnosměrné napětí a programovací kabel. Všechny tyto součásti mi byly zapůjčeny Ústavem Aplikované Informatiky VUT. Konkrétní obsazení jednotlivých vstupů a výstupů periferiemi můžeme vidět v následující tabulce (Tab. 5-1) a schéma zapojení v příloze. (Příloha A)

Tab. 5-1 obsazení vstupů a výstupů periferiemi

Vstupy	Periferie	Výstupy	Periferie
I1	spínač START	Q1	neobsazeno
I2	spínač KROK	Q2	neobsazeno
I3	spínač RESTART	Q3	neobsazeno
I4	varná nádoba min.	Q4	neobsazeno
I5	varná nádoba max.	Q5	ventil napouštění
I6	plyn vypnuto	Q6	čerpadlo
I7	plyn zapnuto	Q7	motor míchadla
I8	Scezovací nádoba max.	Q8	ventil plynu
I9-I12	neobsazeno		
AI3	Teploměr PT100		

Celá řídicí jednotka je připevněna na DIN lištu a uložena v rozvodové skříni o rozměrech 425mm x 380mm x 120mm, ta mimo řídicí jednotku obsahuje konektory pro připojení jednotlivých periferií. Zvolil jsem krimpovací konektory typu FASTON, šířky 6mm. Konektory jsou uloženy v krytech, jejichž tvary jsou různé jak pro rozdílná napětí, tak pro

vstupy a výstupy, nemůže tedy dojít k jejich záměně a tím poškození stroje. Konektory jsou dráty spojeny s řídicí jednotkou, dráty jsou přehledně barevně odděleny, taktéž různě pro vstupy, výstupy a liší se napětí. Ty jsou použita tři, 230V střídavého napětí pro elektromagnetické ventily a čerpadlo, 24V stejnosměrného napětí pro signalizaci a napájení řídicí jednotky a 12V stejnosměrného napětí pro řízení míchadla a ventilu plynu. V čelním panelu rozvodné skříně jsou uloženy tři spínače sloužící k ovládání pívovaru a průzor, kterým je možné vidět údaje zobrazující se na displeji PLC [8]. Čelní panel je se zbytkem skříně spojen panty, lze ho tedy otevřít a provést úpravy v zapojení. Rozvodová skříň plní také funkci ochrany před náhodným politím řídicí jednotky, například při nechtěném otevření ventilu na hadici s přívodem vody sloužící k údržbě pívovaru. Jedinou výjimku tvoří spodní strana rozvodové skříně, která je ponechána volná z důvodu připojování a odpojování vstupů a výstupů, a jsou zde umístěny kryty s konektory. (Obr. 5.1) Ke konstrukci je rozvodová skříň připevněna vruty ve své zadní straně.



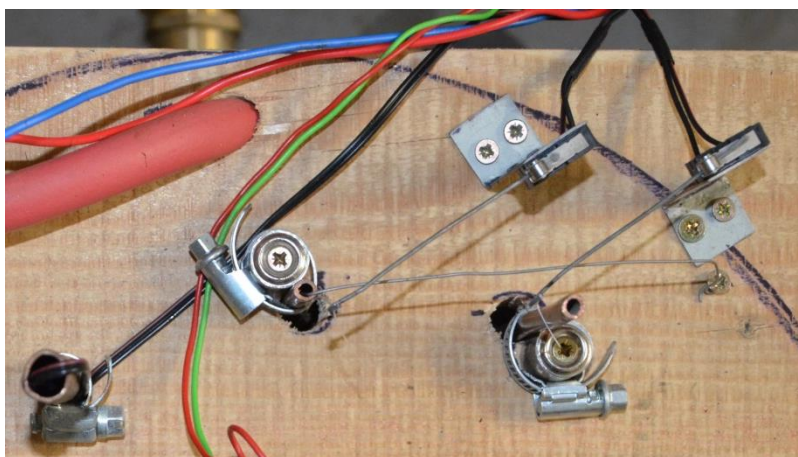
Obr. 5.1 PLC v rozvodové skříní

5.2. Senzorický systém

Teplota ve varné nádobě je snímána teplotním snímačem PT100, připojeným přes dvoulinku a konektory k řídicí jednotce. Rozsah tohoto snímače je od -50°C až po 200°C , v průběhu celého procesu pak není snímač vystaven teplotám menším než 7°C a větším než 110°C . Samotné čidlo je umístěno těsně nad lopatkami míchadla ve varné nádobě v měděné trubici, snímač totiž není voděodolný. Jeho umístění je voleno tak, aby bylo blízko středu varné nádoby a ukazovalo tak údaje nezkrácené například ochlazováním od kontaktu se stěnami nádoby, nebo naopak rychlejším zahříváním těsně u dna nádoby. Měděná trubice byla zvolena pro svoji potravinářskou nezávadnost a dobrou tepelnou vodivost, takže při doporučeném

stoupání teploty 1°C za minutu je dopravní zpoždění, mezi ohřívanou tekutinou a čidlem, pro činnost pivovaru zanedbatelné. Měděná trubice nebyla součástí čidla, ale je zhotovena přímo pro konkrétní použití.

Kromě snímače teploty jsou v nádobě také umístěny senzory jsou plovákové snímače hladiny. Plovákové snímače jsou vlastní výroby, protože plovákové snímače běžně dostupné, nevyhovovali použití buď cenou, nebo velkými rozměry. Jádrem použitých snímačů je mechanický snímač polohy ZIPPY SM-05S-05P0-Z.(Obr. 5.2) Je umístěn nad varnou nádobou na plechovém stojanu a silonem spojen s korkem v nádobě, který slouží jako plovák. V přítomnosti vody v nádobě je korek nadnášen a snímač je proto rozepnut, pokud voda korek nenadnáší, korek svou vahou táhne silon směrem ke dnu varné nádoby a drží snímač v poloze sepnuto. Protože by se při tomto řešení mohl korek pohybovat v nádobě a hrozilo jeho namotání na hřídel míchadla, je uprostřed korku vyvrtaná díra průměru 8mm a korek je nasunut na měděnou trubici o vnějším průměru 6mm, takže se po ní může ve vertikálním směru volně pohybovat. Ve varné nádobě jsou umístěny plovákové snímače pro minimální a maximální hladinu. Pokud je obsah nádoby pod minimální hladinou, neměl by se zahřívát, protože by mohlo dojít k připálení, naopak po přesažení hladinového snímačem pro maximum hrozí v případě dalšího napouštění nádoby přetečení. Tyto a další údaje ze snímačů samozřejmě vyhodnocuje řídicí systém.



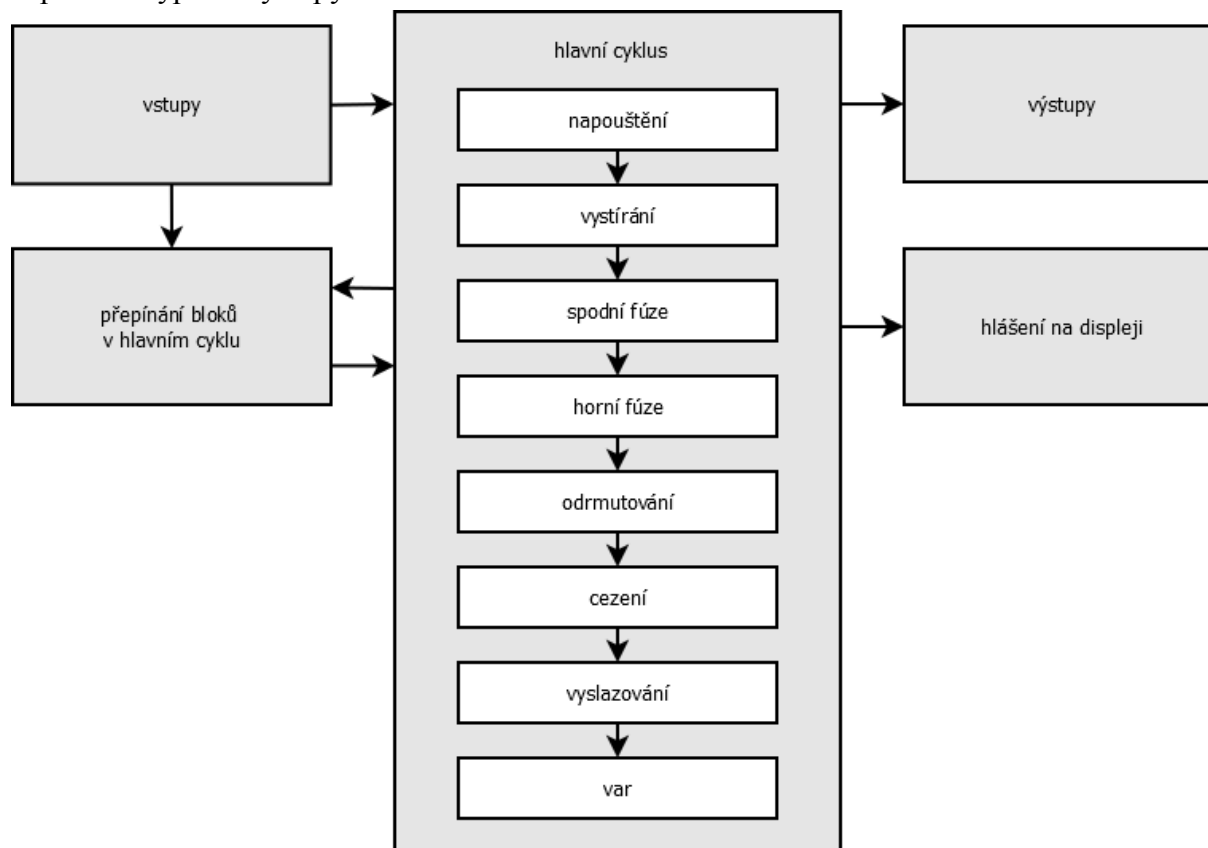
Obr. 5.2 senzory varné nádoby, pohled ze shora

Dalšími snímači jsou snímače krajních poloh ventilu plynu, jedná se opět o snímače polohy ZIPPY SM-05S-05P0-Z. Každý z nich je umístěn v jedné krajní poloze a v případě jejího dosažení ventilem plynu se otevírání, případně zavírání plynu zastaví v této poloze. V jaké poloze se ventil právě nachází, vyhodnocuje řídicí software a podle potřeby buď přepne ventil do druhé krajní polohy, nebo ho nechá v krajní poloze již dosažené.

Posledním snímačem je snímač výšky hladiny v svezovací nádobě, tento snímač je odporový, opět vlastní výroby. Zde nemusí být použity snímače plovákové, protože s dosažením maximální hladiny se počítá jen ve výjimečných případech, snímač tedy plní především bezpečnostní funkci a nebude po dlouhou dobu ponořen. V případě jeho dlouhodobého ponoření by docházelo k elektrolýze a ta by mohla negativně ovlivnit chuť piva.

5.3. Řídicí software

Celý program (Příloha B) je vytvořen v grafickém programovacím prostředí LOGO!soft comfort. Program se tvoří spojováním jednotlivých funkčních bloků, podobně, jako se zapojují fyzické elektronické prvky pomocí vodičů. K dispozici jsou základní logické bloky (AND, OR, NOT a další) ale i bloky vyšších funkcí (časovače, čítače, relé). Programovací prostředí je poměrně intuitivní, v této verzi však ještě nepodporuje možnost tvorby podprogramů (novější verze tuto možnost mají), takže při tvorbě většího programu se stává nepřehledným. Program (Obr. 5.) získává data ze vstupů a podle pokynů v programu poté zapíná a vypíná výstupy.



Obr. 5.1 řídicí program-znázorněn pseudoprogramem

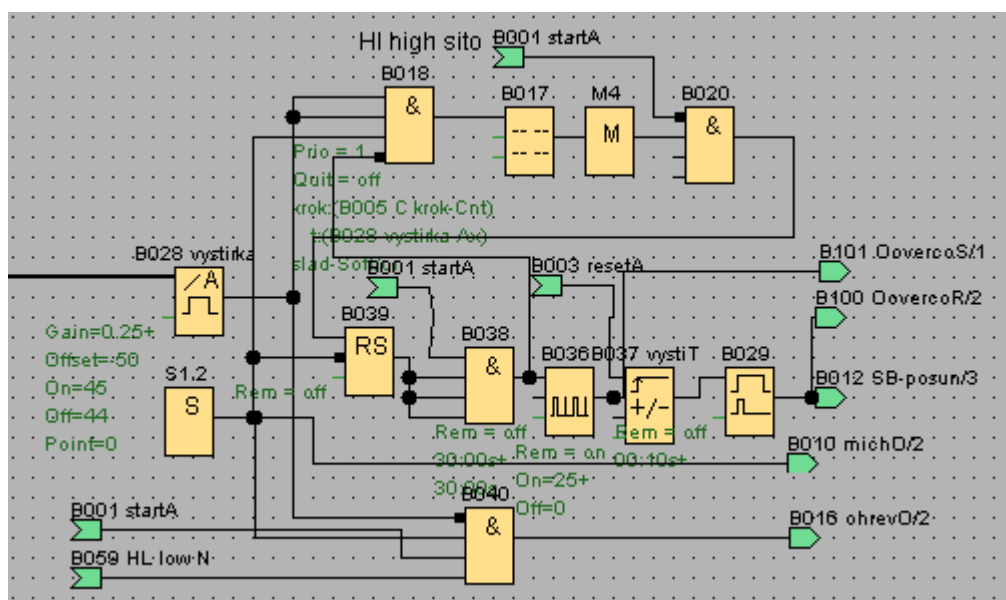
Vstupy jsou všechny senzory a ovládací přepínače. Ty jsou tři: Start, Krok a Restart. Program pokračuje jen, pokud je stisknut přepínač Start a přepínač Restart vynuluje v celém programu všechny čítače a ostatní prvky, které vyžadují vynulování. Přepínač Krok umožňuje přepínat mezi jednotlivými bloky v hlavním cyklu, což umožňuje uživateli volit, jaké části vaření piva chce provést, případně pak může určité části zopakovat. Pokud uživatel sám nezvolí konkrétní blok, vykonají se bloky v zobrazeném pořadí a vždy po skončení jednoho bloku program přeskočí k vykonávání bloku následujícího. Realizace přepínání mezi bloky je v programu řešena pomocí posuvného registru. Stav, kdy je sepnutých více přepínačů zároveň, je programově ošetřen. V tomto případě program reaguje, jako by nebyl sepnut žádný přepínač.

Pokud je program spuštěn, uživatel nezvolil žádný krok a přepínač Start je stisknut začne program vykonávat blok napouštění. Do varné nádoby začne otevřením přívodního ventilu

přítékat voda a ve chvíli kdy dosáhne minimální hladiny, je spuštěno míchání a ohřev. Napouštění pokračuje až do dosažení maximální hladiny, potom se zastaví a program přejde k dalšímu kroku.

Tím je vystírání. (Obr. 5.2) Ohřev je zapnut, dokud voda nedosáhne 45°C, při této teplotě se na displeji LOGO objeví požadavek přidání sladu do vody. Jeho vložení musí uživatel potvrdit vypnutím a zapnutím přepínače Start. Následně je dílo udržováno při teplotě okolo 45°C po dobu 25 minut vypínáním a zapínáním hořáku podle aktuální teploty. Míchání je po celou dobu zapnuto, z bezpečnostních důvodů, jakými je například připálení sladu ke dnu varné nádoby, a to i pokud je přepínač Start rozepnut. Zbytek procesu je pak v případě rozepnutí přepínače Start pozastaven. Po uplynutí 25 minut přejde program k následujícímu kroku.

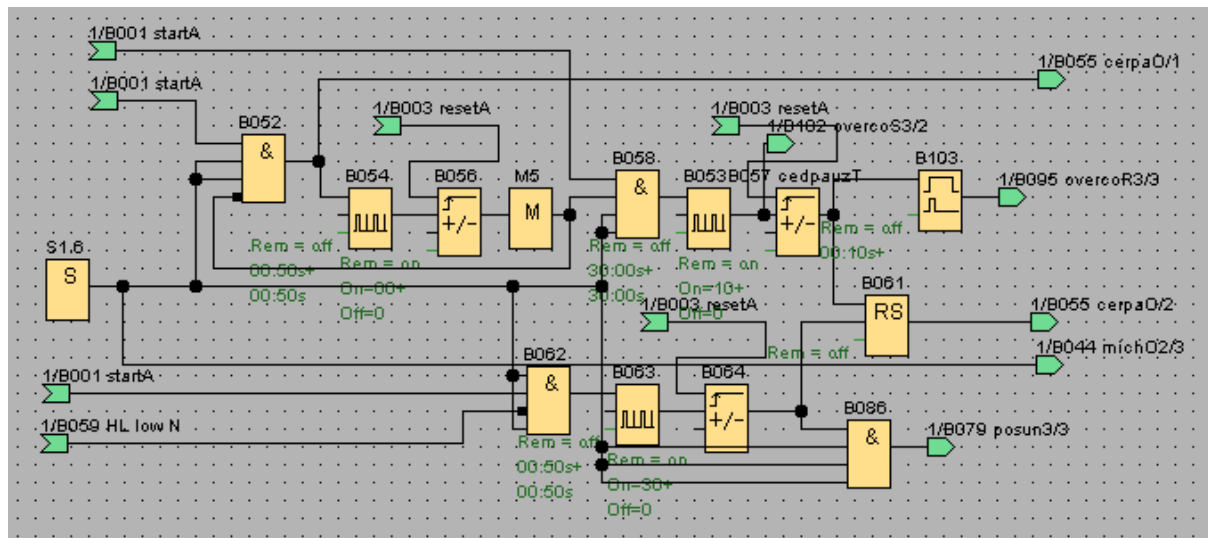
Bloky programu pro spodní fúzi, horní fúzi a odmutování jsou funkcí podobné, jen je sladina udržována při vyšších teplotách a není třeba přidávat slad a tím pádem zapínat a vypínat přepínač Start.



Obr. 5.2 část programu řídicí vystírání

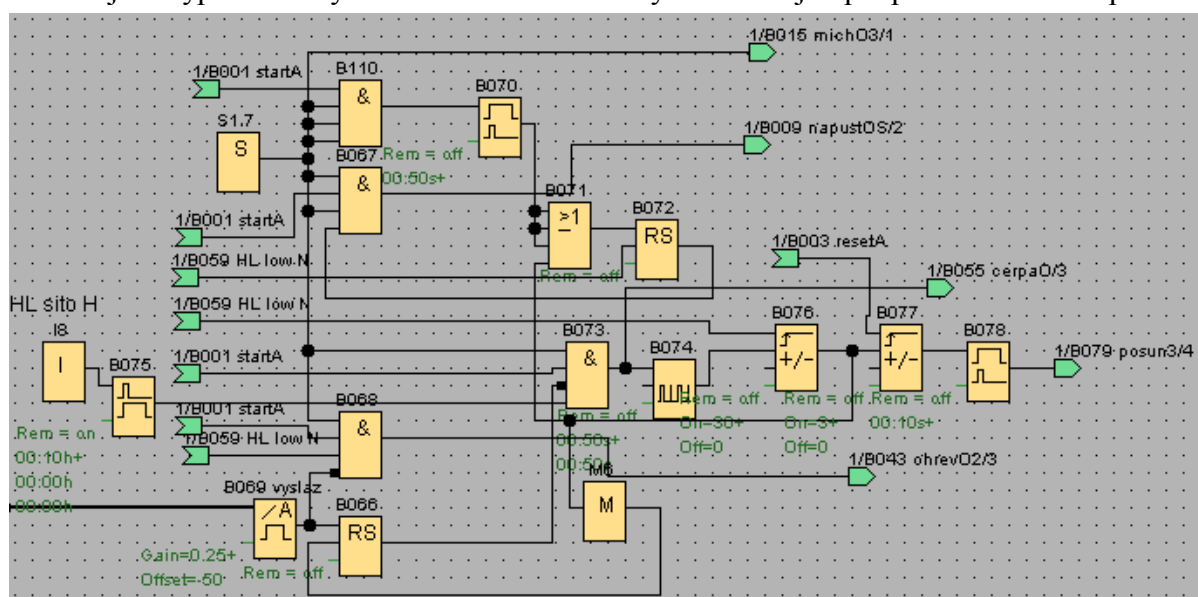
Po odmutování následuje přečerpávání a cezení díla. (Obr. 5.3) Nejprve je zapnuto čerpadlo a to na 60 sekund. Během této doby je vyčerpána přibližně polovina objemu varné nádoby do nádoby se scezovacím sítem. Následně je zařazena prodleva 10 minut, následně se čerpadlo opět spustí a přečerpá zbývající část díla. Při tomto čerpání již hladina díla ve scezovací nádobě přesáhne nejvyšší místo samospádové hadice a sladina začne samospádem přetékat do odkládací nádoby. Prodleva mezi čerpáními je důležitá pro usazení díla, takže samospádovou hadicí pak teče již čistá sladina, bez kalů. Po celou dobu tohoto kroku je míchání opět zapnuto, aby bylo rozprostření sladu ve vodě rovnoměrné.

Následujícím krokem je vyslazování (Obr. 5.4), pokud tento krok ještě neprobíhal je zapnut přívodní ventil a voda napuštěna na úroveň minimální hladiny, poté se zapne ohřev a



Obr. 5.3 část programu řídící přepouštění do scezovací nádoby

voda je zahřata na 80 stupňů. Poté je vypnut ohřev a zapnuto čerpadlo, voda se přečerpá do scezovací nádoby. Pokud je přečerpávací nádoba plná, tekutina sepne snímač maximální hladiny vyslazovací nádoby a přečerpávání je pozastaveno na 10 minut. Přečerpávání trvá bez přerušení 30 sekund, po něm je opět zahájeno napouštění a celý krok se opakuje. Opakování kroku zajistí vyplavení zbytků sladu z varné nádoby. Míchání je opět po celou dobu zapnuto.



Obr. 5.4 část programu řídící vyslazování

V této fázi program přeskočí k poslednímu kroku a to je chmelovar. Až po tomto bod mohl probíhat chod celého pivovaru automaticky, vyjma nasypání sladu. Nyní je potřeba manuálně přelit obsah odkládací nádoby, scezenou a vyslazenou sladinu, do varné nádoby. Plánovanou součástí pivovaru byl elektromagnetický výpustný ventil v odkládací nádobě, v této verzi však ještě není namontován, nicméně program je na jeho připojení uzpůsoben a v tom případě by k přelití došlo automaticky. Po dosažení minimální hladiny ve varné nádobě se pak sepne

míchání a ohřev, sladina je ohřívána až k bodu varu. Poté se objeví na displeji žádost o přidání chmele, tu není potřeba nijak potvrzovat. Ohřev je stále zapnut a udržuje tekutinu ve varu po dobu 30 minut, po uplynutí tohoto intervalu program zažádá o přidání dalšího chmele a var probíhá po dobu dalších 20 minut, po nich je poslední žádost o chmelení a var pokračuje 10 minut. Následně se ohřev a míchání vypne a na displeji se zobrazí hlášení oznamující ukončení celého varného procesu. Nyní je program u konce, mladina uvařená a je na čase dát ji chladit a následně nechat zkvásit, čímž vznikne mladé pivo.

6. ZÁVĚR

Seznámil jsem se s technologií výroby piva v domácích podmínkách a základními systémy k tomu potřebnými a používanými. Tomuto tématu jsem věnoval první polovinu své práce a podrobněji rozepsal infuzní technologii, kterou jsem se rozhodl pro výrobu piva použít. S pomocí nabytých znalostí jsem zkonstruoval domácí mikropivovar zaměřený na výrobu ležáku plzeňského typu a ten zautomatizoval. Pivovar řídí PLC LOGO! a program je napsán ve vývojovém prostředí LOGO! soft comfort. Pokud bych tento projekt dělal znovu, vybral bych řídicí jednotku jinou, vývojové prostředí totiž není vhodné pro program této délky a v jiném softwaru by se dal vytvořit program přehledněji.

Zautomatizovaný mikropivovar jsem otestoval a při provozu odladil. Výsledkem je automatické zařízení, které dokáže zdárně dokončit celý varný proces piva, až na několik činností vyžadujících lidskou obsluhu, jako je například dávkování sladu a chmele. Do budoucna plánuji odladit i tyto detaily, aby pivovar fungoval již zcela autonomně a v navazujícím studiu bych se chtěl věnovat dalšímu vylepšení a rozvoji zařízení používaných v této oblasti. Pivo uvařené tímto zařízením se výrazně neliší od piva mnou dříve vařeného v pivovaru bez automatizace a to jak chutí, tak množstvím.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

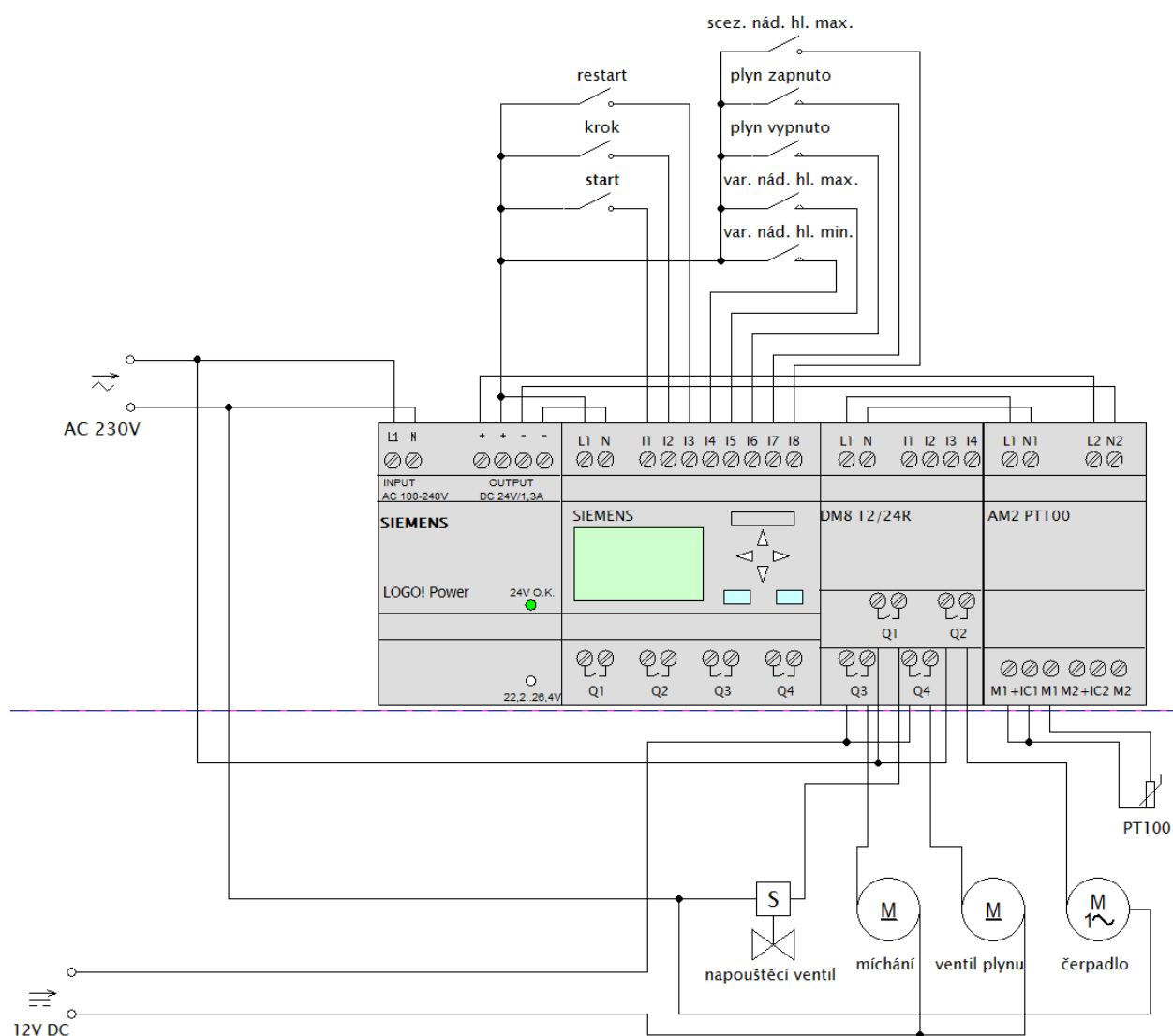
- [1] CHLÁDEK, Ladislav. *Pivovarnictví*. : Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1616-9.
- [2] *Rubrika pivovary, pomůcky – Homebrewing. Svět piva*. [online]. 28.5.2015 [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.homebrewing.cz/rubrika/117-Pivovary-pomucky/index.htm>
- [3] R:Basařová G., Šavel J., Basař P., Lejsek T.: *Pivovarství: Teorie a praxe výroby piva*, VŠCHT Praha (1. vydání, 2010), ISBN: 978-80-7080-734-7.
- [4] *Atlas českých odrůd chmele = Czech hop varieties*. Žatec: Chmelařský institut, 2012. ISBN 978-80-87357-11-8.
- [5] HLUBINKA, Jakub. *Domácí pivovar*. Brno: Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D..
- [6] *How to Brew. How to Brew Beer, Wine, Mead, Hard Cider, and Soda at Home*. [online]. 9.5.2015 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.homebrewing.org/How-to-Brew_ep_31-1.html
- [7] CEDRYCH, J. *Řídicí systém varny malého pivovaru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 62 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lukáš Kopečný, Ph.D..
- [8] *LOGO! 0BA4 příručka – 7.vydání*. Brno: Siemens, 2003. 148 s. Dostupné z: http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/automatizacni_systemy/mikrosystemy/logo/zakladni_pristroje/manual_logo_0ba4_2003_cz.pdf
- [9] *Siemens LOGO! installing and connecting: A5E01248726-05*. Siemens, 2009. 2 s. Dostupné z: http://www.elektromotory.cz/public/data/documentation/logo_expansions_modul_product_information.pdf
- [10] *Velko-kapacitní vařič MEGA ZEUS. MEVA – TRADE*. [online]. 10.5.2015 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.mevatrade.cz/mevatrade/eshop/3-1-varice/0/5/81-Velko-kapacitni-varic-MEGA-ZEUS>

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AC	Alternating current (střídavý proud)
ALE	druh svrchně kvašeného piva z ječného sladu
APA	American Pale Ale (typ piva druhu ALE)
ATX	Advanced Technology Extended (typ napájecího zdroje stolního počítače)
DC	Direct current (stejnoseměrný proud)
IPA	Indian Pale Ale (typ piva ALE)
PLC	Programmable Logic Controller (programovatelný logický automat)

9. PŘÍLOHY

Příloha A: schéma zapojení



Příloha B: přiložené CD obsahující:

- řízení domácího mikropivovaru.lsc (řídící program ve formátu spustitelném použitým PLC)
- řízení domácího mikropivovaru.pdf(řídící program zobrazitelný ve formátu pdf)

Příloha C: snímek celého mikropivovaru:

