

System pro řízení minipivovaru

Bc. Ondřej Zakopal

Diplomová práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav počítačových a komunikačních systémů

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Zakopal**
Osobní číslo: **A18343**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Počítačové a komunikační systémy**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Systém pro řízení minipivovaru**
Téma práce anglicky: **A Micro-brewery Control System**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Navrhněte snímače a akční členy nutné pro řízení minipivovaru.
3. Uvedený návrh hardwarově realizujte.
4. Vytvořte software pro řídicí systém.
5. Implementujte vzdálený přístup k systému.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam doporučené literatury:

1. BENEŠ, Pavel. Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky. 5., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 9788025137475.
2. BANZI, Massimo. Getting started with Arduino. 2nd ed. Farnham: O'Reilly, 2011. ISBN 9781449309879.
3. CATSOULIS, John. Designing embedded hardware. 2nd ed. Sebastopol, CA: O'Reilly, 2005, xvi, 377 p. ISBN 0596007558.
4. LEHRL, Richard. Děláme si sami pivo: příručka pro domácí výrobu piva. Libeznice: Vikend, 2014. ISBN 9788074330797.
5. MARGOLIS, Michael. Arduino cookbook. 2nd ed. Sebastopol, Calif.: O'Reilly, 2012, xx, 699 p. ISBN 1449313876.
6. PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-7300-110-1.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Dolinay, Ph.D.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce: 13. prosince 2019
Termín odevzdání diplomové práce: 29. května 2020



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

Ing. Miroslav Matýsek, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 9. prosince 2019

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne
14. 8. 2020

Ondřej Zakopal, v. r.
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce řeší implementaci řídicího systému pro minipivovar na bázi vývojové desky Arduino MEGA 2560. Systém umožňuje sledovat teploty ve všech nádobách pivovaru při výrobě piva, měřit hodnotu pH kapalin, řídit topná tělesa ve rmutovací a mladinové pánvi, ovládat několik čerpadel kapalin a motory s míchadly, potažmo ovládat kulové ventily pomocí manipulátorů. Tento systém lze řídit pomocí fyzického panelu s tlačítky a přepínači, avšak byl implementován i řídicí systém v podobě mobilní aplikace, kde lze vzdáleně (užitím WiFi) sledovat a řídit stavy akčních členů a sledovat teploty na více místech. Mobilní aplikace pro operační systém Android využívá HMI platformy Virtuino. Systém komunikuje pomocí převodníku RS485 (a protokolem ModBus) se stávajícím systémem v minipivovaru. Tento projekt obsahuje řešení jak softwarové, tak hardwarové části.

Klíčová slova: Arduino, PLC, UniPi, pivovar, HMI, Virtuino, řídicí systém, modbus, Android, moduly, wifi, ESP8266

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the implementation of a control system for a mini-brewery based on microcontroller development kit Arduino MEGA 2560. The system allows monitoring temperatures in all brewery vessels during beer production, measuring pH of liquids stirrers, then control the ball valves using manipulators. This system can be controlled using a physical panel with buttons and switches, but a control system has been implemented in the form of a mobile application, where you can remotely (using WiFi) monitor and control the status of actuators and monitor temperatures in multiple locations. The mobile application for the Android operating system uses the Virtuino HMI platform. The system communicates using an RS485 converter (and ModBus protocol) with the existing system in the mini-brewery. This project contains solutions for both software and hardware (including storage of components).

Keywords: Arduino, PLC, UniPi, micro-brewery, HMI, Virtuino, control system, modbus, Android, modules, wifi, ESP8266

Motto: „Dokonalosti není dosaženo tehdy, když už není co přidat, ale tehdy, když už nemůžete nic odebrat.“ – Antoine de Saint-Exupéry

Tímto chci srdečně poděkovat mému vedoucímu této práce panu Ing. Janu Dolinayovi, Ph.D. za profesionální pomoc a připomínky při řešení této diplomové práce, mé rodině za podporu během psaní této práce a během celé doby studia a mému kolegovi Manthanu Lakhiani za poskytnutí bližších vědomostí a rad ohledně implementace používané knihovny v projektu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE V PIVOVARNICTVÍ.....	12
1.1 ŠROTOVÁNÍ	12
1.2 VYSTÍRÁNÍ A RMUTOVÁNÍ	13
1.3 SCEZOVÁNÍ	14
1.4 VAŘENÍ MLADINY.....	16
1.5 FILTRACE	16
1.6 CHLAZENÍ	17
1.7 HLAVNÍ KVAŠENÍ	18
1.8 DOKVAŠOVÁNÍ A LEŽENÍ.....	19
2 STÁVAJÍCÍ ŘEŠENÍ MINIPIVOVARŮ	20
2.1 PROJEKT OPEN ARDBIR	20
2.2 PROJEKT ARDUINO HOMEBREW	23
2.3 CRAFTBEERPI	25
2.4 MINIPIVOVARY BRAUMEISTER.....	27
2.5 PROJEKT BREWBENCH	29
3 NÁVRH SNÍMAČŮ A AKČNÍCH ČLENŮ	32
3.1 TEPLOTNÍ SENZOR MAXIM DS18B20.....	32
3.2 PROTOTYPOVACÍ DESKA ARDUINO MEGA 2560	34
3.3 AUTOMATICKÝ MANIPULÁTOR KULOVÝCH VENTILŮ.....	36
3.4 MODUL REÁLNÉHO ČASU MAXIM DS3231	37
3.5 WiFi MODUL ESP-01 (ESP8266).....	39
3.6 SONDA PRO MĚŘENÍ HODNOT PH V KAPALINÁCH	40
3.7 LCD DISPLEJ 2004	42
3.8 MODUL PŘEVODNÍKU TTL NA ROZHRANÍ RS485	44
3.9 MODUL S OSMI RELÉ	45
3.10 REPRODUKTOR 1 W.....	46
3.11 NAPÁJECÍ ZDROJ.....	46
3.12 KABELÁŽ A ŠASI SYSTÉMU	47
II PRAKTICKÁ ČÁST	49
4 HARDWAROVÁ REALIZACE.....	50
4.1 SESTAVA OBSLUHOVANÝCH NÁDOB.....	50

4.2	ULOŽENÍ FYZICKÝCH KOMPONENT	56
5	SOFTWARE PRO ŘÍDICÍ SYSTÉM.....	58
5.1	VIZUALIZAČNÍ APLIKACE VIRTUINO.....	58
5.2	ÚPRAVA KNIHOVNY VIRTUINO.....	59
5.3	POUŽÍVANÉ KNIHOVNY	60
5.4	ŘÍDICÍ SOFTWARE PRO ARDUINO.....	60
5.5	POPIS PROGRAMOVÝCH FUNKCÍ	63
5.5.1	void RTC_Initialize()	63
5.5.2	void preTransmission()	63
5.5.3	void postTransmission().....	63
5.5.4	int Read_Temp_uniPi(uint8_t tempID)	63
5.5.5	void changeCoilStatus(uint8_t sH, uint8_t sL).....	64
5.5.6	uint16_t coilStatus_Check().....	64
5.5.7	void changeStatusOfCoils()	64
5.5.8	void Initialize_uniPi()	64
5.5.9	int readDigitalInputStatus(uint8_t id)	64
5.5.10	void vMemoryWrite_Float(uint8_t add, float data).....	64
5.5.11	void vMemoryWrite_Int(uint8_t add, int data).....	64
5.5.12	uint8_t vMemoryRead(uint8_t add).....	65
5.5.13	boolean vMemoryRead_Bit(uint8_t add)	65
5.5.14	void Coil_Status_Write_Virtuino().....	65
5.5.15	void Initialize_Virtuino()	65
5.5.16	void beepOn().....	65
5.5.17	void beepOff().....	65
5.5.18	void readyBeepIntro()	65
5.5.19	void alarm().....	65
5.5.20	void Display_Initialize()	65
5.5.21	float pHmeasure().....	66
5.5.22	void Pin_Initialize()	66
5.5.23	void Operate_Manipulators()	66
5.5.24	void Check_uniPi()	66
5.5.25	void Compare_Time(int h, int m)	66
5.5.26	void Virtuino_Time_Check().....	67
5.5.27	void setup().....	67
5.5.28	void loop().....	67
5.6	FUNKCE OHŘEVU.....	68
6	IMPLEMENTACE VZDÁLENÉHO PŘÍSTUPU K SYSTÉMU.....	70
7	TESTOVÁNÍ	76
	ZÁVĚR	77
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	78
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	80
	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
	SEZNAM TABULEK.....	85

SEZNAM PŘÍLOH.....	86
---------------------------	-----------

ÚVOD

Pivovarnictví zažívá v současné době ohromného rozmachu, co se týká modernizace pivovarů jako takových, jejich automatizace či částečné automatizace dílčích výrobních a procesů. Jedním z hlavních aspektů neustále se vyvíjejícího a čím dál oblíbenějšího pivovarnického průmyslu je fakt, že se nároky konečných spotřebitelů piva, to znamená jeho konzumentů, dále štěpí. Ne všechny tradiční pivovary, ať už se jedná o národní či zahraniční podniky a korporáty, dokážou pružně reagovat na poptávku různých druhů těchto nápojů, zejména kvůli zažitým tradičním postupům při výrobě, potažmo určité tradici takových podniků.

Rozrůstající nabídku rozmanitých druhů piv jakožto obměnu těch tradičních od velkých producentů je rozhodně možné přisoudit početným minipivovarům. Mnoho minipivovarů vyrábí piva svým způsobem, má své vlastní řešení a postupy při výrobě, případně kombinuje rozmanité strategické suroviny a vaří na základě různých receptur a doporučení. Díky automatizaci v tomto odvětví průmyslu lze považovat výrobu takového nápoje za snazší, neboť i částečnou automatizací při výrobě lze podstatně zefektivnit celkový proces vaření takovým způsobem, že je možné ulehčit, kupříkladu, šrotování sladu za pomoci automatického mletí, rmutování s využitím časových programů a snímačů teploty, ovládání čerpadel pro přečerpání kapaliny mezi kádemi, kontrola a ovládání přítoků a odtoků čisté pitné vody, automatické sypaní surovin a míchání, ovládání tepelných těles, případně, ve finální části, využití mechanických automatických strojů na stáčení hotového produktu do lahví a sudů.

Tato diplomová práce se zaměří v teoretické části na popis výroby piva a již dostupných a využívaných řešení automatizace minipivovarů, načež bude navržena soustava snímačů a akčních členů pro řízení procesů v minipivovaru. V praktické části bude zevrubně popsán proces implementace hardwarových součástí a programování řídicího systému vaření piva všech částí do vícera technologických celků. Pokročilejší funkcí celého řídicího systému minipivovaru bude možnost kontrolovat a řídit systém vzdáleně, a to díky implementaci Wi-Fi modulu a obslužného softwaru v podobě mobilní aplikace.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE V PIVOVARNICTVÍ

Následující podkapitoly jsou věnovány vysvětlení základní terminologie v oblasti pivovarnictví, neboť se jedná o dílčí specifické technologické procesy, ohledně kterých je nutné při vaření piva udržovat minimálně všeobecný rozhled.

Základními pojmy v souvislosti s vařením piva jsou:

- šrotování
- vystírání a rmutování
- scezování
- vaření mladiny
- filtrace
- chlazení
- hlavní kvašení
- dokvašení a ležení

Všechny výše uvedené pojmy na sebe mají návaznost, a to chronologickou v průběhu tvorby piva. [4]

1.1 Šrotování

Šrotování sladu je prvotním elementárním počinem při přípravě dílčích strategických surovin. Jedná se o techniku, při níž se pomocí takzvaného šrotovníku mechanicky drtí potřebný slad, kupříkladu ječmenný či pšeničný, potažmo kukuřičný či rýžový slad jakožto náhražka. Slad se šrotuje proto, aby se narušila tvrdá slupka obilniny, neboť právě v nitru semene se nachází jednoduché cukry (škrob) a velmi důležité neaktivované enzymy pro štěpení škrobu na cukry. Potřebné enzymy pro přeměnu v alkohol se aktivují v semenu po procesu sladování, dále pak vystírání a rmutování.

Procesu šrotování předchází ještě proces sladování. Tento proces se děje ve sladovnách, kde se uměle vytvoří podmínky příznivé pro naklíčení semen sladu po určitou dobu, teplotě, a hlavně potřebné vlhkosti.

Šrotovník bývá v domácích podmínkách jednodušší konstrukce; u domácího šrotování lze použít „nostalgické“ nástroje typu mlýnek na maso, mlýnek na kávová zrna, ruční mixér či obyčejný dřevěný válec na těsto. Nicméně – ruční šrotování je fyzicky namáhavější práce, neboť je třeba vynaložit značného fyzického úsilí při narušování většího množství slupek, jež jsou dosti tvrdé. Je velmi důležité, aby takový stroj na šrotování měl možnost mlít na hrubší části, potažmo aby měl možnost regulace hrubosti, aby nevznikla hmota podobná mouce, neboť takové jemné části by prošly scezovacím dnem ve scezovací nádobě.

Je nutné podotknout, že procesu šrotování se lze vyhnout, neboť se jedná o pracný, byť jednoduchý postup. Na trhu se surovinami (respektive přímo ve sladovně) lze nakoupit již šrotovaný slad, čímž se ušetří mnoho času a píce. Šrotovaný slad je, co se týká finanční stránky, o něco dražší než slad nešrotovaný.



Obrázek 1 Ukázka jednoduchého šrotovníku [7]

1.2 Vystírání a rmutování

Tato rutina je zásadní z hlediska samotného vaření piva po předchozí přípravě sladu. Šrotovaný slad se smíchává s pitnou vodou (případně upravenou pitnou vodou vhodnou ke konzumaci), a to v konkrétním poměru – touto částí výroby se ovlivňuje stupňovitost výsledného piva. Teplota vody ke smíchání dosahuje zhruba 50 °C. Takový procesu se nazývá vystírání a děje se tak ve vystírací kádi (anglicky mash tun). Produktem vystírání je takzvaná vystírka, jež nabývá hustější kašovité konzistence.

Rmutování šrotovaného sladu se označuje vařením vystírky ve rmutovací nádobě zvané rmutovací pánev, či rmutovací kotel (anglicky mash kettle). Produkt rmutování se nazývá rmut, či dílo. Během tohoto procesu se aktivují enzymy štěpící škrob.

Rmutovat lze jednou, dvakrát, či třikrát, kde nepsaným dnešním standardem je úspornější rmutování na dva rmuty. [8]

Při rmutování na dva rmuty se odebírá zhruba třetina původní vystírky za účelem vytvoření tekutého škrobu. Škrob se začne přetvářet působením vyšších teplot, a to zhruba při 70 °C, přičemž teplotu je třeba zvyšovat u stávající třetinové části jen pozvolna. Při konečné teplotě 70 °C se dílo vaří zhruba po dobu půlhodiny. Po uplynutí půlhodinového vaření při takové teplotě se dílo vlévá zpět ke dvou třetinám původní vystírky o nižší teplotě. Vzniklá směs se znovu zahřívá na vyšší teplotu, což vede k dalšímu tvoření kvasných cukrů. Druhé rmutování spočívá v tom, že se opakuje krok předchozí, a to odebrání další homogenní třetiny původního díla, načež se tato odebraná třetina postupně zahřívá na teplotu zhruba 70 °C a opět po uplynutí téže doby se nalévá zpět k původnímu dílu. Rmutování na tři rmuty je pracnější jak po časové, tak po finanční stránce (je nutné potřetí zahřívát část díla), avšak po technologické stránce je tento proces totožný se rmutováním na jeden, nebo dva rmuty. [4]



Obrázek 2 Ukázka tradiční měděné rmutovací pánve [9]

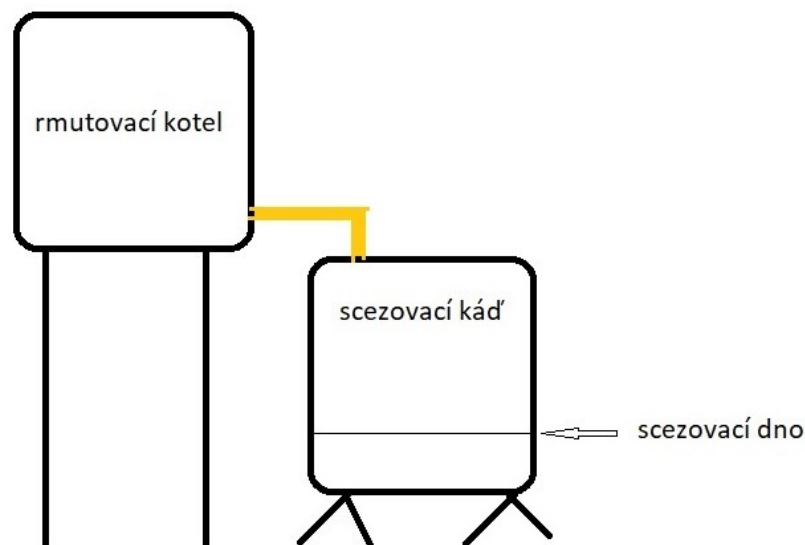
1.3 Scezování

Po vystírání a zvoleném způsobu rmutování díla vznikne nehomogenní kapalina s pevnými částmi. Do této kapaliny již byly vlivem působení teplot při rmutování rozpuštěny kvasné

cukry, proto se této sladší kapalině říká sladina. Úkolem procesu scezování je oddělení kapalné části (sladiny) od pevné části, které se nazývá mláto. Nástrojem k oddělení těchto dvou částí je prostý filtr. Z hlediska konstrukce takového filtru na zachytávání mladiny je možné v domácích podmínkách použít prosté bavlněné, či umělé plátno. V praxi se lze setkat s nádobami přímo určenými ke scezování sestávající se z otvoru pro přítok rmutu, dále pak scezovacího dna, což bývá perforovaný plát po celé šíři dna scezovací nádoby vyrobený většinou z nerezové oceli s nahusto uspořádanými drobnými otvory, které slouží právě k oddělení sladiny a mláta, potažmo s kohoutkem v nejnižší (nejníže položené vzhledem k zemi) části nádoby pro odtok již filtrované kapaliny. Pro tento proces je v domácích podmínkách využita přirozená zemská gravitace, tudíž tato filtrace bývá nenáročná z energetického hlediska. Energetická nenáročnost (nezávislost) je podmíněna právě tím, jak je taková scezovací nádoba konstruována; je tedy nutné zajistit odtok sladiny právě v nejhlubší části nádoby a zároveň mít jakožto přítok ještě nefiltrovaného díla z vystírací nádoby shora, tudíž se využije přirozeného samospádu. [10]

Na obrázku číslo 3 je zobrazen princip využití zemské gravitace pro odtok sladiny.

Mláto ve scezovací kádí se ještě prolévá horkou vodou, neboť ještě obsahuje zbytky potřebných cukrů ke kvašení. Mlátem proteče voda, která se obohatí právě těmito zbytky cukry, tudíž se maximalizuje využití rozpustných prospěšných látek, zejména cukrů. Tomuto procesu se nazývá vyslazování.



Obrázek 3 Částečné principiální schéma uspořádání nádob

Mláto je výživný jedlý produkt sladšího sensorického charakteru (i když téměř všechny cukry již byly vlivem působení vyšších teplot rozpuštěny ve sladidě), který lze ještě dále zužitkovat, kupříkladu jakožto dobré krmivo pro hospodářská zvířata, potažmo jej lze použít při výrobě takzvaných sládkových limonád na ječmenné bázi pro lidské užití.

1.4 Vaření mladiny

Po scezování vznikne produkt sladina, jež je sladší. Samotnou hořkou chuť, aroma i hořkost charakteristikou pro jakékoliv tradiční pivo způsobí následné vaření s přidáním vybrané odrůdy chmele. Přidání chmele dojde k přírodní konzervaci nápoje. K dostání ve specializovaných obchodech jsou buďto celé chmelové šišky (původem samičí šišky) či peletky z nich. Chmeleným produktem se nazývá mladina, procedura vaření mladiny se někdy označuje jakožto chmelovar; děje se tak v nádobě zvané mladinová pánev (anglicky wort kettle).

Samotné vaření mladiny je prostá a jednoduchá činnost. Spočívá v tom, že sladina se zprudka uvede do varu (při 100 °C), přičemž se do ní sypou buďto chmelové šišky, či zmíněné peletky a určitou dobu se vaří. Tím, jak se kapalina vaří, rozpouští se v ní chmelové silice, pryskyřice a charakteristické kyseliny ovlivňující sensorickou chuť piva. Čas vaření chmele ve sladidě bývá do 90 minut, přičemž již po 60 minutách vaření se do výsledné mladiny dostává již jen velmi malé množství aromatických látek z chmele.

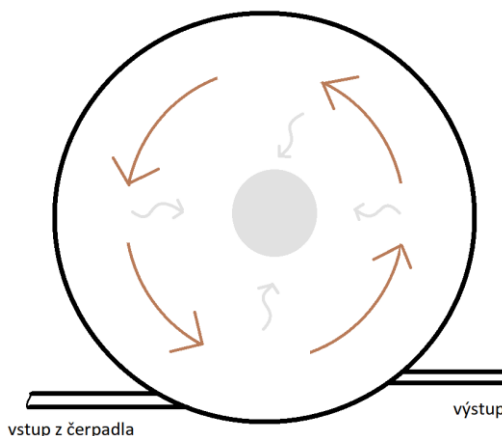
Dalším důležitým důvodem, proč je třeba vystavit sladinu s chmelem varu, je sterilizace. Varem se eliminuje podstatné množství možných nežádoucích zárodků mikroorganismů v mladidě, potažmo právě varem se do vzduchu odpaří další nežádoucí látky přímo ovlivňující chuť piva, a to eliminace DMS – dymethylsulfidu. Tato látka způsobuje zeleninovou pachut' piva, zkreslí jeho chuť a jeho kvalita degraduje, což je rozhodně nežádoucí. [11]

1.5 Filtrace

Po vaření mladiny je potřeba znovu filtrovat pevné chmelové části od mladiny, neboť v této části celkového procesu vaření piva se má dosáhnout sensorické čistoty mladiny. V praxi lze odfiltrovat pevné části z mladiny buďto filtrací přes filtr v podobě látky, přes nějž se

postupně odlévá mladina a ve filtru zůstávají právě pevné části. Toto je ale pracný postup, neboť mladina obsahuje velmi jemné částice, jež dokážou filtr ucpat.

V praxi se můžeme setkat s efektivnější metodou filtrace mladiny, a to filtrací vířivkou (anglicky whirlpool).



Obrázek 4 Princip vířivky

Tato metoda spočívá v rozvíření v nádobě velkou rychlostí čerpací/míchací jednotkou (motorem, případně pracně ručně vařečkou, nebo jiným aparátem – označeno jako „vstup z čerpadla“), což má za následek to, že se pevné části budou seskupovat právě uprostřed. Při této příležitosti se téměř čirá mladina bez zbytků chmele postupně důmyslně vypouští postranními otvory nádoby ven (v obrázku 4 označeno jako „výstup“).

1.6 Chlazení

Po filtraci mladina začne ztrácet svou teplotu, jež může mít ještě i přes 80 °C či více stupňů. V případě použití vířivky se mladina ochladí i o několik málo desítek stupňů Celsia z důvodu neustálého míchání kapaliny.

Mladinu je potřeba zchladit na takzvanou zákvasnou teplotu, a to, pokud možno, co nejrychleji a zároveň jakožto jeden celek (celý uvařený objem/dávku).

Na chlazení mladiny existuje několik metod. Jedná se o chlazení chladícími patrony, chlazení spirálou, či chlazení protiproudým průtokem dvou kapalin.

Často se můžeme setkat s chlazením mladiny spirálou. Tato metoda funguje tak, že do nádoby s ještě horkou mladinou se nainstaluje většinou měděná či nerezová spirála, v níž

koluje studené chladivo (voda). Studená voda neustále proudící v kovové trubce dokáže ochladit mladinu rychle. Přívod vody může být zajištěn z vodovodního kohoutku či baterie, ovšem smysluplnější bývá použití čerpadla vody a v systému oběhu vody nechat kolovat stále tu samou várku vody pro úspory vody samotné.

Chlazení patrony může být neefektivní v porovnání s chlazením spirálou, neboť do horké mladiny se vloží vychlazená tělesa snižující teplotu chlazené kapaliny. Tyto patrony ale musí být sterilní, jinak může dojít ke kontaminaci mladiny bakteriemi a různými mikroorganismy.

Protiproudé průtokové chlazení využívá jednu silnější trubici, v níž proudí studené chladivo, avšak v té samé trubici uvnitř vede druhá trubice s protékající horkou mladinou. Tím, že tyto dvě kapaliny rozdílných teplot kolují oběhem proti sobě, studená voda nezvyšuje svou teplotu tolik, než kdyby obě kapaliny proudily stejným směrem, tudíž se zvýší efektivita chlazení mladiny na nižší teplotu.

1.7 Hlavní kvašení

Chladit mladinu je potřeba na požadovanou zákvasnou teplotu. Rozlišuje se způsob kvašení, a to spodní a svrchní. Spodní kvašení probíhá při teplotě mladiny 5 °C až 10 °C, přičemž doba kvašení je vleklejší, a to i několik týdnů. Oproti tomu svrchní kvašení probíhá při teplotách vyšších, a to 15 °C až 25 °C, přičemž doba kvašení se pohybuje mezi 3 dny až jedním týdnem.

V tomto stavu mladina obsahuje mnoho cukru a enzymů pro kvašení, proto se mladina shromáždí v takzvaných kvasných kádích a do nich se přidávají pivovarnické kvasnice. Přidáním pivovarnických kvasnic a působením kvasinkových kultur v nich se aktivuje proces přeměny rozpuštěných cukrů na alkohol. Tímto procesem vzniká i oxid uhličitý (CO₂). Kvasná nádoba zpravidla nebývá hermeticky uzavřena, neboť právě vznikem CO₂ by se mohlo stát, že vlivem nabývajícího tlaku by mohla kád' explodovat, nebo se poničit. Během hlavního kvašení je kvasící mladina chráněna před vlivy bakterií ve vzduchu a jiným škodlivým mikroorganismům hustou pěnou, takzvanou dekou.



Obrázek 5 Ukázka husté pěny („deky“) [12]

Po hlavním kvašení vzniká takzvané mladé pivo. Jedná se o produkt, která ještě při ochutnání nechutná jako pivo běžně dostupné v obchodech, obsahuje totiž ještě v sobě látky, jejichž presence taktéž zkresluje výslednou chuť. Tyto látky, jimiž jsou acetaldehyd a diacetyl, budou eliminovány právě kvasinkami, které se takovými vedlejšími nežádoucími produkty živí.

1.8 Dokvašování a ležení

Dokvašování je proces, kterým kvasinky eliminují škodlivé látky jmenované výše, pivo dostává patřičnou chuť. Děje se tak v takzvaných tancích, které jsou zcela uzavřené (oproti procesu hlavního zrání mladiny).

Následuje proces ležení; to znamená, že téměř hotové pivo potřebuje dozrát, uležet. Jedná se o technologický proces, kdy se pivo po dobu několika týdnů nechá uležet v prostorech, kde se teplota pohybuje okolo bodu mrazu za působení přetlaku o velikosti zhruba jedné atmosféry.

2 STÁVAJÍCÍ ŘEŠENÍ MINIPIVOVARŮ

Díky velkému rozmachu minipivovarů z důvodu jejich oblíbenosti početné klientely si vlastníci minipivovarů uvědomují, že pivovarnictví je v podstatě hobby a zároveň je třeba při celém vleklejší procesy tvorby piva nutné mít pod kontrolou několik veličin, aby tím zajistili maximální možnou kvalitu hotového produktu jakožto výstupu jejich práce a získání kladného renomé. Jedná se zejména o teploty při vystírání a rmutování, vyvaření chmelových produktů z přidaného chmele chmelovarem, potažmo hlídáním pivním hustoměrem pro získání aktuální hodnoty extraktu v mladině a sledováním tlaku v nádobách určených pro ležení hotového piva.

Princip vaření piva je ve všech pivovarech téměř totožný. Avšak každý pivovar, potažmo minipivovar, může přistupovat k vaření piva jiným způsobem, tudíž se záměrně dopouští obměny při vaření – dochází k experimentování. Se současným nárůstem spotřební elektroniky všeho druhu pro leckteré použití je možné implementovat elektronické součásti do minipivovaru. Kýženým výsledkem implementace elektronických součástek a řídicích systémů může být částečná či úplná automatizace výroby, nebo její částí. Dostupnost takových součástek je dnes běžná, není tolik nákladná, neboť různí výrobci součástek mají různé postupy při jejich výrobě, tudíž zákazník si může zvolit, který produkt si koupí, a to v různých cenových relacích. Je pouze na majiteli minipivovaru, v jaké části výroby potřebuje úlevu a ulehčení jeho práce v rámci výroby piva.

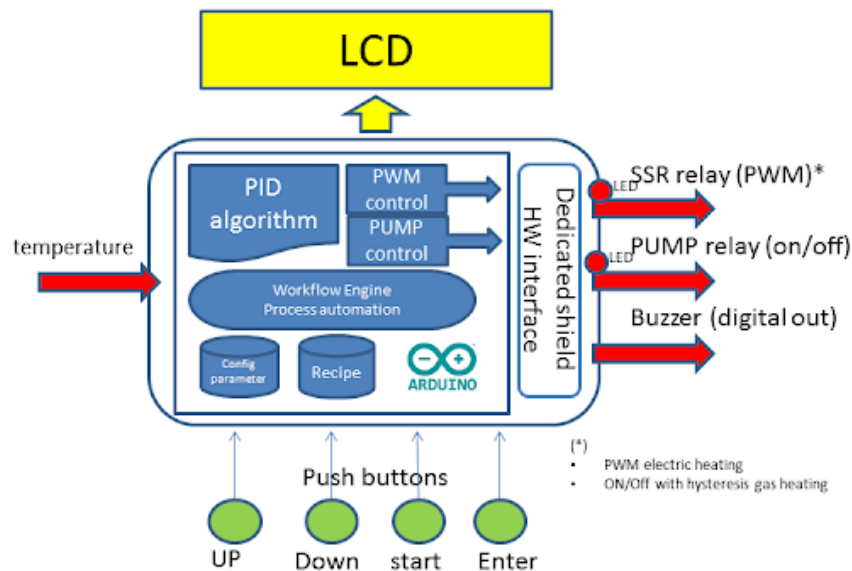
Pro účely automatizace minipivovaru vzniklo několik projektů, zejména od kutilů domácích menších projektů, potažmo profesionálních automatizovaných celků od větších firem zabývajících se průmyslovou automatizací. Jedná se zejména o systémy založené na použití spolehlivých, osvědčených a jednoduchých platforem typu Arduino či Raspberry Pi a jejich obměn v podobě klonů, případně použití profesionálních PLC systémů.

2.1 Projekt Open ArdBir

Hojně používaný projekt a systém s názvem ArdBir je založen na open source platformě Arduino. Jedná se o samostatnou platformu s otevřeným zdrojovým kódem pro vaření piva v domácích podmínkách. Autoři projektu, jimiž je skupina Italů, vymysleli tento systém, který je určený jednak pro amatéry vaření piva, jednak pro pokročilejší uživatele – sládky. Avšak své místo si díky její jednoduchosti a srozumitelnosti kódu oblíbili i minipivovary

pro komerční užití. Sami autoři považují tento projekt zabývající se výrobou piva za vůbec nejpokročilejší ze všech známých amatérských projektů ohledně vaření piva.

Tento projekt je vskutku minimalistický, co se týká hardwarové výbavy, a to zejména díky užití pouze jedné nádoby pro všechny technologické procesy: vystírání, rmutování, vaření mladiny, chlazení i kvašení.



Obrázek 6 Schéma platformy ArdBir [13]

Systém ArdBir se primárně ovládá pouze čtyřmi fyzickými tlačítky v podobě malé čtyřtlačítkové membránové klávesnice. Těmito tlačítky se nastavují parametry provozu, tudíž lze zvyšovat/snižovat požadované hodnoty teplot, vybírat konkrétní uložené programy v paměti pro vaření (specifické recepty), potvrzovat dialogy a pozastavit aktuální proces či jej opětovně spustit.

ArdBir má také grafický výstup v podobě monochromatického LCD o velikosti 20×4 znaků, nebo úspornější LCD displej o velikosti 16×2 znaků. Na displeji se zobrazuje aktuální technologický postup, tudíž uživatel přesně ví v každý moment, co systém právě dělá a v jaké fázi výroby piva se nachází a zároveň uživatel ví, jaká je teplota kapaliny v nádrži. Autoři projektu díky velké popularitě napříč světem lokalizovali po jazykové stránce vypisované údaje do několika světových jazyků. Jednotku teploty lze z praktických důvodů zvolit, na výběr jsou stupně Celsia a stupně Fahrenheita. Dalším zdrojem signalizace aktuálního stavu teploty kapaliny v nádobě je reproduktor, který signalizuje, že požadovaná nastavená teplota byla dosáhnuta. [13]

Všechny použité hardwarové periferie, které tento systém používá, jsou:

- upravená nádoba pro všechny podprocesy vaření piva
- voděodolný snímač teploty DS18B20
- monochromatický LCD
- jednobanální relé typu solid-state
- napájecí jednotka s chlazením 12 V DC
- vodní čerpadlo
- terminály pro stabilnější připojení vodičů
- krabice pro uložení komponent

Jako důležitý element je nutno zmínit, že platforma má implementovaný softwarový regulátor pro ohřevný prvek fungující jako regulátor teploty. Ohřevná teplota je dvoupolohově regulována, aby nedocházelo k nechtěnému přehřívání kapaliny a výrazně teplota v nádobě nekolísala.

Nedílnou součástí je i softwarové úložiště receptů v paměti použitého mikrokontroleru, do něhož lze ukládat a načítat postupy celého vaření specifických druhů pív.

Jak již bylo zmíněno – platforma je založena na Arduinu. ArdBir je řešen na profesionální úrovni, co se týká implementace hardwarových součástí. Je řešen vlastní DPS obsahující jednak celou platformu Arduino UNO, vlastní systém s důležitými periferiemi, jako je reproduktor a terminály pro snadnou montáž vodičů a úhlovými piny. Autoři této minipivovarnické platformy představili i alternativu v podobě použití Arduino Nano. Tím dokázali celý řídicí systém implementovat do menších rozměrů, je tedy kompaktnější, skladnější, v podstatě celý jejich systém na DPS je zhruba téže velikosti modulu s 20 × 4 znaků LCD displejem. Obě dvě hardwarové realizace jsou ve funkčnosti naprosto totožné, totéž se týká i softwaru.

Krabičku pro uložení systémových komponent si ale musí uživatelé vytvořit sami svépomocí, nebyla autory oficiálně navržena. Je ale vhodné umístit takový systém do krytého prostředí, neboť při některých procesech se uvolňuje do okolí nádoby vlhká teplá pára. [13]



Obrázek 7 Demonstrativní ukázka platformy ArdBir

Nutno podotknout, že návrháři platformy ArdBir poskytují v rámci projektu i veškerou jeho dokumentaci, včetně vícejazyčného návodu a popisu všech funkcí i návrh PCB v software Eagle.

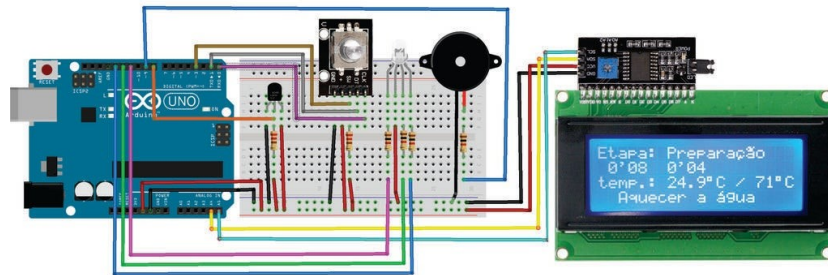
2.2 Projekt Arduino Homebrew

Dalším projektem zabývající se problematikou vaření piva je Homebrew založený taktéž na platformě Arduino. Od výše popsaného komunitou oblíbeného systému se ale tento projekt odlišuje převážně tím, že se zaměřuje pouze na kontrolování teplot v kvasné nádobě a signalizací jednotlivých definovaných stavů. Samotný systém se ovládá pomocí rotačního enkodéru s tlačítkem, přičemž výstup (aktuální stav) systému si uživatel může přečíst na čtyřřádkovém monochromatickém LCD. [14]

Celý projekt je jednodušší povahy, co se týká aplikovaných součástek a jejich zapojení. Hlavními součástkami použitými v tomto systému jsou:

- Arduino UNO R3
- 20×4 znaků monochromatický LCD
- voděodolný snímač teploty DS18B20 v nerezovém pouzdru
- rotační enkodér KY-040 s integrovaným tlačítkem
- RGB dioda
- reproduktor

- plastová krabice k uložení všech součástek
- napájecí jednotka.



Obrázek 8 Schéma zapojení projektu Homebrew [14]

Na připojeném displeji se zobrazuje aktuální fáze vaření piva ze všech jednotlivých stádií jeho produkce, potažmo aktuální teplota čtená z ponořeného voděodolného snímače teploty. Velmi užitečné je i vypisování časů na displeji. Jedna časová hodnota říká, jakou dobu je spuštěn proces vaření, druhá časová hodnota informuje o celkovém času aktuálního procesu ze všech. Zároveň se zobrazí i slovní popis následujícího kroku, aby se uživatel systému mohl patřičně technologicky připravit. Zobrazované dialogy se mohou zobrazovat dvojjazyčně – anglicky či španělsky, avšak jazykovou mutaci je třeba nastavit manuálně v programové části.

Rotační enkodér s tlačítkem má dvojí funkci, a to výběr aktuální funkce, tlačítko v modulu enkodéru má funkci potvrzování dialogů z nabízených funkcí.

Použitý RGB LED modul má informativní funkci. Každá barva signalizuje pro uživatele konkrétní teplotní stav. Programově dokáže systém rozeznat, zda teplota tekutiny zjištěná snímačem je příliš horká oproti očekávané teplotě (indikováno červenou barvou diody), zda zjištěná teplota kapaliny je pod danou mez (indikováno modrou barvou diody), přičemž bledě modrá barva diody indikuje, že byl dosažen technologický milník v podobě skončení jednoho procesu, tudíž systém čeká na interakci uživatele pro spuštění následujícího procesu v pořadí. Pokud svítí zelená dioda, systém je ve stavu vaření, nepotřebuje obsloužit uživatelem. Každé zobrazené hlášení je doprovázeno zvukem pomocí reproduktoru.

Pro časové funkce nebyl použit externí modul s piezokrystalem pro přesnější čítání času, byla použita funkce millis(). K úpravě časových údajů bylo potřeba získaná časová data dělit tisícem, aby výstup z programu byl uživatelsky čitelnější a prostorově úspornější na displeji.

Je faktem, že navržený obslužný program je velmi obsáhlý a paměťově náročný i když obsahuje ve své podstatě jen vypisování dat na displej a zajišťuje kontinuální snímání teploty. Autor navrhuje implementaci dalších procesů a funkcí do stávajícího hardwarového i softwarového řešení, kupříkladu možnost ovládání systému užitím WiFi modulu přes síť, ovládání vodní pumpy pro automatizaci přítoku a odtoku vody a všech stádiích produktu, užití modulu s SD kartou pro zaznamenávání časů vaření piva a vedení statistik a ovládání topného elementu, což je jeden ze stěžejních hardwarových prvků.

2.3 CraftBeerPi

Užitím mikropočítačové platformy Raspberry Pi vznikl projekt CraftBeerPi. Jedná se o celý navržený systém, co se týká hardwaru i kompletního softwaru, včetně srozumitelného GUI pro běžného uživatele.

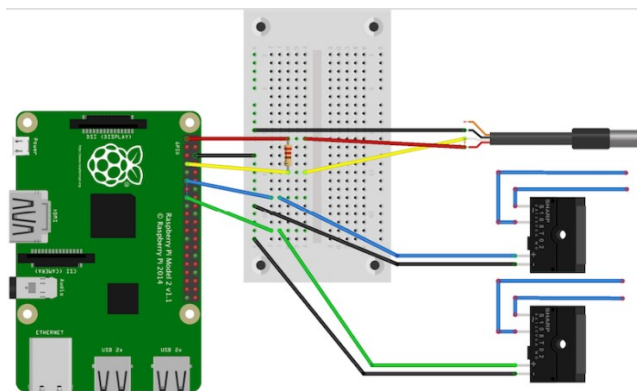
Tento systém se těší velké oblibě velké komunitě domácích sládků zejména díky grafickému výstupu a rozsáhlým možnostem nastavení varné soustavy, respektive použití jen základních nutných prvků, jakými jsou snímač teploty, relé na spínání silových napětí topných elementů a podobně.

Do CraftBeerPi bylo implementováno několik programových kontrolérů pro spínání topných prvků, mezi nimiž si může uživatel vybírat. Obsažen je i precizní PID regulátor bez hystereze i s hysterezí v několika verzích, mimo ně je obsažena i jednodušší logika obsluhující výhřev varných nádob. U regulátorů typu PID lze nastavit v GUI i tři jednotlivé parametry. Je obsažen i samonastavovací PID regulátor, jehož optimální hodnoty programová logika navrhne uživateli sama na základě zjištěných hodnot ze senzorů teplot, jedině, co uživatel zadá do nastavení, je požadovaná teplota. [15]

Hardwarové vybavení navrženého systému jsou:

- jakýkoliv mikropočítač Raspberry Pi (minimálně model A+ a novější)
- SD karta s operačním systémem a softwarovým vybavením
- (volitelně) relé typu SSR na spínání silových prvků
- voděodolný senzor teploty DS18B20
- breadboard či vlastní PCB na osazení hardwarových prvků
- krabice pro uložení řídicího hardware.

V případě nepoužití topných prvků lze taktéž používat tento systém, avšak systém se tím stane pouze kontrolním z hlediska možnosti sledování teplot v nádobách.



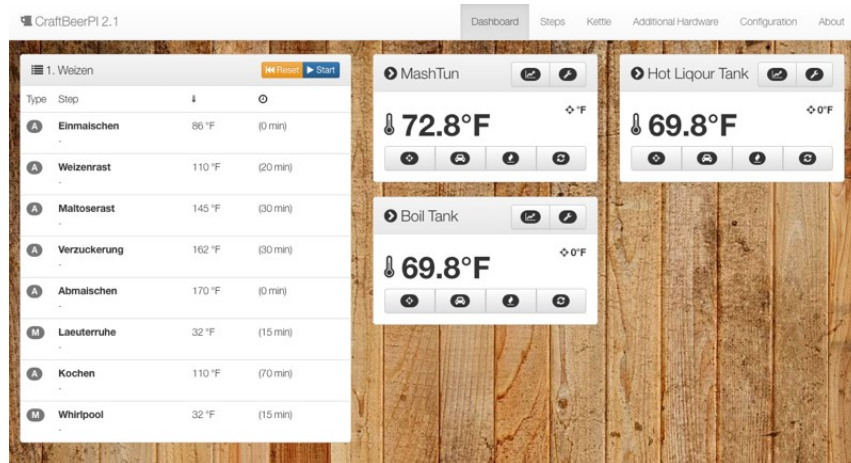
Obrázek 9 Ukázka základního zapojení projektu CraftBeerPi [15]

Svou popularitu si systém zasloužil pro možnost nastavování dílčích parametrů minipivovaru, zejména přidáváním varných nádob a příslušenství v podobě dalších senzorů teplot či správou a identifikací připojených prvků, jako jsou vodní čerpadla pro přepouštění produktů mezi nádobami či napouštění pitné vody pro vaření nebo oběhovou vodu v systému pro rychlé chlazení.

Samotnou produkci piva usnadňuje implementovaný správce pluginů. Jelikož se jedná o stále se rozvíjející platformu pro vaření, dostupné pluginy jsou dodávány uživateli z komunity. Stáhnutí a nainstalování pluginů je volitelné, CraftBeerPi už v základu obsahuje všechny potřebné softwarové nástroje a knihovny pro obsluhu modulů a akčních členů. Jako velkou výhodou této platformy lze považovat možnost stáhnutí škály pluginů, které umožňují použití alternativního snímače pro měření teploty (jiný druh), další softwarové PID i PWM regulátory, různé typy plováků a snímačů plynů (kontrola průběhu procesu kvašení), připojení různých druhů displejů, podpory knihovny Blynk pro správu systému přes WiFi, potažmo i podporu hlasového ovládání pomocí dnes již rozšířených virtuálních asistentů. Teploty, časy a další parametry ze snímačů lze v každém kroku zaznamenávat a zároveň zobrazovat v podobě přehledných grafů. [15]

Systém je plně ovladatelný pomocí webového rozhraní. Díky hostitelské platformě Raspberry Pi lze připojit dotykový tablet, tudíž ovládání a nastavování parametrů systému je jednoduché a intuitivní. Uživatelské rozhraní vytvoří pro každý nadefinovaný hardwarový prvek box, ve kterém se nachází jeho neustále se aktualizující hodnoty. Vedle těchto boxů se nachází i posloupnost kroků vaření řešených taktéž formou boxů obsahujících informace

o celkovém čase procesu a odpočítávání času do jeho konce. Je obsažen i údaj o konečné teplotě. Po každém dokončení procesu se uživateli ukáže hláška o skončení procesu, uživatel je zároveň pobídnut k dalšímu kroku pokračování.



Obrázek 10 Ukázka webového rozhraní CraftBeerPi [15]

2.4 Minipivovary Braumeister

Na trhu si lze vybrat i profesionálnější a patentované systémy pro vaření piva od předních výrobců. Jedním z nich je i řešení od německé firmy Speidel zaměřující se na výrobu komplexních řešení minipivovarů a pivovarnického vybavení, včetně jejich automatizace.

Tato firma řeší pivovar způsobem jedné varné nádoby, kdy vystírání, rmutování, scezování i chmelovar je řešen jedinou nádobou, tudíž řešení není prostorově tolik náročné, jako v případě, kdy na každý dílčí proces vaření je potřeba nádob více.

Unikátností nabízeného řešení spočívá v konkrétních částech způsobu vaření – využívá se klasického ohřevu pitné vody při vystírání a rmutování pomocí topné spirály na dně nádoby, avšak míchání sladiny není zajištěno tradičním způsobem pomocí jednoduššího rotačního pohybu míchadla ale kontinuálním přečerpáváním sladiny. Na oddělování mláta od sladiny se použije vnitřní síto v podobě integrované vyjmutelné nádoby, přes kterou je možnost dodatečně vysladit mláto. Posléze se přistupuje ke chmelovaru. Aparát má ve spodní části nádrže ventil, kudy vytéká hotové pivo. [16]

Další zajímavostí je i způsob chlazení, kdy se využívá dvojitého pláště nádoby. Mezi jejími stěnami koluje chladiivo ve formě studené vody.

Automatizace a programové vybavení nabízeného systému je na vysoké úrovni. Ve spodní části nádrže se nachází i obslužný terminál s tlačítky a displejem, kterým může ovládat výrobu piva. Zvláštností Braumeister minipivovaru je ta, že řídicí logika obsahuje i WiFi modul, kterým lze na dálku řídit chod produkce a zjišťovat teploty aktuálního produktu a stav technologického procesu. Výrobce taktéž poskytuje vlastní webové rozhraní, kde se může uživatel zaregistrovat a přidat nakoupené minipivovary a spravovat je odtud. Správou se rozumí i ukládání a načítání oblíbených receptů konkrétních druhů pív, u nichž se liší postup tvorby (teploty, doby zapnutí ohřevu, několikanásobný chmelovar a podobně). Nevýhoda celého systému spočívá v tom, že neobsahuje absolutní automatizaci, to znamená, že výrobce neimplementoval subsystém pro automatické scezování, automatické vyjmutí mláta či ovládání výpusti pro odtok produktu po skončení všech procesů. Takové stavy jsou ale ošetřeny zvukovou signalizací a zároveň notifikací uživatele v aplikaci, aby je obsloužil uživatel manuálně.

Výrobce slibuje automatické aktualizace programového vybavení a zároveň stahování a sdílení receptů v rámci rozšiřující se komunity užívající tento navržený systém.



Obrázek 11 Řez varnou nádobou Braumeister [16]

Nutno podotknout, že tento nabízený komplexní systém je poněkud dražší, neboť v ceně je i nerezová nádoba a veškerý montážní materiál. Cena produktu se pohybuje od 30 tisíc korun českých za variantu o produkovaném množství 10 litrů piva na jedno vaření, střední varna o produkovaném množství 50 litrů stojí 55 000 korun českých, největší automatizovaná varna piva o produkovaném objemu 1 000 litrů je ceněna na 1 200 000 korun českých. Na výběr jsou ale další varny a různých objemech. Oproti předešlým projektům na bázi

mikrokontrolerových a mikropočítačových platformem se jedná o dražší systém, který si zájemce může pořídit.

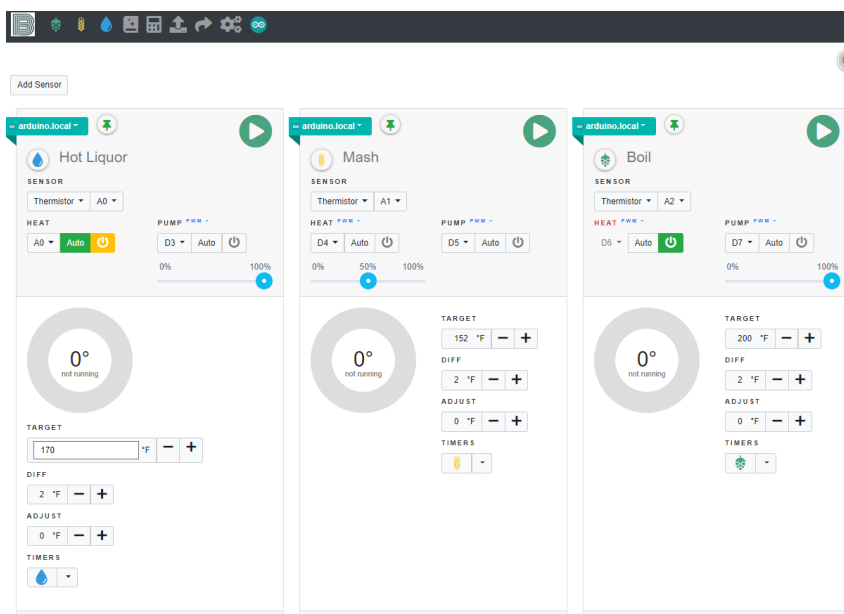
Výrobce konkrétní použité součástky v produktu včetně zdrojových kódů softwarové podpory nezveřejňuje, jedná se tudíž o výrobní tajemství a uživatel nemůže zasahovat do systému jako takového v rámci vylepšení svépomocí, zejména do softwaru.

2.5 Projekt BrewBench

Pivovarnický systém Brewbench s pořízenými součástkami sestaveného na bázi platformy Arduino lze řídit a kontrolovat i vzdáleně. Pro menší softwarovou náročnost z hlediska znalostí a zkušeností uživatele, který se rozhodne pivo vařit a celý produkční řetězec sledovat a řídit a zároveň nemá téměř žádné zkušenosti s programováním mikropočítačů, se jedná o čistě programovou platformu nabízející veškeré kroky pro vaření piva.

Jediným požadavkem pro využití služeb BrewBench je implementace shieldu či modulu pro síťovou komunikaci, neboť komunikace mezi sestaveným pivovarnickým hardwarovým systémem a programem spuštěným na vzdáleném serveru probíhá za pomoci REST API.

V nastavení BrewBench je nutné zadat IP adresu WiFi modulu pivovarnického systému. Uživatel si může zvolit, zda bude chtít komunikovat se serverem přes nezabezpečený i zabezpečený protokol. [17]

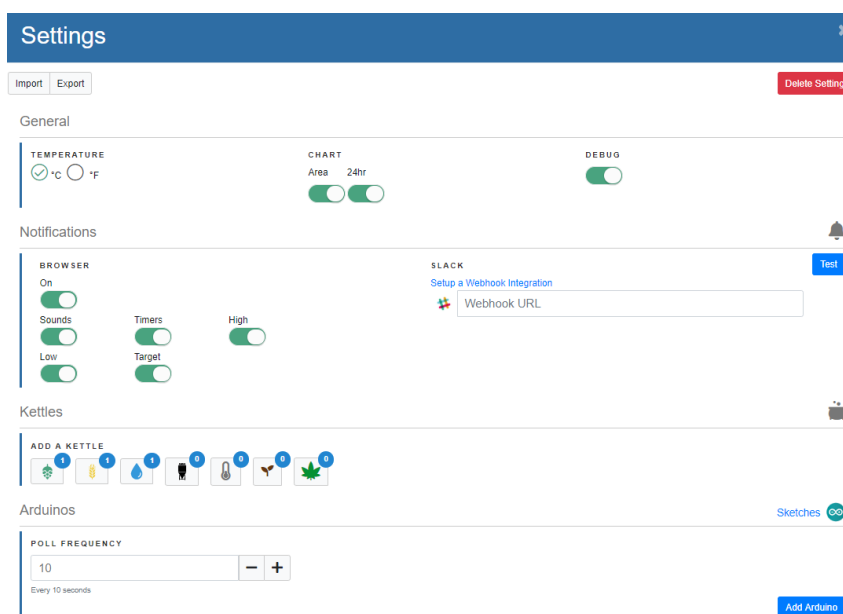


Obrázek 12 Ukázka vzdálené obsluhy řídicího systému BrewBench [17]

Vzdálený řídicí systém podporuje mnoho oblíbených členů snímání teploty, vlhkosti, ať už se jedná o známé senzory rodiny DHT (11, 21, 22, 33 a další), potažmo DS18B20 a platinové termistory na bázi PT100, polovodičové (SSR) či mechanické relé. Systém podporuje i hotové termostaty od společností Ranco či Inkbird. Potřebné knihovny pro obsluhu modulů je potřeba zapnout ve webovém rozhraní služby řídicího systému.

Uživateli se po navázání spojení se serverem BrewBench naskýtá možnost nastavit stylem boxů typy varných nádob a jejich objemů. Každý box obsahuje tlačítko pro spuštění konkrétního technologického procesu, volbu čtení a zápisu na fyzickém pinu Arduina; v případě, že jeden konkrétní proces tvorby piva používá čerpání kapalin v nádobě, systém umožní ovládání tohoto čerpadla. Teplotu lze ovlivňovat topnými prvky a udržovat ji pomocí PWM regulace výkonu topných prvků, kterou lze posuvníkem nastavit na požadovanou hodnotu. Samozřejmostí je i možnost nastavení časů ohřevů a teplotní hysterezi. Díky maximálnímu zjednodušení vaření si u časovačů lze vybrat konkrétní druh vody (z hlediska látek v ní rozpuštěných či jejího typu), vybranou odrůdu ječmene i odrůdy chmele. V případě potřeby několikanásobného chmelení je možnost přidat více odrůd použitého chmele pro chmelovar a nastavení časů chmelovaru zvlášť.

Významná část projektu poskytuje i „pivní kuchařku“ s návody a popisy různých druhů piv a možnost importu či exportu výrobních postupů pro možnost sdílení s komunitou ve formátu XML. [17]



Obrázek 13 Ukázka nastavení systému BrewBench [17]

V horní části webového rozhraní lze sledovat grafy, do nichž jsou vynášeny hodnoty teplot v závislosti na čase. Interakcí s grafy kurzorem lze vyčíst průsečíkem precizně veškeré sledované hodnoty. Lze taktéž nastavit zvukové upozornění při dosažení teplot a časů vaření.

Autorem řídicího systému BrewBench je Američan, který stále udržuje a vylepšuje tuto open source pивní platformu, a to zcela zdarma pro všechny zájemce.

3 NÁVRH SNÍMAČŮ A AKČNÍCH ČLENŮ

Z kapitol uvedených výše lze vyvodit závěr, že možností, jak zautomatizovat různé procesy minipivovaru všech možných velikostí a provedení, je mnoho. Mnoho z již existujících projektů zabývajících se tvorbou piva je založeno na bázi rozšiřitelných mikrokontrolerových či mikropočítačových platforem, které jsou udržovány početnou komunitou, která neustále pracuje na vylepšeních. V minipivovaru lze sledovat a řídit velkou škálu procesů, jedná se zejména o sledování rozhodujících teplot vody používané při vystírání, teplotu díla při rmutování, chmelovaru, teploty v technologických nádobách pro dozrávání hotového produktu, potažmo sledovat množství čerpané vody proudící mezi nádobami, sledovat parametr vody – hodnotu pH. Zasahovat do systému lze na základě dosažení konkrétních časů procesů (rmutování, louhování chmelových produktů, přečerpávání chladiva nebo pitné vody), potažmo zasahovat do tepelné soustavy pro zapínání, či vypínání ohřevu z hlediska minimálních a maximálních teplot termostatu, obsluhovat čerpadla na scezování, míchadla rmutu, respektive obsluhovat kulové ventily elektromagnetickým solenoidovým ventilem a automatické manipulátory ventilů uzavírající ventily jednotlivých nádob.

Návrh systému pro řízení minipivovaru v rámci této práce následuje trend automatizace v tomto technologickém odvětví použitím platformy Arduino, a to konkrétně modelem MEGA 2560 s využitím některých modulů pro snímání veličin a řízení akčních členů.

Jelikož se jedná o komplexnější projekt větších rozměrů a implementací stávajících součástí jiného systému z důvodu použití více rozličných modulů, součástí a nasazení ve výrobním prostředí, výhoda tohoto modelu je jasná – obsahuje totiž více vstupně-výstupních pinů pro osazení součástkami a moduly oproti použití modelu Arduino UNO či alternativním modelem platformy Arduino. Následující řádky se zabývají návrhem stěžejních hardwarových prvků použitých ve vlastním systému jakožto snímače měřitelných veličin či akční členy.

3.1 Teplotní senzor Maxim DS18B20

Snímač teploty DS18B20 je uživatelsky programovatelný digitální teplotní senzor, který se těší oblibě díky jeho dostupnosti a použitelnosti. K dostání je v provedení v pouzdře TO-92 nebo v nerezovém pouzdru určeném pro aplikace ve vlhkém prostředí nebo přímo v kapalinách. Tento snímač teploty umožňuje číst data z měření v podobě 9 až 12bitového

čísla, přičemž rychlost převedení naměřené hodnoty teploty je v případě 9 bitového čísla do 100 milisekund a v případě použití 12bitového převodu je udávaná rychlost výrobcem 750 milisekund.

Senzor umožňuje programově nastavit alarmovou funkci při náběhu či sestupu měřené teploty umožňující zároveň i identifikaci (adresaci) konkrétního snímače, který tento alarm spustil. Zároveň každý snímač tohoto typu má v jeho nevolatilní paměti uloženou unikátní adresu pro jeho jednoznačnou identifikaci v případě, kdy projekt, který implementuje více těchto měřicích členů, obsahuje vícero těchto jednotek pro adresaci konkrétních jednotek.

Podstatnou výhodou použití právě tohoto typu senzoru je i fakt, že umí komunikovat a zároveň být napájen s použitím 1-Wire rozhraní, což v praxi znamená, že ke čtení dat ze senzoru je potřeba jeden datový pin a dva napájecí piny, potažmo je možné zapojit tento senzor v takzvaném parazitním režimu, to znamená použití datového vodiče pro napájení a zároveň pro čtení dat ze senzoru. [18]



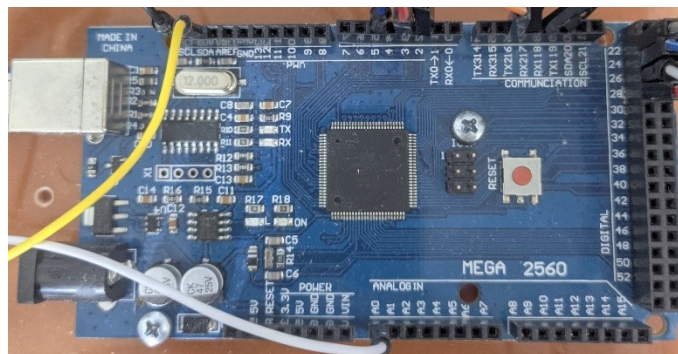
Obrázek 14 Voděodolné snímače teploty DS18B20

Parametry snímače měřicího senzoru uvedené výrobcem tedy jsou:

- napájení 3 V až 5,5 V DC
- měřitelné teploty v rozsahu -55 °C až $+125\text{ °C}$
- $\pm 0,5\text{ °C}$ přesnost měření (při teplotách -10 °C až $+85\text{ °C}$)
- možnost nastavení rozlišení v rozsahu 9 až 12 bitů
- parazitní režim umožňující použití pouze 2 pinů (Data a GND)
- identifikace snímačů pomocí uložené adresy v paměti senzoru. [18]

3.2 Prototypovací deska Arduino MEGA 2560

Platforma Arduino je známá a mezi jejími uživateli oblíbená svou otevřeností co se týká veškerých zdrojových kódů, dostupností kompletního řešení na DPS v rámci dokumentace, možností součástkové modifikace a podobně. Projekt Arduino byl vyvinut v Itálii, aby podpořil a usnadnil výuku a pochopení programování mikrokontrolerů. Platforma umožňuje realizaci vlastních projektů ve smyslu možnosti použití hardwarových modulů v podobě nejrůznějších senzorů (teploměry, vlhkoměry, tlakoměry, PIR senzory, gyroskopy, akcelerometry, měření parametrů plynů a vody, průtokoměry apod), či možnosti obsluhy členů zasahujících fyzicky do systémů (solenoidové ventily, krokové motory, čerpadla, relé apod). K dostání je i pestrá škála takzvaných shieldů, které řeší kompletní implementaci senzorů a akčních členů na jednom modulu tak, aby mohl být shield zapojen přímo k vývojové desce bez nutnosti dodatečného ošetřování IO pinů používaných ke komunikaci s nadřazenou řídicí jednotkou či stabilizaci napájecího napětí, čemuž běžný uživatel nemusí plně rozumět a chápat.



Obrázek 15 Vývojová deska Arduino MEGA 2560

V současné době je tato platforma hojně vyhledávaná pro implementaci tzv. Smart Home – jedná se o automatizaci elektronického příslušenství na úrovni domu či bytu umožňující plošné sledování stavu částí domu a jeho okolí a umožnění zásahu/regulace vybraných veličin v nich. Systémy typu Smart Home se sledují i řídí vzdáleně (či lokálně) pomocí aplikací ve smartphonech uživatelů nebo jiných zařízení, které komunikují po síti. Naskýtá se tedy možnost zapojení do takzvaného IoT – dá se říci, že právě IoT je nadřazené Smart Home systémům.

Pro jednodušší a rychlejší vývoj softwaru pro tyto vývojové desky, osazené většinou osmibitovými mikrokontrolery, je od autorů této platformy dostupné i IDE (nazvané prostě

Arduino IDE), pomocí kterého mohou uživatelé napsat vlastní zdrojový kód k jejich projektům a nahrát jej jednoduše pomocí populárního USB rozhraní do paměti MCU, tudíž není třeba k účelům nahrávání programů a komunikaci mezi počítačem a MCU externího programátoru. [2]

Pro projekt minipivovaru byla zvolena vývojová deska Arduino MEGA 2560, která obsahuje mikrokontroler Atmel MEGA 2560 (kódové označení ATmega2560) zejména z důvodu možnosti využití 54 digitálních a 16 analogových pinů pro připojení navržených periférií a modulů, včetně shieldů. Napájení je řešeno skrze USB (verze s několika typy koncovek – USB typ B, microUSB) či z externího zdroje napájení (baterie, powerbanka). Pracovní napětí Arduino MEGA 2560 je 5 V DC (určeno rozhraním USB), avšak v případě použití externího zdroje napájení lze vývojovou desku napájet 7 V až 12 V DC – na vývojové desce jsou obsaženy i napěťové regulátory v blízkosti modulů napájení (na 3.3 V DC a 5 V DC), tudíž lze napájet i běžnou USB nabíječkou ze zásuvky na 230 V AC v prostředí nasazení systému. [19]

Důležitým parametrem této vývojové desky je velikost paměti pro uložení programu. Ta má velikost 256 kB, avšak 8 kB je vyhrazeno pro bootloader. Oproti Arduino Uno s 32 kB flash paměti má ATmega2560 o mnoho více dostupné paměti, tudíž lze předpokládat a využít větší počet senzorů a dalších členů pro projekt a zároveň napsat více softwarových funkcí pro obsluhu systému jako takového. Pro uložení konstant lze využít i 4 kB velké paměti typu EEPROM. [6]

Rychlost mikrokontroleru určuje hodinový takt poskytovaný krystalovým oscilátorem; v případě ATmega2560 je hodinový takt 16 MHz.

Nutno podotknout, že díky open source povaze projektů vývojových desek typu Arduino existuje nespočet alternativních (neoficiálních) výrobců těchto desek, avšak tyto výrobci se většinou řídí oficiálními návrhy, tudíž používají parametricky stejné (nebo velice podobné) součástky i formáty DPS a rozvržení součástek na nich, aby zachovali možnost připojení shieldů a jiných rozšiřujících modulů. Řešení alternativních výrobců pomohlo zásadně k rozšíření vývojových desek Arduino mezi uživateli komunity a zároveň snížení výrobních nákladů, nicméně kvalita některých desek či použitých součástek se může lišit od původních a certifikovaných od italských výrobců, zejména v negativním slova smyslu – na úkor kvality tištěných spojů a životnosti finálních vývojových desek či jejich komponentů.

3.3 Automatický manipulátor kulových ventilů

Jedná se o servopohon určený pro ovládání ventilů, skrze které protékají kapaliny či plyny. Stroj kompaktních rozměrů 100 mm × 90 mm × 70 mm umožňuje ovládat dvoupolohově (otevřen/zavřen) ventil bez nutnosti dodatečné úpravy potrubí ve smyslu řezání a sváření. Implementovaný servopohon zajišťuje otočení jeho hřídele do mezipolohy, tudíž lze regulovat ovládaným ventilem jmenovité množství protékající kapaliny či plynu. Manipulátor sestává z těchto stěžejních částí, a to:

- servopohon
- pohyblivé rameno pro uchycení páčky ovládaného ventilu
- kroužková pojistka pro manuální otáčení páčky/ventilu
- kovové uchycení na potrubí
- krycí plastové šasi servomotoru
- dva izolované vodiče určené pro napájení

Princip funkce automatického manipulátoru je prostá – po připojení napájecího napětí se připojená hřídel začne otáčet plynule kolem své osy o 90 °, přičemž se otáčí kulový ventil potrubí z polohy otevřeno, či zavřeno a naopak. Jakmile se otočí o 90 °, v koncové poloze se zastaví otáčení hřídele.

Dosáhnutím krajní polohy (ventil otevřen/uzavřen) je otáčení hřídele zastaveno pomocí koncového spínače uvnitř konstrukce manipulátoru; při opětovném připojení napájecího napětí s přepnutím polarity napájecího napětí se hřídel motoru pohybuje opačným směrem opět do koncové polohy o 90 °.

Servopohon může být napájen v rozsahu 8 V DC až 16 V DC. Dobu potřebnou k úplnému uzavření či otevření ventilu výrobce uvádí 3 sekundy až 8 sekund (v závislosti na přiloženém napájecím napětí). Spotřeba elektrického proudu činí do 100 mA při otáčení hřídele.



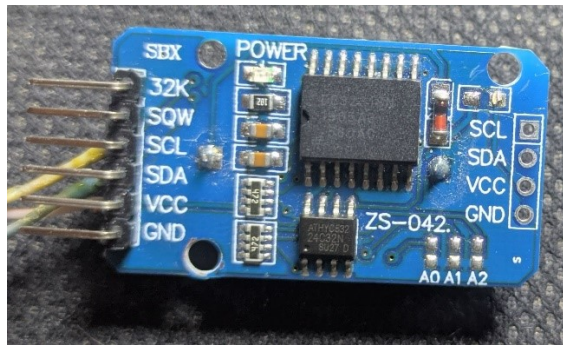
Obrázek 16 Manipulátor kulových ventilů

Automatický manipulátor je ovládán pomocí relé. Toto umožňuje použití v případě minipivovaru, kdy lze usnadnit manipulaci s ventily, kudy teče kapalina bez nutnosti ovládat kulové ventily manuálně. V případě aplikování řídicí logiky pomocí mikrokontroleru je možné na dálku ovládat relé přivádějící napájecí napětí pro automatický manipulátor. Pro případ havárie některé části systému či náhlé potřebě otevřít/zavřít ventil je obsažena i hřídelka pro manuální otáčení ovládaného kulového ventilu bez nutnosti demontovat celý manipulátor. Po manuální zásahu je potřeba vrátit hřídel umožňující manuální otáčení hřídele s pojistkou na původní místo, aby bylo možné uvést automatický manipulátor do původního funkčního stavu.

3.4 Modul reálného času Maxim DS3231

V dílčích procesech vaření piva je nutné sledovat čas zejména v případě, kdy je spjatý s měřenou teplotou (kupříkladu během procesu rmutování či chmelovaru, potažmo při sledování dalších časových průběhů).

Sledování času umožňují obvody RTC, které fungují na principu generování hodinových pulzů z oscilátoru připojeného krystalu (vyráběného z oxidu křemičitého), kdy působením vnější síly na připojený krystal v elektrickém obvodu začne samotný krystal generovat malé elektrické napětí střídavého charakteru, který se dá využít právě k pravidelnému čítání hodnot, potažmo času. S pomocí těchto piezokrystalů fungují procesory i mikrokontrolery obsažené v elektronice různých druhů a různým zaměřením. [5]



Obrázek 17 Modul reálného času DS3231

Platforma typu Arduino není výjimkou – mikrokontroler ATmega2560 je buzen piezokrystalem s frekvencí 16 MHz. Softwarová podpora této platformy umožňuje využívání systémových hodin právě na základě tohoto piezokrystalu pomocí knihovny s názvem Time. Pro potřebu čítání přesného času kdykoliv během programu je ale nutné nespolehat se na systémový čas, neboť pokaždé, když se vývojová deska odpojí od napájení, čítač pulzů generující piezokrystalem se resetuje zpět na původní hodnotu, neboť na vývojové desce se nenachází žádný záložní zdroj energie. V případě havárie systému řízeném vývojovou deskou Arduino by nebylo možné vrátit se do původního stavu systému (v závislosti v daném konkrétním čase výpadku napájení). Takové případy, kdy je potřeba měřit čas, pokrývá možnost použití RTC modulu, což je součástka s dalším piezokrystalem generujícím hodinový pulz, na destičce bývá přítomna i knoflíková lithiová baterie pro zálohu času v případě přerušení primárního zdroje napájení (z Arduina). Modul reálného času DS3231 se připojuje pomocí rozhraní IIC k odpovídající datové sběrnici. [3]

Modul reálného času DS3231 od společnosti Maxim je realizován formou malé desky plošných spojů o rozměrech 38 mm × 22 mm × 14 mm. Na desce je přítomna i patice na třívoltovou knoflíkovou baterii. Součástí RTC modulu je i paměť typu EEPROM, která může sloužit pro ukládání dat z mikrokontroleru (nastavující parametry, zapisované hodnoty ze senzorů, čas atd) o velikosti 32 kb, čili 4 kB.

Výrobce udává technické parametry DS3231 v datasheetu takto:

- napájecí napětí 3,3 V až 5,5 V
- při 0 °C až 40 °C přesnost ±2 ppm
- integrovaná kompenzace teploty krystalu
- přítomna LED dioda indikující napájení modulu

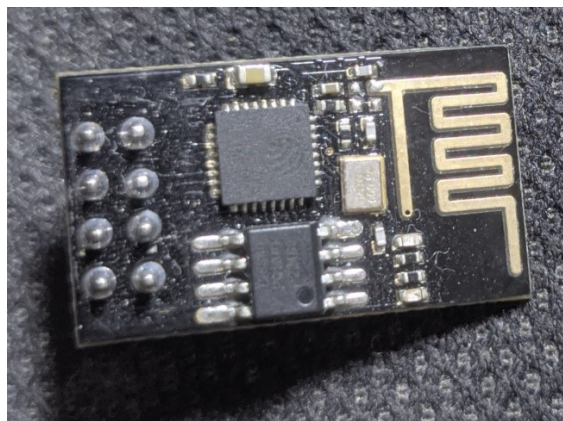
- obsažena paměť AT24C32 EEPROM o velikosti 32 kb na modulu
- modul připojitelný skrze standardní rozhraní IIC
- adresa pro identifikaci modulu 0x57 nebo 0x68 [20]

3.5 WiFi modul ESP-01 (ESP8266)

Modernizací soudobých systémů se rozumí i jejich sledování a řízení dálkově přes síť užitím leckterých protokolů umožňujících komunikaci mezi dvěma či více zařízeními. Jako média určená pro komunikaci v rámci sítě se používají metalická (kabely zakončené koncovkou, většinou typu RJ45), optická, či bezdrátová.

Požadavky na řídicí systémy se různí. Je možné na základě získaných hodnot ze vstupů reagovat na vzniklé události (příkladem překročení prahu maximální hodnoty teploty, vlhkosti, otáček motoru, změna jakéhokoliv stavu sledované veličiny) zákrokem do systému – kupříkladu regulací, potažmo zobrazovat měřitelných veličin na displeje, tablety, terminály a další zobrazovací jednotky.

Komunikací s řídicím systémem se rozumí navázání spojení mezi zařízením, kde je potřeba sledovat systémové veličiny a řídit daný systém (smartphone, tablet, nadřazený počítač se síťovou kartou) a zařízením zprostředkovávajícím zjištění stavu z připojených komponent (snímače, akční členy apod).



Obrázek 18 Modul pro bezdrátovou komunikaci ESP8266

Pro účely řízení pivovaru a sledování fyzikálních veličin v něm byl zvolen modul na bázi mikročipu s označením ESP8266. Důvodem jeho implementace je jednoznačně jeho

malá velikost a skutečnost, že na drobné DPS je obsažena i tištěná anténa, tudíž není nutné připojovat externí anténu, nicméně lehkou modifikací lze upravit modul tak, aby bylo možné připojit externí anténu s větším ziskem pro pokrytí rozlehlějšího areálu sítí i na větší vzdálenost. Z hlediska připojení do sítě pokrývající blízké okolí minipivovaru (to znamená zároveň i řídicího systému) postačuje právě tištěná anténa, jedná se o lokální komunikaci v síti provozované technologií WiFi. Zároveň bude i tato lokální síť kryta před neprivilegovanými zařízeními v dosahu WiFi signálu. Modul ESP-01 lze provozovat i samostatně, obsahuje totiž mikrokontroler se dvěma IO porty použitelné pro připojení jakéhokoliv zařízení bez nutnosti připojení k dalšímu řídicímu mikrokontroleru či mikroprocesoru.

Technické parametry udávané výrobcem modulu jsou následující:

- integrovaná (tištěná) anténa na DPS
- integrovaný mikrokontroler typu RISC, programovatelná paměť
- obsluha modulu pomocí jednoduchých AT příkazů
- podpora šifrovacích standardů (WEP, AES, TKIP, WAPI)
- podpora režimů AP, STA, AP + STA
- podpora komunikačního standardu IEEE 802.11 b/g/n [21]

3.6 Sonda pro měření hodnot pH v kapalinách

Pro případy měření reálných hodnot kyselosti a zásaditosti kapalin lze použít lakmusové papírky, které fungují na bázi reakce extraktu z určitých druhů lišejníků se zkoumaným médiem. Výsledkem po namočení lakmusového papírku do zkoumaného média je zbarvení papírku, které se porovnává s paletou barev, kde každá barva odpovídá konkrétní hodnotě pH (z anglického „power of Hydrogen“, odtud zkratka pH).

Při porovnávání získaného zbarvení papírku je možné, že pozorovatel chybně stanoví sledovanou hodnotu pH na základě odstínu, neboť některé odstíny barev mohou být na rozhraní dvou. Ač se jedná o jednu z nejstarších metod vyhodnocování povahy hodnoty pH, není možné s velkou přesností určit sledovanou hodnotu, byť v některých případech užití je nutné sledovat i desetinná místa hodnoty pH (chemický a potravinářský průmysl, akvaristika, chemická úprava vody čističkami vod apod).

Pokud má zkoumaná látka hodnotu pH rovno 7, pak říkáme, že daná látka má pH neutrální. Pokud má látka hodnotu pH menší než 7, pak takové látce nazýváme kyselá. Pokud má látka hodnotu pH větší než 7, pak takové látce nazýváme zásadou. [1]

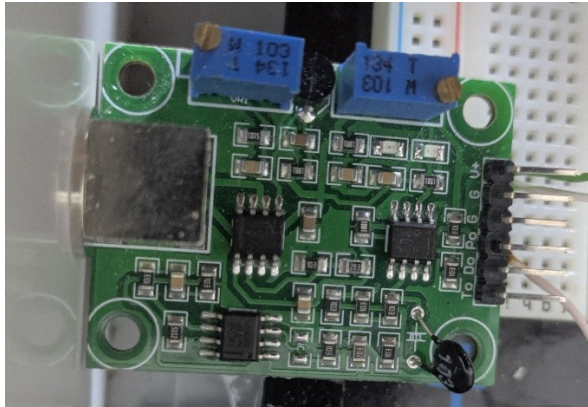


Obrázek 19 Sonda pro měření pH kapalin

K pokročilejší, přesnější a komfortnější identifikaci hodnot pH v současnosti použít i elektronickou techniku v podobě měřicí sondy a vyhodnocovacího obvodu realizovaného na DPS. Testovací sonda funguje na principu zjišťování koncentrace vodíkových iontů (H^+) v roztoku. Ke zjišťování této koncentrace vodíkových iontů se používá vyhodnocování elektrického napětí mezi referenční elektrodou (vyrobené ze stříbra), která je citlivá právě na koncentraci iontů vodíku, a skleněnou elektrodou. Výstup ze sondy se připojuje k vyhodnocovacímu elektronickému obvodu, který na jeho výstupu generuje analogový signál, který lze dále zpracovávat a vyhodnocovat. Propojení pH sondy s vyhodnocovacím obvodem je realizován standardním koaxiálním stíněným kabelem zakončeného konektorem BNC.

Je nutné podotknout, že sonda a obslužný elektronický obvod musí být kalibrován, aby na vyhodnocovacím výstupu mohla být zobrazena reálná a nezkreslená hodnota pH. Vyhodnocovací obvod obsahuje dva odporové trimry;

- **trimr 1** slouží ke korekci získaného pH ze sondy ku reálnému pH konkrétního roztoku se známou hodnotou pH
- **trimr 2** slouží k nastavení prahu detekce pH pro rozsvícení LED diody obsažené na DPS jakožto indikátor překročení nastavené hodnoty pH (ve smyslu varovného signálu).



Obrázek 20 DPS pro obsluhu pH sondy

Výrobce pH sondy a její DPS uvedl technické parametry:

- rozsah měření pH: 0 až 14
- čas ustálení hodnoty pH: do 60 sekund
- napájecí napětí 5 V DC
- hardwarová korekce pH pomocí odporového trimru
- indikační LED po dosažení nastaveného prahu pH
- přesnost sondy: 0,2 pH
- propojení koaxiálním kabelem s konektorem typu BNC s vyhodnocovací DPS
- pracovní teplota 0 °C až 60 °C (totéž i testované médium) [22]

3.7 LCD displej 2004

Stavové hlášky je potřeba sledovat z důvodu kontroly aktuálního stavu a jednotlivých periférií systému. Je výhodné mít vedle programových hlášek vypisované pomocí sériové linky čísta data na displeji, neboť nebude k dispozici stolní počítač či laptop s patřičným vývojovým prostředím pro zvolený mikrokontroler či software pro vzdálené ovládání (typu Putty).

Jelikož pro Arduino existuje několik druhů zobrazovacích jednotek, zejména LCD, úspornější OLED či TFT displeje včetně dotykové vrstvy; pro potřeby tohoto projektu byl zvolen monochromatický LCD displej, který disponuje 20 sloupci a 4 řádků pro

zobrazení standardních znaků z ASCII tabulky a dobrou čitelností s LED zadním osvětlením.

Komunikace zvoleného monochromatického LCD displeje s mikrokontrolerem může probíhat několika způsoby pomocí sběrnic, a to užitím SPI rozhraní a vodičově úsporného I2C rozhraní, kde se předpokládá použití I2C adaptéru, který se běžně dodává k displeji či jej lze dokoupit zvlášť. Jelikož se do budoucna předpokládá nadále rozšiřovat stávající navržený systém, bylo zvoleno I2C rozhraní, neboť lze připojit až 128 zařízení jakéhokoliv druhu podporujících tento typ sběrnice, což značně rozšiřuje technické možnosti projektu bez použití dalších dedikovaných pinů mikrokontroleru. [5]



Obrázek 21 LCD se zobrazením znaků

Čitelná část displeje sestává z políček ve tvaru obdélníku, na řádku se nachází celkem 20 znaků, celkem 4 řádky jsou k dispozici. To pokryje potřeby zobrazování hlášek a hodnot během vaření piva a obsluhy zařízení v dílčích částech minipivovaru. Každý z těchto znaků sestává z elementárních a již nedělitelných částí, které lze využít k vypsání vlastních znaků nepatřících do základních znaků z ASCII tabulky. Displej má ve vlastním vybavení rovnoměrné podsvícení. Jeho intenzitu a čitelnost znaků na něm lze regulovat připojením potenciometru, potažmo připojením odporu 220 Ω . Potenciometr pro regulování intenzity podsvícení je součástí převodníku na I2C. [5]

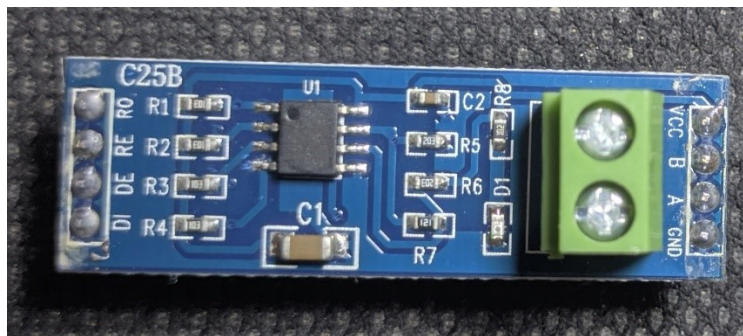
Výrobce udává o displeji následující parametry:

- hlavní řídicí čip SPLC780D
- provozní napětí 5 V DC
- možnost komunikace užitím SPI a I2C rozhraní
- regulovatelné podsvícení displeje
- rozměry modulu 98 mm × 60 mm × 12 mm [23]

3.8 Modul převodníku TTL na rozhraní RS485

S vývojovou deskou Arduino MEGA 2560 bude propojen i stávající systém v minipivovaru, který je založen na bázi mikropočítačové platformy Raspberry Pi 3 Model B, konkrétně se jedná o PLC s názvem Unipi M203, na nějž jsou připojeny ovládané akční členy (elektromotory, stykače) a několik snímačů teploty DS18B20 snímající teplotu v technologických nádržích.

Softwarová výbava vývojových desek typu Arduino disponuje knihovnamí umožňující použití komunikačního rozhraní mezi účastnickými zařízeními, jedná se zejména o I2C (2 datové vodiče, 2 napájecí vodiče), SPI (4 vodiče datové, 2 napájecí vodiče), UART (dva datové vodiče). Účastnická zařízení komunikující na těchto rozhraních se označují jako „master“ (řídící) a „slave“ (ovládané, řízené). Arduino MEGA 2560 tudíž v roli „master“ ovládá výstupy a čte vstupy z řízeného systému Unipi M203 užitím komunikačního protokolu ModBus.



Obrázek 22 Převodník na rozhraní RS485 se svorkovnicí

Jedná se o standardní průmyslové rozhraní, které umožňuje komunikaci na velké vzdálenosti (až 1 200 metrů bez opakovacích prvků), což postačuje pro potřeby minipivovaru realizovaného v menším domě.

ModBus protokol je provozován pomocí UART rozhraní na Arduino (Tx – vysílací pin, Rx – přijímací pin).

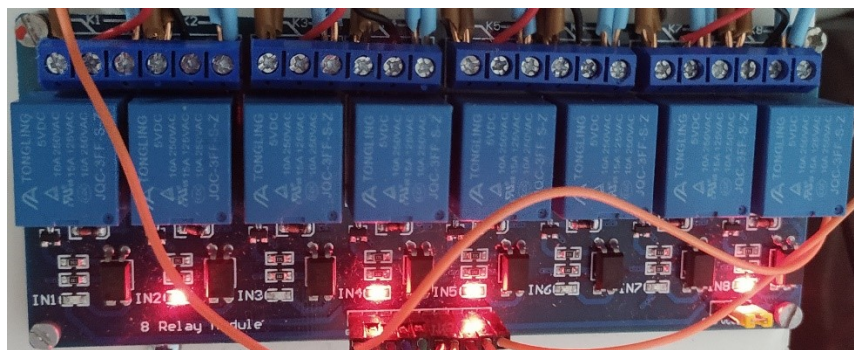
Použitý převodník má technické parametry:

- použitý čip Maxim MAX485
- poloduplexní přenos
- rychlost přenosu dat až 2,5 Mbps

- napájecí napětí 5 V DC
- velikost modulu 44 mm × 12 mm [24]

3.9 Modul s osmi relé

Tento modul byl vybrán pro ovládání vybraných manipulátorů kulových ventilů, neboť na jedné desce je přítomno 8 relé ovladatelných pomocí mikrokontroleru napětím 5 V DC. Nespornou výhodou této desky je fakt, že ji lze napájet pouze jedním párem napájecích vodičů, které budou napájet veškeré připojení komponenty na této desce, tudíž dojde k úspoře napájecích vodičů a zpřehlední se fyzické zapojení této desky.



Obrázek 23 Zapojená deska osazená 8 mechanickými relé

Každé relé je galvanicky oddělené optočlenem od řídicí elektroniky. Ovládací kontakty desky s osmi relé jsou realizované pomocí pin headeru, tudíž je možné použít jumper vodiče na propojení s řídicí vývojovou deskou. Zapojování vodičů na výstupy jednotlivých relé jsou realizovány pomocí svorkovnic se třemi vstupy (kontakty NO – normálně otevřeno, NC – normálně zavřeno, COM – společný). Každé relé má stavovou LED, kterou lze chápat jako kontrolku stavu sepnutí kontaktů relé.

Výrobce desky osazenou osmi relé výrobce v katalogovém listu popisuje následovně:

- napájecí napětí 5 V DC
- LED indikace stavu sepnutí jednotlivých relé
- třívstupové svorkovnice u každého relé pro pohodlnou montáž vodičů
- desetipinový header pro připojení napájení a ovládání relé (2 + 8)
- rozměry desky 135 mm × 53 mm × 17 mm (větší tloušťka kvůli výšce relé) [25]

3.10 Reprodukční 1 W

Jedná se o reproduktor malých rozměrů bez zesilovače, který dokáže reprodukovat tóny, a to v široké škále. Pro potřeby pivovaru jej lze implementovat jakožto zvukovou signalizaci nejrůznějších akcí či aktuálních stavů komponent systému, což může pozitivně ovlivnit komfort při interakci se systémem.



Obrázek 24 Reprodukční s prodlužujícími vodiči

Reprodukční je schopný generovat dobře slyšitelný zvuk do přilehlého okolí – v rámci místnosti lze jeho zvuk dobře rozpoznat, a to i v případě, že v místnosti jsou generátory ruchu (motory, čerpadla).

Výrobce deklaruje následující atributy:

- výstupní výkon 1 W
- odpor reprodukčního 8 Ω
- rozměr 14 mm \times 20 mm [26]

3.11 Napájecí zdroj

Z důvodu komplexnosti celého projektu bylo nutné vybrat externí zdroj napájení, neboť mikrokontroler může poskytovat stabilní a bezproblémové napájení pouze pro omezený počet součástek (nebo modulů a shieldů), nicméně maximální odebíraný proud na jednotlivých pinech mikrokontroleru Arduino MEGA 2560 může být maximálně 50 mA na jeden pin, což v případě tohoto projektu není dostačující z důvodu většího počtu zapojených modulů.

Jakožto zdroj napětí byl zvolen klasický počítačový zdroj o celkovém výkonu 350 W. Výhodou použití takového zdroje je možnost použití několika jeho vývodů s různým stejnosměrným napájecím napětím (GND, +3.3 V, +5 V, +12 V, ...) pro dílčí součásti systémových komponent (vývojová deska, akční a snímací členy).

3.12 Kabeláž a šasi systému

Na spojení jednotlivých komponent je použito několik typů vodičů, a to:

- jumper kabely zakončené dutinkami (F-F, F-M)
- kroucená dvojlinka extrahovaná z UTP kabelu AWG 24
- kabel USB s koncovkami USB typ A a USB typ B
- redukce USB typ A na USB typ A.

Jumper kabely představují jeden z nejjednodušších, stabilních a rychlých způsobů zapojení s pin headery, jimiž jsou většinou osazeny hotové moduly pro běžné vývojové platformy (Arduino, Raspberry Pi, Freescale, ...). Tyto kabely je ale potřeba otestovat každý zvlášť, zda jsou jejich dutinky těsné a nevypadávají ze zdířek a vyvarovat se jakékoliv netěsnosti spojení, jinak může během manipulace a montáže prototypů nastat kompletní přerušování vodivé cesty (a ztráta dat nebo napájení).

Kroucená dvojlinka je použita na propojení citlivé analogové pH sondy, neboť je nutné číst analogové napětí získané sondou bez výraznějších přeslechů způsobovaných zejména elektromagnetickou interferencí z okolních vodičů a zdrojů tohoto typu rušení. Dále byla použita jedna kroucená dvojlinka na propojení systému s Arduinem a systému UniPi – na obou koncích dvojlinky zapojená do šroubovacích svorkovnic.

Ze zdroje napájení, realizovaného PC zdrojem, jsou vyvedeny dva vodiče určené pouze pro samostatné napájení vývojové desky Arduino MEGA 2560 (+5 V a GND) do upraveného USB kabelu s koncovkou USB typ A. V případě potřeby přehrát program nebo ladění a získání výpisů ze sériové linky lze použít stíněný datový USB kabel s koncovkami USB typ A a USB typ B („tiskárnový“ konektor), neboť vývojová deska umožňuje spojení pouze koncovkou USB typ B.

Veškeré datové spoje pro komunikaci (sběrnice I2C pro displej a RTC modul) jsou realizovány na nepájivém poli, potažmo přímým spojením jumperů nebo kroucenou

dvojlínkou mezi vývojovou deskou a moduly. Napájení je řešeno spojením s nepájivým polem, které je připojeno na +5 V DC a GND svorky napájecího PC zdroje.

Jako šasi pro celý projekt byla zvolena plastová rozvaděčová krabice o rozměrech 300 mm × 200 mm × 150 mm s deklarovaným krytím IP65 s několika průchodkami pro silovou kabeláž. Krytí proti vniknutí vody a par je v případě tohoto projektu žádané, neboť prostředí pivovaru je teplé a zejména vlhké.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 HARDWAROVÁ REALIZACE

Všechny zmíněné fyzické části popsané v předchozí kapitole byly implementovány do projektu a byly odladěny i softwarově. Jedná se o nezbytné části většího komplexnějšího celku, kde je nutné sledovat zejména teploty tekutiny v kritických částech pivovaru, přičemž je potřeba provést patřičný zásah do dané části systému, kupříkladu spínat ohřev a udržovat teplotu sladiny a mladiny v definovaných teplotních mezích. Dále je potřeba ve vystírací kádi, rmutovací pánvi a mladinové pánvi neustále obsahy promíchávat, jinak by se mohlo stát, že se pevná část (slad a chmel) mohla vlivem působení velkého tepla z ohřevu připálit ke dnu a znehodnotit tak výsledné pivo. Pro snadnější kontrolu a usnadnění manipulace jsou použita čerpadla kapalin, pomocí nichž lze přečerpávat sladiny a mladiny mezi nádobami.

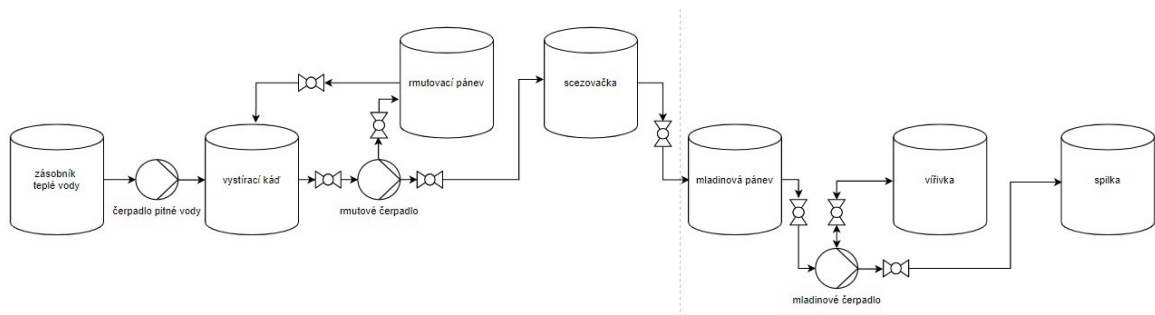
Rozšířený projekt implementuje stávající řešení pivovaru, ovšem pouze z hardwarové části. Bylo potřeba kompletně přepsat stávající obslužný program pro všechny části pivovaru (monitoring teplot na více místech, míchání ve vystírací kádi, rmutovací pánvi, mladinové pánvi; obsluhu tří kapalinových čerpadel a spínání topných těles ve rmutovací a mladinové pánvi) z důvodu programové nekompatibility z pohledu programování stávajícího systému a programování vývojové desky Arduino MEGA 2560 (FUPLA – UniPi, Wiring – Arduino). [27]

Ve výsledku se jedná o přepsání programu pro obsluhu výše zmíněných částí původního systému a zároveň přidání několika nových možností pro pokročilejší a pohodlnější vaření piva.

4.1 Sestava obsluhovaných nádob

Na následujícím obrázku lze pozorovat sestavu používaných a stěžejních nádob v pivovaru. Sestava nádob je na grafice situována v chronologickém pořadí tak, jak udává praxe při vaření piva; pro ilustraci byly použity standardní technické schématické značky, jako jsou kulové ventily, čerpadla kapalin, nádoby.

Šipky ukazují možný směr toků vody, sladiny, mladiny a „mladého piva“, které protékají dále do spilky a do ležáckých tanků, avšak spilka ani ležácké tanky nejsou součástí schématu.



Obrázek 25 Schéma propojení nádob v pivovaru

Kompletní osazení nádob měřicími prvky (snímače teploty) a akčními členy (míchadla, topná tělesa a čerpadla) je popsáno následující tabulkou:

Tabulka 1 Přehled obsahu prvků v nádobách

Název nádoby	Obsažené instrumenty	Počet kusů
Zásobník teplé vody	Teplotní snímač DS18B20	1
Vystírací kád'	Čerpadlo pitné vody	1
	Elektromotorové míchadlo	1
	Teplotní snímač DS18B20	1
Rmutovací pánev	Topná tělesa	8
	Elektromotorové míchadlo	1
	Rmutové čerpadlo	1
	Teplotní snímač DS18B20	1
	Manipulátor kulových ventilů	4
Scezovačka	Pouze scezovací dno	-
Mladinová pánev	Topná tělesa	12
	Elektromotorové míchadlo	1
	Mladinové čerpadlo	1
	Teplotní snímač DS18B20	1

Vířivka	Obsluha pouze mladinovým čerpadlem	-
Spilka	Teplotní snímač DS18B20	1

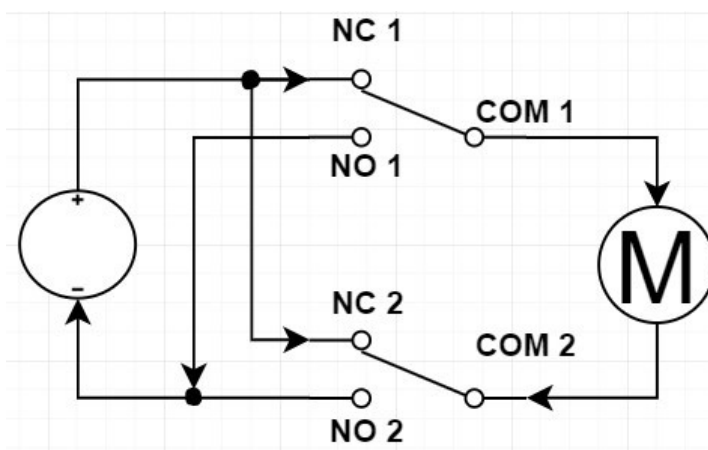
Funkčnost veškerých čerpadel kapalin v pivovaru je implementována dvoupolohově tak, že jejich zapnutím se dosáhne maximálního čerpacího výkonu, vypnutím čerpadla neposkytují žádný čerpací výkon.

Taktéž lze popsat i funkce elektromotorů v roli míchadel; na otáčejících se hřídelích motorů jsou namontovány mechanismy pro průběžné promíchávání vody a sladu, případně mladiny a chmele. Míchadla lze zapnout, nebo vypnout, nelze žádným obslužným zařízením regulovat rychlost míchání.

Topná tělesa jsou řešena formou několika skupin plotnových ohřivačů pod rmutovací a mladinovou pánví, a to v těsném kontaktu přímo se dny pánví. Jednou skupinou ohřivačů se rozumí čtyři ohřivače připojené na jeden zdroj napájení. Ve rmutovací pánvi se tedy nachází dvě skupiny ohřivačů (8 kusů), v mladinové pánvi tři skupiny ohřivačů (12 kusů). V případě mladinové pánve je nasazeno o jednu skupinu ohřivačů více, aby bylo dosaženo rychlejšího ohřevu na požadovanou teplotu, což je teplota bodu varu (100 °C). Topná tělesa jsou taktéž spínána dvoupolohově; nebyl implementován hardwarový prostředek pro řízení výkonu topných těles. Tato tělesa mají implementovanou řídicí logiku v podobě softwaru, kde se rozhoduje o sepnutí topných skupin na základě difference mezi požadovanou teplotou a aktuální změřenou teplotou poskytovanou instalovanými senzory teplot, přičemž maximálního topného výkonu se dosáhne sepnutím více skupin ohřivačů – zejména pokud je difference požadované a naměřené teploty velká. Podrobně je o těchto termostatických funkcích pro rmutovací a mladinovou pánev psáno v kapitolách níže.

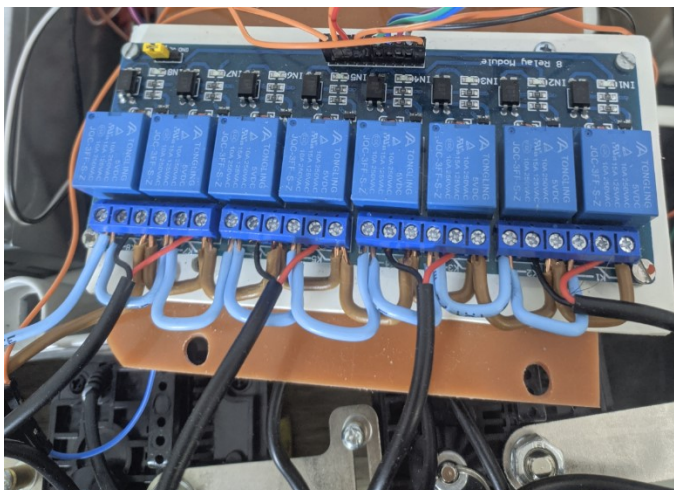
Manipulátory kulových ventilů zastávají funkci otáčení kulových ventilů ovladatelných na základě vzdálené obsluhy. Tyto manipulátory je nutné zapojit jako spotřebiče na +12 V DC napájecí větev z počítačového zdroje. Jelikož byly prozatím instalovány jen čtyři kusy těchto strojů, bylo využito spojovacích svorkovnic typu WAGO, jejichž princip je prostý – zajištěním jednoho vodiče do zdířky svorkovnice se napětí (případně funkce) rozdělí do všech zbylých zdířek téže svorkovnice. Tento princip zapojení lze využít i pro budoucí použití (nejen) napájecích větví.

Samotné manipulátory jsou ovládány klasickými mechanickými relé s kontakty NO, NC a COM. Směr otáčení hřídele manipulátorů se ovládá pomocí aktuálně přiloženého napětí na jejich dva vodiče. Záměnou těchto vodičů (polarity napětí) lze měnit směr otáčení manipulátorů. Z toho plyne, že vhodným zapojením lze pomocí dvou relé ovládat jeden manipulátor pro práci v obousměrném provozu pohybu jeho hřídele. Všechny čtyři instalované servopohony užívají totožného zapojení, včetně funkce a jejich obsluhy v programu. Principiální zapojení manipulátoru s relé je znázorněno na následujícím obrázku (zdroj napětí +12 V DC, dvě totožná mechanická relé, M představuje manipulátor).



Obrázek 26 Principiální zapojení relé pro manipulátory

Sepnutím jednoho relé se automaticky přepne na opačný kontakt druhé relé, což způsobí chod hřídele servopohonu na jednu stranu; v případě sepnutí druhého relé první relé přepne kontakty a hřídel servopohonu se začne pohybovat v opačném směru. Směr otáčení hřídelí se ovládá vzdáleně pomocí smartphonové aplikace. Konkrétní fyzické propojení relé s manipulátory je vyobrazeno na fotografii.



Obrázek 27 Fyzické zapojení relé s manipulátory

Fyzické propojení modulů a součástí s vývojovou deskou Arduino je znázorněno na obrázku níže. K vizualizaci všech propojení byl využit software Fritzing. Modul reálného času (RTC) a LCD displej užívají stejné sběrnice I2C, proto je zapojení těchto modulů k vývojové desce úspornější z pohledu potřebného množství vodičů.

Do relé byly všechny manipulátory připojeny totožným způsobem; ovládání cívky relé bylo propojeno k vývojovému kitu postupně do očíslovaných zdírek.

Napájecí vodiče zapojené do nepájivého pole jsou v obrázku barevně označeny následovně:

- červené vodiče: +5 V DC
- oranžový vodič: +3.3 V DC
- černé vodiče: uzemnění (GND)

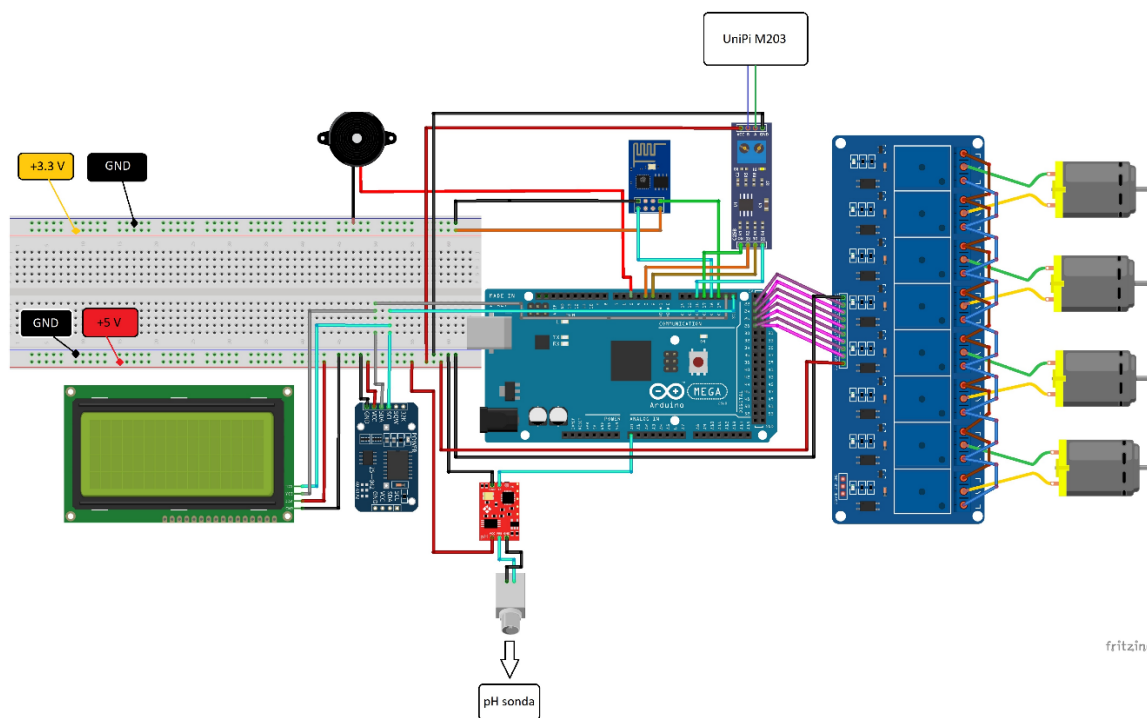
Bezdrátový WiFi modul a převodník na sériové rozhraní RS485 jsou připojeny k Arduino na dvě UART rozhraní zvlášť (UART1, UART2).

Reproduktor je připojen napájecím vodičem k jednomu z mnoha digitálních pinů Arduino pro možnost generování zvuků o různých frekvencích.

Modul pro měření hodnoty pH (včetně obslužné DPS) využívá právě jedné analogové zdířky Arduino.

Ve schématu vytvořeném v softwaru Fritzing je vyjádřeno propojení se systémem UniPi M203 pomocí dvou vodičů (v praxi nazývané jako A a B) z převodníku RS485, na něhož je

dále připojen fyzický ovládací panel s tlačítky a přepínači, topná tělesa, míchadla, čerpadla, potažmo měřící teplotní senzory.



Obrázek 28 Schéma zapojení modulů k Arduino

Následující tabulka popisuje konkrétní propojení mezi piny vývojové desky Arduino MEGA 2560 a použitými jednotlivými moduly.

Tabulka 2 Propojení vývojové desky Arduino s moduly

Název modulu	Piny Arduina	Označení pinů modulu
WiFi modul ESP8266	Rx1 (Serial1)	Rx
	Tx1 (Serial1)	Tx
Převodník RS485	Rx2 (Serial2)	RO
	Tx2 (Serial2)	DI
	D2	DE
	D3	RE
		A (připojeno k UniPi)

		B (připojeno k UniPi)
Reproduktor	D5	(červený napájecí vodič)
Sonda pro měření pH	A0	Po
LCD displej 20×4 znaků	SDA	SDA
	SCL	SCL
RTC DS3231	SDA	SDA
	SCL	SCL
Modul s 8 relé	D22, D23	IN1, IN2 (manipulátor 1)
	D24, D24	IN3, IN4 (manipulátor 2)
	D26, D27	IN5, IN6 (manipulátor 3)
	D28, D29	IN7, IN8 (manipulátor 4)

4.2 Uložení fyzických komponent

K uložení projektu byla zvolena plastová krabice rozvaděče o rozměrech 300 mm × 200 mm × 150 mm. Bylo nutné provést několik úprav této krabice. Jednalo se o vytvoření adekvátně rozměrných otvorů pro reproduktor, LCD displej (byl navíc po celém jeho obvodu zevnitř víka rozvaděče ošetřen silikonem), konektor pro připojení měřicí pH sondy a kolébkový vypínač. Pro vodiče manipulátorů a prodlužovací kabel na síťových 230 V AC byly připraveny průchodky, aby se oddělily datové nízkonapěťové vodiče od silových vodičů.

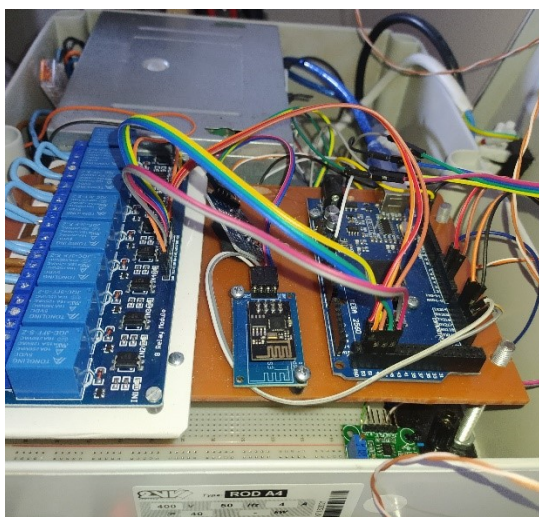


Obrázek 29 Pohledová strana rozvaděčové krabice

Kolébkový vypínač obsahuje i doutnavku, která navíc umožňuje mít okamžitou vizuální kontrolu nad systémem umístěném v rozvaděči, zda je zapnutý, nebo vypnutý. Napájecí vodiče 230 V AC z umístěného počítačového zdroje byly upraveny na koncích svorkami a plastovou izolací, aby bylo možné bezpečně připojit vypínač a aby nedošlo k případné újmě na zdraví během manipulace se silovou částí systému.

Všechny moduly včetně vývojové desky Arduino MEGA 2560 byly umístěny na elektricky nevodivou plastovou desku (oranžové barvy) a upevněny samořeznými vruty do fixní polohy v připravených pozicích na většině obsažených modulech. Na další dedikovanou plastovou desku byla umístěna i deska s osmi relé (bílé barvy), aby bylo možné během případných oprav a dalších zásahů do systému pohodlně oddělit pouze silovou část projektu z rozvaděčové krabice. Pod těmito plastovými deskami je upevněno ke krabici rozvaděče velké nepájivé pole, na kterém je realizováno propojení napájení s jednotlivými moduly a přehledné zapojení LCD a RTC modulu na sběrnici I2C. Tyto dvě vrstvy jsou od sebe oddělené vytvořenými distančními sloupky a maticemi z nerezové oceli, kterými lze korigovat mezeru mezi deskami. Navíc lze vrchní plastovou desku vyjmout kompletně z plastové rozvaděčové krabice, která je shora taktéž zajištěna maticemi proti vypadnutí.

Tavnou pistolí byly dodatečně zajištěny i dutinky a koncovky všech vodičů (kromě silových) z důvodu lepší stability a pevnosti spojení s moduly, potažmo proti jejich možnému výpadku během přepravy a montáže v pivovaru.



Obrázek 30 Uložení komponentů v krabici rozvaděče

Barvy použitých reálných vodičů na obrázku výše neodpovídají barvám vodičů použitých v předešlých schématech.

5 SOFTWARE PRO ŘÍDICÍ SYSTÉM

Následující strany textu popisují způsob programování systému, a to z pohledu vytvoření funkcí pro fyzické moduly, užití metod z dostupných knihoven, důležitou úpravu knihovny pro komunikaci s Arduinem.

5.1 Vizualizační aplikace Virtuino

Mobilní aplikace Virtuino je známá a používaná pro tvorbu vizualizačního rozhraní mezi uživatelem a systémem pomocí bezdrátového komunikačního standardu IEEE 802.11x (WiFi). Tato platforma umožňuje jednoduše implementovat do stávajícího zdrojového kódu komunikační rozhraní, které umí komunikovat pomocí WiFi modulu (nebo Bluetooth modulu) s vizualizační aplikací ve smartphonu. Modul pro bezdrátovou komunikaci lze připojit k vývojovým deskám Arduino bez ohledu na jejich konkrétní typ (MEGA, Uno, Nano, ...) pro případy, kdy je potřeba používat více pinů vývojové desky, neboť vývojové desky s WiFi čipem většinou obsahují menší počet pinů pro připojení periférií.

Pomocí Virtuina lze v mobilní aplikaci zobrazit sledované veličiny, vizualizovat je pomocí připravených indikátorů různých grafických stylů (LED, zobrazovače, indikátory, ukazatele a další animované ikony). Uživatel může interagovat i s touto mobilní aplikací pomocí tlačítek, přepínačů, sliderů, time pickerů (intuitivní prostředek pro vybírání časů).

Vizualizační rozhraní v mobilním telefonu lze přizpůsobit pro intuitivnější používání široké škále uživatelů, kteří přijdou do styku s touto aplikací. Nespornou výhodou Virtuina je vlastnost, že i během ostrého provozu lze modifikovat uživatelské prostředí, nebo jej zevrubně měnit z pohledu umístěných ovládacích a kontrolních prvků na obrazovce telefonu, potažmo měnit parametry těchto prvků.

Po interakci uživatele s aplikací se nová data přenáší právě pomocí WiFi modulu (který slouží jako fyzický komunikační prostředek pro přenos a výměnu dat mezi systémy) z aplikace do vývojové desky Arduino, kde se nachází řídicí software, který reaguje na uživatelské podněty a vykoná zásah do systému. V případě posílání dat (zejména ze senzorů teplot) se data posílají z Arduina do mobilní aplikace, kde jsou následně zobrazena pomocí vizualizačního prostředku.

Virtuino pro obousměrnou komunikaci používá běžné HTTP požadavky na jednotlivé používané prvky ve vizualizačním rozhraní.

Výměna dat mezi Arduinem a mobilní aplikací probíhá pomocí takzvaných virtuálních pinů, nebo posílání dat z reálných pinů Arduina. Virtuální piny lze popsat jako ryze softwarový prostředek pro zapsání, nebo čtení dat v podobě různých typech proměnných (boolean, integer, float, long, double). Virtuino rozeznává dva typy těchto virtuálních pinů, a to:

- Digital Virtual pin DV (určeno zejména pro celočíselné hodnoty)
- Virtual pin V (určeno pro neceločíselné hodnoty).

Do obou typů virtuálních pinů lze číst/zapisovat zavoláním následujících metod, a to:

- virtuino.vDigitalMemoryRead(int pin)
 - o čtení celočíselných hodnot z Virtuino aplikace (uživatelské vstupy)
- virtuino.vMemoryRead(int pin)
 - o čtení neceločíselných hodnot z Virtuino aplikace (uživatelský vstupy)
- virtuino.vDigitalMemoryWrite(int pin, int value)
 - o zápis celočíselných hodnot do Virtuino aplikace (výstupy)
- virtuino.vMemoryWrite(int pin, float value)
 - o zápis neceločíselných hodnot do Virtuino aplikace (výstupy)

V řídicím softwaru Arduina pro minipivovar se proto prolínají volané metody Virtuina a zároveň funkce pro řízení původního systému UniPi M203.

5.2 Úprava knihovny Virtuino

Po stáhnutí příslušné knihovny Virtuino bylo nutné zakomentovat řádek v jednom z hlavičkových souborů. Jednalo se o řádek, který určuje, zda se bude používat softwarové sériové rozhraní, nebo fyzické sériové rozhraní jednotky UART vývojové desky Arduino. Modul pro bezdrátovou komunikaci ESP8266 je k Arduinu připojen fyzicky, proto je nutné smazat, nebo zakomentovat celý 35. řádek v hlavičkovém souboru „VirtuinoEsp8266_WebServer.h“, jinak se neaktivuje komunikační rozhraní mezi Arduinem a modulem ESP8266.

```
34
35 // #define ESP8266_USE_SOFTWARE_SERIAL // disable this command if you want to use hardware serial
36
37 // ===== Board configuration =====
```

Obrázek 31 Úprava hlavičkového souboru Virtuina

Další nutnou úpravou tohoto hlavičkového souboru z pohledu používaných virtuálních pinů je nastavení většího počtu využívaných virtuálních pinů (počet na konci řádků 76 a 77), načež stejný počet virtuálních pinů musí být bezpodmínečně nastaveno i v mobilní aplikaci Virtuino.

```
75 #define wf_firmwareCode "!C00=1.8.0$"
76 #define wf_virtualDigitalMemorySize 64 // DV virtual memory size
77 #define wf_virtualAnalogMemorySize 64 // V virtual memory size
78
```

V případě nenastavení stejných velikostí rozsahu virtuálních pinů se objeví chyba komunikace a nebude možné obsluhovat vzdáleně systém telefonem.

5.3 Používané knihovny

V projektu byly použity následující knihovny, které jsou volně dostupné v repozitáři Arduino IDE, respektive na oficiálních stránkách platformy Arduino.

- MsTimer2 (nativní funkce Arduino časovače)
- DS3231 (externí RTC modul)
- Wire (užití I2C rozhraní modulů)
- ModbusMaster (vytvoření komunikace rozhraním RS485)
- Virtuino (implementace vzdáleného přístupu užitím modulu ESP8266)
- LiquidCrystal_I2C (obsluha LCD)

5.4 Řídící software pro Arduino

Pro každou část systému byl vytvořen vlastní hlavičkový soubor s dílčími funkcemi, aby bylo dosaženo větší přehlednosti a izolace kódu od ostatních funkcí jiných modulů.

Přehled funkcí popisuje následující tabulka.

Tabulka 3 Seznam funkcí

Typ a název funkce	Vstupní parametry	Popis funkce
void RTC_Initialize()	-	Inicializace RTC modulu
void preTransmission()	-	Zajištění log. 1 na výstupu převodníku RS485
void postTransmission()	-	Zajištění log. 0 na výstupu převodníku RS485
int Read_Temp_uniPi(uint8_t tempID)	ID teplotního senzoru	Čtení teplot z UniPi pomocí ModBus
void changeCoilStatus(uint8_t sH, uint8_t sL)	Nastavení 2 ModBus bufferů (zápis stavu cívek)	Zapsání stavu cívek (výstupů) UniPi přes ModBus
uint16_t coilStatus_Check()	-	Zjištění stavu výstupů (cívek) UniPi přes ModBus
void changeStatusOfCoils()	-	Zapsání konkrétního stavu výstupu na přesnou pozici ve dvou bajtech (H a L)
void Check_Coils_uniPi()	-	Ošetření proti přepsání stavu výstupů
void Initialize_uniPi()	-	Inicializace komunikace pomocí RS485 (ModBus)
int readDigitalInputStatus(uint8_t id)	ID vstupu	Zjištění stavu vstupů UniPi

void vMemoryWrite_Float(uint8_t add, float data)	adresa, data	Zápis neceločíselných hodnot do virtuálních pinů
void vMemoryWrite_Int(uint8_t add, int data)	adresa, data	Zápis celočíselných hodnot do virtuálních pinů
uint8_t vMemoryRead(uint8_t add)	adresa	čtení dat z virtuálních pinů
boolean vMemoryRead_Bit(uint8_t add)	adresa	čtení binárních dat z virtuálních pinů
void Initialize_Virtuino()	-	Inicializace Virtuina
void beepOn()	-	Zajištění zvukové signalizace při otevírání ventilů manipulátory
void beepOff()	-	Zajištění zvukové signalizace při zavírání ventilů manipulátory
void readyBeepIntro()	-	Zvuková signalizace připravenosti systému po startu
void alarm()	-	Spustí zvukovou signalizaci alarmové funkce
void Display_Initialize()	-	Inicializace LCD
float pHmeasure()	-	Měření pH
void Pin_Initialize()	-	Inicializace pinů pro relé
void Operate_Manipulators()	-	Ovládání manipulátorů
void Check_uniPi()	-	Počítadlo časovače
uint8_t Check_Temp1_Input_Virtuino(), uint8_t Check_Temp2_Input_Virtuino()	-	Nastavení termostatických funkcí

void Perform_Mash_Kettle_Heating(), void Perform_Wort_Kettle_Heating()	-	Spínání topných elementů ve rmutovací a mladinové pánvi
void Compare_Time(int h, int m)	počet hodin, počet minut	Porovnání nastaveného času a času z RTC
void Virtuino_Time_Check()	-	Porovnání hodnot časovače
void setup()	-	Volání inicializací všech modulů; charakteristická funkce Arduina
void loop()	-	nekonečná smyčka běhu programu; charakteristická funkce Arduina

5.5 Popis programových funkcí

Níže jsou blíže popsány programové funkce pro Arduino.

5.5.1 void RTC_Initialize()

Tato funkce je volána v nastavovací části setup(); zajišťuje spuštění komunikace mezi RTC modulem a Arduinem.

5.5.2 void preTransmission()

Funkce pro zajištění logické 1 pro komunikaci mezi převodníkem RS485 a Arduinem.

5.5.3 void postTransmission()

Funkce pro zajištění logické 0 pro komunikaci mezi převodníkem RS485 a Arduinem.

5.5.4 int Read_Temp_uniPi(uint8_t tempID)

Funkce pro zjištění hodnot z připojených teplotních senzorů připojených k UniPi. Používá o jednu z funkcí stěžejní knihovny ModbusMaster. Jakožto parametr funkce se zadává

modbusová adresa konkrétního senzoru, Arduino poskytne konkrétní údaj o teplotě, a to v celočíselném tvaru.

5.5.5 void changeCoilStatus(uint8_t sH, uint8_t sL)

Zajišťuje zapsání stavu cívek (výstupů) slave zařízení UniPi pomocí ModBus. Používá o jednu z funkcí stěžejní knihovny ModbusMaster. Je možné zapsat všechny stavy cívek ve vymezeném rozsahu (od adresy 21, rozsah 16 cívek).

5.5.6 uint16_t coilStatus_Check()

Funkce pouze pro zjištění stavu cívek; slouží pro kontrolu, zda cívky jsou ve stavu zapnuto, nebo vypnuto. Používá o jednu z funkcí stěžejní knihovny ModbusMaster.

5.5.7 void changeStatusOfCoils()

Užívá se arduinovská funkce bitWrite(), která umožní zapsání konkrétního bitu v bajtu na určitou pozici. Z důvodu osazení více než 8 cívkami bylo nutné vytvořit dva bajty (H a L). Změna hodnoty bitu vyvolá změnu na výstupu (cívce v UniPi). Používá o jednu z funkcí stěžejní knihovny ModbusMaster.

5.5.8 void Initialize_uniPi()

Inicializování komunikace na sériové lince číslo 2 Arduina, nastavení komunikační rychlosti (19200 Baudů/s).

5.5.9 int readDigitalInputStatus(uint8_t id)

Funkce pouze pro zjištění stavů uživatelských vstupů pomocí ModBus ve formě fyzických tlačítek a přepínačů na ovládacím panelu připojeném k systému UniPi. Používá o jednu z funkcí stěžejní knihovny ModbusMaster.

5.5.10 void vMemoryWrite_Float(uint8_t add, float data)

Funkce Virtuina pro zapsání neceločíselných hodnot na virtuální pin (zápis z Arduina do mobilní aplikace).

5.5.11 void vMemoryWrite_Int(uint8_t add, int data)

Funkce Virtuina pro zapsání celočíselných hodnot na virtuální pin (zápis z Arduina do mobilní aplikace).

5.5.12 uint8_t vMemoryRead(uint8_t add)

Funkce Virtuina pro čtení hodnot z virtuálního pinu (čtení z mobilní aplikace).

5.5.13 boolean vMemoryRead_Bit(uint8_t add)

Funkce Virtuina pro čtení binárních hodnot z virtuálního pinu (čtení z mobilní aplikace).

5.5.14 void Coil_Status_Write_Virtuino()

Slouží pro zapsání hodnot na výstupy UniPi.

5.5.15 void Initialize_Virtuino()

Inicializace rozhraní Virtuino, vypnutí zobrazování hlášek při debugování z důvodu zrychlení běhu programu, nastavení připojení na router – přidání jména a hesla sítě k připojení, nastavení IP adresy ESP8266.

5.5.16 void beepOn()

Funkce spouštějící sekvenci definovaných zvuků; zvuková sekvence se spustí při otevírání ventilů manipulátory.

5.5.17 void beepOff()

Funkce spouštějící sekvenci definovaných zvuků; zvuková sekvence se spustí při zavírání ventilů manipulátory.

5.5.18 void readyBeepIntro()

Funkce spouštějící sekvenci definovaných zvuků; spouští se pouze jednou, a to při startu systému – zvukový indikátor připravenosti systému.

5.5.19 void alarm()

Spustí se několikrát se opakující zvuková sekvence indikující vypršení nastaveného času.

5.5.20 void Display_Initialize()

Inicializace LCD; tato funkce je volána v nastavovací části setup(), přičemž na displeji se zobrazí textová hláška: „Minipivovar“.

5.5.21 float pHmeasure()

Funkce zajišťující měření pH sondou. Provádí se průměrování vzorků napětí zjištěných pH sondou a jejich následné seřazení dle hodnoty. Do výsledku se zapisuje přepočtená hodnota z měřeného napětí sondou na konkrétní hodnotu pH na základě následující formule (vyčtené z manuálu):

$$\text{výsledné pH} = -5.7 * \text{průměr napětí} + 21.34 [-]$$

Získané bezrozměrné číslo datového typu float (čili výsledná hodnota pH) se dvěma desetinnými místy je posíláno do aplikace Virtuino a zároveň vytištěno na LCD.

5.5.22 void Pin_Initialize()

Funkce pro nastavení digitálních výstupů vývojové desky Arduino, na které jsou připojeny ovládací piny relé.

5.5.23 void Operate_Manipulators()

Jedná se o funkci, která obsahuje čtení z virtuálních ovládacích pinů vizualizačního rozhraní Virtuino (4 přepínače). Na základě čtení stavu z těchto přepínačů ovládaných uživatelem se mění poloha hřídele manipulátorů kulových ventilů (ventil otevřen/uzavřen). Při otevírání i zavírání bude připojený reproduktor hrát adekvátní melodii jakožto indikace, že manipulátor právě otáčí s ventilem.

5.5.24 void Check_uniPi()

Počítadlo průchodu nutných pro nastavení použitého Arduino nativního časovače z knihovny (MsTimer2).

5.5.25 void Compare_Time(int h, int m)

Jedna ze dvou programových částí uživatelského časovače; vstupem jsou dvě hodnoty, a to počet nastavených hodin a počet minut. Porovnává se nastavený čas (přepočtený na minuty) s časem poskytovaným RTC modulem. V případě, že časovač má hodnotu 0, rozezní se alarm z reproduktoru.

5.5.26 void Virtuino_Time_Check()

Nastavovací část uživatelského časovače. Z Virtuina se do časovače zapíše počet nastavených hodin a minut, přičemž hodiny jsou přepočteny na minuty. Pro deaktivaci alarmu je nutné zadat do obou vstupních časových polí ve Virtuinu hodnotu 0.

5.5.27 void setup()

Tato charakteristická funkce platformy Arduino se používá zejména pro inicializaci a nastavení dalších funkcí a modulů. Funkce setup() se spustí pouze jednou, a to při přivedení napájecího napětí na napájecí piny vývojové desky, načež se program zpět do této nastavovací funkce nikdy nevrací.

V této funkci se volají inicializační funkce všech používaných modulů a celků. Dále je přítomné volání funkce z knihovny časovače MsTimer2, které provádí jednou za 300 milisekund volání funkce Check_uniPi().

5.5.28 void loop()

Druhá charakteristická funkce platformy Arduino; veškerý obsah této funkce je prováděn opakovaně při poskytnutí napájení vývojové desce.

V této programové části se pravidelně posílají dotazy ohledně teploty přes sériovou linku pomocí převodníku RS485 (a protokolu ModBus) do systému UniPi M203, na němž je fyzicky připojených pět snímačů teploty DS18B20 rozmístěných v pěti různých nádobách v pivovaru. Tyto teploty jsou následně uloženy do proměnných v paměti Arduina a zároveň vytisknuty na LCD displej pro případ, tudíž sládek nemusí neustále držet telefon s Virtuinem v ruce.

Na LCD displeji zaujímá každý teploměr své místo, které je neměnné. Pozice jsou označeny zkratkou nádoby, v nichž se nachází daný snímač. Na koncích řádků je přítomen i ASCII znak pro stupně (Celsia). V prvním zobrazovaném sloupci displeje se zobrazují teploty vody v zásobníku vody, vstírací kádi a spilce. Ve druhém sloupci displeje se nachází topnými prvky přímo ovlivnitelné nádoby (rmutovací a mladinová pánev), pod těmito zobrazovanými teplotami se nachází aktuální hodnota pH měřené sondou. Rozmístění textu je znázorněno na obrázku č. 20.

V další části kódu funkce loop() se používá čtení vstupů z UniPi, které je realizováno fyzicky formou tlačítek a přepínačů, potažmo virtuálními tlačítky v GUI Virtuino. Prvky topných

elementů (respektive volby pro spuštění ohřevu) a míchacích motorů mohou být ovládány jak fyzickými tlačítky, tak tlačítky ve Virtuinu, a to nezávisle na sobě. Rozhodování zapnutí a vypnutí prvků ze dvou míst (fyzický panel/Virtuino) je realizováno programově pomocí logického operátoru OR (zapsáno jako „||“), přičemž výstup je realizován vždy reálným výstupem (v programu reprezentován jakožto „x“). Činnost čerpadel je na fyzickém panelu ovládána pomocí přepínačů – z toho plyne, že tyto akční prvky nelze ovládat pomocí Virtuina, neboť přepínače drží jejich hodnotu stále na zvolené pozici. Lze pouze pozorovat aktuální stav pomocí zjištění stavu výstupu na konkrétní adrese ModBus, nicméně změna stavu výstupů je řízena Arduinem. Stav (čerpá/nečerpá) je reprezentován ikonou pumpy v HMI Virtuino.

5.6 Funkce ohřevu

Princip funkcí spínání topných těles ve rmutovací a mladinové páni jsou založeny na aktuální diferenci změřené teploty a nastavené (požadované) teploty. S velkým rozdílem mezi těmito dvěma teplotami se spíná větší počet skupin topných těles, přičemž teplota kapalin v ohřívacích nádobách roste rychleji. Pro rmutovací pánev byla zavedena následující logika:

- diference větší nebo rovna 2 °C
 - zapnutí obou skupin topných těles
- diference větší nebo rovna 1 °C a zároveň menší než 2 °C
 - zapnutí pouze jedné ze dvou skupin topných těles
- naměřená teplota větší nebo rovna požadované teplotě
 - vypnutí všech skupin topných těles.

Pro mladinovou pánev byla zavedena obdobná řídicí logika, avšak ohřev je realizován pomocí tří skupin topných těles:

- diference větší nebo rovna 3 °C
 - zapnutí všech tří skupin topných těles

- diference větší nebo rovna 2 °C a zároveň menší než 3 °C
 - zapnutí pouze dvou ze tří skupin topných těles
- diference větší nebo rovna 1 °C a zároveň menší než 2 °C
 - zapnutí pouze jedné ze tří skupin topných těles
- naměřená teplota větší nebo rovna požadované teplotě
 - vypnutí všech skupin topných těles.

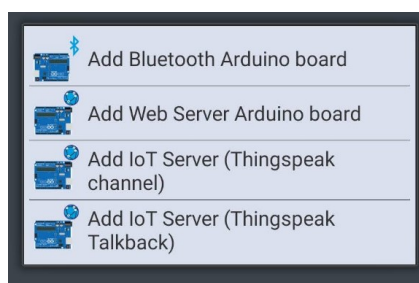
Funkce ohřevu je v případě obou pánví spustitelná buďto z fyzického panelu připojeného k UniPi, případně rozhraním Virtuina. Z důvodu nedostatku volných vstupů pro připojitelná tlačítka na UniPi byl do programu při zapnutí ohřevu implementován i start míchání, které je aktivní po celou dobu spuštění ohřevu paralelně, se zastavením ohřevu se míchání zastaví taktéž.

V grafickém rozhraní Virtuino je možné sledovat, jaké skupiny topných těles jsou aktuálně zapnuté, a to formou animované ikony ohně.

6 IMPLEMENTACE VZDÁLENÉHO PŘÍSTUPU K SYSTÉMU

Ke vzdálenému přístupu byla zvolena HMI platforma Virtuino, která je volně dostupná ke stažení v repozitáři na mobilních telefonech s operačním systémem Android. Po jejím nainstalování je nutné vytvořit projekt uvnitř této aplikace a nastavit komunikaci mezi Virtuinem v telefonu a Arduinem s připojeným WiFi modulem ESP8266.

Po spuštění aplikace Virtuino je nutné nastavit komunikaci ve smyslu výběru typu vývojové desky (Uno, MEGA, samostatně fungující WiFi vývojové moduly rodiny ESP32 apod), aby se správně inicializovaly fyzické piny a baudové rychlosti komunikace. Ikonou vývojové desky se žlutým plusem v pravém spodním rohu Virtuina se otevře výběrové menu, kde je potřeba vybrat „Add Web Server Arduino board“, načež se otevře stěžejní nastavovací část.



Obrázek 32 Nastavení HMI Virtuino

Ve spodní liště lze sledovat aktuální nastavení sítě (IP adresa telefonu a výchozí brána), na kterou je telefon aktuálně připojený. Uživatelovi to může pomoci správně nastavit síť, ve které bude systém na bázi Arduina s Virtuinem.

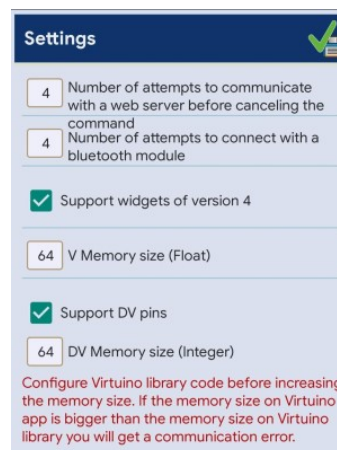
Po potvrzení dialogu se otevře další dialog s nastavením sítě. Je možné zadat jméno projektu (serveru), ručně zadat IP adresu WiFi modulu ESP8266, port, klíč zabezpečující přístup k rozhraní tohoto projektu. Dále je nutné vybrat knihovnu, která byla použita při implementaci do Arduina (byla použita starší a přehlednější knihovna „Virtuino library“ a zároveň typ desky. Důležitým parametrem tohoto nastavovacího okna je položka „refresh time“, která udává, jak dlouho bude navázána komunikace mezi aplikací Virtuino a WiFi modulem ESP8266. Po této době se spojení na chvíli přeruší, aby se aplikovala (synchronizovala) vyměněná data mezi aplikací a Arduinem. Adresu IP lze přiřadit manuálně, to znamená, že přístupový bod (router), ke kterému bude ESP8266 připojen, vyhradí zvolenou IP adresu právě pro tento WiFi modul, tudíž je potřeba zvolit takovou IP adresu v rozsahu, která je volná (není obsazena jiným zařízením připojeným k těmž

routeru). Se zvolenou IP adresou se bude ve výchozím nastavení spouštět Virtuino, nicméně tuto adresu lze kdykoliv jednoduše změnit vyvoláním nabídky pro nastavení komunikace.



Obrázek 33 Nastavení sítě Virtuina

Další důležitou položkou k nastavení je určení počtu virtuálních pinů (DV a V) – toto nastavení souvisí s knihovnou Virtuino, které bylo popsáno výše. Je nutné nastavit stejný počet virtuálních DV a V pinů jako v knihovně, v opačném případě nedojde ke správnému chodu komunikace mezi Arduinem a Virtuinem.



Obrázek 34 Nastavení počtu virtuálních pinů

Nyní je zajištěna komunikace mezi Arduinem a rozhraním Virtuino. Lze tedy přidat na pracovní plochu projektu vhodné vizualizační a ovládací prvky, jimiž jsou ikonky s různou grafickou úpravou, tlačítka, přepínače, slidery, zobrazovače, vstupní pole, potažmo menší uživatelské skripty, systémová tlačítka, selektory apod. Nedílnou součástí jsou i designové

prvky rozhraní, jako jsou pozadí, rámečky pro zvýraznění, textové popisky a další položky. Celý projekt sestává z několika odlišných záložek, na nichž jsou vždy pouze ty prvky příslušící jisté části ovládání/vizualizace systému.

Prvky rozhraní se vkládají pomocí modrého tlačítka „plus“, přičemž se zobrazí seznam všech položek. K demonstrativním účelům bude popisováno kompletní sestavení záložky pro ovládání rmutovací kádě.

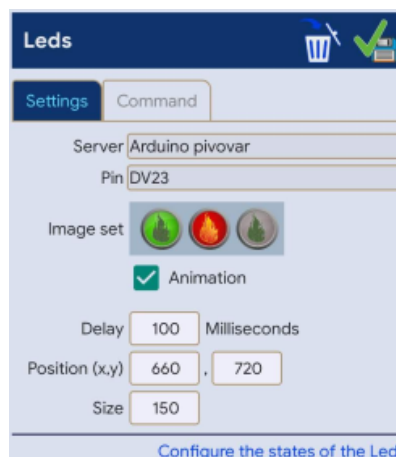
Tlačítkem „plus“ bylo vybráno tlačítko (z menu položka „Switches – buttons“). Na ploše se zobrazilo původní tlačítko, které lze přesunout na libovolné místo na ploše. Klepnutím na toto tlačítko se objeví dialog s nastavením atributů vybraného tlačítka. Aby tlačítko interagovalo se systémovými komponenty pivovaru v tomto projektu, je nutné v položce „Server“ vybrat stávající projekt (nastavený jako „Arduino pivovar“). Dále je potřeba vybrat virtuální pin, kterým dojde k aktivaci funkce napsané v Arduino (v případě tlačítka určeném pro start ohřevu ve rmutovací pánvi byl určen virtuální pin DV10). Lze nastavit i manuální pozici tohoto grafického prvku („Position x,y“) a jeho zobrazovanou velikost, typ tlačítka (prosté tlačítko, přepínač držící polohu, tlačítko pro zapnutí/vypnutí) a případné ošetření proti náhodnému stisknutí tlačítka v podobě zpoždění od počátku stisknutí tlačítka a „zákmitu“ tlačítka. Součástí nastavení tlačítek je i možnost zvolit jejich vizuální styl, přičemž některé z nabízených variant jsou animované. V tomto případě bylo vybráno tlačítko s nápisem „START“.



Obrázek 35 Přidání tlačítka na panel

Stejným způsobem bylo přidáno na pracovní panel i tlačítko pro vypnutí ohřevu s jedinými dvěma rozdíly – bylo vybráno tlačítko s nápisem „STOP“ s virtuálním pinem DV11, ostatní nastavení zůstávají stejná.

Obdobným způsobem byly vloženy kontrolní prvky ve formě animovaných ikon pro každou skupinu topných elementů. Ze seznamu prvků bylo zvoleno „Leds“, načež se umístila na pracovní plochu ikona. Po otevření jejího nastavení se objeví dialog s podobnými atributy, jako u tlačítek – název serveru, výběr virtuálního pinu (pro první skupinu ohříváčů byl zvolen pin DV23 a pro druhou skupinu ohříváčů pin DV24), pozice a velikost prvku a volba stylu.



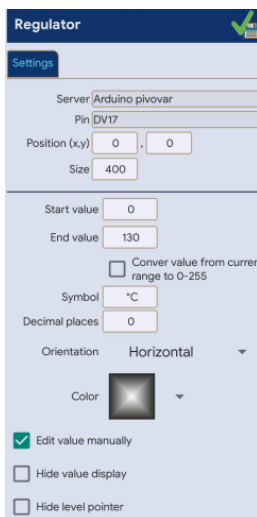
Obrázek 36 Vložení kontrolní LED topných těles

Jeden z uživatelských požadavků byl umístit na pracovní panel tlačítka pro rychlou volbu nastavení termostatu (okamžité nastavení požadované teploty tlačítkem). K tomu bylo v programu vytvořena logika, kdy pomocí tří tlačítek a jednoho slideru lze okamžitě nastavit požadovanou teplotu, přičemž všechny tyto ovládací prvky zapisují konkrétní hodnotu termostatu do jediné proměnné. Tlačítka byla zvolena tři, a to:

- rychlá volba nastavení 80 °C
- rychlá volba nastavení 100 °C
- tlačítko pro aktivaci vlastní hodnoty
- slider pro nastavení vlastní hodnoty.

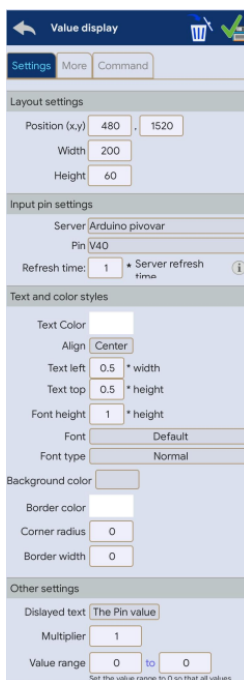
Po stisknutí vybraného tlačítka (realizováno pomocí přepínače) se okamžitě nastaví žádaná hodnota termostatu v pánvi. Změnit nastavení termostatu lze kdykoliv; před změnou nastavení teploty je nutné vypnout ovládací tlačítko rychlé volby a zapnout jiné požadované tlačítko. Je možné používat pouze slider, kterým lze nastavit teplotu v rozsahu 0 °C až 130 °C (přičemž nejvyšší hodnota znamená „zapnout všechny skupiny topných těles“). Hodnotu lze nastavit ručně sliderem, nebo ručním zadáním hodnoty numerickou formou z klávesnice

(dialogové okno se aktivuje klepnutím kdekoliv na rám slideru). Číslo pinu slideru je DV17, tlačítka pro rychlé nastavení 80 °C, 100 °C, aktivační tlačítka vlastní volby mají čísla pinů DV14, DV15 a DV16. Lze nastavit i zobrazovanou jednotku (°C), rozsah nastavitelných hodnot, pozici, velikost posuvníku, styl posuvníku, možnost volit si hodnotu ručně z klávesnice apod.



Obrázek 37 Nastavení atributů slideru termostatu

Aktuální nastavenou hodnotu termostatu je možné sledovat pomocí zobrazovače (ze seznamu komponent pod názvem „Value display“); tuto hodnotu lze číst z pinu DV60.



Obrázek 38 Ukázka zobrazovacího displeje teploty

Naměřenou teplotu v pánvi lze sledovat pomocí stejného typu zobrazovače, který zobrazuje teplotu na pinu V40. Z důvodu nepřipojení se k systému se teploty na obrázcích nezobrazují, po připojení se okamžitě všechny hodnoty zobrazí.

Stejným způsobem byly postupně přidávány další záložky určené pro správu všech prvků v nádobách. Jejich design byl pozměněn, a to z důvodu lepší čitelnosti a přehlednosti. Výsledný design rozhraní je u všech záložek obdobný, viz následující obrázek. Další snímky záložek ovládacího panelu Virtuino jsou obsaženy v přílohách.



Obrázek 39 Výsledná záložka obsluhy rmutovací pánve

7 TESTOVÁNÍ

Obslužný virtuální panel v podobě mobilní platformy Virtuino byl vyvinut pro zjednodušení vizualizace technologických pochodů v pivovaru a zároveň pro jednoduché ovládání zdejších akčních prvků.

Bylo potřeba odzkoušet řízení pivovaru ze dvou pohledů, a to užitím fyzického panelu (tlačítka a přepínače) a Virtuina v telefonu.

Z hlediska fyzického panelu je znát kratší prodleva mezi stisknutím tlačítka/přepínače a provedením požadované akce systémem UniPi M203, neboť veškerá řídicí logika byla implementována do Arduina. Cyklické dotazování se ohledně stavů vstupů/výstupů z UniPi vyžaduje o několik stovek milisekund více času oproti původnímu řízení realizovaném pouze UniPi. Kvůli této skutečnosti je nutné podržet fyzická tlačítka po o něco delší dobu, aby bylo dosaženo požadovaného účinku, nicméně vždy se požadovaná akce spustila bez obtíží přesně tak, jak byly volané funkce implementovány (a zároveň dle původní funkčnosti obslužného softwaru v systému UniPi).

Řízení pomocí HMI Virtuino se v praxi osvědčilo z pohledu jednoduchosti jeho implementace a zároveň efektivnosti během jeho používání v praxi. Bylo žádoucí sládku zaškolit ohledně používání nového typu virtuálního rozhraní, neboť původní HMI naprogramované v UniPi bylo po vizuální stránce zcela odlišné. Navíc v nové aplikaci přibýlo několik dalších vizualizačních prvků, zejména pro kontrolu zapnutých a vypnutých topných prvků ve rmutovací a mladinové pánvi, zobrazování hodnoty pH, ovládání manipulátorů kulových ventilů a další. Nutno podotknout, že původní virtuální ovládací panel byl vytvořen k zobrazení pomocí webového prohlížeče, nebylo jeho zobrazení intuitivní – zejména z důvodu jeho velikosti, kdy bylo vždy potřeba zvětšovat celou webovou stránku a přemístit se na malém displeji telefonu na požadované místo. Obrázek původního HMI je zobrazen níže.



Obrázek 40 Podoba původního řídicího panelu

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout řídicí systém pro minipivovar, jehož další vlastností je možnost obsluhy dílčích částí systému pomocí mobilní aplikace. Nový řídicí systém minipivovaru byl založen na původním řídicím systému s užitím českého PLC na bázi známého jednodeskového počítače Raspberry Pi 3 Model B. Původní řídicí software vytvořený v jazyku FUPLA byl přepsán do programu vybrané vývojové desky Arduino MEGA 2560. K novému systému bylo navíc implementováno několik dalších funkcí a fyzických modulů, zejména pro měření pH vzorků kapalin, uživatelsky nastavitelný časovač, obsluha manipulátorů kulových ventilů a další funkce.

Hardwarově byl projekt řídicího systému minipivovaru realizován formou propojení vybraných modulů, zejména osmikanálovou deskou relé, manipulátory kulových ventilů, modulem reálného času, WiFi modulem, obslužnou DPS pH sondy a pH sondou, LCD, reproduktorem ve funkci zvukové signalizace a převodníkem na rozhraní RS485, který zajišťuje komunikaci mezi vývojovou deskou Arduino a původním systémem UniPi, na který jsou připojeny snímače teplot a akční členy v podobě topných těles, čerpadel kapalin a elektromotorů s míchadly. K uložení všech modulů a vývojové desky Arduino MEGA 2560 byla zvolena plastová krabice rozvaděče, která byla upravena pro potřeby projektu, a to vytvořením otvorů pro vypínač napájení s doutnavkou, LCD displej a BNC konektor pro připojení pH sondy. V této krabici je dále uložen i vlastní zdroj napájení realizovaný počítačovým zdrojem na 230 V, jehož napájecí vodiče s +5 V DC a +12 V DC jsou použity jakožto napájení modulů, vývojové desky a manipulátorů.

Původní fyzický ovládací panel byl zachován, a to včetně jeho původní funkčnosti. Mimo něj lze nový systém řídit pomocí mobilní aplikace Virtuino užitím WiFi technologie. Virtuální řídicí panel obsahuje přehledně rozložené prvky do záložek, kde každá záložka je dedikována konkrétní nádobě v minipivovaru. Několik záložek je určeno pro zobrazování měřených veličin a ovládání akčních prvků zvlášť, aby bylo dosaženo přehlednosti a efektivnosti při používání tohoto vizualizačního software.

V blízké budoucnosti se předpokládá další rozšiřování projektu, a to zejména přidáním průtokového indukčního snímače na čerpání požadovaného množství pitné vody ze zásobníku, potažmo implementace dalších technologických celků, kupříkladu chladicích prvků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BENEŠ, Pavel. *Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky*. 5., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014, 304 s. ISBN 9788025137475.
- [2] BANZI, Massimo. *Getting started with Arduino*. 2nd ed. Farnham: O'Reilly, 2011. ISBN 9781449309879
- [3] CATSOULIS, John. *Designing embedded hardware*. 2nd ed. Sebastopol, CA: O'Reilly, 2005, xvi, 377 p. ISBN 0596007558
- [4] LEHRL, Richard. *Děláme si sami pivo: příručka pro domácí výrobu piva*. [Libeznice]: Víkend, 2014, 163 s. ISBN 9788074330797
- [5] MARGOLIS, Michael. *Arduino cookbook*. 2nd ed. Sebastopol, Calif.: O'Reilly, 2012, xx, 699 p. ISBN 1449313876
- [6] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 8073001101
- [7] Šrotování sladu. In: *OK1VP Radiofan fanpage: Homebrewing* [online]. [cit. 2020-08-09]. Dostupné z: <http://www.ok1vp.cz/ok1vp/homebrewing/srotovani-sladu/>
- [8] Princip rmutování. *Pivovárek Moravia* [online]. [cit. 2020-08-09]. Dostupné z: <https://www.pivovarekmorava.cz/jak-varime-nase-pivo>
- [9] Rmutovací pánve. In: *Regionplzen.cz: Rmutovací pánve na varně Pilsner Urquell mají nové řetězy* [online]. [cit. 2020-08-09]. Dostupné z: <http://www.regionplzen.cz/zpravodajstvi/rmutovaci-panve-na-varne-pilsner-urquell-maji-nove-retezy/>
- [10] Popis scezování a scezovacího dna. *Pivní platforma Zejdlik.cz* [online]. [cit. 2020-08-09]. Dostupné z: <http://www.zejdlik.cz/zejdlikopedie/vse-o-pivu/jak-se-pivo-vyrabi>
- [11] Popis chmelovaru. *Alkoholium.cz: Vaření domácího piva* [online]. [cit. 2020-08-09]. Dostupné z: <https://www.alkoholium.cz/uvarte-si-s-nami-domaci-pivo-3-dil-od-sladiny-k-mladine/>
- [12] Použití a úloha kvasnic v pivovarnictví. In: *Pivniklenoty.cz* [online]. [cit. 2020-08-09]. Dostupné z: <http://www.pivniklenoty.cz/vse-o-pivu/zajimavosti-o-pivu/kvasnice-kvaseni-a-jeho-druhy/>
- [13] *Projekt Open ArdBir* [online]. [cit. 2020-08-09]. Dostupné z: <https://www.open-electronics.org/the-perfect-beer-with-arduino-openardbir-project/>

- [14] Arduino Homebrew. *Portál projektů Instructables: Home brewing with Arduino* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/id/Arduino-Homebrew/>
- [15] CraftBeerPi. *Github.com: webová stránka projektu* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://github.com/manuel83/craftbeerpi>
- [16] *Domácí pivovary Braumeister* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.pivovary-braumeister.cz/>
- [17] Projekt BrewBench. *Hackster.io* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.hackster.io/brewbench/brewbench-d64d90>
- [18] *DS18B20: datasheet* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [19] Arduino MEGA 2560: Oficiální web produktu. *Store.arduino.cc* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>
- [20] RTC DS3231: datasheet. *Maxim Integrated: Datasheets* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- [21] Espressif ESP8266EX: datasheet. *Espressif.com: Datasheets* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
- [22] How to use an pH sensor for Arduino. *Botshop.co.za: Tutorials for pH probe* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.botshop.co.za/how-to-use-a-ph-probe-and-sensor/>
- [23] Arduino IIC 2004 LCD wiring and tutorial. *Mantech.co.za: Tutorial* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/lcd2004-i2c.pdf>
- [24] MAX RS485: datasheet. *Pselectronic.cz* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.pselectronic.cz/pdf/1121/1121793.pdf>
- [25] 8 relay board for Arduino development: datasheet. *Handsontec.com: datasheets* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <http://www.handsontec.com/dataspecs/module/8Ch-relay.pdf>
- [26] 1 W reproduktor: datasheet. *Arduino-shop.cz* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1175-reproduktor-1w-8ohm.html>
- [27] UniPi M203: produktová stránka. *UniPi Technology* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.unipi.technology/unipi-neuron-m203-p97>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

°	stupeň
°C	stupeň Celsia
1-Wire	druh fyzického rozhraní
AC	střídavý proud
AES	Advanced Encryption Standard
AP	Access Point
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AT	typ příkazů
AWG	American Wire Gauge
Ax	analogový pin
BNC	druh konektoru
COM	Common
DC	stejnoseměrný proud
DMS	dymethylsulfid
Dx	digitální pin
EEPROM	druh přepisovatelné paměti
F-F	Female-Female
F-M	Female-Male
FUPLA	druh programovacího jazyka
GND	Ground
GUI	Graphical User Interface
H ⁺	iont vodíku
HMI	Human-Machine Interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
I2C	Inter-Integrated Circuit
ID	identifikační číslo
IDE	Integrated Development Environment
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IIC	Inter-Integrated Circuit
IN	Input
IO	vstupně-výstupní
IoT	Internet of Things

IP	Internet Protocol
kB	kilobajt
kb	kilobit
l	litr
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
mA	miliampéra
Mbps	megabitů za sekundu
MCU	Microcontroller Unit
MHz	megahertz
microUSB	druh konektoru
mm	milimetr
NC	Normally Closed
NO	Normally Open
OLED	Organic LED
PCB	Printed Curcuit Board
pH	power of Hydrogen
PID	druh regulátoru veličin
PLC	Programovatelný logický automat
ppm	Parts per Million
PWM	Pulse Width Modulation
REST API	druh rozhraní
RGB	Red Green Blue
RISC	redukovaná instrukční sada
RTC	Real Time Clock
Rx	Receive
SCL	Serial Clock
SD	Secure Digital
SDA	Serial Data
SPI	Serial Peripheral Interface
SSR	Solid State Relay
STA	Station
TFT	Thin-Film Transistor
TKIP	Temporary Key Integrity Protocol

TTL	Transistor-Transistor Logic
Tx	Transmit
UART	Universal Asynchronous receiver-transmitter
USB	Universal Serial Bus
UTP	Unshielded Twisted Pair
V	jednotka elektrického napětí Volt
W	jednotka elektrické síly
WAGO	druh svorky
WAPI	WLAN Authentication and Privacy Infrastructure
WEP	Wired Equivalent Privacy
WiFi	bezdrátový komunikační standard
XML	Extensible Markup Language
Ω	jednotka elektrického odporu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Ukázka jednoduchého šrotovníku [7]	13
Obrázek 2 Ukázka tradiční měděné rmutovací pánve [9].....	14
Obrázek 3 Částečné principiální schéma uspořádání nádob.....	15
Obrázek 4 Princip vířivky	17
Obrázek 5 Ukázka husté pěny („deky“) [12].....	19
Obrázek 6 Schéma platformy ArdBir [13]	21
Obrázek 7 Demonstrativní ukázka platformy ArdBir.....	23
Obrázek 8 Schéma zapojení projektu Homebrew [14].....	24
Obrázek 9 Ukázka základního zapojení projektu CraftBeerPi [15]	26
Obrázek 10 Ukázka webového rozhraní CraftBeerPi [15]	27
Obrázek 11 Řez varnou nádobou Breumeister [16].....	28
Obrázek 12 Ukázka vzdálené obsluhy řídicího systému BrewBench [17].....	29
Obrázek 13 Ukázka nastavení systému BrewBench [17].....	30
Obrázek 14 Voděodolné snímače teploty DS18B20	33
Obrázek 15 Vývojová deska Arduino MEGA 2560.....	34
Obrázek 16 Manipulátor kulových ventilů	37
Obrázek 17 Modul reálného času DS3231	38
Obrázek 18 Modul pro bezdrátovou komunikaci ESP8266	39
Obrázek 19 Sonda pro měření pH kapalin.....	41
Obrázek 20 DPS pro obsluhu pH sondy	42
Obrázek 21 LCD se zobrazením znaků	43
Obrázek 22 Převodník na rozhraní RS485 se svorkovnicí	44
Obrázek 23 Zapojená deska osazená 8 mechanickými relé.....	45
Obrázek 24 Reproduktor s prodlužujícími vodiči.....	46
Obrázek 25 Schéma propojení nádob v pivovaru	51
Obrázek 26 Principiální zapojení relé pro manipulátory	53
Obrázek 27 Fyzické zapojení relé s manipulátory	54
Obrázek 28 Schéma zapojení modulů k Arduino	55
Obrázek 29 Pohledová strana rozvaděčové krabice	56
Obrázek 30 Uložení komponentů v krabici rozvaděče	57
Obrázek 31 Úprava hlavičkového souboru Virtuina	60
Obrázek 32 Nastavení HMI Virtuino.....	70
Obrázek 33 Nastavení sítě Virtuina	71
Obrázek 34 Nastavení počtu virtuálních pinů.....	71

Obrázek 35 Přidání tlačítka na panel	72
Obrázek 36 Vložení kontrolní LED topných těles.....	73
Obrázek 37 Nastavení atributů slideru termostatu.....	74
Obrázek 38 Ukázka zobrazovacího displeje teploty	74
Obrázek 39 Výsledná záložka obsluhy rmutovací pánve	75
Obrázek 40 Podoba původního řídicího panelu.....	76

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Přehled obsahu prvků v nádobách	51
Tabulka 2 Propojení vývojové desky Arduino s moduly	55
Tabulka 3 Seznam funkcí	61

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: CD OBSAHUJÍCÍ ZDROJOVÉ KÓDY A OBRÁZKY ROZHŘANÍ VIRTUI

