



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

**VESTAVĚNÝ SYSTÉM PRO ŘÍZENÍ DOMÁCÍHO
PIVOVARU**

EMBEDDED SYSTEM FOR HOME BREWERY CONTROL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

VOJTĚCH MIMOCHODEK

Ing. VÁCLAV ŠIMEK

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce



Student: **Mimochodek Vojtěch**
Program: Informační technologie
Název: **Vestavěný systém pro řízení domácího pivovaru**
Embedded System for Home Brewery Control
Kategorie: Vestavěné systémy

Zadání:

1. Detailně se seznamte s problematikou jednotlivých fází procesu vaření a fermentace piva v provozu malého rozsahu či domácích podmínkách.
2. Zabývejte se možnostmi elektronického sledování hustoty kapaliny, zjišťováním jejího pH a měřením teploty. Připravte krátkou studii na toto téma.
3. S ohledem na poznatky získané v bodech 1) a 2) zadání navrhnete koncepci vestavěného systému pro monitorování a řízení domácího pivovaru.
4. Zvolte vhodné komponenty a na obvodové úrovni proveďte technickou realizaci potřebných funkčních bloků systému dle navržené architektury.
5. Proveďte sestavení a oživení jednotlivých funkčních bloků. Dále vytvořte obslužný firmware řídící jejich činnost a otestujte komunikaci s těmito prvky.
6. S ohledem na architekturu navrženou v bodě 3) zadání implementujte s využitím webových technologií uživatelské rozhraní systému.
7. Vytvořené řešení otestujte v reálných podmínkách. Zhodnoťte dosažené výsledky a pokuste se navrhnout případná rozšíření či vylepšení.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Splnění bodů 1 až 3 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Šimek Václav, Ing.**
Vedoucí ústavu: Sekanina Lukáš, prof. Ing., Ph.D.
Datum zadání: 1. listopadu 2020
Datum odevzdání: 12. května 2021
Datum schválení: 30. října 2020

Abstrakt

Tato práce se zabývá automatickým měřením hustoty piva při fermentaci. Hlavním cílem je vytvořit elektronický hustoměr s webovým uživatelským rozhraním. Práce se skládá z části teoretické, ve které se věnuje historii piva, procesům výrobě piva a vybavení. Praktická část obsahuje návrh systému a implementaci. V závěru dokládá výsledky testování daného hustoměru, který byl předmětem bakalářské práce.

Abstract

This thesis is focused on automatic measurement of beer density during fermentation. The main objective is to create an electronic densitometer with a web user interface. The thesis consists of a theoretical part, which deals with the history of beer, beer production processes and equipment. The practical part includes system design and implementation. In conclusion, there are documented the results of testing the densitometer, which was the subject of the bachelor's thesis.

Klíčová slova

pivo, domácí pivovarnictví, měření hustoty, fermentace, elektronický hustoměr

Keywords

beer, homebrewing, measuring density, fermentation, electronic densitometer

Citace

MIMOCHODEK, Vojtěch. *Vestavěný systém pro řízení domácího pivovaru*. Brno, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Václav Šimek

Vestavěný systém pro řízení domácího pivovaru

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Václava Šimka. Další informace mi poskytli kolegové a kamarádi společně s komunitou domácích pivovarníků. Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....

Vojtěch Mímochodek

19. května 2021

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu práce Ing. Václavu Šimkovi za odborné vedení práce, věnovaný čas a cenné rady.

Obsah

1	Úvod	3
2	Analýza stávajících řešení	4
2.1	iSpindel	4
2.2	Tilt	5
2.3	Float	5
3	Vaření piva v domácích podmínkách	6
3.1	Historie piva	6
3.2	Technologický postup	7
3.2.1	Šrotování	7
3.2.2	Rmutování	7
3.2.3	Scezování a vyslazování	7
3.2.4	Chmelovar	8
3.2.5	Zchlazení mladiny	8
3.2.6	Fermentace	8
3.3	Vybavení	9
3.3.1	Mladinové kotle	9
3.3.2	Vlastně navržený pivovar	10
3.3.3	Hustoměr	11
4	Návrh systému	13
4.1	Princip elektronického hustoměru	13
4.2	Výběr komponent	13
4.2.1	Obal	13
4.2.2	Elektronické moduly	14
4.3	Návrh plošného spoje	17
4.3.1	Vývojové prostředí	17
4.3.2	Modelování a kompletace	18
5	Implementace	24
5.1	Firmware	24
5.1.1	ESP-IDF	24
5.1.2	Funkcionalita	25
5.2	Uživatelské rozhraní	29
5.2.1	PHP 7.4	30
5.2.2	MySQL	30
5.2.3	Symfony 5	30

5.2.4	Bootstrap	30
5.2.5	Doctrine 2	31
5.2.6	Princip	31
5.2.7	Funkcionalita a realizace	31
6	Testování	39
6.0.1	Kalibrace hustoměru	39
6.0.2	Kalibrace pH sondy	43
6.1	Testování elektronického hustoměru	44
7	Závěr	46
	Literatura	47
A	Obsah SD karty	49

Kapitola 1

Úvod

Tato práce vznikla za účelem vytvořit elektronický hustoměr, který by zjednodušil a zpřehlednil monitorování hustoty, teploty a pH piva při fermentaci. Průběžné měření hustoty a teploty je zásadní především proto, aby sládek měl přehled o tom, v jakém stavu se fermentace nachází a s jistotou poznal, kdy je fermentace ukončena. V běžném procesu sládek měří hodnoty hustoty manuálně, čímž zvyšuje riziko kontaminace. Zato elektronický hustoměr snímá hodnoty automaticky bez nutnosti manipulace s tekutinou. Tím je riziko kontaminace značně sníženo. Kvasinky, které stojí za kvašením piva, nejlépe pracují při určitých teplotách. Z tohoto důvodu je důležité monitorovat také teplotu. Měření pH může mít využití například při vaření kyselých piv.

Bakalářská práce analyzuje již existující řešení elektronických hustoměrů s jejich výhodami a nevýhodami. Z těchto zařízení zmiňuje a porovnává iSpindel, Float a Tilt.

Na úvod je stručně zmíněna historie piva a pivovarnictví v průběhu let. Dále jsou popsány jednotlivé kroky technologického postupu vaření piva. Práce rovněž uvádí potřebné vybavení pro domácí pivovarnictví a jeho alternativy.

V praktické části je podrobně popsán návrh systému, jenž zahrnuje výběr použitých komponent, vytvoření desky plošných spojů a princip fungování samotného elektronického hustoměru.

Část práce zabývající se implementací podrobně rozebírá realizaci obslužného firmware elektronického hustoměru a webového uživatelského rozhraní.

V závěru práce autor uvádí výsledky testování, kalibrace zařízení a zhodnocení výsledného produktu.

Kapitola 2

Analýza stávajících řešení

S pokrokem dnešní doby si domácí pivovarníci stále hledají různá vylepšení a zdokonalení svých domácích pivovarů. V posledních desíti letech vzniklo několik druhů ponorných hustoměrů. Všechny s cílem zautomatizovat měření fermentace za co nejmenší cenu. Mezi nejrozšířenější a nejpoužívanější patří iSpindel, Tilt či Float.

Při autorovu osobním průzkumu, jehož cílem bylo zjistit, který z typů těchto hustoměrů je na území České a Slovenské republiky nejpoužívanější. Dne 5. května 2021 byl proto na facebookové skupině Domácí pivo - Homebrewing položen dotaz s připojenou anketou. Varianta iSpindel získala v této anketě drtivou většinu hlasů. Z výsledků je tedy zřejmé, že většina lidí, alespoň na našem území, využívá právě elektronický hustoměr iSpindel. Ať už v originálním sestavení nebo s vlastními úpravami.

Na trhu nalezneme i profesionálnější zařízení, například EasyDens. Výhodou těchto zařízení je, že dosahují velmi přesných hodnot. Způsobem použití však připomínají klasický hustoměr. Při každém měření je totiž zapotřebí provést manuální odběr vzorku tekutiny a ten vložit do zařízení. Jsou tedy vhodné spíše k jednorázovým měřením, než k pravidelnému monitorování fermentace. Nevýhodou může být také vysoká pořizovací cena.

2.1 iSpindel

V případě iSpindelu se jedná „DIY“, neboli „udělej si sám“, opensource řešení původem z Německa. Toto řešení vzniklo během roku 2016 a stále se vyvíjí. Změny a aktualizace, které v průběhu let přicházejí, se týkají především firmware. Schéma zapojení a výběr komponent zůstává neměnný.

Základem iSpindelu je, dnes již zastaralý, čip ESP8266. Dalšími periferiemi jsou teplotní čidlo DS18B20 a akcelerometr s gyroskopem GY-521 s MPU6050. Hustoměr nabízí měření hustoty tekutiny a teploty. Nevýhodou je umístění teploměru uvnitř plastové formy bez přímého styku s tekutinou. Ačkoliv se teplota tekutiny a teplota uvnitř formy postupem času vyrovná, problémem zůstává velká hystereze. Hodnoty teploty jsou tak pro uživatele spíše informativní. V případě, že by uživatel chtěl pomocí hustoměru také automaticky regulovat teplotu fermentované tekutiny, například pomocí speciálně upravené lednice, je nutné, aby byl teploměr voděodolný a byl v přímém styku s tekutinou. Tyto hustoměry nejsou v běžném prodeji a tudíž si je uživatel musí sestavit a zkalibrovat sám. To může být přívětivou možností pro zkušenější uživatele, kteří si hustoměr takto sestaví, případně provedou vlastní úpravy, za násobně menší pořizovací cenu. Vlastní sestavení a kalibrace je zároveň nevýhodou pro méně zkušené uživatele, kteří si hustoměr sami lehce nezkompletují.

Hustoměr iSpindel zasílá data do aplikací pomocí Wi-Fi. Data jsou standardně zasílána do cloudové služby Ubidots. Přínosem je možnost zasílat data do aplikací třetích stran jako je třeba Brewfather [11].

Cena iSpindelu záleží na výběru konkrétních prodejců jednotlivých součástí. Zkompletování může stát v rozmezí od 400 do 1000 korun českých.

2.2 Tilt

Hustoměr Tilt je hotovým řešením prodávajícího se ve dvou variantách. V klasické verzi za 135\$ a verzi PRO za 250\$. Vyšší cena je právě jednou z nevýhod tohoto řešení.

U Tiltu je k dispozici monitorování hustoty a teploty. Jelikož se Tilt prodává jako kompletní řešení, tak jeho firmware, návrh obvodového zapojení ani výběr komponent není veřejně dostupný a není možnost získat detailnější informace k tomuto hustoměru. Z tohoto důvodu není možné si hustoměr dodatečně upravit. Při koupi tohoto zařízení je výhodou kalibrace z výroby a je připravený k okamžitému použití. Teplotní čísla je rovněž umístěno uvnitř nádoby a tak automatické řízení teploty na základě tohoto hustoměru je stejně jako v případě iSpindelu nevhodné [17].

2.3 Float

Varianta hustoměru značky Float pochází z dílen společnosti Brewbrain z Nizozemí a jedná se o kompletní prodávané řešení. Stejnou nevýhodou jako u řešení Tilt je vyšší pořizovací cena pohybující se kolem 150€ za kus.

Float nepřináší od ostatních řešení žádné nové možnosti. Nabízí tradiční měření hustoty a teploty tekutiny. Protože se jedná o oficiální produkt, bližší informace ohledně konstrukce a firmware jsou stejně jako u Tiltu neveřejné.

Data jsou z hustoměru zasílána pomocí Wi-Fi spojení do oficiální aplikace od Brewbrain s následnou možností integrace do určitých aplikací třetích stran [8].



Obrázek 2.1: iSpindel
(zdroj: [12])



Obrázek 2.2: Tilt
(zdroj: [18])



Obrázek 2.3: Float
(zdroj: [2])

Kapitola 3

Vaření piva v domácích podmínkách

Vaření piva v domácích podmínkách je podobné jako v pivovaru, ačkoliv pivovarství ve velkých pivovarech připomíná spíše výrobu než řemeslo. V obou případech se využívají stejné technologické postupy, liší se však svým vybavením.

Tato kapitola na začátku popisuje historii pivovarnictví. Dále se zabývá nutnými procesy pro úspěšně uvařené pivo a typickým vybavením pro vaření piva v domácích podmínkách.

3.1 Historie piva

Pivo je lidstvu známo již tisíce let. Je patrné, že objevení piva souvisí s obdobím, kdy lidstvo začalo pěstovat obilí. To, jak bylo přesně objeveno se s jistotou říci nedá. Jednou z teorií je, že do některé z hliněných nádob, ve kterých se v tehdejší době skladovalo obilí, natekla voda a o zbytek se postaraly všudypřítomné kvasinky. Po objevení se výroba i konzumace piva rychle rozšířila. První národy, jejichž kultury byly spjaty s pivem, jsou například Sumerové z území tehdejší Mezopotámie, nebo starověcí Egypťané. Existuje mnoho písemných dokumentů a archeologických vykopávek. Nejstarší písemné zmínky o pivu pocházejí z období 4000 let př. n. l. Dochovaly se například ve známém Eposu o Gilgamešovi či v Chamurapiho zákoníku starých babylóňanů. Zajímavé jsou zmínky, které popisují prapůvodní hospody a tresty jejich nepodstivých provozovatelů. Například „Kdo bude míchat do piva vodu, bude utopen v sudu, trychtýřem bude lito do něj tak dlouho pivo, dokud nezemře.“ nebo „Šenkýřka, která si nechá platit čepované pivo stříbrem, místo aby přijala ječmen, bude utopena. Tentýž trest čeká šenkýřku, která prodává špatné pivo.“

Během doby antiky bylo pivo značně vytlačeno vínem. V Evropě si však silnou náklonost k pivu uchovali Keltové a Germáni. Ve středověku se k vyvážení sladké chuti sladu používaly směsi bylin zvané gruit. Postupem času se pro své výhody začal čím dál více prosazovat chmel, který je nedílnou součástí dnešních piv.

Dalším důležitým milníkem bylo roku 1516 vydání německého zákona o čistotě piva „Reinheitsgebot“. Ten uznával jako jediné možné ingredience vodu, slad a chmel. V roce 1842 bavorský sládek Josef Groll uvařil v Měšťanském pivovaru v Plzni první pivo plzeňského typu. Vznikl tak nový styl Plzeňský ležák, který se stal jedním z nejznámějších stylů na světě. Významným byl rovněž rok 1876, kdy Louis Pasteur potvrdil, že kvasinky jsou zodpovědné za kvašení piva. Šlo o důležitý mezník, jelikož do té doby nebylo známo, jak alkoholové kvašení probíhá a pivo tak kvasilo spontánně [25].

3.2 Technologický postup

K uvaření piva jsou zapotřebí čtyři základní ingredience. Jsou to voda, slad, chmel a kvasnice. Proces vaření se dá rozdělit na dvě části. Varný den a fermentace. Během varného dne je skrze rmutování, scezování a vyslazování, chmelovar a následné zchlazení získána mladina. Mladina je zkvasitelný cukernatý meziprodukt, který obsahuje extraktní látky ze sladu a chmele. Z tohoto meziproduktu vzniká výsledné pivo zkvašením. Všechny tyto procesy jsou podrobněji popsány v následujících podkapitolách.

3.2.1 Šrotování

Sladová obilka se skládá z obalu, který je jinak nazýván pluch a z vnitřních částí, které obal přirozeně chrání. Pro pivovarnictví je ze zmiňovaných vnitřních částí nejdůležitější právě endosperm. Tento endosperm je tvořen škroby a cukry, ze kterých je pozdějšími procesy nutno získat cukernatý extrakt. Cílem šrotování je tedy rozbít a narušit obaly obilek, aby bylo množství získaného extraktu co největší. Výťažnost extraktu rovněž závisí na kvalitě samotného šrotování. To by mělo probíhat mechanismem mačkání či tření. Naopak by se neměly používat metody, při kterých se seká nebo řeže. Z důvodu oxidace, stárnutí a navlhání spojeným se vznikem plísní, je doporučeno šrotování provádět bezprostředně před vařením piva [25].

3.2.2 Rmutování

Základem rmutování je rozštěpení složitějších cukrů na jednodušší. Ty jsou pak kvasinky schopny skrze kvasný proces přeměnit na alkohol a oxid uhličitý. Cílem je převést obsah sladového šrotu do varní vody. Štěpení složitějších cukrů probíhá pomocí enzymů sladu. Samotný princip spočívá v prodlevách či setrváních na určitých teplotách vhodných pro práci enzymů. Vliv má také hodnota pH. Jednotlivé teploty jsou:

- Kyselinotvorná teplota 35-38°C
- Peptonizační teplota 45-50°C
- Nižší cukrutvorná teplota 60-65°C
- Vyšší cukrutvorná teplota 70-75°C
- Odrmutovací teplota 76-80°C

Postupů při rmutování máme několik. Ze začátku probíhá takzvané vystírání a zapáčka. Je to v podstatě smísení sladového šrotu s hlavním nálevem, a to vodou. Rmutování dále podle postupu dělíme na dva druhy. Rmutování dekokční a infuzní. Podstata dekokčního závisí na povařování dílčích rmutů. Naopak při infuzním rmutování jsou teploty dosaženy pomalým zahříváním celého díla. Jako kontrola zcukření je používána jodová zkouška [25].

3.2.3 Scezování a vyslazování

Při rmutování nám vznikají pevné zbytky, které nazýváme mláto. Úkolem scezování je oddělit tyto pevné zbytky od tekutiny. V průběhu scezování je nejprve získán předek. Je to největší a nejsilnější část extraktu. Avšak určité podíly extraktu stále zůstávají zachovány v mlátě. Z toho důvodu se přistupuje k procesu zvaném vyslazování. Dá se říci, že je to

vlastně filtrace přes mláto pomocí horké čisté vody. Tím se získají další podíly extraktu nazývané výstřelky, které se spojí s předkem a vzniká tak produkt, kterému se říká sladina [25].

3.2.4 Chmelovar

Chmelovar je jednou z dalších fází procesu vaření piva. Jedná o povaření sladiny, která se získala z předchozích etap, společně s chmelem. Cílem chmelovaru není jenom hořčení piva, ale významů má více. Varem se při tomto procesu steriluje mladina a připraví se tím prostředí pro úspěšné kvašení. Další z výhod chmelovaru je odpaření nadbytečné vody, čímž mladina získá finální stupňovitost. Chmelovarem se zároveň ukončí veškerá enzymatická aktivita a upevní se tak složení sacharidů a dalších látek. V důsledku chmelovaru zároveň dochází ke změně fyzické struktury bílkovin a ty se postupně vysrážejí ve formě kalů.

Chmelení probíhá nejčastěji ve dvou či třech dávkách. První dávka se dává hned po dosažení varu a je určena pro hořčení piva. Druhá dávka chmele je přidávána zhruba v polovině chmelovaru. Jejím cílem je získání chmelové chuti. Poslední dávka připadá až na konec varu kvůli aroma. Přesné časy jednotlivých dávek záleží na konkrétních recepturách dle požadované hořkosti, aromatického a chuťového profilu. Doba chmelení závisí od produkovaného piva a pohybuje se mezi 60 až 90 minutami.

Zajímavostí jsou také některé z nekonvenčních metod chmelovaru. Jsou to například chmelení do rmutování, chmelení do předku, nebo chmelení ve vířivé kádě.

IBU¹ je veličina, která je používána pro vyjádření hořkosti piva. Přesněji se jedná o hodnotu miligramu hořkých látek připadající na litr piva [25].

3.2.5 Zchlazení mladiny

Po dokončení procesu chmelovaru je nutné výslednou mladinou zchladit na takzvanou zákvasnou teplotu. Zároveň je důležité oddělit vysrážené kaly a chmelové mláto. Podstatné je, že chmelovar mladinu vysteriloval. To znamená, že se musí dbát přísných hygienických nároků a opatrnosti vůči jakékoliv kontaminaci.

V dnešní době se mladina obvykle chladí pomocí vířivé kádě. Je to v podstatě izolovaná nádoba, kam je mladina přiváděna. Tím, jak je přiváděna mladina tečně, se docílí odloučení kalů. Ty se usadí uprostřed kádě ve formě plochého kužele. Mladina je opatrně stažena po uklidnění toku. V domácích podmínkách vířivá kádě funguje stejně jako v pivovaru s tím rozdílem, že rotační pohyb není zprostředkován proudem mladiny, ale kupříkladu vařečkou. Princip je takový, že se mladina roztočí a následně nechá uklidnit. Docílí se tím toho, že se uprostřed nádoby vytvoří plochý kužel chmelového mláta a kalů.

U vířivé kádě jsou známé dvě metody. Jedná se o vířivou kádě za horka a za studena [25].

3.2.6 Fermentace

Fermentace je jedním z nejdůležitějších procesů při vaření piva. Dá se říci, že sládek vaří mladinu, ale kvasinky vyrábí pivo. V případě, že sládek zapomene přidat více sladu, chmele, nebo bude vařit o 20 minut déle, než zamýšlel, tak se nejspíše nestane nic zásadního. V opačném případě při špatné fermentaci může být pivo lehce znehodnoceno a stát se tak zcela nepitelným.

¹IBU - International Bittering Units

Na začátku přípravy mladiny k fermentaci je zapotřebí ji patřičně provzdušnit. Kyslík je kvasinkami spotřebováván k efektivnímu růstu a rozmnožování.

Jakmile dojde ke zakvašení, kvasinky začínají požídat cukry a jako odpadní produkty tvořit alkohol a oxid uhličitý. Tím se mladina plná cukrů mění na pivo. Jedná se o fermentaci anaerobní, což znamená, že kvasinky v průběhu kvašení nemají přístup ke kyslíku. Pro kvasinky je vznikající alkohol jedovatý, proto postupně klesá jejich aktivita, což má vliv na maximální obsah alkoholu v kvašených nápojích. Ten se pohybuje přibližně mezi 10-12 obj. %. Kvasinky tvoří celou řadu vedlejších produktů. Některé při vaření vyhledáváme, kupříkladu estery tvořící charakteristické aroma, jiné jsou pro nás nežádoucí, můžeme uvést diacetyl, způsobující máslovou chuť a vůni. Pro samotnou fermentaci je důležité dbát na správnou teplotu. Ta se odvíjí od způsobu kvašení. Rozlišujeme kvašení spodní a svrchní. Spodní kvašení probíhá při 5-9 °C při studeném vedení a 12-16 °C v případě teplého vedení, zato ke kvašení svrchnímu je vyžíváno teploty mezi 15-22 °C. Také záleží na jednotlivých kvasničných kmenech, jejichž doporučenou teplotu pro fermentaci uvádí výrobce. Dále je pro správnou fermentaci podstatné zamezit kontaminaci a zvolit správnou dávku kvasnic. Právě nedodržení těchto tří zásad způsobuje nežádoucí chuť piva [25].

3.3 Vybavení

V minulé kapitole byl popsán technologický postup k vytvoření piva. Tato kapitola se zaměřuje na typické vybavení, které se používá při vaření piva v domácích podmínkách. Oproti komerčním pivovarům, mají amatérští sládcí omezený rozpočet. Tento fakt vede k tomu, že domovarníci mohou sáhnout po již hotovém řešení, nebo si vlastní pivovar poskládat. Někteří kutilové jsou natolik šikovní, že zvládnou své procesy ve vlastně navrženém pivovaru i automatizovat. Při výběru hotového domácího pivovaru se lze nejčastěji setkat s názvem *mladinový kotel* nebo *all-in-one pivovar*. Výhodou složeného pivovaru bývají nižší pořizovací náklady a vyšší přizpůsobitelnost. Jednotlivé části lze jednoduše nahradit. Sládcí často začínají s velmi jednoduchou variantou pivovaru, kterou po celou dobu své kariéry vylepšují. Oproti tomu jsou mladinové kotle otestované a většinou i z velké části zautomatizované. V poslední kapitole se autor zaměřuje na popis hustoměru, který slouží k určení síly piva.

3.3.1 Mladinové kotle

Mladinový kotel je zařízení, které zvládne rmutování, scezování, vyslazení a chmelovar. Jedná se o zařízení, které je z velké části zautomatizované a jeho uživatel může využívat velké množství zajímavých funkcí. Lze v něm například ukládat různé recepty, nebo navolit již oblíbené rmutovací schéma. Nevýhodou tohoto řešení často bývá absence dekokčního rmutovacího postupu, který je hojně využíván v České republice. Dalšími nevýhodami mladinového kotle je vyšší pořizovací cena a v případě poruchy nutnost opravy autorizovaným servisem. Nespornou výhodou je již otestované řešení, které dost často vyhovuje velkému spektru uživatelů.



Obrázek 3.2: Mladinový kotel. (zdroj: [13])

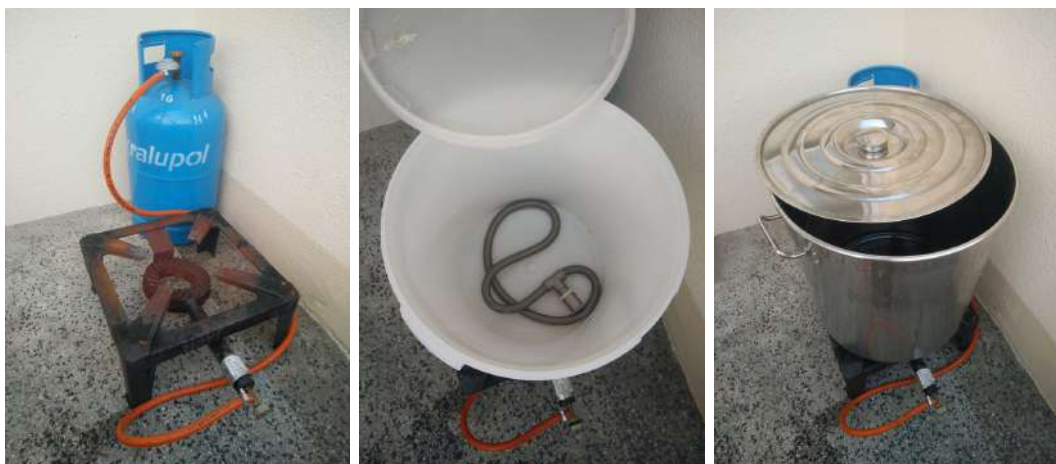
3.3.2 Vlastně navržený pivovar

V případě, že se amatérský sládek rozhodne, že začne s vařením oblíbeného moku, má možnost svůj pivovar složit z cenově dostupných komponent, nebo z komponent, které už vlastní doma. V následujících odstavcích je přiblížen velmi jednoduchý plán, jak takový domácí pivovar složit.

Vlastně navržený pivovar potřebuje v první řadě zdroj tepla. Velmi častá varianta je pomocí plynové stoličky a plynové bomby, nebo použitím elektrické varné desky. Při výběru vařiče je nejdůležitější faktor výkon, který ovlivňuje, zda zvládne kýžený objem přivést k varu v rozumném čase. Využití domácího sporáku nelze doporučit, protože často nemá dostatečný výkon. Pokud má sládek vyřešený ohřev, potřebuje pro dokončení své rmutovací pánve nádobu. Levná a kvalitní varianta je nerezový hrnec. Při výběru nádoby se musí zohlednit, zda je velikostně vhodná pro námi vybraný zdroj tepla.

V podobně realizované rmutovací pánvi lze úspěšně vytvořit rmut. Dalším technologickým krokem k úspěšnému vaření piva je scezování a vyslazování. Mezi jednu z nejrozšířenějších variant patří použití plastové nádoby s otvorem na 3/4" kohout, na který se namontuje scezovací manifold².

Pro kontrolu jednotlivých kroků je pak vhodné zakoupit různé příslušenství. Teploměr pro kontrolu teplot, cukroměr pro zjištění podílu cukru nebo vařečku pro míchání rmutu.



Obrázek 3.3: Jednoduchý pivovar s rmutovací pánví a scezovací nádobou. (zdroj: vlastní)

²Nerezová spirála, která filtruje mláto od sladiny.

3.3.3 Hustoměr

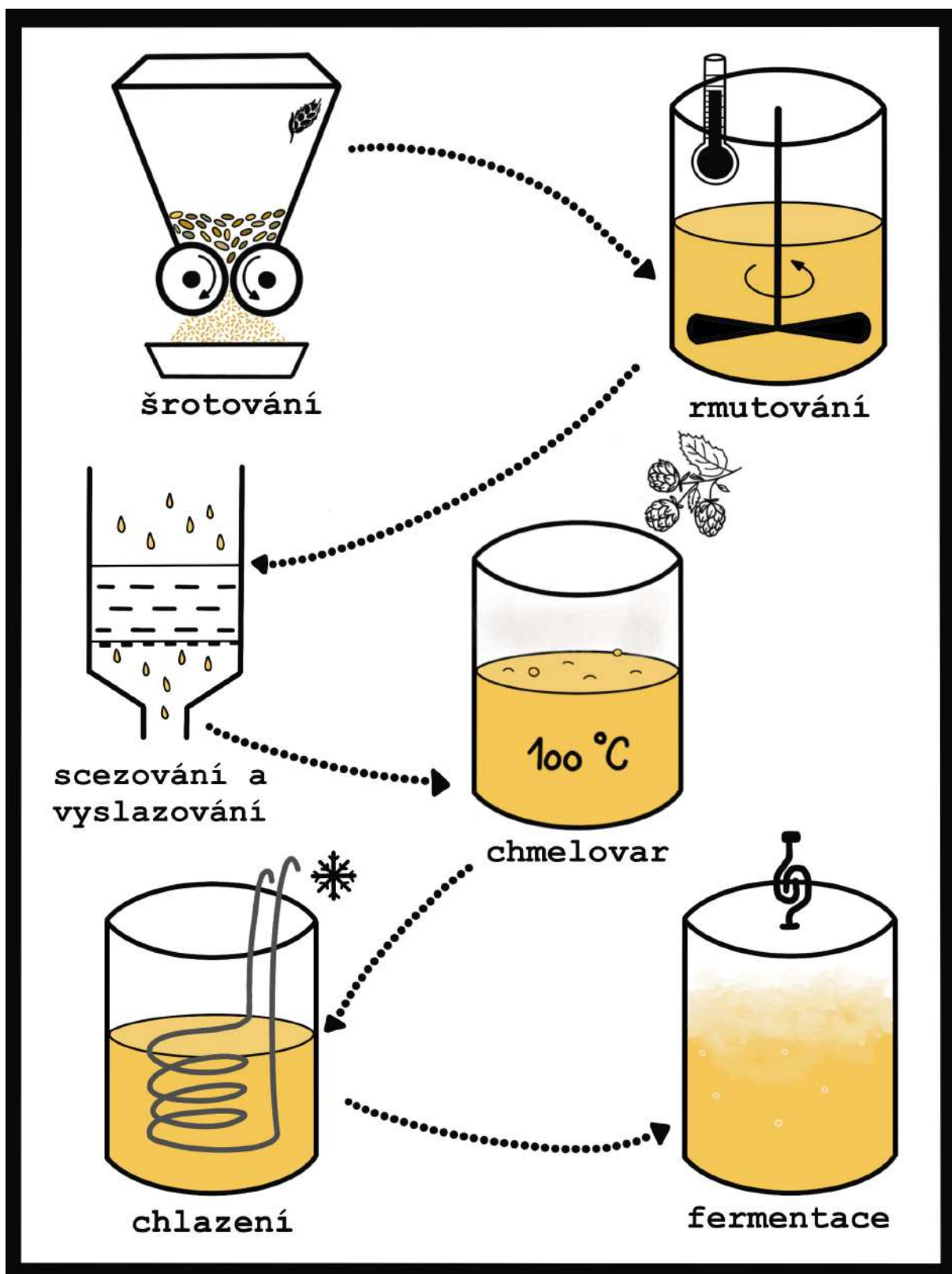
Hustoměr je nástroj, který slouží k určení hustoty kapaliny. Měření se provádí na základě Archimedova zákona. V praxi se lze setkat i cukroměrem, ale jedná o stejný nástroj, který využívá pouze jinou stupnici – Plato. Při používání hustoměru si uživatel musí dát pozor na několik specifických věcí. Jednou z nich je čtení menisku. Hustoměr může být zkalibrovaný na dolní, nebo herní meniskus. Dalším specifikem je teplota tekutiny, v níž je tento nástroj ponořen. Pokud je teplota tekutiny odlišná od té, při které byl hustoměr zkalibrovaný, je nutné tuto hodnotu přepočítat³.

V praxi se lze setkat se stupnicemi hustoty, Plato nebo Brix, které se používají k vyjádření síly piva. Stupnice Plato a Brix využívají jako referenční látku sacharózu, a proto je lze pro potřeby vaření piva brát jako shodné. Protože všechny stupnice vyjadřují stejnou veličinu, lze mezi nimi jednoduše převádět jejich hodnoty.[25]

V pivovarnictví je primárně používána stupnice Plato. Jeden stupeň plata odpovídá desíti gramům cukru na litr tekutiny.

[[Pivařka 250]] $P = - 460,324$

³Nástroj pro korekci hustoty kapaliny na základě teploty. <https://www.homebrewmap.com/cs/tools/calculators/hydrometer-temperature-adjustment>



Obrázek 3.1: Procesy vaření piva (zdroj: vlastní)

Kapitola 4

Návrh systému

Kapitola pojednává o procesu návrhu vlastního elektronického hustoměru. Vysvětluje princip fungování, zdůvodňuje výběr použitých modulů a popisuje, jakým způsobem byla navržena deska plošných spojů.

Pro správné fungování celého systému bylo nutné nejprve zvolit vhodné tělo či obal, ve kterém bude zařízení umístěno. V dalším kroku vývoje se řešil výběr vhodných komponent v závislosti na příslušnému obalu. Tento výběr jednotlivých komponent je popsán v následující sekci této kapitoly. Po určení všech dílčích modulů bylo zapotřebí namodelovat plošný spoj k jejich osazení a zprovoznění. Příprava plošného spoje je blíže popsána v sekci 4.3.

4.1 Princip elektronického hustoměru

Princip vlastního elektronického hustoměru je v zásadě velmi jednoduchý. Spočívá ve fyzikálním Archimédově zákonu, který nám říká: *Těleso ponořené do tekutiny, je nadlehčováno vztlakovou silou, která je stejně velká jako tíha tekutiny, kterou ponořené těleso, či jeho ponořená část, vytlačí.*

$$F_{vz} = V \cdot \rho_t \cdot g$$

Z čehož nám vyplývá, že tekutiny o různých hustotách vždy různou vztlakovou silou působí na tělesa v ní ponořené. V případě hustoměru umístěného ve válcovité formě, která je na jednom konci zatížená, bude hustoměr plavat a zatížený konec se do tekutiny ponoří. Různé vztlakové síly závislé od hustoty způsobí to, že ponořený hustoměr bude vůči hladině svírat vždy určitý úhel, závislý od hustoty tekutiny. Tento úhel je jedním z Eulerových úhlů, pomocí nichž je popsán rotační pohyb a nazývá se nutační úhel. Lze jej také nazvat úhlem stoupání (v angličtině takzvaný „pitch angle“) [7].

Součástka gyroskopu s akcelerometrem umístěná v hustoměru, změří tento úhel náklonu, který odpovídá dané hustotě tekutiny. Při změření dostatečného množství tekutin s odlišnými hustotami, lze nalézt matematickou závislost mezi úhly sklonu a hustotou tekutiny. Tento postup je blíže popsán v 6.0.1

4.2 Výběr komponent

4.2.1 Obal

Nejvhodnějším pouzdrům pro tento typ hustoměru se jeví podlouhlá válcovitá forma z vhodného materiálu. Varianty materiálů jsou dvě, a to forma ze skla, nebo z plastu. Každá z

variant má své výhody a nevýhody. Nespornou výhodou plastových nádob oproti skleněným je jejich vyšší odolnost proti rozbití, například při pádu. Dalším přínosem je jejich dostupnost a podstatně nižší pořizovací cena. U skleněné nádoby je naopak zajímavou možností zrealizovat indukční bezdrátové napájení hustoměru.

Pro vlastní elektronický hustoměr byla vybrána plastová PET preforma s délkou 190mm, vnějším průměrem 50mm a vnitřním průměrem 42mm, který se postupně lehce snižuje. Cena takové formy je v rozmezí 10–25 korun českých za kus.



Obrázek 4.1: Zvolená PET preforma (zdroj: vlastní)

4.2.2 Elektronické moduly

Jak již bylo zmíněno, elektronické součástky je nutné vybírat v závislosti na konkrétním obalu. To proto, aby se zkompletované zařízení velikostně do daného obalu bez problémů vešlo. Jelikož má vybraná PET preforma vnitřní průměr 42mm, který se s postupem do hloubky formy snižuje, bylo důležité vybrat součástky splňující maximální šířku do 30mm, a to také s ohledem na připravovanou desku plošných spojů.

Mikrokontrolér s ESP32-S2

První vybranou součástkou a zároveň „srdcem“ celého hustoměru je ESP32-S2-Saola-1. Jedná se o mikrokontrolér vyvíjený společností Espressif. Je tvořen čipem ESP32-S2 integrující bezdrátový Wi-Fi modul, podporující protokoly IEEE 802.11 b/g/n s přenosovou rychlostí až 150 Mb/s. Základem tohoto čipu je jedno-jádrový procesor Xtensa 32-bit LX7, který pracuje s taktovací frekvencí až 240 MHz. Paměť na čipu zahrnuje 320 KB SRAM paměti, 16 KB SRAM paměti v RTC a 120 KB ROM paměti. Mikrokontrolér obsahuje bohatou sadu periferních rozhraní jako SPI, I2S, UART, I2C, LED rozhraní, ADC, DAC, stejně tak 38 GPIO pinů.

Mikrokontroléry z rodiny ESP32-S2 jsou navrhovány pro extrémně nízkou spotřebu energie, což bylo také jedním z důvodů, proč byl pro elektronický hustoměr zvolen právě tento mikrokontrolér. Pro nízkou spotřebu je dostupných několik různých režimů. Jsou to:

- Active mode
- Modem-sleep mode
- Light-sleep mode
- Deep-sleep mode
- Hibernation mode

Propojení vývojové desky k počítači je realizováno pomocí USB rozhraní, přes které lze desku programovat i napájet. Připojení na straně desky zajišťuje Micro USB konektor s UART převodníkem CP2102. [30]



Obrázek 4.2: Vývojová deska ESP32-S2-Saola-1 (zdroj: [6])

3osý gyroskop a akcelerometr GY-521 s MPU-6050

Ke změření náklonu nádoby s hustoměrem vůči hladině slouží modul GY-521. Základem tohoto modulu s gyroskopem a akcelerometrem je čip MPU-6050 od firmy InvenSense. Jedná se o 6osé zařízení kombinující 3osý akcelerometr s 3osým gyroskopem a integrovaným digitálním pohybovým senzorem. Pro digitalizaci výstupů z gyroskopu jsou používány tři 16bitové analogově digitální převodníky a rovněž pro digitalizaci výstupů z akcelerometru jsou další tři 16bitové analogově digitální převodníky. Komunikace mezi všemi registry zařízení se odehrává pomocí I²C sběrnice běžící na frekvenci 400 kHz. Další z funkcí na čipu je 1024 bytová FIFO¹ vyrovnávací paměť, která pomáhá snižovat spotřebu energie. A to tím způsobem, že dovoluje systémovému procesoru číst data v dávkách a následně přejít do režimu nízké spotřeby, protože MPU získává více dat. Digitální pohybový sensor získává data z gyroskopu a akcelerometru a provádí výpočty algoritmů pro zpracování pohybu [23].

Teplotní čidlo DS18B20

Pro monitorování teploty tekutiny je použito teplotní čidlo DS18B20. Z důvodu eliminace velké teplotní hystereze, která vzniká tím, že teplotní čidla jsou umístěny uvnitř hustoměru

¹First in first out



Obrázek 4.3: 3osý akcelerometr s gyroskopem GY-521 (zdroj: vlastní)

bez přímého styku s tekutinou, jako je tomu u jiných druhů hustoměrů popsaných v 2 se zvolila varianta tohoto teplotního čidla ve vodotěsném nerezovém zapouzdření.

Digitální teploměr DS18B20 od společnosti Maxim Integrated, dříve Dallas Semiconductors, poskytuje 9 až 12bitové rozlišení měření teploty ve stupních Celsia. Teplotní čidlo komunikuje pomocí 1-Wire sběrnice, která ke svému provozu potřebuje jen jeden datový pin. Každé takové čidlo má jedinečnou 64bitovou adresu a je tak možné, zapojit více teploměrů za sebou. Možný teplotní rozsah k měření je od -55°C po $+125^{\circ}\text{C}$.

K této součástce je nutné rovněž přidat odpor o velikost $4.7\text{k}\Omega$. Osazen byl SMD odpor s velikostí pouzdra 1206 [24].



Obrázek 4.4: Voděodolné teplotní čidlo DS18B20 (zdroj: <https://pajtech.cz/images/000406621.jpg>)

Nabíjecí článek 18650

Protože napájení hustoměru ze sítě není vhodné a bez větších obtíží prakticky možné, je hustoměr napájen pomocí dobíjecího článku 18650 o kapacitě 3500 mAh od společnosti Panasonic. Akumulátor má rozměry 18.5x65.3 mm a je uchycen pomocí plastového držáku bateriových článků s označením BHC-18650-1.



Obrázek 4.5: Nabíjecí článek 18650 (zdroj: vlastní)

Napájecí modul TP4056

Možnost znovudobít baterii, je možné skrze malý napájecí modul s označením TP4056. Ten je vhodný pro nabíjení nejen článků 18650, ale celou řadu jiných Li-Ion² akumulátorů s jmenovitým napětím 3,7 V a různými velikostmi. Napájení je realizováno skrze Micro USB konektor. Modul je opatřen dvěma LED diodami pro indikaci napájení. Červená signalizující probíhající napájení a modrá stav plného nabití baterie [19].



Obrázek 4.6: Napájecí modul TP4056 (zdroj: vlastní)

pH modul DFROBOT SEN0169

Pro rozšíření funkcionality hustoměru, je k dispozici možnost připojení pH sondy s analogovým pH modulem SEN0161 od výrobce DFRobot. Tento modul nabízí měření v rozsahu 0–14 pH při teplotách 0–60 °C. Velikost samotného modulu je 32 mm široký a 43 mm dlouhý. Vstupní napájecí napětí je 5 V a výstupní 0–3 V. Pro indikaci proudu je modul opatřen modrou LED diodou [15].

4.3 Návrh plošného spoje

4.3.1 Vývojové prostředí

K namodelování desky plošných spojů byl využit software EAGLE³ ve verzi 9.6.2, který je v současné době vyvíjen firmou Autodesk, dříve CadSoft Computer GmbH. Jedná se o

²Lithium-iontový akumulátor

³Easily Applicable Graphical Layout Editor



Obrázek 4.7: pH modul SEN0161 s pH sondou (zdroj: vlastní)

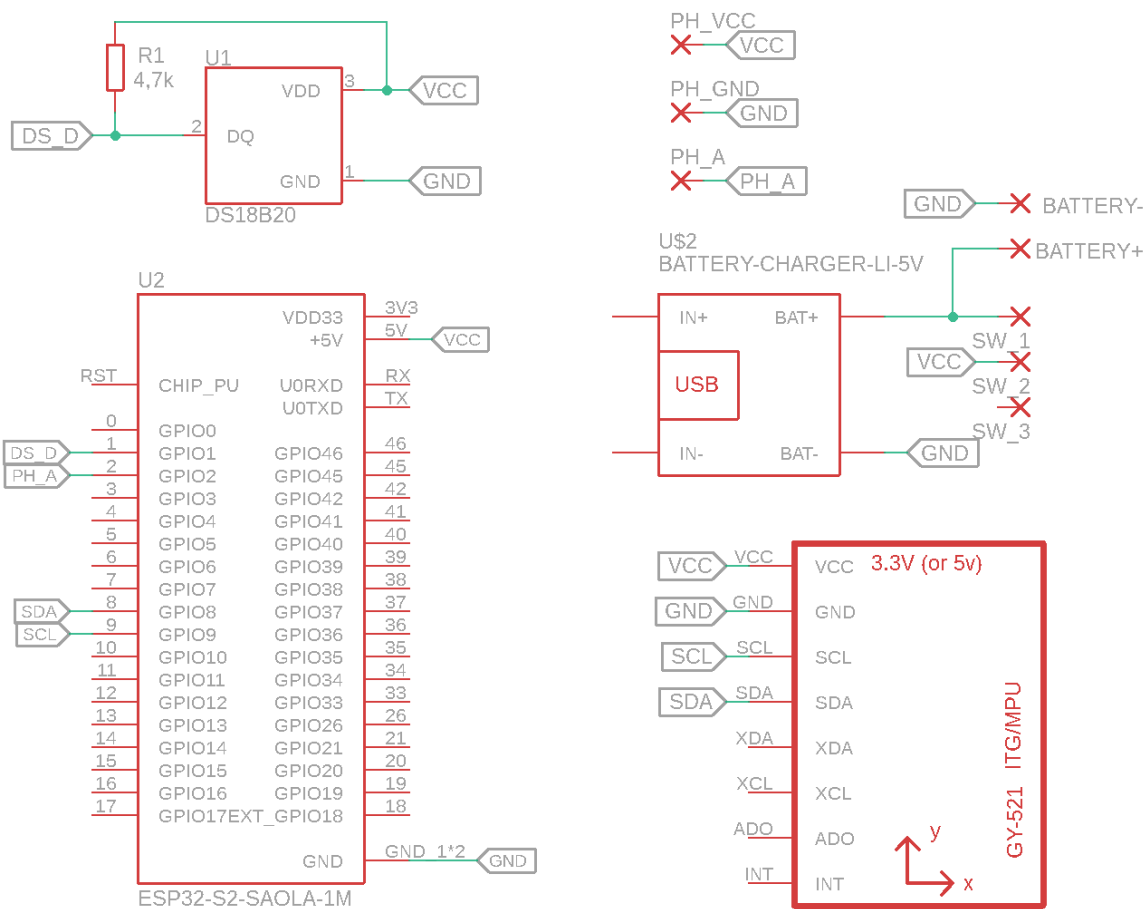
jeden z nejstarších a nejpopulárnějších nástrojů pro navrhování plošných spojů. Má poměrně jednoduché rozhraní a nabízí knihovnu s velkým množstvím různých komponent. V případě, že některá z chtěných komponent chybí, je možnost importovat nové nebo si vytvořit vlastní. Nástroj je vhodný jak pro začátečníky, tak pro profesionální uživatele.

Autodesk EAGLE je nabízen v několika variantách. První dvě možnosti jsou placené a jedná se o varianty Standard a Premium. Třetí možností je limitovaná varianta Free, která je určena pro fanoušky či nenáročné uživatele. Zahrnuje použití dvou schémat, dvou signálních vrstev a modelování desky o velikosti do 80 cm². Pro účely návrhu desky k elektronickému hustoměru, je třetí zmiňovaná možnost plně dostačující a byla proto vybrána [26].

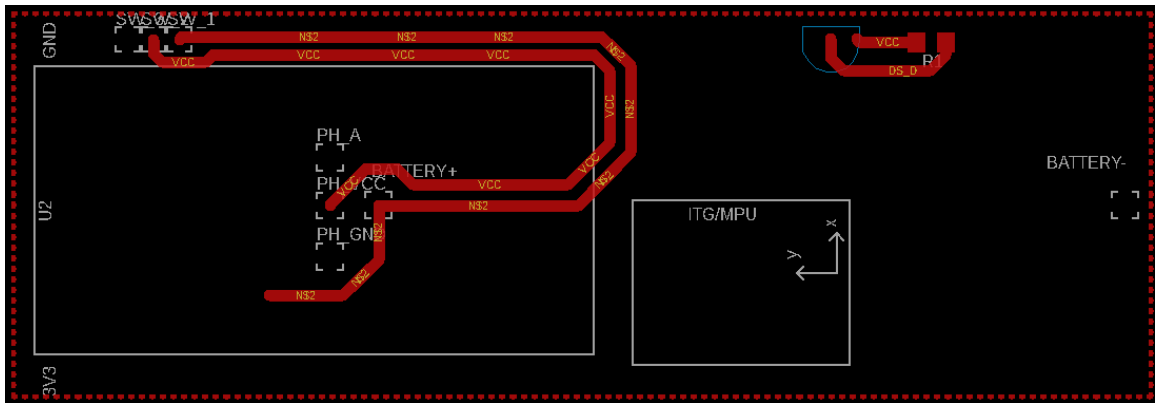
4.3.2 Modelování a kompletace

Na počátku modelování desky plošných spojů je zapotřebí zvolit velikost samotné desky. Na základě velikosti vnitřního průměru a hloubky obalu, rozměrů největších z modulů, jakožto ESP32-S2-Saola-1, baterie a velikosti pH modulu, je deska navržena o délce 11 cm a šířce 3.7 cm. Plocha desky tak odpovídá 40,7 cm².

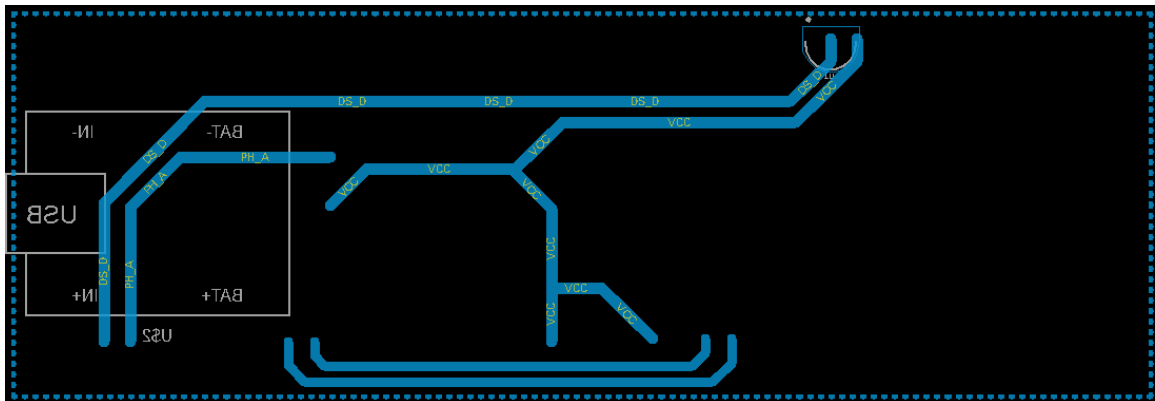
Z praktických důvodů, je deska rozvržena tak, aby byla osazena z obou stran. Z jedné strany je od shora umístěn napájecí adaptér dohromady s posuvným spínačem pro zapnutí a vypnutí hustoměru. Dále držák na baterii společně s baterií a teploměrem. Na straně druhé je pak nahoře umístěna vývojová deska ESP32-S2-Saola-1. Ta má na jednom konci a modul gyroskopu s akcelerometrem GY-521 společně s SMD odporem pro teplotní čidlo. Samotný pH modul není pevnou součástí desky, ale pouze jeho propojovací kabel. Díky tomu je možno jej odejmout a uživatel si tak může vybrat, zdali bude měřit pouze hustotu s teplotou, nebo i pH. Tento modul je z výroby pro snadné připojování k deskám Arduino zkonstruován bez vývodních pinů. Naopak se zde nachází koncovka pro přiložený kabel. Tohoto řešení bylo využito a odpojování pH modulu je právě skrze tento spoj. Tím, že pH modul není pevně připojen k desce, ale pouze jeho kabel, bylo důležité vymyslet jeho upevnění. Zde se využilo závitů na přípojce k pH sondě. Ta se vyvedla ven skrze víčko obalu a zatěsnila gumovým těsněním proti natečení tekutiny dovnitř nádoby. Konektor pro pH sondu se společně s připojenou sondou stáhl izolační bužírkou, rovněž kvůli zabezpečení před tekutinou. Pokud by uživatel měl zájem měřit pouze hustotu s teplotou, k hustoměru by použil normální víčko. V opačném případě by použil upravené víčko s připevněným pH modulem.



Obrázek 4.8: Schéma zapojení z prostředí EAGLE (zdroj: vlastní)

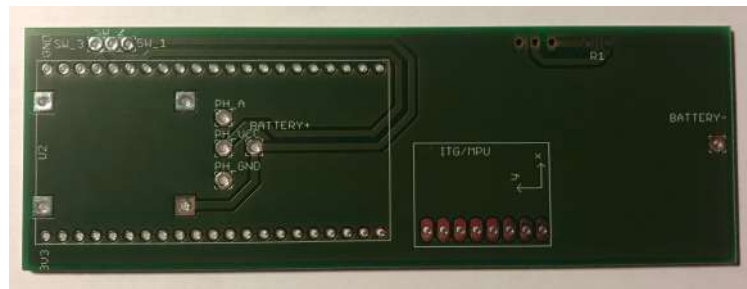


Obrázek 4.9: Model desky plošných spojů z prostředí EAGLE, strana 1. (zdroj: vlastní)

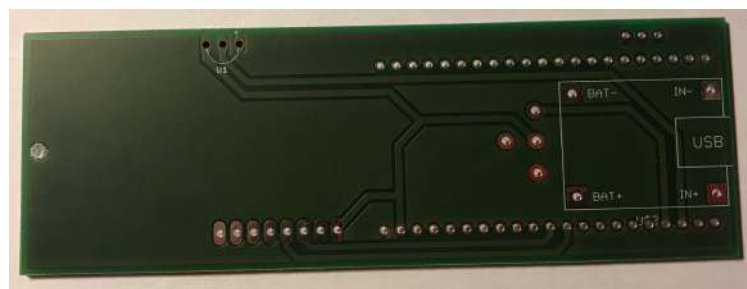


Obrázek 4.10: Model desky plošných spojů z prostředí EAGLE, strana 2. (zdroj: vlastní)

Samotná deska plošných spojů byla zhotovena na objednávku, podle návrhu autora. Osazování desky plošných spojů bylo provedeno už manuálně za pomoci pájecí stanice.

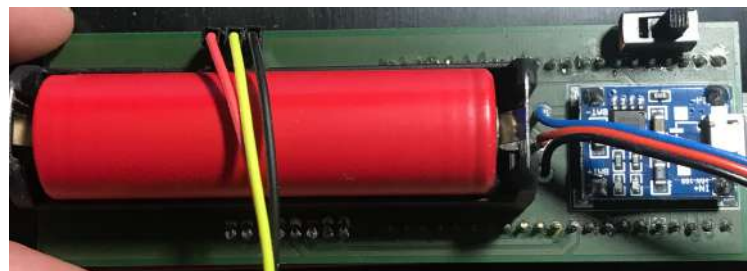


Obrázek 4.11: Neosazená deska plošných spojů, strana 1. (zdroj: vlastní)

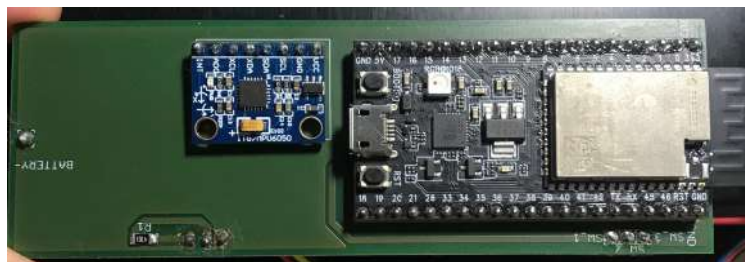


Obrázek 4.12: Neosazená deska plošných spojů, strana 2. (zdroj: vlastní)

Při pájení součástek musel být napájecí modul s držákem na baterii napájen jako první. To proto, že vývojová deska ESP32-S2 na druhé straně překrývá piny těchto modulů. Jestliže by bylo pořadí pájení těchto součástek opačně, nebylo by možné se k překrytým pinům hrotem pájky dostat.



Obrázek 4.13: Osazená deska plošných spojů součástkami, strana 1. (zdroj: vlastní)



Obrázek 4.14: Osazená deska plošných spojů součástkami, strana 2. (zdroj: vlastní)

Při sestavování hustoměru, bylo rovněž nezbytnou součástí vyřešení vývodu teploměru ven z nádoby. Přípustné možnosti byly dvě. První, která se nakonec ukázala jako nevhodná, spočívala ve vyvedení teploměru ven skrze víčko, podobně jak je řešeno spojení pH modulu s pH sondou. Druhou možností bylo vyvedení teploměru na druhém konci nádoby skrze plastovou stěnu. V tomto případě se plastová PET preforma ukázala jako výhodná, kvůli snadnému vyvrtání otvoru pro teplotní čidlo. Díra byla vyvrtána ve středu špičky o velikosti přibližně 7,5 mm. Do ní byl modul zasazen a připevněn pomocí dvousložkového epoxidového lepidla v několika vrstvách. Sama součástka teploměru musela být také náležitě upravena. Prvně byla odizolována černá svrchní vrstva kabelů teploměru, a to především kvůli snadnější manipulaci uvnitř formy. V další fázi se upravili konce vývodů teploměru, a to dráty pro uzemnění, proud a digitální signál. Na tyto konce byly napájeny propojovací kabely s koncovkami pro připojení na piny kolíkové lišty, které byly osazeny do desky plošných spojů. Teplotní modul se tak stal odpojitelným od desky. Tato úprava je důležitá především pro případy, kdy by bylo nutné zařízení z plastového krytu vytáhnout, například kvůli výměně baterie či nahrání nové verze firmware. Teploměr totiž zůstává pevně přilepen k obalu.



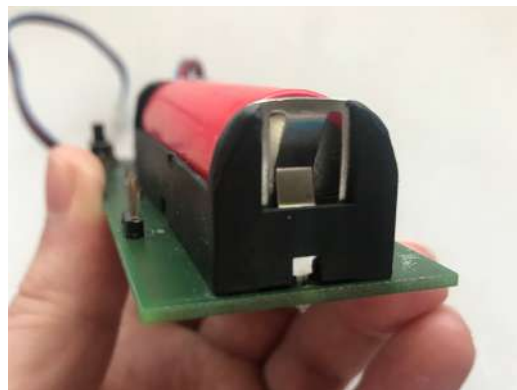
Obrázek 4.15: Upravené teplotní čidlo (zdroj: vlastní)

Po zkompletování zařízení bylo zapotřebí provést ještě několik úprav. Jedna z nich spočívala v úpravě rohů držáku baterie. Jelikož je preforma válcovitého tvaru, vystouplé

kraje by tlačili o plastovou stěnu a zařízení by se tak do preformy nevešlo. Jediným možným řešením bylo manuální zbroušení rohů krytu baterie.



Obrázek 4.16: Držák baterie bez úprav (zdroj: vlastní)



Obrázek 4.17: Držák baterie po úpravě (zdroj: vlastní)

Kapitola 5

Implementace

Implementace celého systému je rozdělena na dvě hlavní části. Jednou částí je obslužný firmware, běžící na vývojové desce ESP32-S2-Saola-1, který zajišťuje komunikaci s ostatními připojenými periferiemi a sbírá z nich data. Tyto data jsou dále zasílány do další části systému, jenž je webové uživatelské rozhraní. Vývoj obou těchto částí je blíže popsán v následujících sekcích této kapitoly. Veškerý vývoj probíhal na operačním systému Linux Ubuntu 20.04.

5.1 Firmware

5.1.1 ESP-IDF

Celý firmware je napsán v programovacích jazycích C/C++. Při výběru konkrétního frameworku a vývojového prostředí připadaly v úvahu možnosti jako Arduino IDE a ESP-IDF¹. Ačkoliv je Arduino IDE v současné době nejspíše nejznámějším prostředím pro vývoj vestavěných systémů, je primárně určeno pro zařízení Arduino. Ostatní desky, kupříkladu právě ESP32-S2-Saola-1, lze do Arduino IDE integrovat. Je zde ale podstatné riziko výskytu problémů s kompatibilitou. Na druhé straně prostředí ESP-IDF je určeno právě pro mikrokontrolery s čipy ESP32, ESP32-S a ESP32-C [4]. Neopomenutelnou výhodou je spousta připravených knihoven pro práci s těmito mikrokontrolery. Z těchto důvodů dávalo největší smysl použít oficiální vývojový framework ESP-IDF od společnost Espressif.

ESP-IDF je volně dostupný nízkoúrovňový framework. Má sice méně předpřipravených komponent než rámec Arduino, zato je ale rychlejší a více zaměřený na průmyslové aplikace [28]. K překladu projektů je využíváno nástrojů CMake a Ninja Build. Pro nahrání softwaru na desku slouží nástroj esptool napsaný v Pythonu. Framework ESP-IDF nemá sám o sobě žádné grafické rozhraní. Asi nejlepší nabízenou možností je rozšíření frameworku ESP-IDF do prostředí Visual Studio Code. To umožňuje využívat veškeré prvky frameworku, jako například vytvářet nové projekty, překládat je nebo nahrávat na mikrokontrolér, přímo prostřednictvím Visual Studio Code. Jako manuál k frameworku slouží oficiální dokumentace. ESP-IDF je doplněno mnoha vzorovými projekty, jež jsou součástí frameworku [4].

¹Espressif IoT Development Framework

5.1.2 Funkcionalita

Na začátku každého spuštění zařízení proběhne inicializace NVS² flash paměti. NVS paměť je energeticky nezávislá a je schopná uchovávat data i po vypnutí zařízení. Je navržena pro ukládání párů v podobě klíč + hodnota [4].

V následujícím kroku se zjistí, zdali jsou v této NVS paměti uloženy údaje od uživatele, potřebné pro připojení k Wi-Fi a komunikaci s koncovým bodem REST Api na straně uživatelského rozhraní. Kontrolovány jsou následující údaje:

- Jméno Wi-Fi sítě
- Heslo k Wi-Fi síti
- Uživatelem přiřazené číslo hustoměru
- Jméno účtu uživatele zaregistrovaném na webovém rozhraní

Všechny tyto údaje jsou nutné pro správné fungování celého systému. Jestliže některý z údajů není v NVS paměti nalezen, hustoměr přechází do režimu AP³ za účelem nakonfigurování. To znamená, že je sepnuta Wi-Fi v tomto režimu a zařízení se samo stává přístupovým bodem. Údaje pro přihlášení se k vývojové desce ESP32-S2-Saola-1 jsou uloženy staticky v kódu firmwaru.

Přihlašovací údaje k ESP v AP režimu

Přihlašovací jméno	ESP-Electronic-Hydrometer
Heslo	ESP32eh2021

Po startu Wi-Fi v režimu AP je inicializován a zapnut HTTP webserver a zaregistrovány příslušné URI handlers pomocí knihovny *esp_http_server*. V tomto případě, se dá o handlers říci, že jsou to vlastně funkce, které čekají na určitou událost a podle ní vykonávají své instrukce. Zaregistrovány jsou dva handlers. První handler s názvem *homepageGetHandler* má za úkol vykreslit uživateli webovou stránku s formulářem pro konfiguraci. Po přihlášení se k hustoměru, je konfigurace dostupná na IP adrese zařízení, která je nastavena na **192.168.4.1**. Samotnou konfiguraci je možno provést skrze webový prohlížeč. Obsahem konfiguračního formuláře jsou čtyři pole a tlačítko pro odeslání dat.

²Non-volatile storage

³Access Point, neboli přístupový bod

The image shows a configuration form with a dark red border. It contains four white input fields stacked vertically, each with a label above it: 'Jmeno Wi-Fi', 'Heslo', 'Cislo hustomeru', and 'Uzivatske jmeno na vmferm.eu'. Below the last input field is a grey button labeled 'Odeslat'.

Obrázek 5.1: Konfigurační formulář (zdroj: vlastní)

Data z formuláře jsou odesílána ve formátu JSON pomocí požadavku POST metodou. Odesílání je realizováno skrze rozhraní XMLHttpRequest, dále XHR. Jedná se o rozhraní zajišťující komunikaci mezi klientem a serverem prostřednictvím HTTP⁴ protokolu. V tomto případě přesněji mezi webovým prohlížečem uživatele a elektronickým hustoměrem. Jeho síla nespočívá pouze v asynchronní komunikaci, kterou umožňuje, ale hlavně v celkovém zjednodušení této komunikace. XHR je API, které je poskytováno prohlížečem. To znamená, že se postará o veškerou správu nízkourovňového připojení, vyjednání protokolů, zformátování HTTP požadavků a tak dále [22].

Po stisknutí tlačítka a předání dat od uživatele do hustoměru, je zavolán druhý zaregistrovaný handler s názvem *wifiDataPostHandler*. Ten prostřednictvím knihovny pro webserver přijme zaslaný požadavek s daty a pokusí se je zpracovat. Ke zpracování těchto dat, které přišly ve formátu JSON, je využívána knihovna *cJSON*. Po úspěšném získání dat z požadavku, jsou uloženy do globálních proměnných s atributem `RTC_DATA_ATTR`. Tento atribut značí, že obsah proměnných, které mají definovaný tento atribut, zůstává uložen v RTC paměti a není tak ztracen během Deep Sleep režimu. Mimo uložení dat od uživatele do globálních proměnných proběhne také uložení údajů do NVS paměti. Nahrávání dat do této paměti je zprostředkováváno pomocí vytvořené funkce pojmenované *saveWifiToNvs*. Ta přijímá název klíče a hodnotu, kterou má do flash paměti k danému klíči uložit. Díky knihovnám pro práci s NVS otevře paměť pro čtení a zápis. Následně zapíše hodnotu řetězce k danému klíči. Po zapsání je důležité provedené změny v NVS paměti takzvaně „commitnout“. Jinými slovy uložit nebo potvrdit. Bez zavolání funkce *nvs_commit()* po zápisu do NVS paměti by se hodnoty v paměti neuložili. Jakmile jsou veškeré údaje od uživatele uloženy, zařízení se restartuje.

Restartem se zařízení opět dostává do stavu, kdy jsou kontrolovány uložené údaje v NVS paměti. NVS paměť je otevřena pouze pro čtení a hodnoty jsou načítány podle zadaných klíčů. Protože se nejedná o modifikaci záznamů, commit není potřeba. Jestliže některý z údajů není kompletní a schází, zařízení se přepne do režimu AP a popsany předchozí proces s konfigurací se opakuje. Za podmínky, že jsou údaje v pořádku, elektronický hustoměr

⁴HyperText Transfer Protocol

přechází do Wi-Fi režimu STA⁵ a pokusí se připojit na Wi-Fi podle hodnot, které zadal uživatel při konfiguraci. Při inicializaci a zapnutí Wi-Fi v režimu STA je zaregistrován handler *wifiStationEventHandler*. Jeho úkolem je připojit se k zadanému přístupovému bodu. Pokud se připojení nezdaří, pokusí se o to ještě pětkrát. Nezdaří-li se připojit ani po těchto pokusech, konfigurační údaje jsou z NVS paměti smazány a zařízení je restartováno pro případnou rekonfiguraci. Předpokládá se, že hustoměr je mimo dosah původní Wi-Fi sítě a uživatel tak pravděpodobně požaduje překonfigurování.

Připojí-li se elektronický hustoměr na Wi-Fi úspěšně, zahájí se měření sledovaných veličin. Měření probíhá asynchronně pomocí vytvořených tasků či procesů, které poskytují knihovny *freeRTOS*. Jedná se o operační systém v reálném čase [9]. Vytváření tasků zajišťuje funkce *xTaskCreate()*. Pomocí ní definujeme vlastní funkci, která implementuje nekonečnou smyčku a vytváří tak samotný task [20]. Díky tomu je možné pro měření pomocí konkrétní periferie alokovat paměť a zahájit všechny procesy měření současně. Protože součástky, jako například gyroskop s akcelerometrem GY-521, vyžadují určitý čas pro vlastní kalibraci, probíhá měření zhruba 30 vteřin.

Ke komunikaci vývojové desky ESP32-S2-Saola-1 s 3osým akcelerometrem a gyroskopem GY-521 je využito knihovny třetí strany *I2CDevlib*. Je to soubor jednotných a dobře zdokumentovaných tříd, které poskytují rozhraní pro komunikaci se sbírkou zařízení I²C [29]. První využitou částí knihovny je *MPU6050*, kterou vytvořil Jeff Rowberg. Ta pro správné fungování vyžaduje druhou část knihovny *I2Cdev*, za kterou stojí Nicolas Baldeck a Jeff Rowberg. Obě tyto knihovny jsou volně dostupné jako ESP-IDF komponenty na platformě Github [10]. Pomocí této knihovny je možno získat polohové úhly z modulu GY-521, a to především úhel sklonu hustoměru vůči hladině. Čtení dat z digitálního teploměru DS18B20 je zajištěno prostřednictvím knihovny od uživatele *feelfreelinux* na Githubu. Zde je knihovna veřejně dostupná. Pro účel tohoto projektu musela být patřičně upravena a byla tak přepsána do C++. Pro spojení s pH modulem SEN0161 a pH sondou je použit 13bitový ADC1 převodník, jenž je dostupný na vývojové desce s ESP32-S2.

Po uplynutí této doby jsou hodnoty uloženy a zasílány ve formátu JSON skrze HTTPS protokol na webový server uživatelského rozhraní. Jakmile jsou naměřená data odeslána, elektronický hustoměr přechází do nízkoenergetického Deep sleep režimu.

V průběhu Deep sleep módu je CPU, většina paměti RAM a všechny digitální periferie vypnuté. V provozu zůstává pouze RTC řadič, RTC paměti a RTC periferie včetně ULP koprocesoru. Společně s CPU je deaktivována také hlavní paměť čipu. Veškerý obsah uložený v této paměti je během Deep sleep režimu ztracen. Obnovení čipu po tomto spánku je prováděno restartem, to znamená, že spuštění programu začíná od začátku. Probuzení lze provést pomocí několika možností. Jsou to:

- Probuzení pomocí časovače
- Probuzení pomocí dotyku
- Externí probuzení, například pomocí připojeného tlačítka

Probuzení v případě elektronického hustoměru je uskutečněno díky variantě s časovačem [5].

Jak již bylo zmíněno, komunikace s webovým serverem probíhá pomocí zabezpečeného HTTP protokolu, tedy HTTPS. To proto, že webové uživatelské rozhraní také funguje

⁵Station mode. Režim Wi-Fi, kdy se zařízení chová jako klient a snaží se připojit na přístupový bod, například Wi-Fi router.

pod HTTPS protokolem. Komunikace mezi klientem a serverem je stejná jako u protokolu HTTP. Rozdíl je v tom, že klient i server tuto komunikaci šifrují. Aby bylo jasné, že server je skutečně ten, za koho se vydává, musí existovat SSL certifikát. Cílem HTTPS ale není zajistit důveryhodnost serveru, nýbrž zaručení, že komunikace mezi klientem a serverem bude soukromá [21].

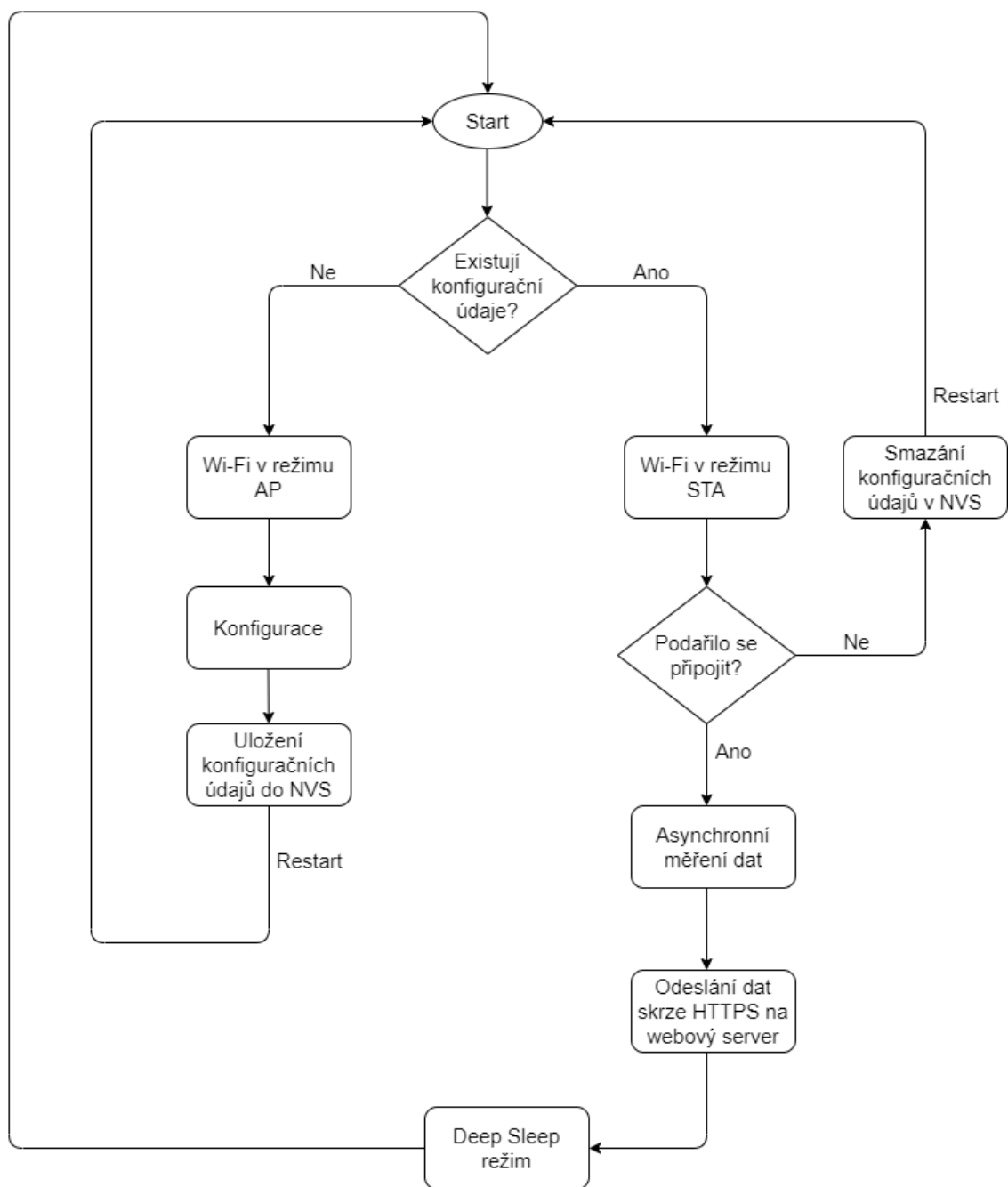
Navázání spojení a odesílání dat je prostřednictvím protokolu TLS⁶. Spočívá v tom, že klient iniciuje spojení a požádá server o síťové připojení. Pro zabezpečené připojení požaduje, aby server zpětně odpověděl a odeslal certifikát. Ten udává důležité informace jako identitu serveru a jeho veřejný klíč. Klient pak šifruje odesílaná data pomocí veřejného klíče serveru [27].

Ke komunikaci přes TLS, byla využita knihovna *ESP-TLS*. Ta poskytuje zjednodušené API rozhraní pro přístup k běžně používaným funkcím TLS. Podporuje běžné scénáře použití jako ověření CA⁷, ALPN⁸ a další. Konfiguraci lze specifikovat v datové struktuře *esp_tls_cfg_t*. Ověření serveru je možné pomocí certifikátu nebo předem sdílených klíčů [4].

⁶Transport Layer Security

⁷Certifikační autorita

⁸Application-Layer Protocol Negotiation. Zajišťuje vyjednání protokolu aplikační vrstvy



Obrázek 5.2: Vývojový diagram obslužného firmware (zdroj: vlastní)

5.2 Uživatelské rozhraní

V současné době chytrých telefonů, tabletů a jiných zařízení, je možné připojení k internetové síti prakticky odkudkoliv. S ohledem na tuto skutečnost, je uživatelské rozhraní vyvíjeno pomocí webových technologií v podobě internetové stránky. Uživatel tak může jednoduše provést kontrolu právě fermentovaného piva a to kdykoliv.

5.2.1 PHP 7.4

Pro tvorbu uživatelského rozhraní byl zvolen populární programovací jazyk PHP ve verzi 7.4. Jde o multiplatformní, skriptovací jazyk, navržený speciálně pro tvorbu dynamických webových aplikací, který funguje na straně serveru [14]. V roce 1994 jej poprvé představil Rasmus Lerdorf. Původní celý název byl *Personal Home Page*. Od té doby se PHP velmi změnilo. V současné době je název *PHP Hypertext preprocessor*. PHP je open-source projekt, což znamená, že jeho zdrojový kód je volně přístupný a je možné jej libovolně užívat, upravovat a redistribuovat [31].

Samotný kód je vyvíjen pomocí PHPStorm IDE od české společnosti JetBrains. Jedná se o multiplatformní, komerční vývojové prostředí s možností celkové editace pro potřeby programátora. Umožňuje přidání vlatních zkratk, které práci velmi zefektivňují. Mimo jiné integruje rozšíření pro Github. Vytváření commitů, pull requestů a správa větví je tak podstatně zjednodušena.

5.2.2 MySQL

Protože by se uživatelské rozhraní neobešlo bez přítomnosti databáze, bylo použito MySQL, jakožto velmi rychlý a robustní systém pro řízení báze dat, který uplatňuje relační databázový model. Databáze pak umožňuje efektivně ukládat, třídit, vyhledávat a načítat data. Přístup k datům je zajištěn tak, aby s nimi mohlo pracovat více uživatelů souběžně. Dá se říci, že se jedná o vícevláknový a víceuživatelský server. Využíván je jazyk SQL⁹. MySQL je veřejně dostupné od roku 1996 a je pravděpodobně nejpobulárnější open-source databáze na světě [31].

5.2.3 Symfony 5

Pro efektivnější vývoj a podporu při programování uživatelského rozhraní, bylo použito několik frameworků. Pro backendovou část vyvíjeného webu, se zvolil PHP framework Symfony 5. Původním rozhodnutím ve volbě backendového frameworku, bylo použití Nette se šablonovacím systémem Latte od českého vývojáře Davida Grudla. Toto rozhodnutí bylo nakonec přehodnoceno.

Symfony je open-source aplikační webový framework vycházející z návrhového vzoru MVC¹⁰. Je to podstatě kolekce tříd, která pomáhá vyvíjet webovou aplikaci. Výhodou je velké množství funkcí a aktivní komunita. Symfony komponenty je možno libovolně použít nezávisle na rozhraní. Flexibilní konfigurace je prováděna pomocí YAML, XML nebo anotací.

Za vznikem Symfony stojí Fabian Potencier, který jej poprvé představil v roce 2005 [16].

5.2.4 Bootstrap

Při vývoji frontendu uživatelského rozhraní, čili té části, kterou uživatel vidí, se autor rozhodl pro použití frameworku Bootstrap 4.

Bootstrap je bezplatná, open-source kolekce nástrojů pro vytváření responsivních webů a webových aplikací. Je velmi populárním HTML, CSS a JavaScript frameworkem. Cest pro integraci bootstrapu do projektu je několik. První možností je stažení, ať už pomocí

⁹Structured Query Language

¹⁰Model-View-Controller

nástroje Composer, či manuálně. Druhou, jednodušší variantou je zahrnutí Bootstrapu do projektu pomocí CDN¹¹ odkazu [1].

5.2.5 Doctrine 2

Symfony díky integrované Doctrine nabízí všechny nástroje, potřebné pro využívání databáze. Doctrine je sada knihoven PHP s podporou relačních databází jako MySQL, PostgreSQL nebo také MongoDB [3].

5.2.6 Princip

Cílem uživatelského rozhraní je zobrazit uživateli průběžný stav fermentace na přehledném grafu. K tomu je zapotřebí se do systému nejprve zaregistrovat. Po uživatelské registraci je nutné uživatelský účet spárovat s jeho elektronickým hustoměrem. Párování probíhá pomocí konfigurace samotného hustoměru a registrace hustoměru v uživatelském rozhraní. Při konfiguraci hustoměru je do něj ukládáno unikátní jméno uživatelského účtu a číslo hustoměru, které si uživatel libovolně zvolí při registraci hustoměru v uživatelském rozhraní. Elektronický hustoměr si tyto hodnoty uživatele jména a čísla uloží a při každém odesílání měřených dat, posílá také tyto data. Uživatelské rozhraní podle zaslané hodnoty jména pozná, kterému uživateli zaslaná data patří a podle zaslaného čísla hustoměru určí, kterému aktivnímu měření data přiřadit.

Po spárování zařízení s uživatelským rozhráním je možnost začít měřit. V případě, že chce uživatel zahájit měření, je zapotřebí jej prvně založit na webu. To proto, aby systém očekával příchozí data. Při zakládání nového měření si uživatel vybere z nabídky zaregistrovaných hustoměrů ten, s kterým má v plánu fermentaci monitorovat. Měření je možné si libovolně pojmenovat. V další fázi po spuštění měření v uživatelském rozhraní, zbývá zapnout samotný hustoměr a vložit jej do fermentované tekutiny. Jakmile fermentace skončí, je potřeba dané měření v systému vypnout. To se provádí pomocí tlačítka *Deaktivovat* na detailu měření.

5.2.7 Funkcionalita a realizace

Při vzniku uživatelského rozhraní bylo potřeba nejprve vytvoření a zprovoznění samotného projektu a rozvržení si vhodné adresářové struktury. Následně se provedla konfigurace projektu pomocí YAML souborů a nainstalování všech využívaných knihoven a jejich závislostí. K tomu dobře posloužil nástroj Composer. Vznikl tak základní skeleton celé webové služby, na kterém je uživatelské rozhraní postaveno. Pro efektivní, objektově orientované programování jsou do projektu zahrnuty také nástroje PHPStan a PeckaDesign balíček pravidel Coding Standardu. Cílem PHPStanu je odhalit chyby, bez nutnosti spouštět napsaný kód. Vývoj v PHP se tak přibližuje více kompilovaným jazykům. Nástroj pro Coding Standard naopak pomáhá dodržovat zvolený styl programování.

Projekt je rozdělen na dílčí části do svazků, nazývaných *Bundles*. Uživatelské rozhraní se skládá ze tří následujících bundelů:

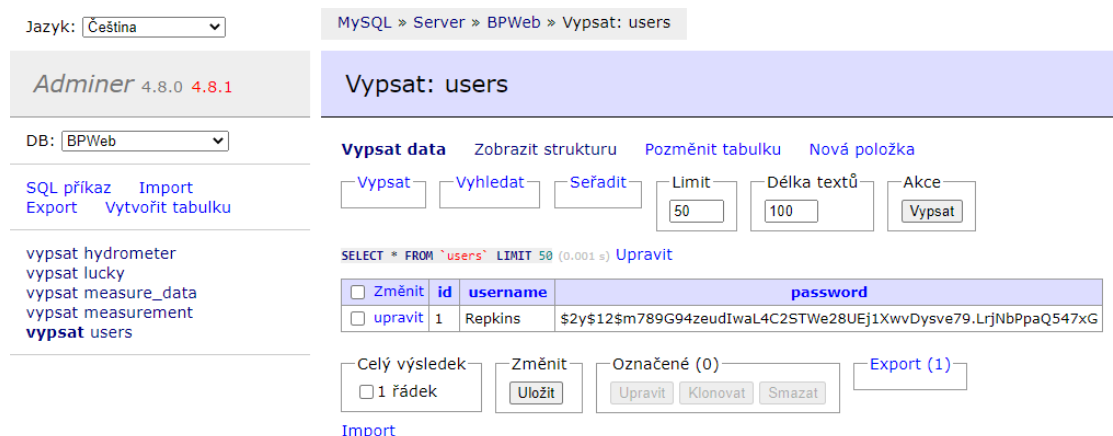
- MeasureBundle – Obsahuje veškerou logiku pro přijímání dat z elektronického hustoměru, vytváření a správu jednotlivých měření a registrování nových hustoměrů.

¹¹Sít pro doručení obsahu

- UserBundle – Obsahuje logiku uživatelů.
- PaginationBundle – Obsahuje logiku stránkování, která je využívána při výpisu všech měření či seznamu registrovaných hustoměrů.

Každý bundle obsahuje hlavní třídu *Controller*, kde je řešena logika ovládání aplikace. V této třídě jsou k vidění takzvané *Action* metody. Každá taková metoda odpovídá jedné routě, neboli konkrétní URL adrese dané stránky. Bundle dále zahrnuje třídy entit, třídy webových formulářů a popřípadě pomocné třídy, či logiku k vytvoření příkazu do Symfony konzole. Nelze také opomenout konfigurační soubory daného bundle a Twig šablony. Ve Twig šablonách je řešen frontend uživatelského rozhraní. V konfiguraci se specifikují například routy, které obsluhuje daný bundle a registrování tříd do kontajneru pro Dependency Injection, dále DI. DI je v objektově orientovaném programování technika pro vložení závislostí mezi komponentami tak, aby jedna mohla využít druhé. Natažení závislosti jedné komponenty do druhé je zprostředkováváno pomocí konstrukturu třídy.

Další fází vývoje bylo vytvoření databáze. Navržená databázová struktura je popsána pomocí ER diagramu 5.5. Ke správě a přístupu do samotné databáze je využíváno nástroje Adminer ve verzi 4.8.0. Každá tabulka databáze odpovídá jedné entitě. Díky Doctrine 2 je databázové schéma vygenerováno z těchto entit. Tabulky jsou na entity automaticky namapovány.



Obrázek 5.3: Prostředí nástroje Adminer 4.8.0 (zdroj: vlastní)

UserBundle

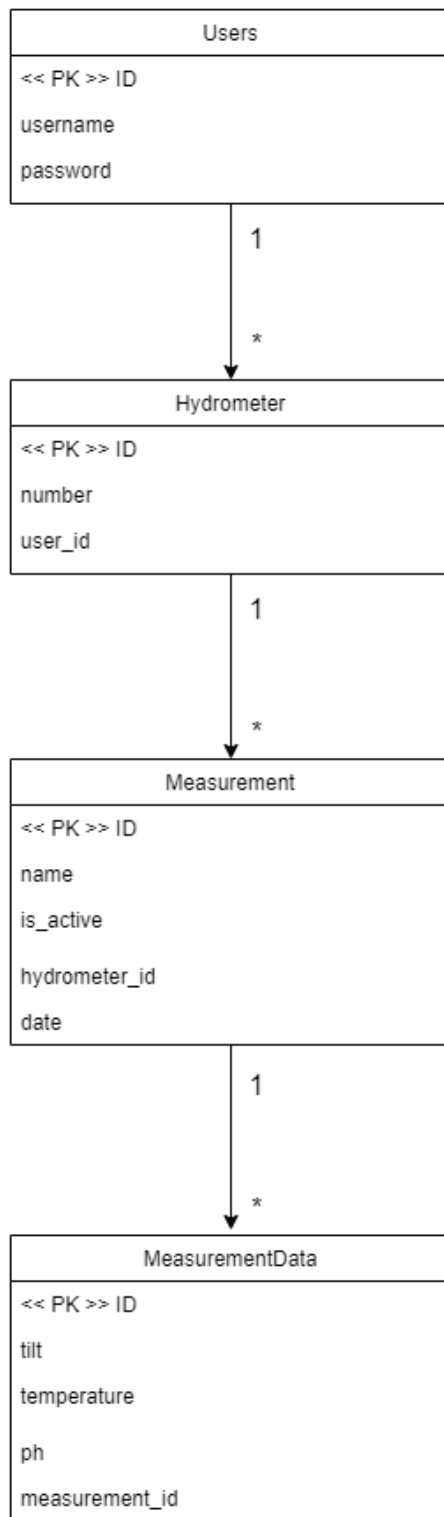
Logika uživatelů a jejich přihlašování s ukládáním do relace je řešena prostřednictvím komponenty *Symfony Security*. Každý uživatel má unikátní přihlašovací jméno. To proto, aby bylo možné přiřadit příchozí data z hustoměrů konkrétnímu uživateli. Z důvodu bezpečnosti, jsou při registraci uživatelská hesla do databáze ukládána zahešována pomocí algoritmu *Bcrypt*.

MeasureBundle

Dá se říci, že MeasureBundle je hlavní komponentou celého projektu. Jednou z částí řešených v tomto bundelu je REST API endpoint pro přijímání dat z elektronických hustoměrů uživatelů. V tomto případě je využíváno Symfony komponenty *HTTPFoundation*. Ta definuje objektově orientovanou vrstvu pro specifikaci HTTP. Endpoint je dostupný na routě **/api/hydrometer**. Přijímá příchozí HTTPS požadavky ze strany klienta, tedy elektronického hustoměru, pomocí metody POST. V těle požadavku jsou očekávány data z měření ve formátu JSON. Na obrázku 5.4 je zobrazen vzorový příklad těla takového požadavku.

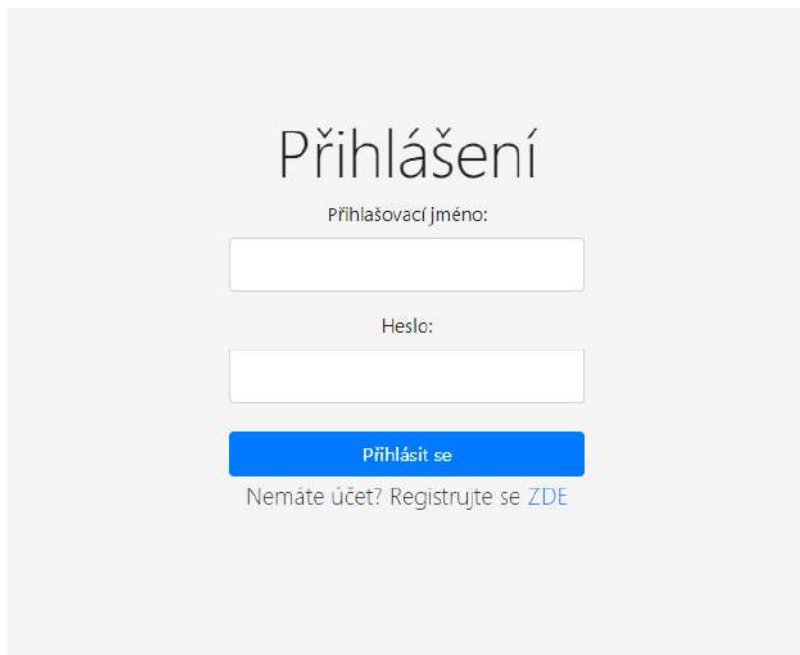
```
{
  .... "tilt": "50.45",
  .... "temperature": "65.75",
  .... "ph": "34.5",
  .... "hydrometer_number": "5",
  .... "username": "Repkins"
}
```

Obrázek 5.4: Tělo HTTPS požadavku ve formátu JSON (zdroj: vlastní)



Obrázek 5.5: Entity-relationship diagram (zdroj: vlastní)

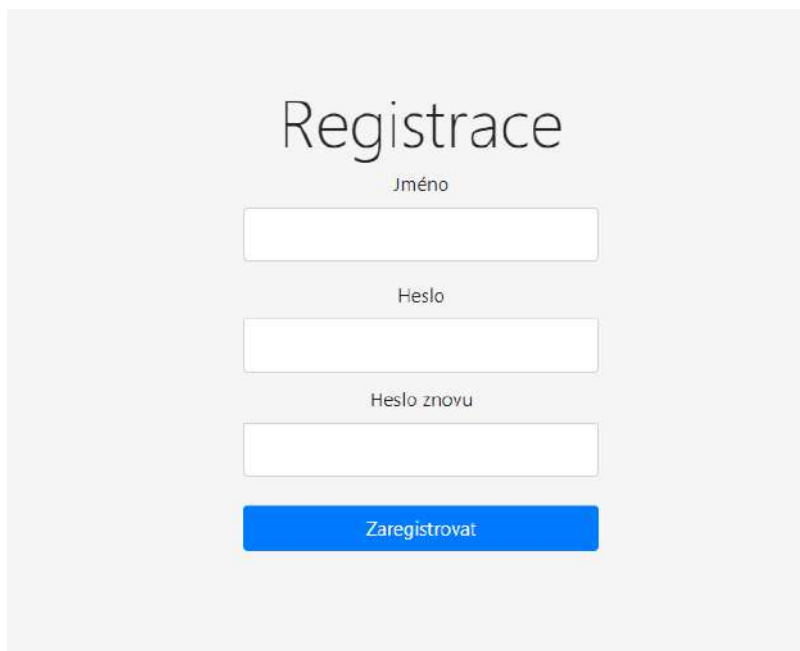
Pro přístup do systému, je nutné se nejprve přihlásit. Při prvním přístupu na web je tedy zobrazena stránka s přihlašovacím formulářem, viz obrázek 5.6.



The image shows a login page with the title "Přihlášení". Below the title are two input fields: the first is labeled "Přihlašovací jméno:" and the second is labeled "Heslo:". Below these fields is a blue button with the text "Přihlásit se". At the bottom of the form, there is a link that says "Nemáte účet? Registrujte se ZDE".

Obrázek 5.6: Přihlašovací formulář (zdroj: vlastní)

V případě, že uživatel účet nemá, je zapotřebí se zaregistrovat. Přesměrování na registrační formulář je možné ze stránky přihlašovacího formuláře. Ten je zobrazený na obrázku 5.7.

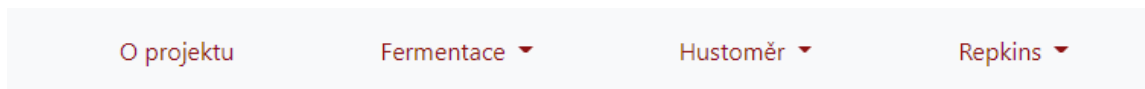


The image shows a registration page with the title "Registrace". Below the title are three input fields: the first is labeled "Jméno", the second is labeled "Heslo", and the third is labeled "Heslo znovu". Below these fields is a blue button with the text "Zaregistrovat".

Obrázek 5.7: Registrační formulář (zdroj: vlastní)

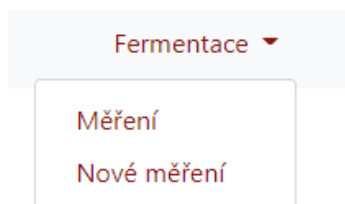
Po úspěšném přihlášení je uživatel přesměrován na úvodní stránku. Zde je možno vidět krátký popis o této bakalářské práci a návod k použití.

V horní části se nachází menu se čtyřmi hlavními tlačítky. První tlačítko *O projektu* po jeho stisknutí přesměruje uživatele na úvodní stránku.



Obrázek 5.8: Menu uživatelského rozhraní (zdroj: vlastní)

Při stisku druhého tlačítka *Fermentace* je zobrazena další nabídka dvou možností. První možností je tlačítko *Měření*. Po jeho zvolení je zobrazen seznam všech měření uživatele (Obrázek 5.10).



Obrázek 5.9: Submenu možnosti *Fermentace* (zdroj: vlastní)

ID	Jméno	Číslo hustoměru	Akce
20	12.	2	Detail
19	11.	1	Detail
18	10.	2	Detail
17	9.	1	Detail
16	8.	2	Detail
15	7.	1	Detail
14	6.	2	Detail
13	5.	1	Detail
12	4.	2	Detail
11	3.	1	Detail

1 2 »

Obrázek 5.10: Výpis všech měření uživatele se stránkováním (zdroj: vlastní)

Druhá možnost *Nové měření* vyobrazí formulář k založení nového měření.

Zahájit nové měření

ID hustoměru

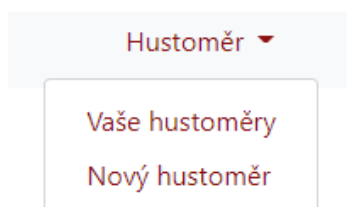
K zahájení nového měření prosím vyberte hustoměr podle Vámi zvoleného čísla hustoměru

Pojmenování

Měření si můžete libovolně pojmenovat (např. jméno receptu)

Obrázek 5.11: Formulář pro zahájení nového měření (zdroj: vlastní)

Třetí tlačítko *Hustoměr* v menu rovněž nabízí dvě možnosti. Podobně jako u předchozího případu, první možnost *Vaše hustoměry* vypíše seznam všech zaregistrovaných hustoměrů uživatele, viz obrázek 5.13.



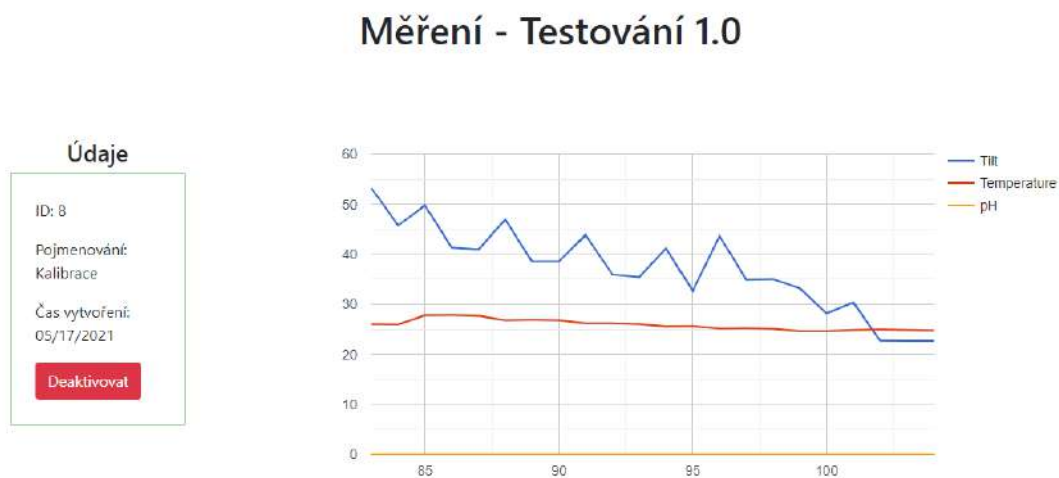
Obrázek 5.12: Submenu možnosti *Hustoměr* (zdroj: vlastní)

ID	Číslo	Akce
4	1	<input type="button" value="Detail"/>
5	2	<input type="button" value="Detail"/>

Obrázek 5.13: Seznam zaregistrovaných hustoměrů uživatele (zdroj: vlastní)

Poslední tlačítko v menu nese název účtu uživatele. Po jeho výběru se zobrazí nabídka s možností *Odhlásit se*.

Znázornění hodnot z měření v podobě grafu je možno nalézt na stránce detailu konkrétního měření.



Obrázek 5.14: Seznam zaregistrovaných hustoměrů uživatele (zdroj: vlastní)

Kalibrační rovnice pro převod náklonu na hustotu je vkládána na detailu odpovídajícího hustoměru.

Pro vývoj a odladění autor používal zprovozněný web na localhostu. Kvůli reálnému použití, testování a ukázkou je využito služeb VPS¹² od webhostingové společnosti WEDOS Internet. Na VPS s operačním systémem Debian 10 je uživatelské rozhraní zprovozněno pod doménovým jménem **vmferm.eu**. Aktualizace a změny v kódu jsou na produkční prostředí na VPS aplikovány pomocí *deploy.sh* skriptu. Ten aktualizuje projekt dle aktuálního obsahu repozitáře na Githubu a spustí příkaz nástroje Composer pro nainstalování závislostí.

Uživatelské rozhraní je zabezpečeno pomocí protokolu HTTPS. K vygenerování certifikátu *Let's Encrypt* byl použit nástroj Certbot.

¹²Virtuální privátní server

Kapitola 6

Testování

6.0.1 Kalibrace hustoměru

Protože elektronický hustoměr sám o sobě měří pouze náklon ponoření, je potřeba změřit dostatečné množství těchto náklonů, které odpovídají určitým hustotám. Po té je možné pomocí získaných hodnot zkalibrovat hustoměr pro získávání hodnoty hustoty.

Postup

V první řadě, je důležité elektronický hustoměr váhově vyvážit, aby při ponoření do tekutiny nebyl příliš lehký nebo naopak příliš těžký. Vyvážení hustoměru autor prováděl pomocí kovové matice společně s kovovými podložkami, které umístil ve špičce hustoměru. Celková hmotnost přidaného závaží byla 18 gramů.

Jakmile je zařízení vyváženo, může se přejít k měření roztoků o různých hustotách. Při tomto procesu je nutná příprava následujících pomůcek:

- Dostatečně velká nádoba pro roztok
- Manuální hustoměr či cukroměr
- Cukr
- Váha
- Odměrný válec
- Odměrná nádoba
- Lžíce či vařečka

Nejprve se pomocí odměrné nádoby naplní nádoba určená pro roztok známým množstvím vody. V případě kalibrace prováděné autorem se jednalo o 10 litrů. Část vody se vyjme do odměrného válce a pomocí manuálního hustoměru se změří její hustota. Ta byla v čistém stavu měla dosahovat hodnoty hustoty 0 °P.



Obrázek 6.1: Manuální hustoměr v odměrném válci (zdroj: vlastní)

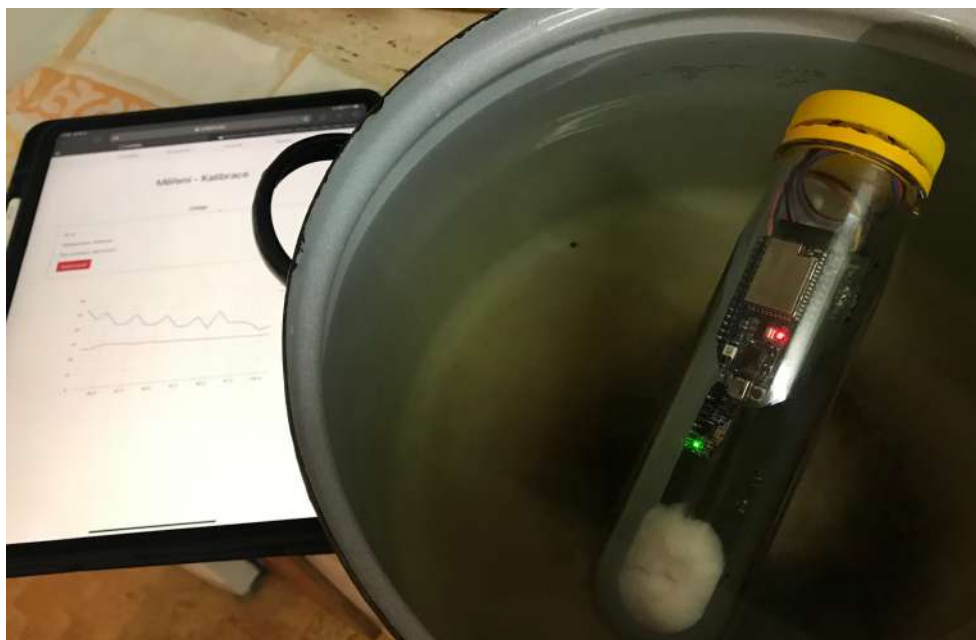
Po změření hustoty se výtmutá část vody vrátí z odměrného válce zpět do hlavní nádoby s roztokem. Následně se elektronickým hustoměrem změří sklon odpovídající čisté vodě. Získá se tak první hodnota náklonu odpovídající hustotě 0 °P. V dalším kroku kalibrace se podle celkového množství tekutiny v hlavní nádobě a podle množství cukru připadající na litr tekutiny, zmiňované v 3.3.3, odváží potřebné množství cukru k namíchání roztoku o větší hustotě. Na 10 litrů vody tak pro každý stupeň Plato připadá 100 gramů cukru.



Obrázek 6.2: Množství cukru připadající na množství tekutiny (zdroj: vlastní)

Po odměření množství cukru je důležité odebrat část tekutiny z hlavní nádoby a rozpustit v ní cukr. Zde se musí dát pozor, aby se cukr v tekutině rozpustil. Zůstal-li by nerozpuštěný, nezměnil by hustotu tekutiny. Po důkladném smíchání se odebraná část s rozpuštěným cukrem vleje zpět do hlavní nádoby. Následně se opět odebere vzorek roztoku, tentokrát o větší hustotě, do odměrného válce a změří se manuálním hustoměrem. Po té se roztok v hlavní nádobě změří zase elektronickým hustoměrem. Tím je získán další náklon odpovídající nové hustotě.

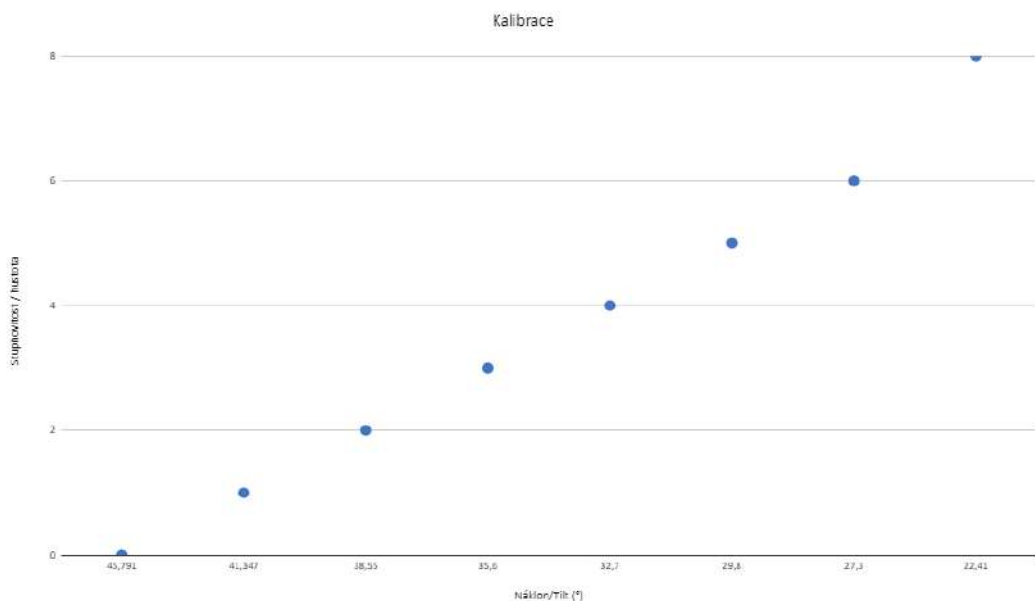
Tento postup se stále opakuje, dokud není naměřeno dostatečné množství hodnot.



Obrázek 6.3: Kalibrace elektronického hustoměru (zdroj: vlastní)

Výsledkem autorovi kalibrace byly následující hodnoty:

Náklon ve stupních	Hodnota Plato
45,791	0
41,347	1
38,55	2
35,6	3
32,7	4
29,8	5
27,3	6
22,41	8



Obrázek 6.4: Hodnoty kalibrace vynesené v grafu (zdroj: vlastní)

Díky zaměřeným hodnotám je možné nalézt závislost mezi sklonem a hustotou. K objevení rovnice závislosti, bylo využito veřejně dostupného nástroje využívaného pro kalibrace hustoměrů iSpindel, viz obrázek 6.5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
		Název/na stupňovitost ("°; Be"; Scl)	Tilt	Kalibrac. # 3. řad	chyba			počet kalibračních dat	poslední buňky		konstanty polynomu 2. řádu	0,003750084	-0,601870986	19,62122		zakročeno/čeno	0,00375	-0,6018	19,622					
0		45,791	0,0	-0,03			8	89		konstanty polynomu 3. řádu	0,000095442	-0,006003821	-0,279436	16,18591		zakročeno/čeno	0,0000954	-0,00600	-0,2794	16,186				
1		41,347	1,1	0,12																				
2		38,55	2,0	-0,04																				
3		35,6	2,9	-0,06																				
4		32,7	4,0	-0,03																				
5		29,8	5,1	0,05																				
6		27,3	6,0	0,03																				
8		22,41	8,0	-0,02																				

Obrázek 6.5: Nástroj pro nalezení závislosti mezi náklonem a hustotou (zdroj: vlastní)

6.0.2 Kalibrace pH sondy

Z důvodu rozdílnosti součástek je nutno pH sondu zkalibrovat. Existuje sice obecná převodní tabulka, ale pro přesnější měření je vhodné provést kalibraci vlastní. Jelikož výstupem pH modulu je hodnota analogového signálu, je rovněž nutné udělat převodník mezi získaným napětím a hodnotou. K takové kalibraci a vytvoření převodníku bylo zapotřebí alespoň dvou různých roztoků o známých pH hodnotách. Kalibrování probíhalo pomocí tří roztoků, z nichž dva měly pH hodnotu 7 a jeden pH 4.



Obrázek 6.6: Kalibrace pH sondy (zdroj: vlastní)

Postup

Jednotlivé roztoky se připraví do malých odlivek podle hodnoty pH. Sondou se prvně ponoří do čisté vody a vysuší se papírovým kapesníkem. Ačkoliv je voda neutrální roztok a sama o sobě by měla dosahovat pH 7, nedá se použít jako referenční roztok. A to proto, že je voda v každé domácnosti odlišná a její pH není přesně známé. Po očištění sondy se sonda ponoří do prvního z roztoků a změří se hodnoty napětí, které udává pH modul. Po změření se sonda opět očistí v čisté vodě a vysuší. Následuje ponoření a zjištění hodnot druhého roztoku o odlišné pH hodnotě.

Naměřené hodnoty napětí k odpovídajícím pH hodnotám jsou vyznačeny v následující tabulce.

Hodnota napětí v mV	pH
~ 2150	7,0
~ 1570	4,0

Po změření je zapotřebí vytvořit převodník pro získání i ostatních hodnot pH. To je možné pomocí aritmetické posloupnosti, protože předchozím měřením roztoků, jsme získali dva členy posloupnosti.

Výpočet difference aritmetické posloupnosti:

$$d = \frac{a_x - a_y}{x - y} \quad (6.1)$$

$$d = \frac{2150 - 1570}{7 - 4} \quad (6.2)$$

$$d = 193, \bar{3} \quad (6.3)$$

Po získání hodnoty difference lze vytvořit kompletní tabulku s ostatními hodnotami s odpovídajícím pH.

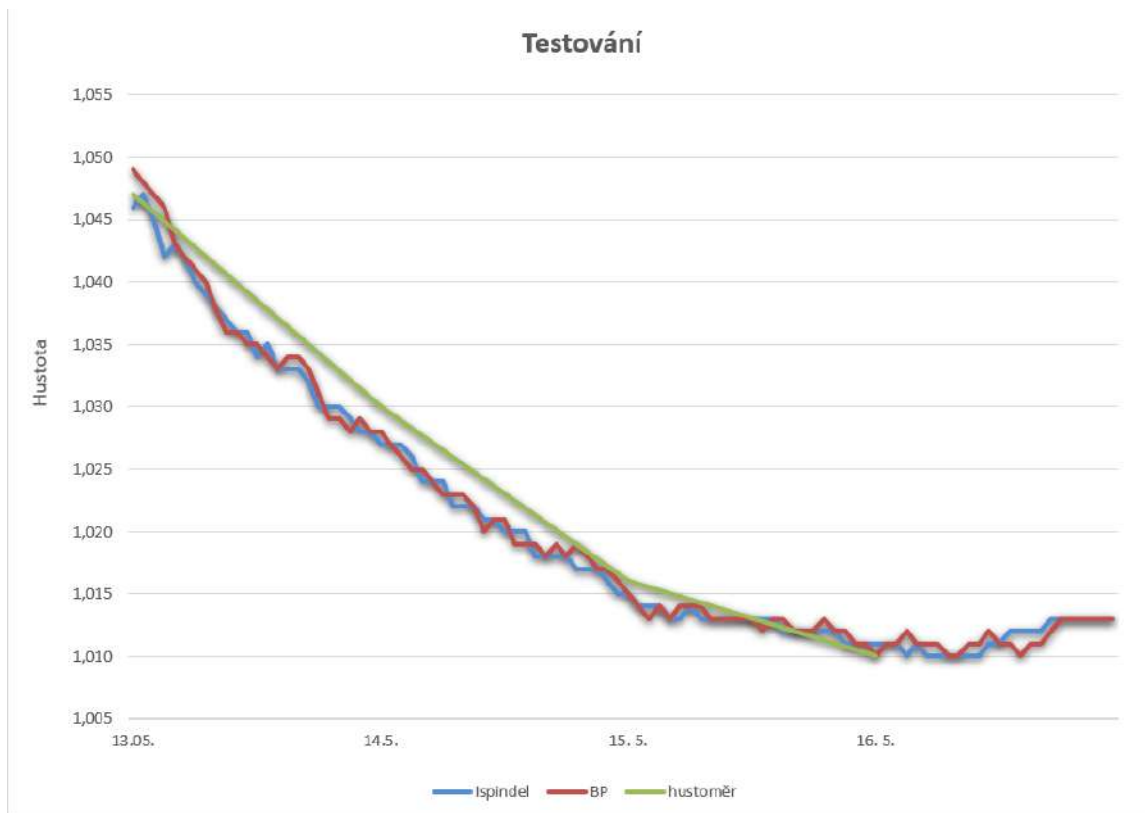
Hodnota napětí v mV	pH
~ 2536,6	9,0
~ 2343,3	8,0
~ 2150	7,0
~ 1570	6,0
~ 1570	5,0
~ 1570	4,0
~ 1376,6	3,0
~ 1183,3	2,0
~ 990	1,0

6.1 Testování elektronického hustoměru

Cílem testování je vyzkoušet elektronický hustoměr na uvařené mladině a zjistit, zda poskytne základní přehled o fermentaci. Pro tyto účely autor uvařil mladinu o hustotě 12,4 °P. Do této mladiny byl ponořen autorův sestavený hustoměr a iSpindel. Jednou denně byla odměřována hustota pomocí klasického hustoměru a odměrného válce. Hodnoty ze všech tří hustoměrů byly srovnány na grafu 6.8 a autor provedl závěr.



Obrázek 6.7: Fotografie z procesu vaření mladiny, která byla použita pro test a srovnání tří druhů hustoměrů.



Obrázek 6.8: Graf výsledků testování v reálných podmínkách (zdroj: vlastní)

Kapitola 7

Závěr

Cílem této práce bylo vytvoření elektronického hustoměru s oblužným firmware a uživatelským webovým rozhraním. Zadání této práce bylo splněno. Autor se seznámil s vytvářením elektronických zařízení, návrhu plošných spojů, vývojem firmware v prostředí ESP-IDF a tvorbou webové aplikace prostřednictvím frameworku Symfony 5. Díky nově nabraným znalostem se autorovi podařilo úspěšně vytvořit funkční elektronický hustoměr s vlastní webovou aplikací.

Během práce se autor setkal s několika mechanickými problémy. Autor neřešil pouze software, ale setkal se s věcmi, které prověřili jeho šikovnost. Během pájení teplotního čidla, bylo zapotřebí manuálně upravit plošky pro osazení. Ty nebyly z výroby desky správně vyleptány a cín by se tak správně nepřichytil. Druhým problémem, bylo umístění modulu gyroskopu s akcelerometrem GY-521 příliš blízko vývojové desky s ESP32-S2. Modul GY-521 tak bránil drátovému připojení počítače k vývojové desce za účelem nahrání nové verze firmware. Součástka GY-521 se tak musela přihnout směrem k desce plošných spojů a propojovací kabel manuálně upravit. Řešením také mohlo být navržení modulu gyroskopu s akcelerometrem dál od vývojové desky ještě před samotnou výrobou desky plošných spojů. Protože má obal u zakončení kónický tvar, prostor se na desce plošných spojů, kam by bylo možné modul GY-521 eventuálně přesunout, nechal volný pro případné ruční úpravy. Například zastřížení desky.

Autor práce hustoměr úspěšně zkalibroval a následně otestoval v praxi. Popis testování v praxi je blíže popsáno v 6.1. Z přiloženého grafu 6.8 v kapitole testování, lze vyčíst, že elektronický hustoměr je mírně nepřesný, avšak pro potřeby kontroly fermentace zcela dostatečný. Přesnost hustoměru se odvíjí od kvality kalibrace. Účelem elektronického hustoměru je poskytnout data v reálném čase, nikoliv plně nahradit klasický hustoměr. Při testování bylo zjištěno, že paralelně běžící ADC1 převodník a připojení k Wi-Fi působí problém, během kterého připojení k Wi-Fi zkolabuje a data se tak neodešlou. Z toho důvodu je nutné pH měření provádět pomocí připojení hustoměru k počítači a číst hodnoty pH ze sériového monitoru.

Do budoucna autor plánuje aplikaci se zařízením dál vyvíjet a zlepšovat. Přístroj je připraven k použití pro monitorování fermentace. Nabízí se řada možných vylepšení, jak pro hustoměr, tak pro uživatelské rozhraní. Kupříkladu přidání bezdrátového nabíjení, navržení komponent přímo na desku plošných spojů bez použití hotových modulů, optimalizace webového rozhraní pomocí Elasticsearch a mnohé další.

Literatura

- [1] *Bootstrap 4 Introduction* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.geeksforgeeks.org/bootstrap-4-introduction/>.
- [2] *Brewbrain Float* [online]. [cit. 2021-05-9]. Dostupné z: <https://shop.humle.se/en/equipment/measuring/gravity/hydrometer/brewbrain-float-hydrometer>.
- [3] *Databases and the Doctrine ORM* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://symfony.com/doc/current/doctrine.html>.
- [4] *ESP-IDF Programming Guide* [online]. [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s2>.
- [5] *ESP32 Deep Sleep & Its Wake-up Sources* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://lastminuteengineers.com/esp32-deep-sleep-wakeup-sources/>.
- [6] *ESP32-S2-Saola-1* [online]. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s2/_images/esp32-s2-saola-1-v1.2-isometric.png.
- [7] *Eulerovy úhly* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/108-eulerovy-uhly>.
- [8] *Float* [online]. [cit. 2021-05-8]. Dostupné z: <https://brewbrain.nl/product/float/>.
- [9] *FreeRTOS* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://cs.wikinew.wiki/wiki/FreeRTOS>.
- [10] *I2Cdev, MPU6050* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://github.com/jrowberg/i2cdevlib/tree/master/ESP32_ESP-IDF/components.
- [11] *ISpindel Documentation* [online]. [cit. 2021-05-8]. Dostupné z: https://www.ispindel.de/docs/README_en.html.
- [12] *ISpindel green* [online]. [cit. 2021-05-9]. Dostupné z: <https://www.assetsolution.co.uk/ispindel-green>.
- [13] *Mundschenk sladový kotel* [online]. [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.klarstein.cz/Domaci-spotrebice/Domaci-pivovary/Klarstein-Mundschenk-mladinovy-kotel-zarizeni-na-vareni-piva-sada-2500W-30l-uslechtila-ocel.html>.
- [14] *PHP Tutorial* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.tutorialspoint.com/php/index.htm>.

- [15] *SKU:SEN0161-V2 Introduction* [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_pH_Sensor_Meter_Kit_V2_SKU_SEN0161-V2.
- [16] *Symfony - Introduction* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://www.tutorialspoint.com/symfony/symfony_introduction.htm.
- [17] *Tilt hydrometer* [online]. [cit. 2021-05-8]. Dostupné z: <https://tilthydrometer.com/>.
- [18] *Tilt Hydrometer and Thermometer* [online]. [cit. 2021-05-9]. Dostupné z: <https://longislandhomebrew.com/hydrometers-refractometers/2908-3774-tilt-hydrometer-and-thermometer.html>.
- [19] *TP4056 3.7V Li-ion 18650 Battery Charger Module Pinout, Datasheet Details* [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.componentsinfo.com/tp4056-module-pinout-datasheet-details/>.
- [20] AMOS, B. *Hands-On RTOS with Microcontrollers*. Packt Publishing, 2020. ISBN 9781838826734.
- [21] BUELTA, J. *Hands-On Docker for Microservices with Python*. Packt Publishing, 2019. ISBN 9781838823818.
- [22] GRIGORIK, I. *High Performance Browser Networking*. O'Reilly Media, Inc., 2013. ISBN 9781449344764.
- [23] INC., I. *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. 3.4. InvenSense Inc., 2013 [cit. 2021-05-12].
- [24] INTEGRATED, M. *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. Maxim Integrated, 2019 [cit. 2021-05-12].
- [25] NOVOTNÝ, P. *Pivařka²: průvodce domácího sládky*. Brno: Jota, 2019. ISBN 978-80-7565-555-4.
- [26] PULVER, T. *Hands-On Internet of Things with MQTT*. Packt Publishing, 2019. ISBN 9781789341782.
- [27] RICE, L. *Container Security*. O'Reilly Media, Inc., 2020. ISBN 9781492056706.
- [28] ROSHAK, M. *Artificial Intelligence for IoT Cookbook*. Packt Publishing, 2021. ISBN 9781838981983.
- [29] ROWBERG, J. *I2C Device Library* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <http://www.i2cdevlib.com>.
- [30] SYSTEMS, E. *ESP32-S2 Family Datasheet*. 1.1. Espressif Systems, 2020 [cit. 2021-05-10].
- [31] WELLING, L. a THOMSON, L. *PHP and MySQL® Web Developmenty*. 5. vyd. Addison-Wesley Professional, 2016. ISBN 9780133038644.

Příloha A

Obsah SD karty

- /xmimoc01/readme.txt – Popis instalace aplikace a nahrání firmware
- /xmimoc01/firmware – Zdrojové soubory k obslužnému firmware
- /xmimoc01/uzivatelske_rozhрани – Zdrojové soubory uživatelského rozhraní
- /xmimoc01/TZ.pdf – PDF verze této technické zprávy