

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A  
INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Kryštof Vaníček

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Automatizace mini pivovaru  
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Kryštof Vaníček**  
Osobní číslo: **I16282**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**  
Název tématu: **Automatizace mini pivovaru**  
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Automatizace minipivovaru Při domácí výrobě piva bývá největším problémem dodržení teplotních profilů jednotlivých fází výroby piva, a to jak z hlediska přesnosti, tak definované rychlosti změny teploty. Bakalářská práce se bude zabývat řízením teplotních profilů potřebných pro vaření piva v malých množstvích. Teoretická část práce bude obsahovat stručný rozbor problematiky vaření piva s ohledem na vytvoření požadavků na regulaci. Práce bude obsahovat výběr topných elementů (odhad minimálního výkonu) s ohledem na množství jedné vsádky a možnosti dodržení nejrychlejšího ohřevu. Bude vybrána vhodná metoda regulace silové části a navržen regulátor s předprogramovanými profily jednotlivých fází výroby, bude provedena optimalizace konstant regulátoru a práce bude obsahovat záznam a vyhodnocení regulace.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: popis procesoru a instrukční soubor. Praha: BEN technická literatura, 2003. 336 s. ISBN 978-80-7300-083-0.
- [2] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C. Praha: BEN technická literatura, 2003. 216 s. ISBN 978-80-7300-102-0.
- [3] VLACH, J. Řízení a vizualizace technologických procesů. Praha: BEN technická literatura, 2002. 160 s. ISBN 978-80-86056-66-X.
- [4] BRTNÍK, B. Základní elektronické obvody. Praha: BEN technická literatura, 2011. 156s. ISBN 978-80-7300-408-8
- [5] RIPKA, P.; TIPEK, A. Master Book of Sensors. Praha : BEN, 2003. ISBN 0-12-752184

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Pavel Rozsival**

Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce:

**15. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**10. května 2019**



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.  
děkan

Ing. Jan Pidišník, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. listopadu 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 18. 12. 2019

Kryštof Vaníček

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Pavlu Rozsívalovi za jeho pomoc a rady při konstrukci práce.

## **ANOTACE**

Bakalářská práce se zabývá návrhem, stavbou domácího pivovaru a automatizací procesu výroby piva. Teoretická část se zabývá rozbořem surovin a technologických procesů vaření piva, jejichž pochopení je důležité pro stavbu pivovaru a zautomatizování výroby. V praktické části je rozebrán návrh a konstrukce pivovaru včetně řídicí jednotky, jejímž základem je mikrokontrolér Arduino.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Minipivovar, automatizace, regulace, topné těleso, Arduino

## **TITLE**

Mini brewery control

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis deals with constructing of home brewery and automation process of beer production. Theoretical part focused on of ingredients analysis and technological processes. These two main aspects are crucial for construction of the brewery and deskillling the production. In the practical part the design and the construction of the brewery and the control unit are described. Whole automation program is based on the Arduino microcontroller.

## **KEYWORDS**

Minibrewery, automation, regulation, heating element, Arduino

## OBSAH

PODĚKOVÁNÍ .....	6
ANOTACE .....	7
KLÍČOVÁ SLOVA .....	7
TITLE .....	7
ANNOTATION .....	7
KEYWORDS .....	7
OBSAH .....	8
SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK .....	10
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK .....	11
TERMINOLOGIE .....	12
ÚVOD .....	13
1. Základní pojmy a technologie výroby piva .....	14
1.1. Historie piva .....	14
1.2. Suroviny pro výrobu piva .....	14
1.2.1 Voda .....	14
1.2.2 Slad .....	15
1.2.3 Chmel .....	15
1.2.4 Kvasinky .....	16
1.3 Postup výroby piva .....	16
1.3.1 Šrotování sladu .....	16
1.3.2 Rmutování .....	16
1.3.2.1 Dekokční rmutování .....	17
1.3.2.2 Infuzní rmutování .....	18
1.3.3 Scezování a vyslazování .....	19
1.3.4 Chmelovar .....	20
1.3.5 Chlazení mladiny .....	21
1.3.6 Kvašení .....	21
1.3.7 Stáčení a ležení .....	21
1.4 Měření teploty .....	22
1.4.1. Odporová teplotní čidla .....	22
1.4.2 Polovodičové senzory - termistory .....	22
1.5 Regulátory .....	23
1.5.1 Spojité regulátory .....	24
1.5.2 Nespojité regulátory .....	24



2. Vlastní řešení .....	26
2.1 Varná nádoba .....	26
2.2 Technologie ohřevu .....	27
2.3 Míchadlo .....	29
2.4 Hardware.....	30
2.4.1 Arduino Mega 2560 .....	31
2.4.2 Spínaný zdroj .....	32
2.4.3 SSR relé .....	32
2.4.4 Teplotní čidlo .....	32
2.4.5 Displej a klávesnice .....	33
2.4.6 Konstrukční krabička řídicí jednotky .....	33
2.5 Software .....	34
2.5.1 Práce s teplotním čidlem DS18B20 .....	34
2.5.2 Práce s TFT displejem .....	35
2.5.3 Práce s klávesnicí.....	37
2.5.4 Vývojový diagram a struktura programu.....	39
ZÁVĚR .....	43
PŘÍLOHA A – Graf vícekrokové infuze .....	46

## SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: Schéma třířmutového dekokčního postupu [2] .....	18
Obrázek 2: Schéma víceřmutového infuzního postupu .....	19
Obrázek 3: Manifold [4] .....	20
Obrázek 4: Závislost výtěžnosti hořkých látek, aroma a chuti na době povaření [5].....	20
Obrázek 5: Závislost odporu teplotních senzorů na teplotě [6].....	23
Obrázek 6: Regulační obvod [7] .....	23
Obrázek 7: Odezva PID regulátoru na jednotkový skok [9].....	24
Obrázek 8: Regulace dvoustavovým nespojitým regulátorem .....	25
Obrázek 9: Nerezový hrnec 33 l [10].....	26
Obrázek 10: Topná deska složená z tištěných topných těles .....	28
Obrázek 11: Kompletní ukázka varny .....	29
Obrázek 12: Míchadlo .....	30
Obrázek 13: Vnitřní uspořádání řídicí jednotky .....	30
Obrázek 14: Blokové schéma řídicí jednotky .....	31
Obrázek 15: Arduino Mega 2560 [12].....	32
Obrázek 16: Přední a zadní panel řídicí jednotky .....	34
Obrázek 17: Získání teploty z čidla [16] .....	35
Obrázek 18: Uložení teploty do proměnné [16] .....	35
Obrázek 19: Ukázka změny orientace obrazu v ovladači řadiče .....	35
Obrázek 20: Inicializace LCD .....	36
Obrázek 21: Nastavení LCD.....	36
Obrázek 22: Nastavení používaných fontů .....	37
Obrázek 23: Nastavení úvodní obrazovky s vypsáním textu.....	37
Obrázek 24: Vykreslení dvojtečky jako dvou nad sebou položených kružnic .....	37
Obrázek 25: Vytvoření proměnných s počty řádků a sloupců [19] .....	37
Obrázek 26: Vytvoření pole kláves a připojení klávesnice k Arduino [19] .....	38
Obrázek 27: Vytvoření instance a zahájení komunikace po sériové lince [19].....	38
Obrázek 28: Příklad stisknutí klávesy v programu .....	38
Obrázek 29: Část vývojového diagramu programu .....	39
Obrázek 30: Ukázka provedení hystereze při řmutování s grafickým výpisem na displej.....	40
Obrázek 31: Výpis informací na displej v průběhu procesů řmutování a chmelovaru.....	42
Tabulka 1: Obvyklé účinnosti běžných způsobů ohřevu [2] .....	27
Tabulka 2: Uspořádání pinů displeje [17].....	36

## **SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK**

NTC – Negative temperature coefficient

PTC – Positive temperature coefficient

PID – Proporciálně integračně derivační

PD – Proporciálně derivační

PI – Proporciálně integrační

SSR – Solid state relay

AC – Alternating current

DC – Direct current

IDE – Integrated development environment

USB – Universal serial bus

LCD – Liquid crystal display

TFT – Thin film transistor

SD – Secure digital

RS – Register select

WR – Write signal

CS – Chip select

RST – Reset

## **TERMINOLOGIE**

Rmutování – proces přeměny škrobu na jednoduché cukry

Dílo – směs vody a našrotovaného sladu, někdy se uvádí i jako rmut

Amyláza – štěpící enzym pracující při rmutování

Luštění sladu – proces vnitřní přeměny obilného zrna

Sladina – scezená tekutina vzniklá po rmutování

Chmelovar – proces vaření chmelu za účelem předání hořkých a aromatických látek sladince

Mladina – tekutina vzniklá po chmelovaru

Mikrokontrolér – jednočipový počítač

## ÚVOD

V současné době prožívá pivovarnictví velký rozmach a dostává se do podvědomí i lidem, kteří se o tuto tematiku příliš nezajímali. Je to dáno zejména rozšířením nabídky piv na našem trhu o donedávna neznámé pivní styly. Všimnout si toho můžeme například v restauracích, kde je rozšířená nabídka běžných piv o speciální piva, vařených v malých pivovarech, nebo v zahraničí. Je to dáno tím, že lidé chtějí poznávat nové chutě.

Na toto zareagovali podnikatelé výstavbou nových minipivovarů, které mají možnost, vedle běžné produkce, experimentovat na malých várkách s novými pivními styly. Tento trend je tak populární, že v České republice vzniklo bezmála 400 minipivovarů a to zejména v posledních 15 letech. S oblibou poznávat a ochutnávat nová piva souvisí i záliba v homebrewingu, což je domácí vaření piva, které se rozšířilo spolu se vznikem minipivovarů.

Tato práce pojednává o stavbě domácího minipivovaru a využití automatizace k výrobě piva. V první kapitole jsme seznámeni se surovinami a podrobným postupem výroby piva, který je důležitý k pochopení problematiky při automatizaci těchto procesů. Dále jsou popsány způsoby měření teploty a možnosti její regulace. Ve druhé kapitole se zabývám návrhem a konstrukcí domácího pivovaru a řídicího obvodu, který obsluhuje procesy vaření podle zadaných parametrů uživatelem.

# 1. Základní pojmy a technologie výroby piva

## 1.1. Historie piva

Pivo je jedním z nejstarších nápojů. Jeho objev je připisován Sumerům a má souvislost s objevem zemědělství a tím i pěstování obilí. Jak bylo objeveno, není přesně známo, ale lze předpokládat, že se jednalo o náhodu, kdy se k obilí, skladovaném nádobách, dostala voda a teplé podnebí v Mezopotámii spolu se všudypřítomnými kvasinkami se postaral o zbytek. Avšak s pivem, tak jak ho známe dnes, nemá mnoho společného. Chmel se tenkrát ještě nevyužíval. Ve středověku se pro vyrovnání sladké chuti sladu začala používat kombinace bylin, což dalo za vznik pivnímu stylu gruit. Později se však čím dál více začal používat chmel, který je dnes neodmyslitelnou součástí piva. Důležitý milník v historii piva je rok 1516, kdy byl vydán německý zákon o čistotě piva, který uznával jako jediné přístupné ingredience vodu, slad a chmel. Kvasinky tenkrát ještě neznali, pivo tak kvasilo spontánně kvasinkami ze vzduchu. To se změnilo roku 1876, kdy Louis Pasteur potvrdil, že za kvašení piva jsou odpovědné mikroorganismy. Od té doby prodělalo pivovarství velký posun kupředu. [1] [2]

## 1.2. Suroviny pro výrobu piva

V současné době, kdy roste obliba malých pivovarů, se na trhu objevují i piva, která jsme neměli možnost dříve ochutnat. Je to dáno zejména tím, že malé pivovary se nebojí experimentovat a zkoušet pro pivo neobvyklé ingredience. Pro zajímavost mohu uvést různé druhy ovoce, chilli papričky, kávové bobule, ibiškový květ nebo nejrůznější druhy koření. Dalo by se říci, že fantazii se meze nekladou. Ovšem tyto suroviny jsou většinou okrajovou záležitostí a pro nastínění výroby piva si vystačíme se základními surovinami. Mezi základní suroviny pro výrobu piva řadíme vodu, slad, chmel a kvasinky.

### 1.2.1 Voda

Voda je surovinou, která se zdá být nejjednodušší, avšak pivo obsahuje až 90% vody, proto není radno podcenit její důležitost. Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují parametry vody. Jedním z nejdůležitějších je tvrdost vody. Nelze jednoznačně říci, jaká voda je pro vaření piva ideální. Záleží, jaký pivní styl zrovna budeme vařit. Pro české ležáky je typická vyvážená měkká pilsenská voda, zatímco v Anglii ve městě Burton je používána pro anglické světlé ejly velmi tvrdá voda, která naopak podtrhuje hořkou chuť piva. Mnoho pivovarů má svůj zdroj pitné vody, obvykle je používána spodní voda z artézských studní. Složení této vody má vliv na charakteristickou chuť piva. Tvrdost této vody se upravuje pouze v případě, že velký pivovar vaří pivo v různých závodech a snaží se upravit vodu tak, aby byla stejná nezávisle na místě

vaření. Pro vaření piva je vhodná i voda z domovního řádu, která splňuje zákonné požadavky pro pitnou vodu a je zbavena chloru, případně jiných nežádoucích pachutí či zápachů. [1][2]

### 1.2.2 Slad

Další důležitou surovinou je slad. Je to ingredience, která propůjčuje pivu barvu, jeho tělo i chuť. Množstvím použitého sladu určujeme stupňovitost piva. Slad se vyrábí nejčastěji z ječmene, méně často z pšenice nebo žita. Výroba probíhá ve sladovnách, kde se obilná zrna namočí ve vodě, čímž se odstartuje proces klíčení. Takto připravená zrna se rozprostou přibližně do 10-15 cm vysoké vrstvy a tato vrstva je převracena po dobu asi 4-6 dní, během které dojde k naklíčení zrn, jež jsou poté usušena a zbavena klíčků. Ječné sladové zrno se skládá z pluchy, neboli slupky, z klíčku a z endospermu, který tvoří většinu obsahu obilky a je složen zejména ze škrobu a cukrů. Existuje velké množství sladů, avšak mezi ty základní řadíme světlé slady plzeňského typu a tmavé slady mnichovského typu. Tyto slady mohou být v receptu doplněny o menší množství dalších speciálních nebo pražených sladů, které umožní upravit například barvu, kyselost, aroma nebo chuť. [1][2]

### 1.2.3 Chmel

Ačkoli se chmelu, v porovnání se sladkem, použije při vaření piva jen nepatrný zlomek, je i přesto nedílnou součástí piva. Dodává mu hořkost a aroma. Chmel otáčivý je rostlina dorůstající výšky 7 až 8 m, přičemž je tato každý rok zakracovaná u země. Produktem rostliny jsou chmelové hlávky, které se uplatní v pivovarnictví. Pivovarsky důležité látky jsou chmelové pryskyřice, silice a polyfenoly. Chmelové pryskyřice mají v hlávce až 30% zastoupení. Obsahují velmi důležité  $\alpha$  a  $\beta$ -hořké acidy. Tyto kyseliny, jak již název napovídá, jsou zodpovědné za hořkost a částečně působí i jako antioxidanty. Chmelové silice jsou v šišťici zastoupeny v menším množství než pryskyřice a obsahují pestrou škálu vonných látek. Každá odrůda chmele je charakteristická svým aroma. Proto se některé vhodné odrůdy používají jako aromatické, přidávané na konci chmelovaru a jiné odrůdy se naopak přidávají na začátku kvůli dodání hořkých látek. Polyfenoly pak slouží jako přírodní antioxidanty. Existuje nepřehledné množství odrůd chmele a neustále přibývají nové. Pro příklad uvedu nejrozšířenější českou odrůdou chmele Žatecký poloraný červeňák, vyhlášenou i ve světě pro svoji jemnost a příjemné chmelové aroma. Nejběžněji se chmel dá sehnat ve formě rozemletých šištic na prášek nebo lisovaných pelet z tohoto prášku. Dále se můžeme setkat s chmelem čerstvým hlávkovým, nebo lisovaným, který má tu výhodu, že je skladnější.

#### **1.2.4 Kvasinky**

Poslední, velmi důležitou ingrediencí jsou kvasinky. Přidávají se do mladiny, tekutiny, která obsahuje sladové i chmelové látky. Jsou zodpovědné za přeměnu cukrů získaných ze sladu při rmutování na alkohol a oxid uhličitý. Pro kvalitu výsledného piva jsou stěžejní, protože volbou nevhodných kvasinek, nebo špatnou teplotou kvašení můžeme celé pivo znehodnotit. Že je kvašení piva způsobeno činností mikroorganismů, tedy kvasinek, zjistil a publikoval v roce 1876 Louis Pasteur ve své knize „Studie o pivě“. Pivovarské kvasinky rozlišujeme na kvasinky spodního kvašení a svrchního kvašení. Prvně jmenované se používají pro výrobu ležáků. Jejich optimální pracovní teplota je 7-15°C. Svrchní kvasinky jsou obvykle používány při 15-25°C, ale každý kmen kvasinek má své doporučené teploty. Při vyšších teplotách tyto kvasinky tvoří také více aromatických látek. Díky tomu jsou svrchně kvašená piva cítit například po ovoci nebo koření i přesto, že se do piva žádné nepřidává. Kvasinky lze zakoupit jak tekuté, tak sušené, které je potřeba před použitím vhodným způsobem rehydratovat. [2][3]

### **1.3 Postup výroby piva**

Po seznámení se se základními surovinami přichází shrnutí procesu, při kterém vznikne samotné pivo.

#### **1.3.1 Šrotování sladu**

Jako první v procesu vaření piva je potřeba provést šrotování sladu. Sladové obilky je potřeba šrotováním narušit a rozdrobit, abychom získali ze sladu co největší množství cukerného extraktu. Jak již bylo zmíněno v kapitole o sladu, zrno se skládá z endospermu a klíčku, které jsou zabaleny do pluchy, jež zrno chrání. Pluchy najdeme pouze u ječného sladu, který je zároveň pro vaření piva nejpoužívanější. Pšenice ani žito tyto slupky nemají. Je důležité, aby byl slad našrotován takovým způsobem, při kterém dojde k oddělení endospermu od pluch z důvodu uvolňování nežádoucích látek do díla, jež v odděleném stavu nejsou tolik patrné. Zároveň je potřeba pluchy příliš nepoškodit, protože hrají významnou roli při procesu scezování, kde fungují jako přírodní filtr. Pro šrotování je vhodné použít válcový šrotovník, který endosperm dostatečně rozdrťí, ale pluchy zůstanou celé. [2]

#### **1.3.2 Rmutování**

Rmutování je velmi důležitý složitý proces, který ovlivňuje jednak chuť piva, ale zejména zda se pivo vůbec povede uvařit podle představ. Jednoduše by se dalo říci, že cílem rmutování je rozložit škrob obsažený ve sladovém šrotu na jednodušší zkvasitelné cukry. To se provádí tak, že dílo zahříváme na určité teploty, při kterých probíhají štěpící procesy, a na těchto teplotách



zařazujeme časové prodlevy pro práci enzymů. Ohřev díla by neměl být rychlejší než 1,5°C, ideálně do 1°C za minutu z důvodu nenávratného zničení enzymů.

Důležité časové prodlevy se zařazují zejména na nižší cukrotvorné teplotě (60-65°C), kde se uplatňuje  $\beta$ -amyláza, která štěpí polysacharidy škrobu na jednoduchý cukr maltózu. Čím déle bude trvat prodleva, tím více získáme zkvasitelných cukrů, pivo bude po zkvašení sušší a bude obsahovat více alkoholu. Zvýšením teploty nad dříve uvedenou dojde k deaktivaci tohoto enzymu.

Další prodleva se zařazuje na vyšší cukrotvorné teplotě (70-75°C), která je optimální pro práci  $\alpha$ -amylázy, která štěpí oligosacharidy na maltózu a glukózu. Časová prodleva zde trvá, dokud nedojde k úplné přeměně na cukry, o čemž se můžeme přesvědčit takzvanou jodovou zkouškou. Ta spočívá v odebrání vzorku tekuté části díla a přidáním kapky roztoku jodu. Jod se snad váže na škrob a vytváří přitom sytě fialovou barvu. Pokud by v díle zbýval stále nerozštěpený škrob, smíchaná tekutina bude fialová a je třeba zařadit delší prodlevu, dokud se barva odebraného vzorku po přidání jodu nemění.

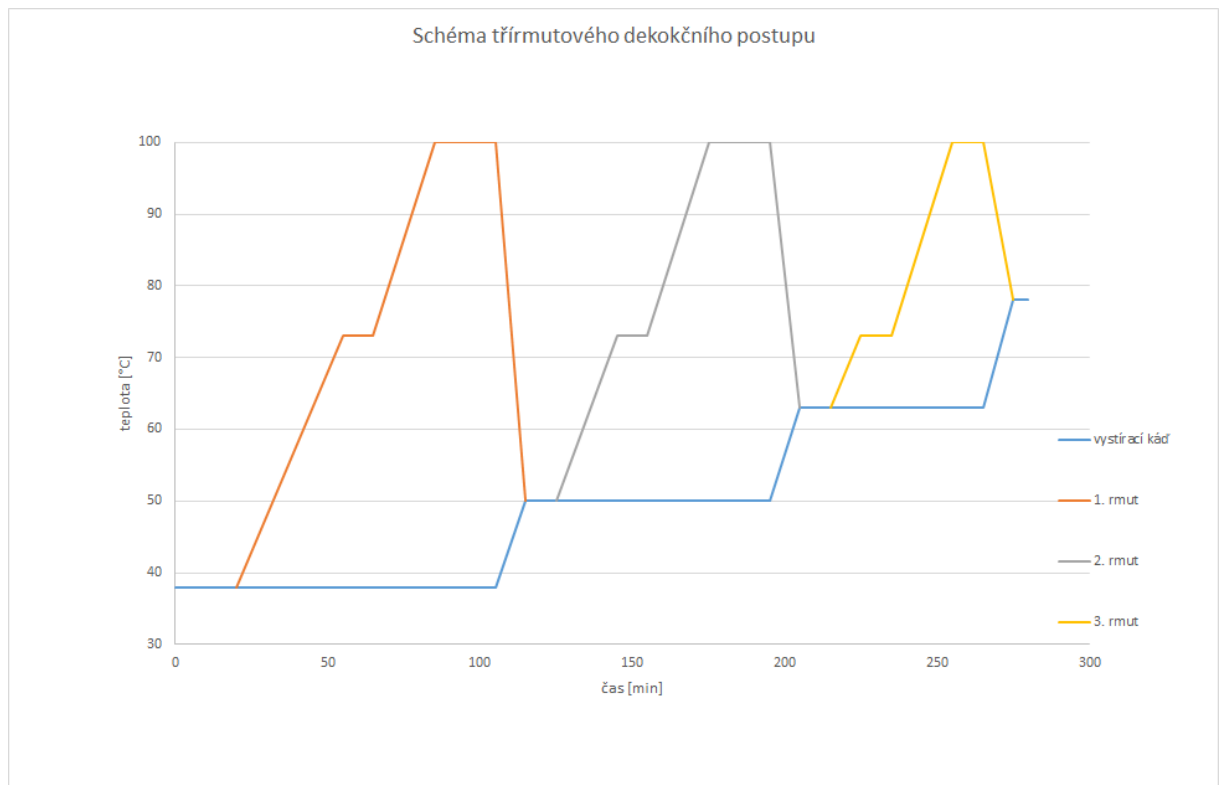
Pro deaktivaci všech enzymů se na závěr zařazuje odmrutovací teplota (76-80 °C), na které se provádí prodleva do 10 minut.

Další důležité teploty jsou kyselinotvorná (35-38 °C) a peptonizační (45-50 °C). Časové prodlevy se zde obvykle vynechávají, nebo jsou krátké. Doporučují se použít zejména pro méně rozluštěné slady.

Existují dva způsoby rmutování. První z nich se nazývá dekokční rmutování, který je typický zejména pro spodně kvašená piva, jako je český ležák. Druhý způsob je infuzní rmutování, charakteristické pro svrchně kvašená piva jako ejly, stouty a další styly. [2]

### **1.3.2.1 Dekokční rmutování**

Dekokční rmutování spočívá v odebrání části díla ve vystírací kádě do nádoby zvané rmutovací pánev, postupném zahřívání s časovými prodlevami a nakonec vrácení do vystírací kádě. Tímto docílíme zvýšení teploty díla na očekávanou teplotu. Podle toho, kolikrát tento způsob zopakujeme, říkáme, na kolik rmutů bylo pivo vařeno. Nejstarší známý je pravděpodobně třírmutový postup, který se v dnešní době používá málo z důvodu časové a energetické náročnosti. Nejběžněji používaný je postup dvourmutový, někdy se používá i jednormutový, který je kombinací infuzního a dekokčního rmutování. [2]

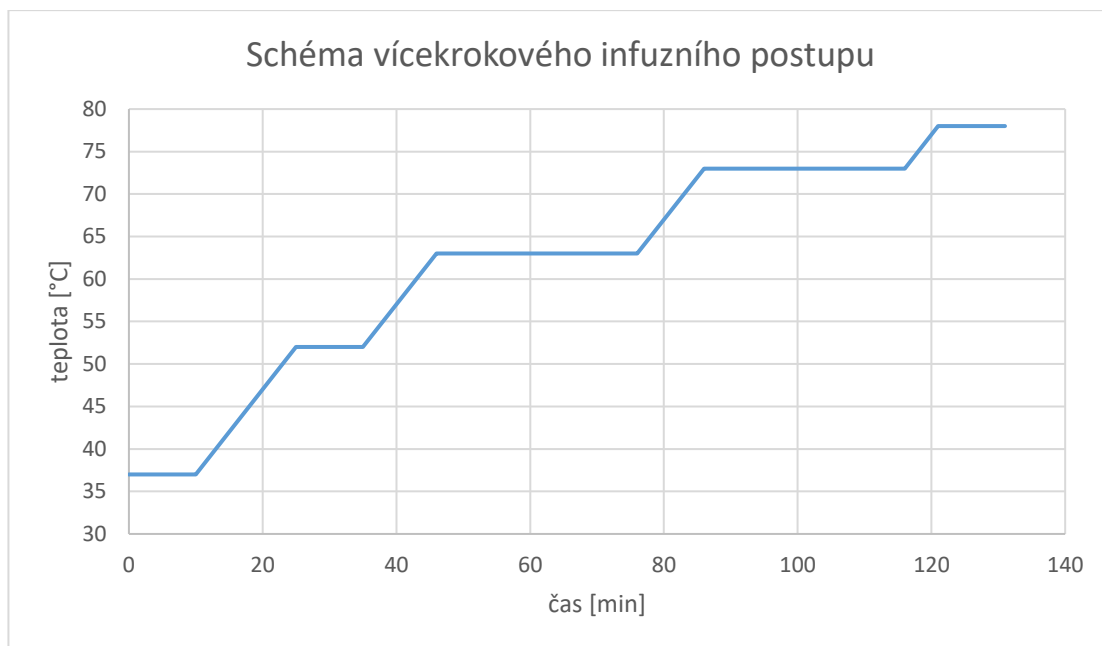


Obrázek 1: Schéma třířmutového dekokčního postupu [2]

Na obrázku 1 je demonstrováno třířmutové dekokční schéma. Dvourřmutové schéma by probíhalo podobně s tím rozdílem, že by po vystírce na 38°C bylo dílo zahřáto na 50°C a až poté byl proveden první a druhý řmut. Analogicky by probíhalo i jednorřmutové schéma.

### 1.3.2.2 Infuzní řmutování

Infuzní řmutování probíhá v jedné nádobě a začíná vystírkou, což je smíchání sladu s vodou o teplotě přibližně 37°C. Následně je dílo ohřáto na teplotu přibližně 50°C buď postupně ohřevem, nebo přidáním podílu horké vody, čemuž se říká zapárka. Teplotní prodleva je zde krátká, nebo se vynechává úplně. Následně se dílo zahřívá na teplotu nižší cukrotvorné teploty s prodlevou kolem 30 minut. Poté dílo zahřejeme na vyšší cukrotvornou teplotu, kde bude také zařazena prodleva. Nakonec se provede odřmutování a proces je tímto hotový. Takto je popsána víceřmutová infuze. Dá se však udělat i infuze jednokroková, která využívá teplot, při kterých pracuje zároveň  $\alpha$  i  $\beta$ -amyláza. Provede se pouze rozmíchání sladu v horké vodě o teplotě kolem 67°C a dílo se nechá alespoň hodinu stát. [2]



Obrázek 2: Schéma víceetapového infuzního postupu

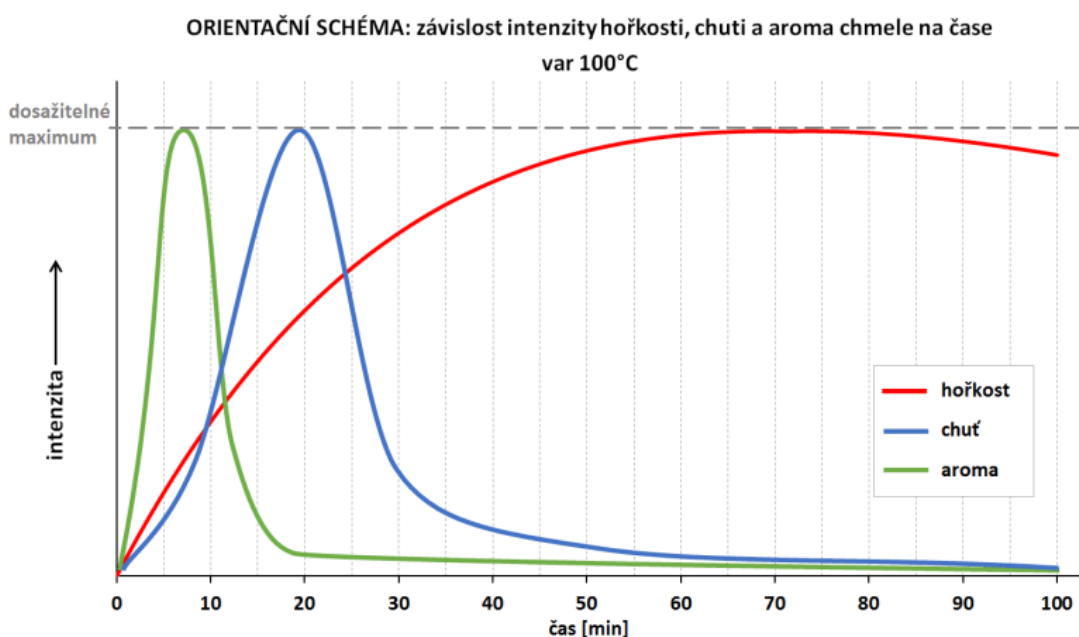
### 1.3.3 Scezování a vyslazování

Po dokončení rmutování je potřeba oddělit vzniklou tekutinu – dílo, od zbytků sladového šrotu, kterým říkáme mláto. Existuje několik způsobů jak toho docílit. Jeden z nich je přečerpání obsahu do nádoby s falešným dnem, které má charakter síta, jehož díry jsou velké tak aby jimi mohla protéci tekutina, ale zároveň aby jimi neprošlo mláto. V prostoru mezi falešným dnem a pravým dnem se do stěny nádoby osadí výpustní kohout, kterým se vypouští přefiltrovaná tekutina, takzvaný předek. Pro maximální výtěžnost cukrů z mláta se provádí vyslazování, což je přidání podílu horké vody do mláta a scezení zbytku díla. Podle přidaného množství vyslazovací vody lze dosáhnout požadovaného objemu a síly piva. Tekutině scezené po vyslazování se říká výstřelky. Získané tekutině z předku a výstřelků se říká sladina. Další možností jak provést scezování je využití manifoldu, nebo nerezového opletu hadice. Manifold je soustava měděných trubek a tvarovek, které mají zespodu úzké zářezy, které fungují jako filtrační přepážka. Výhoda tohoto řešení je ta, že dílo není potřeba přečerpávat do scezovací nádoby, ale manifold je vložen do nádoby s dílem hned po dovaření. Tekutina je poté odvedena trubicí bez zářezů přes hranu hrnce do jiné nádoby, která se bude nacházet níže, přičemž se zde využívá hladin a sladina tak teče samovolně.



Obrázek 3: Manifold [4]

### 1.3.4 Chmelovar



Obrázek 4: Závislost výtěžnosti hořkých látek, aroma a chuti na době povaření [5]

Zjednodušeně se dá o chmelovaru říci, že je to povaření chmele se sladinou za účelem získání hořkých a aromatických látek. Výsledný produkt se nazývá mladina. Chmelovar běžně probíhá po dobu 60-90 minut. Je to jednak z důvodu maximální výtěžnosti hořkých látek z chmele a za druhé při chmelovaru dochází k odparu tekutiny a zároveň vytěkají nežádoucí látky. Doba rozkladu těchto látek je závislá na použitém sladě, u běžně používaných sladů se pohybuje od 45 do 90 minut. Jak je z grafu patrné, na začátku chmelovaru se chmelí zejména na hořkost, na

aroma a chuť se provádí chmelení ke konci chmelovaru. Často se pro chmelení používá více druhů chmele, protože některý je vhodný pro svoji hořkost, jiný zase pro typické aroma. [2]

### **1.3.5 Chlazení mladiny**

Po dokončení chmelovaru je třeba vzniklou mladinu schladit. Mladina by se měla zchladit co nejdříve z důvodu vznikajících nežádoucích látek za vyšších teplot, které vznikají i při chmelovaru, ale na rozdíl od varu se za nižších teplot tak snadno neodpaří. Chladit se dá několika způsoby. Pro malé várky je dostačující chladicí spirála z mědi nebo nerezů ponořená do mladiny. Uvnitř spirály proudí chladicí médium, nejčastěji studená voda z vodovodního řádu. Pivovary používají pro chlazení větších várek deskové chladiče z důvodu větší efektivity. Součástí chlazení je i takzvaná vířivá kád', kdy je potřeba oddělit chmelové mláto od mladiny. Docílí se toho vytvořením víru v nádobě s mladinou buď míchadlem, vařečkou nebo čerpadlem poháněnou mladinou. Vířivá kád' se provádí buď ještě před chlazením, nebo až po zchlazení. Vytvořením víru se chmelové mláto a jiné kaly usadí uprostřed nádoby a čistá mladina se poté přečerpá do kvasné nádoby. [2]

### **1.3.6 Kvašení**

V další fázi výroby piva jsou do mladiny přidány kvasinky. Předtím je však třeba mladinu schladit na zákvasnou teplotu a dostatečně provzdušnit a vytvořit tak pro kvasinky ideální prostředí. Kvasinky jsou do mladiny přidávány z důvodu přeměny cukru na alkohol a oxid uhličitý. Během kvašení také vznikají různé estery, jenž ovlivňují vůni a chuť a pro některé pivní styly jsou žádané, pro jiné naopak nepřipustné. Kvašení probíhá u svrchně kvašených piv obvykle 3-5 dnů, u spodně kvašených piv pak 7-12 dnů. Tyto údaje jsou orientační, záleží na množství použitých kvasnic, na hustotě mladiny a především na teplotě kvašení, která se pro každý kmen pivovarských kvasnic liší. Proces kvašení může probíhat buď v otevřených kvasných kádích, nebo v uzavřených tancích. Uzavřené tanky jsou výhodnější, protože je u nich mnohem menší riziko kontaminace piva, jsou prostorově méně náročné a hodí se do automatizovaných provozů. [2]

### **1.3.7 Stáčení a ležení**

Po vykvašení je třeba vzniklé mladé pivo oddělit od kvasnic a přemístit do nádob, kde dozraje. V pivovarech se používají ležácké tanky, v domácích podmínkách pivní sudy, případně lahve. Pokud se pivo stočí již úplně prokvašené, je třeba provést takzvané sekundární kvašení, za účelem nasycení piva CO<sub>2</sub>. Toho lze docílit buď přidáním cukru, obvykle dextrózy, může se k tomu ale také použít předem uschovaná nezkašená část mladiny. Další možností je využít

nuceného sycení pomocí tlakové lahve s CO<sub>2</sub>, která se připojí na sud s pivem a pod určitým tlakem je provedeno sycení. Po dokončení stáčení, je třeba nechat pivo dozrát. Přesná doba a teplota zrání se odvíjí od pivního stylu. Spodně kvašené české ležáky se nechávají zrát při nižších teplotách než svrchně kvašená piva, avšak o to déle se nechávají ležet. [2]

## **1.4 Měření teploty**

Důležitým úkonem při vaření piva je měření teploty. Využijeme ho při rmutování, chmelovaru i kvašení. V pivovarnictví je třeba měřit teplotu přesně, protože větší odchylka od plánovaných teplot by znamenala při rmutování rychlejší, nebo pomalejší zcukření a při kvašení rozdílné chování kvasinek.

### **1.4.1. Odporová teplotní čidla**

Principem těchto čidel je teplotní závislost odporu kovu na teplotě. Jejich přednostmi jsou téměř lineární závislost odporu na teplotě a široký rozsah měřitelných teplot. Naopak jejich nedostatkem je pomalá reakce na změnu teploty a malý teplotní součinitel. Nejpoužívanějšími odporovými čidly jsou platinová a niklová.

Platinová teplotní čidla vynikají širokým rozsahem teplot a lineární charakteristikou. Z těchto důvodů patří mezi nejpoužívanější. Nejčastěji se můžeme setkat s čidlem Pt100, které má odpor 100Ω při 0°C. Vyrábějí se však i čidla s vyšší hodnotou odporu.

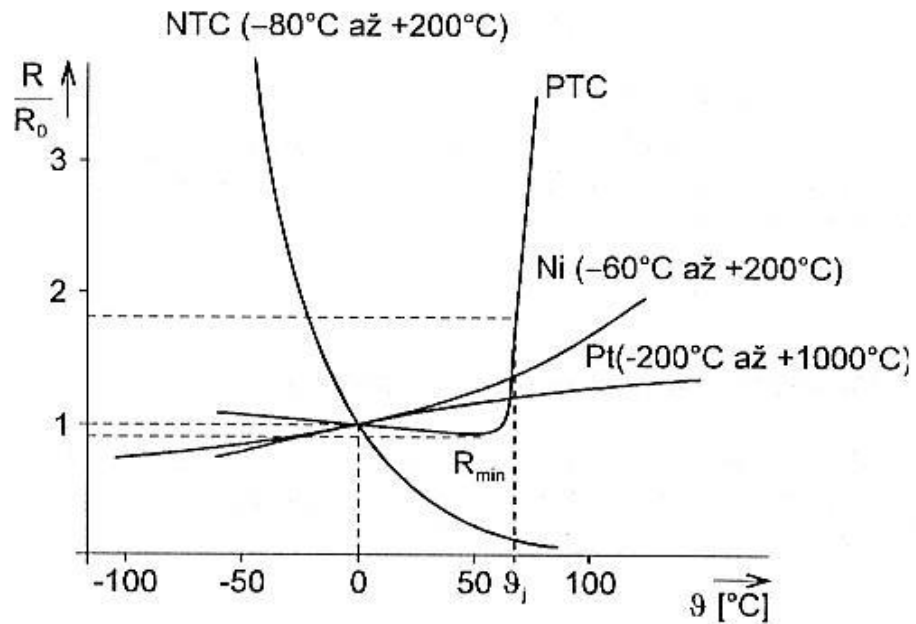
Niklová čidla mají na rozdíl od platinových nižší rozsah měřitelných teplot a jejich charakteristika není lineární. Jejich výhodou je naopak rychlejší odezva a vyšší citlivost. [6]

### **1.4.2 Polovodičové senzory - termistory**

Rozlišujeme senzory typu NTC a PTC.

Termistory NTC mají zápornou teplotní koeficient, tudíž platí, že se stoupající teplotou odpor klesá a proto se také někdy označují jako negastory. Jejich výhodou spočívá v rychlé odezvě a velké citlivosti, tudíž jsou vhodné na měření malých změn teplot a pro systémy s velkou dynamikou. Naopak nevýhodou je malý teplotní rozsah.

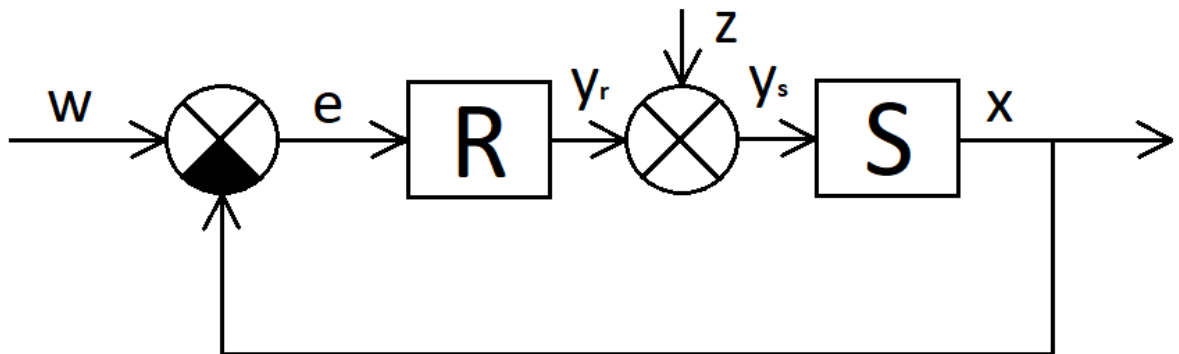
Termistory PTC mají pozitivní teplotní charakteristiku, tudíž s rostoucí teplotou roste i odpor. Kvůli jejich charakteristice se využívají jako vratná tepelná pojistka, kdy při zahřátí na určitou teplotu prudce stoupne odpor, který omezí proud obvodem. [6]



Obrázek 5: Závislost odporu teplotních senzorů na teplotě [6]

## 1.5 Regulátory

Při návrhu automatizace ohřevu díla v pivovaru je potřeba počítat s tím, že je třeba ohřev řídit. Pro řízení nastavené teploty se používají regulátory. Regulátory se dělí na spojité a nespojité. Na následujícím obrázku je vysvětleno, jak regulační obvod funguje.



Obrázek 6: Regulační obvod [7]

- $w$  - představuje řídicí veličinu, pro nás zadanou teplotu
- $x$  - je regulovaná veličina, v našem případě aktuální teplota
- $e$  - regulační odchylka dána vztahem  $e = w - x$
- $R$  - regulátor s akčním členem
- $y_r$  - akční veličina, která určuje, jak moc je třeba ohřát dílo
- $z$  - poruchová veličina, například vliv vnější teploty

- $y_s$  – akční veličina se započtenou poruchovou veličinou
- $S$  – regulovaná soustava, na které se provádí regulace, v našem případě varna

### 1.5.1 Spojité regulátory

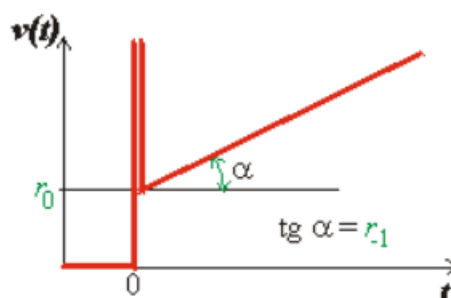
Mezi spojité regulátory patří regulátor PID, který využívá proporcionální, integrační a derivační složku.

Proporcionální složka funguje jako zesilovač. Principem tohoto regulátoru je násobení regulační odchylky. Zpočátku, když je rozdíl řídicí a regulované veličiny velký, je regulační odchylka také velká. S rostoucí teplotou se regulační odchylka zmenšuje, ale nikdy nebude nulová. Z toho vyplývá, že s proporcionálním regulátorem nikdy nedosáhneme požadované hodnoty právě o rozdíl regulační odchylky.

Akční veličina integračního regulátoru je přímo úměrná integrálu regulační odchylky. Pokud je odchylka kladná, akční člen regulátoru roste, pokud je záporná, klesá. Strmost nárůstu, či poklesu je ovlivněna velikostí regulační odchylky. Integrační regulátor umožňuje zcela odstranit regulační odchylku.

Akční veličina derivačního regulátoru je přímo úměrná derivaci regulační odchylky. Derivační regulátor se nedá použít samostatně, používá se pouze ve složených regulátorech typu PD nebo PID. Kromě nich lze také realizovat složený regulátor PI.

U PID regulátoru zpočátku převládá vliv derivační složka, postupem času má větší vliv integrační složka. Výhodou PID regulátoru je, že odstraňuje regulační odchylku a je odolný vůči poruchám. [8]



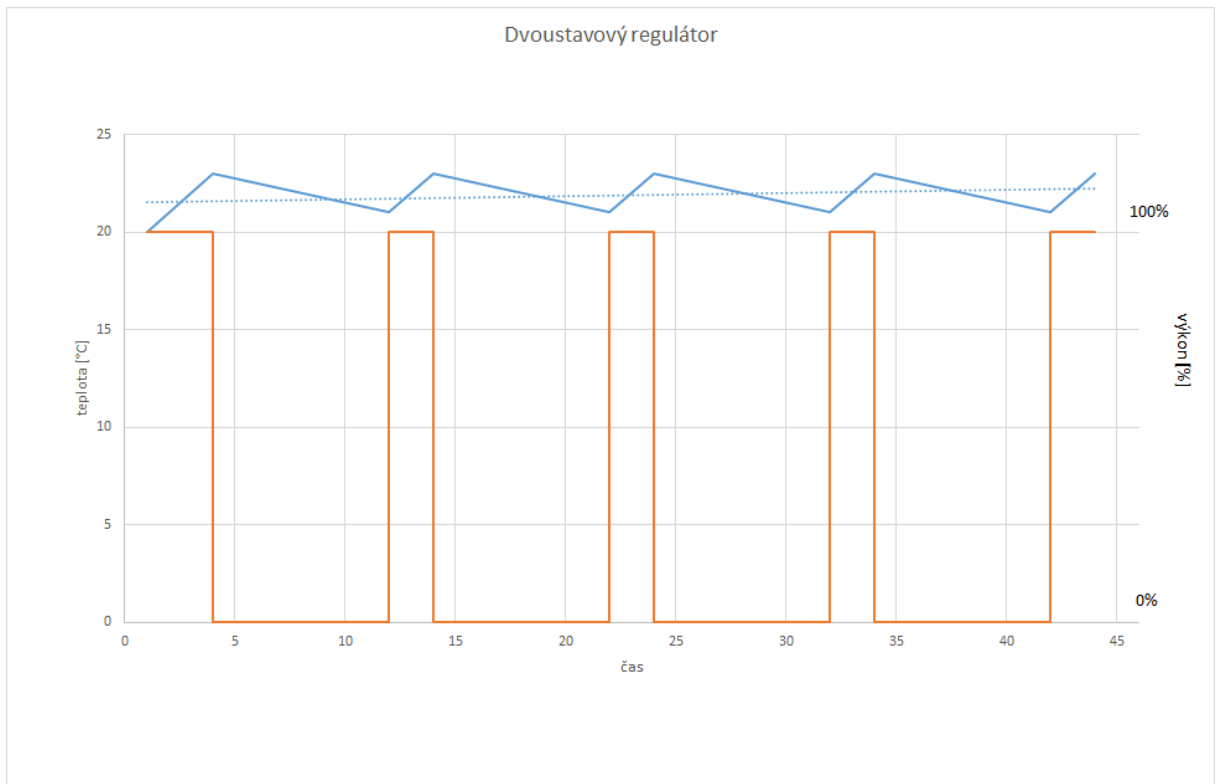
Obrázek 7: Odezva PID regulátoru na jednotkový skok [9]

### 1.5.2 Nespojité regulátory

Nespojitý regulátor zajišťuje neustále kmitání regulované veličiny kolem řídicí veličiny. V praxi si můžeme představit soustavu s elektrickým vytápěním místnosti a v ní umístěným



termostatem, který má zadanou teplotu 22°C. Pokud je teplota menší než 22°C, topení topí na plný výkon až do okamžiku, kdy v místnosti stoupne teplota na požadovanou a v té chvíli se topení vypne. Vlivem setrvačnosti stoupne teplota například na 23°C a dokud neklesne pod 21°C, je topení stále vypnuté a tento děj se následně znova opakuje. Rozmezí, kdy bude docházet k sepnutí a rozepnutí, se nazývá hystereze a je třeba ji vhodně nastavit, aby nedocházelo k příliš častému spínání a rozepínání.



Obrázek 8: Regulace dvoustavovým nespojitým regulátorem

## 2. Vlastní řešení

Aby bylo možné demonstrovat automatizaci varného procesu, je třeba zřídit svůj pivovar. Na začátku je třeba dobře si promyslet, jak velké várky se chystáme vařit, jestli budeme chtít postavit varnu i pro dekokční vaření a jaký typ ohřevu bude použit. Z tohoto důvodu bylo věnováno spoustu času zkoumáním již vyrobených pivovarů a jejich vybavení tak, aby bylo z těchto nápadů sestaveno řešení pro mé potřeby.

### 2.1 Varná nádoba

Ve velkých pivovarech jsou použity 4 hlavní varné nádoby a to vystírací kád', rmutovací pánev, scezovací kád' a mladinová pánev. V domácích podmínkách lze tyto nádoby zredukovat ideálně na 3 pro vaření pro dekokční rmutování a na 2 pro infuzní vaření. Pro tuto práci byla zvolena varna s jednou nádobou, která bude zajišťovat veškerý ohřev a druhá bude pomocná pouze pro potřeby scezování. Z tohoto řešení je patrné, že se bude jednat o varnu pro infuzní vaření, což je to také výhodné z hlediska ceny a úspory místa. Nevýhodou je menší komfort, kdy je potřeba scezenou sladinu přečerpat zpět do vyčištěného varného hrnce, což zabere více času a sladina při neopatrném přečerpávání oxiduje a to je nežádoucí. Jako další přišlo na řadu rozhodování, z jakého materiálu varna bude. Velké pivovary používají buď měděné, nebo nerezové varny. Pro domácí vaření piva ještě připadá v úvahu použití smaltovaných nádob, ale ty nejsou vhodné pro jakoukoliv další úpravu nádoby, jako je vrtání nebo řezání. Ostatní nádoby z pozinkovaného plechu nebo hliníku nejsou pro vaření piva vhodné. Pro varnu byl tedy konkrétně zvolen nerezový hrnec o objemu 33 litrů a rozměrech 350 x 350 mm (výška x průměr). Rozhodujícím faktorem byla především velikost vůči technologii ohřevu, což bude rozebráno níže. Dalšími výhodami jsou skladnost a cena.



Obrázek 9: Nerezový hrnec 33 l [10]

Takto zakoupený hrnec je třeba upravit tak, aby byl vhodný pro potřeby vaření piva. Do stěny hrnce byly vyvrtány 2 díry, do kterých byly osazeny jímky pro teploměry. Počítá se s jedním teploměrem, ke sběru pro řídicí jednotku a jedním bimetalovým sloužícím ke kontrole. Dále byla navrtána díra do stěny blízko dna pro 1/2“ kulový kohout sloužící k výpusti mladiny, po zchlazení a provedení vířivé kádě, do kvasné nádoby. Scezování díla bude prováděno vložením manifoldu, ale lze použít i tento výpustní kohout, za předpokladu, že by byl vložen dovnitř nádoby například nerezový oplet z hadice, který by zajišťoval filtraci, napojený na nerezový T-kus, který by byl spojen s výpustním kohoutem. Toto řešení je ovšem limitováno použitím míchadla, které bude také rozebráno níže.

## 2.2 Technologie ohřevu

Objem nádoby lze ohřívat buď elektricky, nebo plynem. Je potřeba vzít v potaz, že dílo by se nemělo ohřívat rychleji než o 1,5 °C/min aby nedošlo ke zničení štěpících enzymů. Ideální rychlost ohřevu je kolem 1 °C/min. Pokud budeme uvažovat, že v hrnci o objemu 33 litrů budeme ohřívat maximálně 30 litrů, spočítáme si tepelný výkon vztahem:

$$P = 4,2 * m * \frac{\Delta T}{\Delta t} + \text{ztráty [kW]}$$

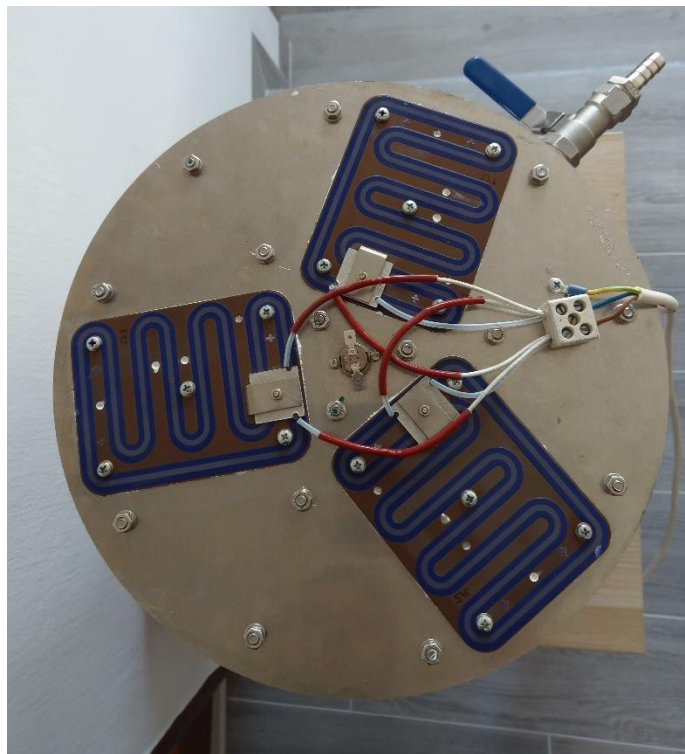
- 4,2 je tepelná kapacita vody [kJ/kg/°C]
- $m$  je hmotnost ohřívání vody v kg
- $\frac{\Delta T}{\Delta t}$  je rychlost ohřevu vyjádřená změnou teploty za čas [°C/s]
- *ztráty* se pohybují u nerezového 30 l hrnce bez izolace od 0,2 do 0,4 kW [2]

Pro rychlost ohřevu 1°C/min a se započítanými průměrnými ztrátami 0,3 kW, je potřeba výkon alespoň 2,4 kW. V níže uvedené tabulce můžeme vidět, jakou mají účinnost typy ohřevů vhodné pro vaření.

Tabulka 1: Obvyklé účinnosti běžných způsobů ohřevu [2]

Typ ohřevu	Účinnost $\eta$
Litinová plotýnka	50-60 %
Sklokeramická deska	60-70 %
Rychlovarná konvice	85-95 %
Topná spirála	90-95 %
Tištěné těleso	70-95 %
Indukční vařič	80-90 %
Plynový hořák/vařič	35-55 %

Důležitým rozhodnutím bylo, zda k ohřevu zvolit plyn, nebo elektřinu. Je třeba si rozmyslet, kde se vaření piva bude odehrávat a jestli máme dostatečně dimenzované a jištěné rozvody elektřiny. U plynu toto není potřeba řešit, běžné plynové hořáky jsou levné a poskytují dostatečný výkon i pro várky větší než 50 litrů. Nevýhoda je však elektronická regulace plynového hořáku spojená s automatizací. I z tohoto důvodu byl zvolen elektrický ohřev. V prostorách, kde bude probíhat vaření, je k dispozici jednofázová zásuvka s jištěním 16 A. Vzhledem k vaření na jedné fázi bylo vyloučeno použití litinových plotýnek a sklokeramické desky, které mají nízkou účinnost. Topná spirála má sice vysokou účinnost, ale je nevhodná pro ponoření do rmutovací nádoby z důvodu přímého kontaktu se sladem a následném připalování. Dobře by se naopak uplatnila u dvouvrstvých nádob, kde by ohřívala médium v prostoru mezi stěnami a tak by nedocházelo k připalování. Indukční vařič byl vyloučen pro nedostatečný výkon dostupných indukčních vařičů. Vzhledem k dobré účinnosti byla zvolena tištěná topná tělesa.



Obrázek 10: Topná deska složená z tištěných topných těles

Tištěná tělesa se však nedají jen tak uchytit na dno nerezového varného hrnce z důvodu špatné vodivosti tepla. Z toho důvodu byl zpracován návrh firmou Backer, která zhotovila desku z tištěných topných těles podle požadavku na výkon. Byly použity 3 paralelně zapojená topná tělesa, každé o výkonu přibližně 900 W, která byla osazena na kruhovou hliníkovou desku o tloušťce 5 mm a průměru 350 mm. Vznikla tak velká plotna, která bude trvale přišroubovaná

ke dnu hrnce, aby se zvýšila účinnost. Na dno hrnce bylo přivařeno 15 svařovacích šroubů a na styčnou plochu mezi dnem hrnce a plotnou byla nanesena teplovodivá pasta, aby došlo k maximalizaci účinnosti. Pro celý hrnec byl vyroben čtvercový podstavec z ocelových L profilů tak, aby plotna měla oporu na krajích profilu a nebylo možné hrnec položit na topné těleso. Nohy podstavce jsou 300 mm dlouhé. Pokud by byly nohy delší, stával by se hrnec nestabilním, protože má vysoko umístěné těžiště.



Obrázek 11: Kompletní ukázka varny

### 2.3 Míchadlo

Jelikož se slad při rmutování má tendenci připalovat, je třeba s ním míchat. Stát u hrnce s vařečkou po celou dobu rmutování jednak není pohodlné a ani by to nezapadalo to tématu práce, tudíž bylo zkonstruováno automatické míchadlo. Na místo poklice hrnce bylo vyrobeno víko z nerezového plechu o průměru 390 mm, do kterého byl umístěn stejnosměrný motor, používaný pro pohon stěračů u automobilů. Víko je v 1/3 průměru rozříznuto a znovu spojeno nerezovými panty a madlem tak, aby bylo možné v průběhu rmutování provádět vizuální kontrolu. Zároveň je na každé straně víko zajištěno uzávěrem na bedny, aby nemohlo dojít k pohybu víka během míchání. Skrz víko je ve středu vyvedená hřídel motoru se závitem, na kterou je našroubována nerezová hřídel končící 5mm od dna. Posledních 50 mm je v hřídeli skrz vyříznuta drážka, do které přijde zasadit lopatka míchadla. Lopatka je vyrobena

z nerezového plechu o délce 280 mm. Oproti vnitřnímu průměru hrnce je tak zkrácena, aby nedocházelo při míchání ke kontaktu s uchycením výpustního kohoutu. Výška lopatky je 70 mm, přičemž ve výšce 50 mm je lopatka lehce ohnuta po směru otáčení. V lopatce je také vyvrtáno 8 děr o průměru 16 mm a 8 děr o průměru 12 mm pro snížení odporu.



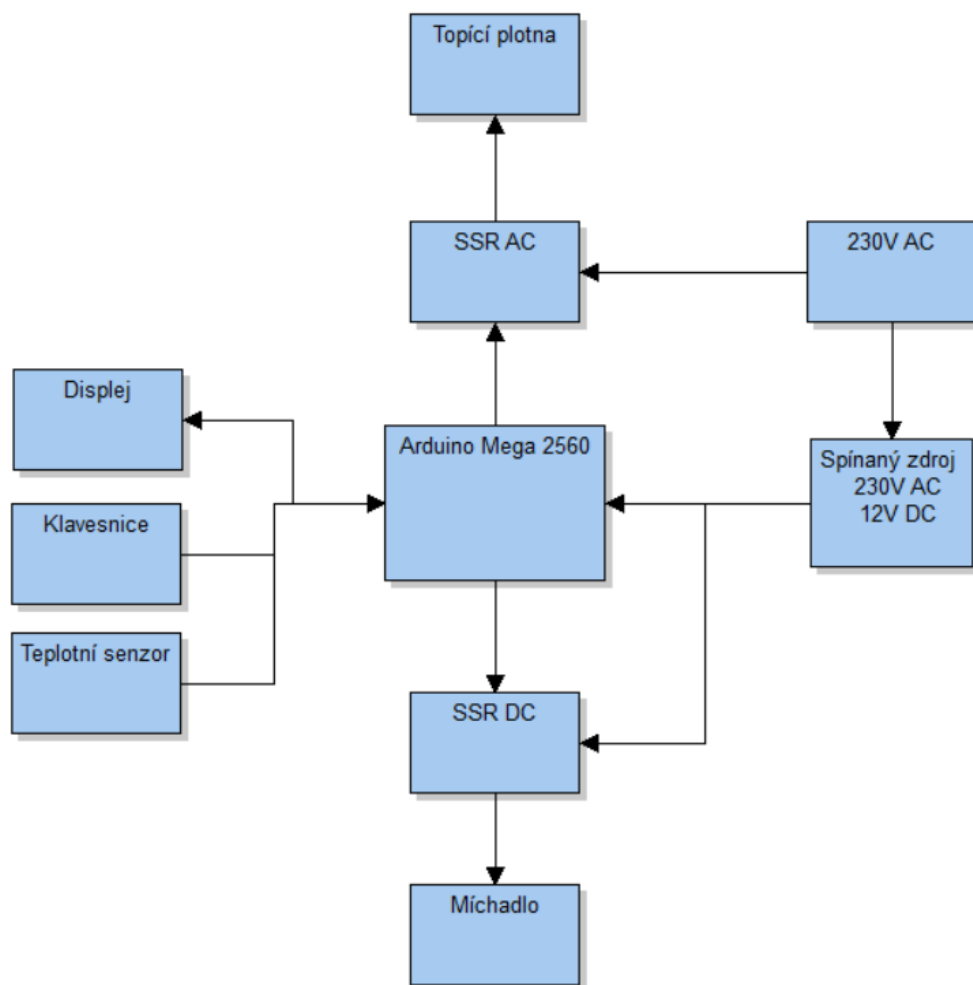
Obrázek 12: Míchadlo

## 2.4 Hardware

Srdcem pivovaru je řídicí jednotka, která se stará o průběh rmutování a chmelovaru. Tato jednotka obsahuje mikrokontrolér Arduino, spínaný zdroj, 2x SSR relé pro stejnosměrné a střídavé napětí a displej s klávesnicí pro ovládání uživatelem. Vše je zakomponováno v plechové konstrukční krabici.



Obrázek 13: Vnitřní uspořádání řídicí jednotky



Obrázek 14: Blokové schéma řídicí jednotky

#### 2.4.1 Arduino Mega 2560

Arduino je otevřená platforma skládající se jednočipového počítače založeného na mikroprocesoru ATmega a vývojovém prostředí Arduino IDE. Arduino bylo pro automatizaci pivovaru vybráno z několika důvodů. Tím hlavním je předchozí zkušenost s touto platformou, nízká cena samotné desky i rozšiřujících desek, takzvaných shieldů, kompaktní rozměry a jednoduché programovací prostředí. Arduino má také výhodu, že existuje velká spousta rozšiřujících knihoven, které usnadňují práci a umožňují rychlé propojení s shieldy k tomu určenými. Pro tuto práci byla zvolena verze Mega 2560. Základem této verze je 8-bitový mikroprocesor ATmega 2560 od firmy Atmel, pracující na frekvenci 16 MHz. Výhodou této desky je 54 digitálních vstupů, či výstupů a 256 kB paměť flash pro uložení programu, což jsou uspokojivé parametry pro tuto práci. Arduino je napájeno buď souosým konektorem v rozsahu napětí 7-12V, nebo přes USB. [11]



Obrázek 15: Arduino Mega 2560 [12]

### 2.4.2 Spínaný zdroj

Pro napájení motoru míchadla a Arduina je použit spínaný zdroj Mean Well RS-100-12 s výstupním napětím 12V a výkonem 100W. Výhodou spínaných zdrojů jsou menší rozměry, tudíž je možné zdroj umístit do konstrukční krabičky spolu s ostatními částmi řídicí jednotky.

### 2.4.3 SSR relé

SSR relé je polovodičový spínací prvek, který nahrazuje klasické elektromagnetické relé například při spínání pulzně šířkovou modulací, kde je vysoký počet sepnutí a rozepnutí a mechanické díly elektromagnetického relé by se rychle opotřebily. SSR relé má 2 vstupní a 2 výstupní kontakty. Vstupní kontakty jsou pro řídicí stejnosměrné napětí z Arduina a výstupní jsou pro spínaný prvek. Polovodičová relé dokáží spínat jak střídavé, tak stejnosměrné obvody. V této práci je použito jedno stejnosměrné pro spínání motoru míchadla a druhé střídavé pro spínání ohřívací plotny. Protože obvodem pro ohřev protéká při zátěži proud přibližně 13A, dochází tak ke vzniku odpadního tepla. Aby se relé nepřehřálo a nezničilo, je umístěno na pasivním hliníkovém chladiči. U stejnosměrného relé nejsou spínány velké výkony, tudíž není třeba chladič použít. [13]

### 2.4.4 Teplotní čidlo

Ke zjištění aktuální teploty uvnitř hrnce slouží digitální teplotní čidlo DS18B20. Senzor má 3 vývody, z nichž dva se starají o napájení a jeden vývod slouží pro komunikaci s Arduinem. Pracuje na principu NTC a dokáže měřit teplotu od  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$  s přesností  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  což je pro potřeby této práce zcela dostačující. Výhodou je také rychlá odezva na teplotu. Při výběru bylo přihlédnuto i předchozí dobré zkušenosti s tímto typem. Čidlo je zavedeno do teplotní jímky umístěné v plášti hrnce a s řídicí jednotkou je spojeno 2 metry dlouhým kabelem s konektorem na konci kvůli snadné demontáži. Mezi kladný napájecí pól a datový vodič je zapojen pull up rezistor  $4,7\text{ k}\Omega$ . [14]



#### **2.4.5 Displej a klávesnice**

Při výběru displeje bylo rozhodováno mezi alfanumerickým LCD displejem 4x20 znaků a barevným dotykovým LCD TFT displejem. Pro prvně jmenovaný hovořily zkušenosti s používáním, druhý se zase jevil skvěle pro v podstatě neomezené možnosti zobrazení. Nakonec byl vybrán 3,5“ LCD TFT displej s rozlišením 320x480 pixelů. Displej umožňuje zobrazení 262 000 barev, ze zadní strany má slot pro SD kartu, ze které je možné vykreslit obrázky a lze ho ovládat dotykově. Výhodou je nejen poměrně nízká cena, která se pohybuje kolem 200 Kč, ale i to, že tento displej je přímo určen pro Arduino Mega 2560 a připojuje se pomocí 36 digitálních vodičů, umístěných ve 2 řadách po 18. Displej tak lze přímo zasunout do dutinkové lišty v desce Arduina, avšak pro tuto práci bylo provedeno propojení pomocí vodičů, tak aby bylo možné používat i ostatní volné konektory na desce.

Při výběru klávesnice hrála největší roli cena. Kovové klávesnice sice vypadají dobře, ale jsou několikanásobně dražší, než obyčejné plastové, nebo nalepovací. Byla tak zvolena membránová nalepovací klávesnice se třemi sloupci a čtyřmi řádky, což je dostatečné pro zadávání hodnot teploty a času a potvrzování, nebo návrat v programu. Klávesnice je spojena pomocí 7 vodičů, pro každý sloupec nebo řádek slouží jeden vodič.

#### **2.4.6 Konstrukční krabička řídicí jednotky**

Při výběru konstrukční krabičky byl kladen důraz na maximální využití vnitřního prostoru. Jelikož však byly při nákupu zaměřeny vnitřní a vnější rozměry, jsou součástky uvnitř umístěny poměrně na těsně. Tělo krabičky je z ocelového plechu o tloušťce 0,6 mm. Výhoda takto tenkého plechu je ve snadném vytvoření otvorů například pro konektory, nevýhodou je snadná deformace. Přesto taková krabička je pro ukrytí součástek dostatečná, neboť se nebude při provozu nacházet v prostředí, kde by jí hrozilo poškození.

Na předním panelu řídicí jednotky se nachází display s klávesnicí. Pro displej byl do panelu vyříznut obdélníkový otvor o rozměrech 530 x 780 mm, tak aby hrany otvoru kopírovaly hrany samotného displeje. Do předního panelu je přišroubován čtyřmi šrouby M3. Klávesnice byla umístěna na pravou část z důvodu intuitivnějšího ovládání pro praváky. Jak již bylo zmíněno, zadní strana klávesnice je nalepovací, tudíž stačilo pouze udělat otvor o velikosti 3x30mm, pro vodiče obsluhující klávesnici.

Zadní panel slouží pro připojení různých napájecích kabelů a teplotního čidla. Cílem bylo udělat řídicí jednotku s odnímatelnými kabely z důvodu časté manipulace a vodiče trčící z krabičky na pevně by to komplikovaly. Při pohledu na panel se jako první zleva nachází napájecí

konektor se zabudovaným filtrem. Hned vedle se nachází kolébkový vypínač sloužící k odpojení od vstupního napájecího napětí. Napravo od vypínače se nachází konektor pro připojení teploměru, dále autozásuvka pro připojení kabelu k napájení míchadla a jako poslední je umístěna průmyslová zásuvka pro připojení vidlice k napájení topných těles. Pod touto zásuvkou se ještě nachází otvor pro rychlé propojení Arduina s počítačem pomocí USB kabelu v případě, že by byl potřeba upravit program.



Obrázek 16: Přední a zadní panel řídicí jednotky

## 2.5 Software

Softwarová část práce byla vytvořena v programu Arduino IDE, který je multiplatformní, tudíž jej lze spustit na počítačích s operačním systémem Linux, macOS i Windows. Program je psán jazykem Wiring, který je založený na jazyku C++. Prostředí je velmi jednoduché, program se píše do textového editoru, který nedisponuje našeptáváním, tudíž uživatel musí znát přesnou interpretaci příkazu. Kromě toho vývojové prostředí obsahuje spoustu knihoven s rozšiřujícími příkazy, které lze doplnit nepřeberným množstvím dostupných knihoven z internetu. Při spuštění programu se uživateli zobrazí textový editor se dvěma funkcemi. Těmi jsou void setup() a void loop(). Na začátku programu, ještě před funkcí setup, proběhne deklarace všech proměnných. Funkce setup slouží například k nastavení pinů Arduina jako vstupní, či výstupní a proběhne pouze jednou při startu programu. Po této funkci následuje funkce loop, která obsahuje programový kód a je prováděna v nekonečné smyčce. Příkazy v této smyčce se starají o veškerý chod Arduina. [15]

### 2.5.1 Práce s teplotním čidlem DS18B20

Pro získávání informací o teplotě bylo použito digitální čidlo DS18B20 komunikující po sběrnici 1-Wire. Pro zjednodušení práce byla použita knihovna OneWire, která obsahuje příkazy k obsluze čidla. Senzor získá defaultně 12 bitové číslo, které nese informaci o aktuální

teplotě, které je poté převedeno v programu na teplotu ve stupních Celsia. Lze nastavovat rozlišení převodníku od 9 bitového po 12 bitové. Při 12 bitovém nastavení je deklarováno rozlišení teploty 0,0625°C, avšak délka jednoho měření je 750 ms. Pokud uživatel potřebuje získávat teplotu rychleji, lze použít 9 bitové rozlišení, při kterém získáme informaci 8x rychleji, ale za cenu 8x menšího rozlišení teploty, tedy 0,5°C. V této práci je použito defaultní 12 bitové rozlišení, protože není potřeba teplotu měřit rychle na úkor přesnosti. [14]

V programu je napsaná část, sloužící k inicializaci čidla, kde se pomocí knihovny OneWire provede ověření, zda je senzor připojen, nastavuje se rozlišení převodníku a převede se binární hodnota teploty na stupně Celsia. Zjištění aktuální teploty se provede příkazem `ds.write(0x44,1)` a poté je číslo uloženo do 16 bitového registru. [16]

```
ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44,1);
```

Obrázek 17: Získání teploty z čidla [16]

Aktuální teplota je uložena do proměnné `getTemp` a pro získání aktuální teploty stačí tuto proměnnou v programu zavolat. Na obrázku níže je uveden příklad zjištění aktuální teploty a aktuálního času s uložením do lokálních proměnných v jedné ze smyček. [16]

```
while (aktualniCas<=cas2) {

    aktualniCas=millis();
    skutecnaTeplota=getTemp();
```

Obrázek 18: Uložení teploty do proměnné [16]

### 2.5.2 Práce s TFT displejem

Pro práci s displejem byla použita knihovna UTFT. Knihovna je psaná pro použití na různých displejích, proto je potřeba před použitím knihovny vědět, zda jsou součástí knihovny ovladače pro příslušný řadič. Displej, který je použit v práci používá řadič ILI9486, který je součástí knihovny. V ovladačích tohoto řadiče byl upraven řádek, který obstarává rotaci obrazu o 180°.

```
LCD_Write_COM(0xB6);           // Display Function Control
LCD_Write_DATA(0x00);
LCD_Write_DATA(0x22);         // 0x42 = Rotate display 180 deg.
LCD_Write_DATA(0x3B);
```

Obrázek 19: Ukázka změny orientace obrazu v ovladači řadiče

Tabulka 2: Uspořádání pinů displeje [17]

Číslo	Pin	Typ	Popis	Číslo	Pin	Typ	Popis
1	5V	P	5V Power supply	19	LCD_RS	input	Register select
2	5V	P	5V Power supply	20	LCD_WR	input	Write signal
3	LCD_DB8	input	data bus	21	LCD_CS	input	Chip select
4	LCD_DB9	input	data bus	22	LCD_RST	input	Reset
5	LCD_DB10	input	data bus	23	NC	-	No connection
6	LCD_DB11	input	data bus	24	NC	-	No connection
7	LCD_DB12	input	data bus	25	NC	-	No connection
8	LCD_DB13	input	data bus	26	FLASH_CS	input	SPI bus FLASH_CS
9	LCD_DB14	input	data bus	27	NC	-	No connection
10	LCD_DB15	input	data bus	28	NC	-	No connection
11	LCD_DB7	input	data bus	29	NC	-	No connection
12	LCD_DB6	input	data bus	30	NC	-	No connection
13	LCD_DB5	input	data bus	31	SPI_MISO	output	SPI bus data output
14	LCD_DB4	input	data bus	32	SPI_MOSI	input	SPI bus data input
15	LCD_DB3	input	data bus	33	SPI_CLK	input	SPI bus Clock
16	LCD_DB2	input	data bus	34	SD_CS	input	SD card CS
17	LCD_DB1	input	data bus	35	GND	G	Ground
18	LCD_DB0	input	data bus	36	GND	G	Ground

V tabulce je uveden popis pinů displeje a jejich význam. Inicializace displeje je provedena příkazem UTFT(Model, RS, WR, CS, RST), do kterého je doplněn typ řadiče a čísla digitálních pinů Arduina, ke kterým jsou připojeny výše zmíněné piny. [18]

```
// inicializace LCD displeje z knihovny
UTFT myGLCD(ILI9486, 38, 39, 40, 41);
```

Obrázek 20: Inicializace LCD

Dále je třeba provést nastavení displeje, konkrétně upravit jeho orientaci a vymazat obrazovku. Příkazy jsou provedeny ve void setup() při startu programu.

```
// nastavení LCD displeje
myGLCD.InitLCD();
myGLCD.InitLCD();
myGLCD.clrScr();
```

Obrázek 21: Nastavení LCD

Aby bylo možné vypsát na displej text, je třeba nastavit používané fonty. Knihovna UTFT umožňuje používání třech typů fontů. Konkrétně SmallFont s velikostí znaku 8x12 pixelů, BigFont o velikosti znaku 16x16 a SevenSegFont o velikosti 32x50. Fonty Small a Big umožňují vykreslit 95 znaků, z toho většina jsou velká a malá písmena bez háčeků a čárek.

Font SevenSeg umožňuje vypsát na displej pouze číslo složené s grafikou sedmi segmentů. Používané fonty nastavíme vložením příkazů na začátek programu. [18]

```
extern uint8_t SmallFont[];
extern uint8_t BigFont[];
extern uint8_t SevenSegNumFont[];
```

Obrázek 22: Nastavení používaných fontů

Po provedení úvodního nastavení a připojení, je možné na displej vypsát konkrétní text, nebo vykreslit grafiku. Pomocí příkazů z knihovny, dokážeme displej softwarově vypnout nebo zapnout, nastavit kontrast a jas, vymazat obrazovku nebo vyplnit obrazovku či pozadí obrazovky barvou zvolenou ze složek RGB, stejně jako si zvolit barvu textu, nebo kresleného objektu. Nastavení barvy je možné buď zadáním osmibitové kombinace jednotlivé složky barvy, nebo zadáním přesně definovaného názvu barvy.

```
myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.setFont(BigFont);
myGLCD.print("Mikropivovar v. 1.0", CENTER, 1);
myGLCD.print("Vyberte režim:", 5, 60);
myGLCD.print("1. RMUTOVANI", 25, 95);
myGLCD.print("2. CHMELOVAR", 25, 120);
```

Obrázek 23: Nastavení úvodní obrazovky s vypsáním textu

Na displej lze kromě textu kreslit různé barevné obrazce pomocí funkcí, které dokáží vykreslit tečku, čáru, trojúhelník, kruh a vyplnit je případně barvou. Takto je například řešena tečka nebo dvojtečka při vypisování teploty, respektive času. Protože používaný font SevenSeg umí zobrazovat pouze čísla, je tečka řešená vykreslením bíle vyplněné kružnice.

```
myGLCD.fillCircle(370, 255, 3);
myGLCD.fillCircle(370, 270, 3);
```

Obrázek 24: Vykreslení dvojtečky jako dvou nad sebou položených kružnic

### 2.5.3 Práce s klávesnicí

Snadnější práci s klávesnicí obstarává knihovna Keypad. Knihovna podporuje klávesnice o velikosti až 6 sloupců a 5 řádků. Nejprve je v programu nutné definovat velikost klávesnice, respektive počet řádků a sloupců.

```
// vytvoření proměnných udávajících počet řádků a sloupců klávesnice
const byte radky = 4;
const byte sloupce = 3;
```

Obrázek 25: Vytvoření proměnných s počty řádků a sloupců [19]

Jako další je třeba vytvořit pole a přiřazení kláves ke konkrétním znakům a definovat, na jaké digitální piny je klávesnice připojena.

```
// vytvoření pole s rozmístěním kláves
char keys[radky][sloupce] = {
    {'1','2','3'},
    {'4','5','6'},
    {'7','8','9'},
    {'*','0','#'}
};
// nastavení čísel pinů pro spojení s klávesnicí
byte pinyRadku[radky] = {2, 3, 4, 5};
byte pinySloupce[sloupce] = {6, 7, 8};
```

Obrázek 26: Vytvoření pole kláves a připojení klávesnice k Arduino [19]

Z těchto zadaných parametrů a proměnných je vytvořena instance, pomocí níž bude ve zbytku programu používána klávesnice. Jako poslední je nastavena komunikace po sériové lince v části programu void setup().

```
// vytvoření instance klavesnice z knihovny Keypad
Keypad klavesnice = Keypad( makeKeymap(keys), pinyRadku, pinySloupce, radky, sloupce);

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
```

Obrázek 27: Vytvoření instance a zahájení komunikace po sériové lince [19]

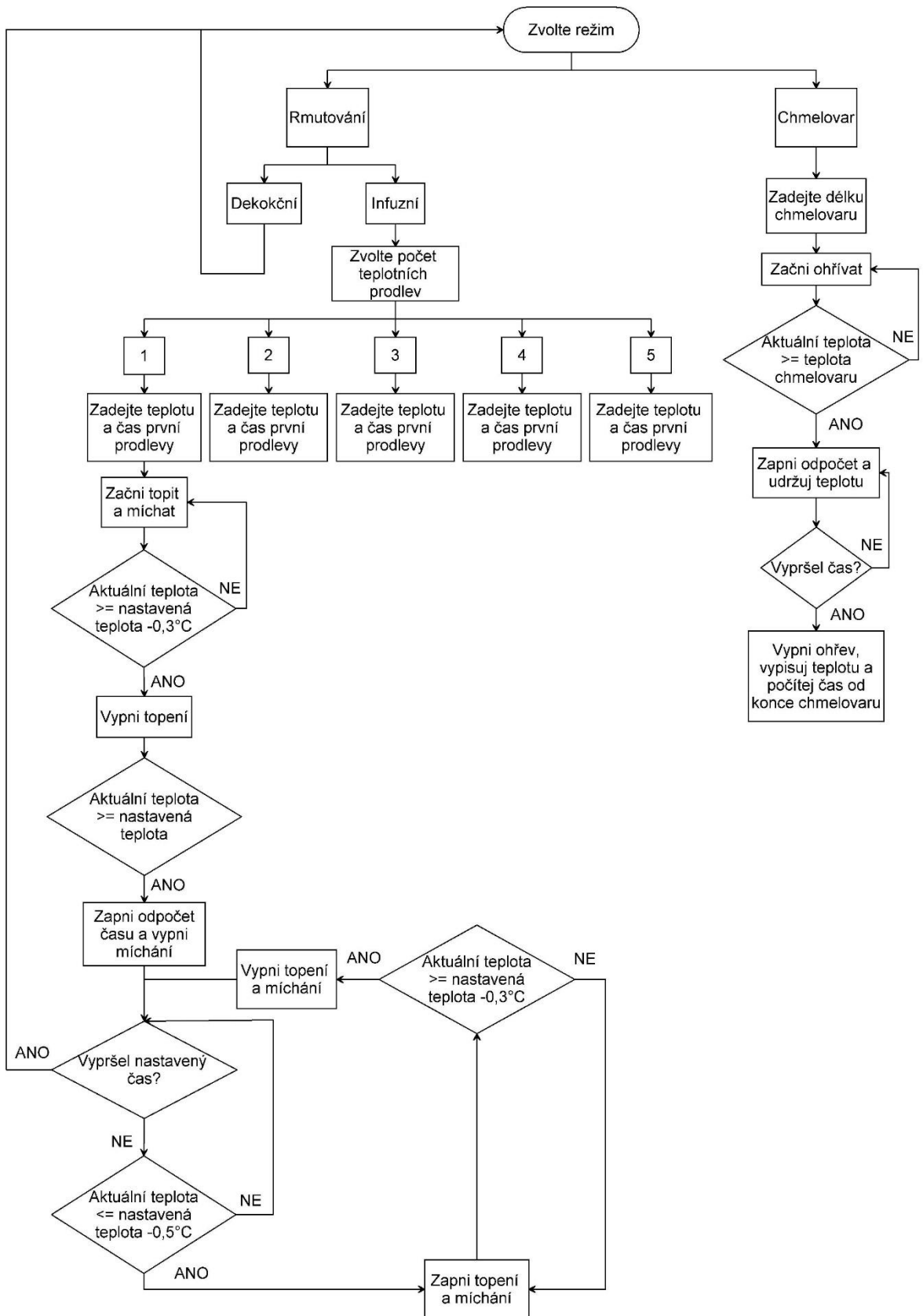
V samotné části programu poté stačí hodnotu klávesy načíst pomocí příkazu klavesnice.getKey() a hodnotu případně uložit do vlastní proměnné. Příkladem může být hned úvodní část programu, kdy je uživatel vyzván k vybrání režimu rmutování, nebo chmelovaru. Po stisku jakékoli klávesy je hodnota klávesy uložena do proměnné rezim. Pokud je hodnota klávesy rovna 1 nebo 2, program pokračuje dál ve zvoleném režimu rmutování, respektive chmelovaru. Pokud je hodnota klávesy jiná, dojde k vymazání obrazovky a restartu smyčky.

```
rezim = klavesnice.getKey();

if (rezim != NO_KEY) {
    myGLCD.clrScr();
}
while(rezim=='1')
{
```

Obrázek 28: Příklad stisknutí klávesy v programu

## 2.5.4 Vývojový diagram a struktura programu



Obrázek 29: Část vývojového diagramu programu

Na vloženém vývojovém diagramu můžeme vidět strukturu programu. Po zapnutí je uživatel dotázán výpisem na displej, zda chce provádět rmutování, nebo chmelovar.

Stisknutím klávesy 1 je vybráno rmutování. Poté je možné zvolit rmutování infuzní nebo dekokční. Jak již bylo řečeno, na dekokční vaření není tato varna vybavena, tudíž se po vybrání dekokčního rmutování zobrazí hláška, že to operaci nelze provést a program se vrátí na začátek.

Pokud je vybrána možnost infuzní rmutování, je uživatel dotázán na to, kolik teplotních prodlev bude jeho recept obsahovat. Z teoretické části víme, že aby tyto prodlevy dávaly smysl, lze provést maximálně 5 prodlev. Po stisknutí příslušné klávesy, odpovídající počtu prodlev, je uživatel vyzván k zadání první teploty ve stupních Celsia a po potvrzení, k zadání délky prodlevy na dané teplotě v minutách. Takto uživatel zadá teploty a časy pro jednotlivé prodlevy, podle počtu jím zvolených.

```
if(skutecnaTeplota>=prvniTeplota-0.3){

    digitalWrite(11,LOW);
    digitalWrite(12,LOW);
    myGLCD.setFont(BigFont);
    myGLCD.print("TOPENI",65,170);
    myGLCD.setColor(255, 0, 0);
    myGLCD.fillCircle(200,176,10);

    myGLCD.setColor(255, 255, 255);
    myGLCD.print("MICHANI",50,190);
    myGLCD.setColor(255, 0, 0);
    myGLCD.fillCircle(200,196,10);
    myGLCD.setColor(255, 255, 255);
}

if(skutecnaTeplota<=prvniTeplota-0.5){

    digitalWrite(11,HIGH);
    digitalWrite(12,HIGH);
    myGLCD.setFont(BigFont);
    myGLCD.print("TOPENI",65,170);
    myGLCD.setColor(0, 255, 0);
    myGLCD.fillCircle(200,176,10);

    myGLCD.setColor(255, 255, 255);
    myGLCD.print("MICHANI",50,190);
    myGLCD.setColor(0, 255, 0);
    myGLCD.fillCircle(200,196,10);
    myGLCD.setColor(255, 255, 255);
}
```

Obrázek 30: Ukázka provedení hystereze při rmutování s grafickým výpisem na displej



Po zadání všech teplot a časů je na displej vykresleno okno s aktuální teplotou a nastavenou teplotou, první zadanou. Zároveň dojde k sepnutí SSR relé pro míchání i ohřev, které jsou na displeji indikovány graficky, zeleně vyplněným kruhem pro sepnutý stav a červeně vyplněným kruhem pro rozepnutý stav. Regulace ohřevu je řízená dvoustavově. I při plném výkonu se tekutina v plném hrnci ohřívá tempem přibližně 1°C/minutu, tudíž je tento způsob regulace dostatečný. Z důvodu dopravního zpoždění je ohřev vypínán ještě před dosažením požadované teploty. Dopravní zpoždění se s teplotou mění, což je zohledněno i v programu tak, že je ohřev s předstihem vypnut, aby nedocházelo vlivem zpoždění k přehřívání. Po dosažení nastavené teploty je vypnuto i míchání a je spuštěn odpočet s časem odpovídajícím nastavené době prodlevy. Pokud by v průběhu prodlevy teplota klesla o 0,5°C pod nastavenou teplotu, je znovu zpuštěn ohřev i míchání, dokud teplota nestoupne pod 0,3°C od nastavené teploty, kdy jsou relé rozepnuta, a teplota se na požadovanou úroveň dostane setrvačností.

Po vypršení času první prodlevy, pokud jsou zadané i další prodlevy, bude probíhat stejný postup, jen s rozdílem trochu odlišných průběhů hystereze z důvodu většího dopravního zpoždění při vyšších teplotách. Ukázkový graf průběhu teploty v závislosti na čase u reálného receptu je znázorněn v příloze A.

Po dokončení procesu rmutování se program vrátí zpět do hlavního menu, kdy je k dispozici na výběr rmutování a chmelovar. Po zvolení možnosti chmelovar je uživatel dotázán, jak dlouho má chmelovar probíhat. Po potvrzení zadané délky chmelovaru v minutách je zapnut ohřev a na displeji zobrazí aktuální teplota a indikace sepnutého relé pro ohřev. Teplota chmelovaru je nastavena defaultně na 97°C. Po dosažení této teploty je relé vypnuto a zároveň se na displeji spustí odpočet zadané délky chmelovaru. Pokud spadne teplota pod 96,8°C je relé znovu zapnuto, dokud znovu nepřekoná 97°C. Teplotu varu je třeba nastavit tak, aby docházelo k dostatečnému odparu, kvůli odpařujícím se nežádoucím látkám. Pokud by však teplota chmelovaru byla příliš velká, docházelo by k velkému odparu, z čehož plynou velké ztráty mladiny. Po vypršení času chmelovaru je vypnuto relé pro ohřev, na displeji se nadále zobrazuje aktuální teplota, je spuštěna časomíra od konce chmelovaru a uživatel je vyzván, aby začal provádět chlazení mladiny. Chlazení je prováděno vložení nerezové chladicí spirály, připojené na vodovodní řád. Tímto způsobem je mladina zchlazena na teplotu 20°C během přibližně 30 minut. Po dokončení chlazení je možné řídicí jednotku vypnout a pokračovat v dalším procesu.



Obrázek 31: Výpis informací na displej v průběhu procesů rmutování a chmelovaru

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo najít vhodný způsob ohřevu při procesech rmutování a chmelovaru a vymyslet jeho regulaci.

V první kapitole byl čtenář seznámen s technologickými procesy výroby piva, možnostmi měření teploty a provedení regulace. Ve druhé kapitole byl rozebrán návrh a konstrukce varny pivovaru. Pro ohřev byla zvolena tištěná topná tělesa, která vynikají dobrou účinností vzhledem k velikosti várky a limitům použitého napájení. Pro měření teploty bylo zvoleno digitální čidlo DS18B20 pracující na principu NTC a řízení teploty obstarává dvoustavový regulátor s hysterezí nastavenou tak, aby docházelo k vychýlení teploty maximálně do  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  od nastavené teploty. O varné procesy pivovaru se stará řídicí jednotka založená na mikrokontroléru Arduino, podle vstupních hodnot zadaných uživatelem.

Během tvorby práce bylo zjištěno spoustu omezujících faktorů, daných konstrukcí. První věc, která by stála za vylepšení je přeprogramování dvoustavové regulace na regulaci spojitou pomocí PID regulátoru. Další vylepšení, je použití třífázového rozvodu, čímž by vznikla možnost zvětšit varnu pivovaru z důvodu možného navýšení výkonu. Dále by se dal zautomatizovat proces kvašení, kdy je třeba řídit teplotu, aby kvašení probíhalo bezproblémově. V poslední řadě by se dal upravit program tak, aby byla využita dotyková funkce na displeji.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] NOVOTNÝ, Petr. *Pivařka: tajemství domácího pivovarství*. V Brně: Jota, 2017. Populárně naučná. ISBN 978-80-7565-108-2.
- [2] NOVOTNÝ, Petr. *Pivařka<sup>2</sup>: průvodce domácího sládky: teorie, rady, návody, recepty*. V Brně: Jota, 2019. Populárně naučná. ISBN 978-80-7565-555-4.
- [3] HLUBINKA, Jiří. *Domácí pivovar*. [online]. Brno, 2014. [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=84880](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=84880). Bakalářská práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.
- [4] Scezování piva - Manifold. *HomeBrewMap* [online]. 2016, 30. 8. 2016. [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: <https://www.homebrewmap.com/cs/forum/postupy-a-technologie/136-scezovani-piva-manifold/556>
- [5] Uvařte si s námi domácí pivo (3. díl): Od sladiny k mladině. *Alkoholium.cz*. [online]. 2016 [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: <https://www.alkoholium.cz/uvarte-si-s-nami-domaci-pivo-3-dil-od-sladiny-k-mladine/>
- [6] Přehled principů el. měření teploty - 1. díl. *Automatizace.HW.cz / Elektronika v automatizaci* [online]. 2014. [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>
- [7] Regulace a regulátory. *Vždy v rovnováze aneb vyvažování armaturami Honeywell* [online]. [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: <http://home.tiscali.cz/cz447703/honeywell/min-mar.htm>
- [8] Elektrotechnika – Automatizace – Regulační obvody – Složené spojitě regulátory. *ELUC* [online]. [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/949>
- [9] Spojitě regulátory. *Ústav počítačové a řídicí techniky* [online]. Praha, 2005 [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F3/F3k34-sprg.htm>
- [10] Nerezový hrnec s poklicí 35x35cm 33 litrů - BERGLAND24. *BERGLAND24* [online]. Copyright © [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: <https://www.berglan24.cz/domacnost/nerezovy-hrnc-s-poklickou-33-litru-2/>
- [11] *Arduino.cz - Webový magazín o Arduinu a elektronice* [online]. [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: <https://arduino.cz/co-je-to-arduino/>

- [12] *Arduino Official Store / Boards Shields Kits Accessories* [online]. [cit. 08.12.2019].  
Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>
- [13] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Solid State relé*. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-081-4.
- [14] *GM electronic | elektronické součástky, komponenty . | GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 08.12.2019]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.530-067.1.pdf>
- [15] *HOBBYROBOT ← Malá robotika a mechanické modely* [online]. [cit. 08.12.2019].  
Dostupné z: <http://www.hobbyrobot.cz/wp-content/uploads/ArduinoPriruckaProgramatora.pdf>
- [16] *Designing embedded systems with Arduino*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-981-10-4417-5.
- [17] *Free shipping! 3.5 inch TFT LCD screen module Ultra HD 320X480 for Arduino MEGA 2560 R3 Board-in LCD Modules from Electronic Components & Supplies on AliExpress . 302 Found* [online]. 2019 [cit. 17.12.2019]. Dostupné  
z: [https://www.aliexpress.com/item/32609807497.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.3b03a3f82gb81a&algo\\_pvid=aa0751c7-a52b-4de9-8f40-b468ac06f5d0&algo\\_expid=aa0751c7-a52b-4de9-8f40-b468ac06f5d0-10&btsid=50edba99-9c45-49c4-89fe-2747edc035e2&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_8,searchweb201603\\_55](https://www.aliexpress.com/item/32609807497.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.3b03a3f82gb81a&algo_pvid=aa0751c7-a52b-4de9-8f40-b468ac06f5d0&algo_expid=aa0751c7-a52b-4de9-8f40-b468ac06f5d0-10&btsid=50edba99-9c45-49c4-89fe-2747edc035e2&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_8,searchweb201603_55)
- [18] UTFT - Rinky-Dink Electronics. *Rinky-Dink Electronics* [online]. 2010 [cit. 17.12.2019].  
Dostupné z: <http://www.rinkydinkelectronics.com/library.php?id=51>
- [19] Membránová klávesnice 4x4 | Arduino návody. *Webový magazín o ARDUINU | Arduino návody* [online]. ECLIPSE s.r.o Jihlavská 1985, Havlíčkův Brod, 2016 [cit. 17.12.2019].  
Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/membranova-klavesnice-4x4.html>

## PŘÍLOHA A – Graf vícekrokové infuze

