UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2025 David Novotný

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Automatické řízení akvária a paludária

Bakalářská práce

2025 David Novotný

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**David Novotný**
Osobní číslo:	**I22023**
Studijní program:	**B0714A150008 Automatizace**
Téma práce:	**Automatické řízení akvária a paludária**
Zadávající katedra:	**Katedra automatizace a matematiky**

Zásady pro vypracování

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a implementovat systém automatického řízení akvária a paludária, který umožní automatizované ovládání klíčových funkcí, jako je filtrace, osvětlení, regulace teploty a vlhkosti vzduchu a další procesy nezbytné pro udržení stabilních podmínek jejich prostředí. Systém bude stavěn na mikrokontroléru s vysokým výkonem a dostatečnou konektivitou.

V teoretické části práce student provede rešerši o systémech automatizace řízení v akvaristice a paludáriích, včetně popisu senzorů a akčních členů. Dále bude práce zahrnovat popis uvažovaných komunikačních protokolů.

Praktická část se zaměří na návrh a realizaci automatizačního systému pro komplexní řízení procesů zajišťujících stabilní provoz akvária a paludária. Systém bude zahrnovat řízení výkonových i nízkonapěťových výstupů, možnost PWM regulace a monitorování klíčových parametrů prostředí, s vizuální indikací aktivních funkcí. V závěru práce student vyhodnotí dosažené výsledky, přínos a funkčnost navrženého systému.

Rozsah pracovní zprávy: **cca 40 stran**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

BALÁTĚ, Jaroslav, 2012. Automatické řízení. 2. přepracované. vyd. Praha: BEN – technická literatura. ISBN 978-80-7300-355-5.
KRČEK, Karel, 1989. Akvaristická elektrotechnika. 2. SNTL – Státní nakladatelství technické literatury. ISBN 04-506-89.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Dominik Štursa, Ph.D.**
Katedra informačních technologií

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Petr Doležel, Ph.D. v.r.
děkan

Ing. Libor Kupka, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. ledna 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem Automatické řízení akvária a paludária jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

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

V Pardubicích dne 15. 05. 2025

David Novotný v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucí bakalářské práce panu Ing. Dominikovi Štursovi, Ph.D. za jeho ochotu, trpělivost a odbornou pomoc při zpracování této práce.

Dále bych chtěl poděkovat mojí rodině za nekončící podporu při studiu a v osobním životě.

ANOTACE

Bakalářská práce je zaměřena na návrh a realizaci automatického systému řízení akvária a paludária. Využit byl mikrokontrolér ESP32-S3, vlastní deska plošných spojů a senzory pro měření teploty, vlhkosti a výšky hladiny. Systém umožňuje řízení osvětlení, filtrace, vytápění, mlžení, dávkování CO_2, hnojení a krmení. Součástí je i webové uživatelské rozhraní a možnost aktualizace firmwaru přes USB. Výsledné řešení je spolehlivé, přehledné a vhodné pro domácí automatizaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

automatizace, řízení akvária, paludárium, mikrokontrolér ESP32, senzory, akční členy, vestavěný systém, webové rozhraní, deska plošných spojů, domácí automatizace

TITLE

Automatic aquarium and paludarium control

ANNOTATION

The bachelor thesis focuses on the design and implementation of an automatic aquarium and paludarium control system. The ESP32-S3 microcontroller, a custom circuit board and sensors for temperature, humidity and level measurement were used. The system allows control of lighting, filtration, heating, misting, CO_2 dosing, fertilization and feeding. A web-based user interface and the ability to update the firmware via USB are also included. The resulting solution is reliable, clear and suitable for home automation.

KEYWORDS

automation, aquarium control, paludarium, ESP32 microcontroller, sensors, actuators, embedded system, web interface, printed circuit board, home automation

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK 10
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK 11
ÚVOD 12
1 TEORETICKÁ ČÁST 13
1.1 Měřené veličiny a senzory 13
1.1.1 Teplota vody 13
1.1.2 Teplota a vlhkost vzduchu 17
1.1.3 Výška hladiny 21
1.2 Řízené prvky a akční členy 24
1.2.1 Světelné požadavky organismů a technické řešení 24
1.2.2 Silnoproudé řízení 25
1.2.3 Slaboproudé řízení 25
1.2.4 PWM řízení 26
1.1 Komunikační sběrnice 26
1.3.1 1-Wire 27
1.3.2 I^2C 28
1.3.3 SPI 29
1.3.4 UART 30
1.4 Porovnání s komerčními produkty 31
2 PRAKTICKÁ ČÁST 32
2.1 Požadavky na systém a architektura 32
2.1.1 Spolehlivost, rozšiřitelnost, modularita 32
2.1.2 Energetická účinnost a bezpečnost 33
2.1.3 Uživatelská přívětivost 33
2.2 Návrh a výběr komponent 34
2.2.1 Seznam použitých senzorů a ovládání akčních členů 34
2.2.2 Kritéria výběru 35
2.3 Návrh elektroniky 38
2.3.1 Blokové schéma systému 38
2.3.2 Schéma systému ve vývojovém prostředí 40
2.3.3 Návrh desky plošných spojů 43

2.3.4 Seznam součástek 45
2.3.5 Výroba a osazení desky plošných spojů 47
2.4 Testování a ladění systému 49
2.4.1 Testování hardwaru 49
2.4.2 Testování softwaru 50
2.5 Návrh a implementace softwaru 52
2.5.1 Ovládání časovače NE555 52
2.5.2 Měření teploty vody, teploty vzduchu a vlhkosti vzduchu. 53
2.5.3 Ovládání dopouštění vody 55
2.5.4 Uživatelské rozhraní 55
ZÁVĚR 59
POUŽITÁ LITERATURA 60
SEZNAM PŘÍLOH 66

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: Teplotní čidlo DS18B20 36
Obrázek 2: Teplotní čidlo a vlhkoměr BME680 36
Obrázek 3: Čidlo výšky hladiny XKC-Y25-NPN 37
Obrázek 4: Procesor ESP32-S3-WROOM-1U 37
Obrázek 5: Blokové schéma systému 38
Obrázek 6: Schéma systému 40
Obrázek 7: Zapojení 12-ti voltových výstupů s časovačem NE555 40
Obrázek 8: Zapojení 12 voltových výstupu s ochranou před přeplněním nádrže 41
Obrázek 9: Zapojení PWM výstupů 42
Obrázek 10: Zapojení 230 voltových výstupů 42
Obrázek 11: Vrchní strana desky plošného spoje ve vývojovém prostředí 44
Obrázek 12: Spodní strana desky plošných spojů ve vývojovém prostředí 44
Obrázek 13: Neosazená deska plošných spojů 47
Obrázek 14: Deska plošných spojů s osazením z výroby 48
Obrázek 15: Plně osazená deska 49
Obrázek 16: Testování hardwaru 50
Obrázek 17: Funkce pro ovládání výstupu s NE555 53
Obrázek 18: Funkce hledání teploměrů 53
Obrázek 19: Funkce pro načtení aktuálních teplot 54
Obrázek 20: Funkce čtení aktuálních teplot 54
Obrázek 21: Funkce dopouštění vody 55
Obrázek 22: Výchozí webová stránka 56
Obrázek 23: Webová stránka nastavení datumu a času 56
Obrázek 24: Webová stránka servisního režimu 57
Obrázek 25: Nastavení automatického ovládání podle času 58
Obrázek 26: Nastavení PWM výstupů 58

Tabulka 1: Použité součástky 45

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

A	Ampér
AC	Střídavý proud
ADC	Analogově-digitální převodník
CO2	Oxid uhličitý
DAC	Digitálně-analogový převodník
DC	Stejnosměrný proud
DPS	Deska plošných spojů
GND	Zemní potenciál
GPIO	Všeobecný vstupně-výstupní pin
Hz	Hertz
I^2C	Sériová sběrnice Inter-Integrated Circuit
IAQ	Index kvality vnitřního ovzduší
LED	Světelná dioda
MCU	Mikrokontroler
MOSFET	Polovodičový tranzistor typu kov-oxid-polovodič
PCB	Deska plošných spojů
PWM	Pulzně šířková modulace
ROM	Paměť pouze pro čtení
SPI	Sériové periferní rozhraní
SSR	Polovodičové relé
UART	Univerzální asynchronní přijímač/vysílač
USB	Univerzální sériová sběrnice
V	Volt
VCC	Napájecí napětí
°C	Stupně celsia

ÚVOD

S rostoucím zájmem o automatizaci domácností, zajištění stability životního prostředí pro chované živočichy a rostliny a současně i o úsporu lidské práce dochází k rozvoji systémů pro inteligentní řízení prostředí. Jedním z konkrétních příkladů těchto systémů je automatické řízení akvária a paludária. Tato zařízení jsou využívána nejen jako estetické prvky interiéru, ale zároveň poskytují komplexní biotopy, jejichž stabilita je podmíněna přesným řízením celé řady fyzikálních veličin a technologických procesů. Ruční obsluha všech potřebných funkcí je časově náročná a z hlediska dlouhodobého provozu málo efektivní, což vytváří prostor pro zavádění technických řešení umožňujících zajištění provozu na základě senzorových dat a automatického řízení.

Cílem této bakalářské práce bude návrh, vývoj a realizace komplexního systému pro automatické ovládání akvária a paludária. Systém bude navržen s důrazem na jeho praktickou využitelnost, spolehlivost a přehledné uživatelské rozhraní. Jeho prostřednictvím bude umožněno sledování a řízení teploty vody, teploty a vlhkosti vzduchu, výšky hladiny, řízení osvětlení, filtrace, mlžení, dávkování CO_2, dopouštění vody, hnojení a automatického krmení. Součástí návrhu bude i možnost ručního ovládání vybraných funkcí. V rámci práce bude navržena a vyrobena vlastní deska plošných spojů (DPS), přizpůsobená konkrétním požadavkům dané aplikace.

Bakalářská práce bude rozdělena do několika kapitol. V úvodní teoretické části budou popsány jednotlivé typy senzorů a akčních členů, které budou moci být využity v prostředí akvárií a paludárií, včetně stručného přehledu možností řízení pomocí mikrokontrolérů. Dále bude představena problematika návrhu uživatelského rozhraní a komunikačních. Praktická část se zaměří na návrh konkrétního systému řízení – popis hardwarového řešení, návrh vlastní DPS, integraci použitých komponent, vývoj softwaru pro mikrokontrolér a implementaci webového rozhraní. Na závěr budou popsány metody testování funkčnosti zařízení a vyhodnocení jeho provozních vlastností.

1 TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části je představen odborný základ, který tvoří východisko pro návrh a realizaci automatizovaného systému řízení akvária a paludária. Nejprve jsou popsány jednotlivé fyzikální veličiny, jejichž měření je nezbytné pro zajištění stabilních podmínek v řízeném prostředí, a následně jsou analyzovány různé typy snímačů, jež umožňují jejich sledování. Dále jsou specifikovány řízené prvky a akční členy, jejichž prostřednictvím je možné aktivně ovlivňovat provoz systému. Závěrečná část teoretického přehledu se věnuje komunikačním sběrnicím, které zajišťují datovou výměnu mezi jednotlivými komponenty systému.

1.1 Měřené veličiny a senzory

Fyzikální veličiny, jako je teplota vody, teplota a vlhkost vzduchu a výška hladiny, hrají zásadní roli při udržení vhodného prostředí pro život organismů v akváriu a paludáriu. Správná volba senzorů a jejich přesné umístění jsou klíčové pro efektivní automatizaci. V následujících podkapitolách je přehled senzorů, které byly k tomuto účelu využity.

1.1.1 Teplota vody

Tato část je zaměřena na problematiku měření teploty vody, která je jednou z nejkritičtějších veličin v akvarijním prostředí. Představena je funkce běžně dostupných teploměrů, jež mohou být v automatizovaných systémech nasazeny, včetně jejich výhod a limitací.

DS18B20

Digitální teploměr DS18B20 představuje integrovaný senzor teploty, jehož komunikace je realizována prostřednictvím jednodrátové sběrnice 1-Wire. Umožňuje měření teploty v rozsahu od −55 °C do +125 °C, přičemž v intervalu −10 °C až +85 °C dosahuje přesnosti ±0,5 °C. Naměřená hodnota je převáděna do digitální formy s programovatelným rozlišením v rozmezí od 9 do 12 bitů. Po zapnutí zařízení je výchozí rozlišení nastaveno na 12 bitů. Každý senzor je vybaven unikátním 64bitovým ROM kódem, který umožňuje jednoznačnou adresaci v systémech s více senzory připojenými ke společné sběrnici. Senzor dále disponuje funkcí alarmu s uživatelsky definovatelnými horními a dolními prahovými hodnotami, uloženými v paměti EEPROM. Napájení lze realizovat buď prostřednictvím externího zdroje (3,0 V až 5,5 V), nebo využitím tzv. parazitního režimu, kdy je energie čerpána přímo z datové linky. Komunikace probíhá na základě přesně definovaného časování dle protokolu 1-Wire, který zahrnuje resetovací pulzy, signály přítomnosti a časové sloty pro zápis a čtení dat. Pro ověření integrity přenášených dat je využívána cyklická redundantní kontrola CRC. (Maxim Integrated, 2019; Chengliang Zhang, 2010)

Pro svoji jednoduchost a nízké pořizovací náklady je teploměr DS18B20 často využíván ve spojení s mikrokontroléry, jako je například Arduino. Pro připojení jsou vyžadovány pouze tři vodiče – datový (DQ), zem (GND) a volitelně napájecí (VDD), není-li využit parazitní režim napájení. (Maxim Integrated, 2019; Chengliang Zhang, 2010)

Komunikaci řídí hlavní zařízení (master), obvykle mikrokontrolér, zatímco teploměr pracuje v režimu podřízeného zařízení (slave). Komunikace začíná inicializační sekvencí, následuje příkaz ROM umožňující adresaci konkrétního senzoru, případně všech senzorů na sběrnici. Poté může být odeslán příkaz pro měření teploty, zápis dat do paměti, čtení dat nebo jiné běžné operace. (Chengliang Zhang, 2010)

Vzhledem k vlastnostem sběrnice 1-Wire je zapotřebí použít pull-up rezistor, který udržuje datovou linku ve vysoké logické úrovni v klidovém stavu. Při využití parazitního napájení je navíc nutné zajistit dostatečný proud během energeticky náročných operací, jako je převod teploty nebo zápis do EEPROM. Pro usnadnění implementace existuje řada softwarových knihoven pro Arduino a jiné platformy, které výrazně zjednodušují použití protokolu 1-Wire. (Maxim Integrated, 2019)

DS18B20 je hojně využíván v aplikacích, které vyžadují přesné a spolehlivé měření teploty. Díky komunikaci po jediné datové lince je obzvláště vhodný pro systémy s více měřicími body, kde je k jednomu řídicímu zařízení připojeno více senzorů. Toto uspořádání nachází uplatnění například při monitorování teploty v rozsáhlých objektech, jako jsou serverovny, sklady či zemědělské provozy. (Chengliang Zhang, 2010)

Senzor se využívá také v průmyslových systémech, při sledování teploty zařízení, v automatizovaných systémech řízení vytápění a klimatizace, ale také v automobilovém průmyslu. V oblasti energetiky se osvědčil při sledování teploty vodičů vysokonapěťových přenosových vedení, kde pomáhá optimalizovat přenosovou kapacitu. V lékařství se uplatňuje například v inkubátorech pro novorozence, kde je klíčové přesné měření teploty. (Koestoer, 2019)

Díky své odolnosti vůči elektromagnetickému rušení a širokému rozsahu provozních teplot je vhodný i pro náročná prostředí. V aplikacích s požadavky na vyšší přesnost lze provést individuální kalibraci senzoru. Možnost parazitního napájení zjednodušuje instalaci zejména v prostorově omezených nebo obtížně přístupných místech. (Chengliang Zhang, 2010)

MCP9700

Analogový teploměr MCP9700 je nízko příkonový integrovaný obvod typu lineárního aktivního termistoru. Je navržen tak, aby převáděl informace o teplotě na analogové výstupní napětí. Na rozdíl od tradičních rezistorových snímačů, jako jsou například běžně používané NTC termistory, se MCP9700 vyznačuje tím, že nevyžaduje žádné doplňující signálové úpravy. Díky této vlastnosti může být návrh elektronického zařízení podstatně zjednodušen a snímač může být snadno připojen k mikrokontroléru bez potřeby doplňujících úprav nebo přidávání dalších obvodových prvků. (Microchip Technology Inc., 2007)

Tento snímač je dostupný v několika mechanických variantách pouzder, konkrétně v provedeních SC70-5, SOT-23-3 a TO-92. Díky své kompaktní konstrukci a velmi nízké spotřebě elektrického proudu, která dosahuje hodnoty přibližně 6 mikroampérů, je MCP9700 vhodný nejen pro běžné vestavěné systémy, ale také pro bateriově napájená zařízení. Napájecí napětí se může pohybovat v širokém rozsahu od 2,3 V do 5,5 V. Teplotní rozsah, ve kterém je zařízení schopno pracovat, je –40 °C až +150 °C, přičemž výstupní napětí se mění lineárně v závislosti na teplotě. Změna teploty o jeden stupeň Celsia způsobí odpovídající změnu výstupního napětí o 10 milivoltů. Přesnost měření je u jednotlivých modelů různá. U základního modelu MCP9700 je udávána hodnota ±4 °C, zatímco model MCP9700A dosahuje přesnosti až ±2 °C v teplotním rozsahu od 0 °C do +70 °C. (Microchip Technology Inc., 2007)

Výstupní napětí senzoru při teplotě 0 °C činí přibližně 500 mV, což umožňuje jeho použití i při měření záporných teplot, a to bez nutnosti použití záporného napájecího napětí. Tato vlastnost činí z MCP9700 univerzální snímač použitelný ve velmi různorodých aplikacích. Další výhodou tohoto snímače je jeho schopnost řídit kapacitní zátěže bez významného dopadu na stabilitu výstupu. Díky tomu může být senzor umístěn i ve větší vzdálenosti od samotného mikrokontroléru, což rozšiřuje možnosti jeho použití při návrhu desek plošných spojů. (Microchip Technology Inc., 2007)

Snímač MCP9700 nachází uplatnění v celé řadě elektronických systémů, které slouží k monitorování teploty v různých typech zařízení. Mezi typické příklady jeho využití patří měření teploty v pevných discích, v různých typech periferních zařízení, v domácích spotřebičích či kancelářské elektronice. Díky své energetické nenáročnosti je vhodný i pro mobilní a přenosná zařízení. Významné je také jeho využití v oblasti letectví, kde slouží například k monitorování teplotních podmínek během skladování teplotně citlivých komponent. Senzor je využíván nejen v průmyslových aplikacích, ale rovněž bývá zapojován

do výukových projektů a prototypových řešení. V těchto případech slouží k demonstraci principů měření teploty a zpracování analogových výstupů. Příkladem je návrh jednoduchého environmentálního monitorovacího systému, který senzor MCP9700 úspěšně využívá. (Dhodapkar, 2014)

PT100 a PT1000

Teplotní senzory PT100 a PT1000 představují zástupce odporových detektorů teploty (RTD), jejichž funkce je založena na závislosti elektrického odporu platinového prvku na změnách teploty. Označení PT100 a PT1000 odpovídá jmenovité hodnotě odporu při teplotě 0 °C, konkrétně 100 Ω u PT100 a 1000 Ω u PT1000. Tyto senzory jsou charakteristické kladným teplotním koeficientem odporu, což znamená, že s rostoucí teplotou dochází ke zvyšování jejich elektrického odporu. Platinový prvek bývá navržen tak, aby zajišťoval vysokou mechanickou stabilitu a minimalizoval vznik vnitřních napětí. Nejčastěji bývá zapouzdřen do keramického nebo skleněného tělesa. Závislost odporu na teplotě je standardizována podle normy. Rozsah provozních teplot jednotlivých senzorů se liší v závislosti na jejich konkrétním provedení. (Chen, 2020)

Senzory PT100 a PT1000 lze efektivně využít ve spojení s mikrokontrolérovými platformami, jako je například Arduino Uno. Pro zajištění přesného měření je zapotřebí použití úpravových obvodů nebo specializovaných rozhraní, která umožňují převod odporové změny na napěťový či digitální signál. Zapojení senzoru může být realizováno ve dvouvodičové, třívodičové nebo čtyřvodičové konfiguraci. Vyšší počet vodičů umožňuje kompenzaci odporu přívodního vedení, čímž dochází ke zvýšení přesnosti měření. Při kalibraci těchto senzorů se jako efektivní metoda osvědčila lineární regrese, která slouží ke stanovení kalibrační rovnice pro daný typ senzoru. (Kartika, 2024)

Senzory PT100 a PT1000 nacházejí široké uplatnění v průmyslových aplikacích, které vyžadují vysokou přesnost a dlouhodobou stabilitu měření. Typickým příkladem je regulace teploty v parních kotlích, kde má přesné měření klíčový vliv na efektivitu a bezpečnost provozu. Další oblastí využití je měření teploty v nízkoteplotních tepelných čerpadlech využívajících odpadní teplo. Díky své přesnosti a spolehlivosti jsou tyto senzory často používány také ve zdravotnické technice, vědeckém výzkumu a v různých automatizovaných řídicích systémech. Integrací s mikroprocesorovými systémy lze vytvářet pokročilá monitorovací řešení, která přispívají ke zvýšení provozní efektivity i bezpečnosti v celé řadě průmyslových odvětví. (Kartika, 2024; Chen, 2020)

1.1.2 Teplota a vlhkost vzduchu

Pro stabilní chod paludária je nezbytné monitorovat nejen teplotu, ale také relativní vlhkost vzduchu. Tato podkapitola představuje používané kombinované senzory schopné měřit obě veličiny a diskutuje jejich technické parametry, výhody, principy činnosti i oblast využití.

DHT11

Senzor DHT11 je kompaktním elektronickým prvkem určeným k měření teploty a vlhkosti vzduchu. Výstupní signál senzoru je digitálně kalibrován. Využívána je technologie digitálního snímání ve spojení se specializovanými měřicími komponenty, což zajišťuje vysokou provozní spolehlivost a dlouhodobou stabilitu měření. Konstrukce zařízení je založena na kombinaci rezistivního prvku pro detekci vlhkosti a termistoru typu NTC pro snímání teploty, které jsou integrovány s osmibitovým mikrokontrolerem. Kalibrace každého senzoru je prováděna v laboratorních podmínkách, přičemž získané koeficienty jsou uloženy v paměti OTP a následně využívány při zpracování dat. K integraci do elektronických systémů přispívá jednoduché sériové rozhraní typu single-wire. Rozsah měření vlhkosti činí 20–90 % RH s přesností ±5 % RH (při 25 °C ±4 % RH), zatímco teplotní rozsah činí 0–50 °C s přesností ±2 °C. Rozlišení senzoru odpovídá 1 % RH, resp. 1 °C. Díky malým rozměrům, nízké spotřebě energie a schopnosti přenášet signál až na vzdálenost 20 metrů je zařízení vhodné pro široké spektrum aplikací. (OSEPP Electronics, b.r.)

Použití senzoru DHT11 ve spojení s platformami Arduino a NodeMCU je umožněno jeho digitálním výstupem a podporou jednolinkové obousměrné komunikace. Přenos dat mezi senzorem a hostitelským zařízením je realizován prostřednictvím sekvence digitálních impulzů. V rámci prostředí Arduino IDE jsou k dispozici specializované knihovny usnadňující implementaci potřebných komunikačních protokolů. Ke stabilizaci logické úrovně datového výstupu se doporučuje zapojení pull-up rezistoru o hodnotě přibližně 4,7 kΩ mezi datový pin a napájecí napětí. Měřené hodnoty mohou být následně zpracovány, vizualizovány a odesílány do cloudových platforem typu ThingSpeak, čímž je umožněno jejich začlenění do řešení v oblasti internetu věcí. (Zrioual, b.r.)

Senzor DHT11 je běžně využíván v celé řadě aplikací včetně environmentálního monitoringu, meteorologických stanic, systémů domácí automatizace či řízení mikroklimatických podmínek v rámci HVAC technologií. V oblasti zemědělství nachází uplatnění zejména v automatizovaných systémech zavlažování skleníků. V chovu hospodářských zvířat je senzor implementován do inkubátorů pro kontrolu a regulaci teploty a vlhkosti během procesu líhnutí

kuřat. V chytré domácnosti je zařízení nasazováno k detekci náhlých teplotních výkyvů za účelem zvýšení bezpečnosti a včasné identifikace požáru. V rámci průmyslových řešení je senzor používán ke vzdálenému monitorování teploty a vlhkosti v provozních prostředích. Díky příznivé pořizovací ceně a jednoduché implementaci se jedná o oblíbené řešení v oblasti vzdělávání, amatérských projektů i nenáročných profesionálních aplikací. (Sudaryanto, 2024)

SHT31

Senzor typu SHT31-D, vyvinutý společností Sensirion, je pokročilé měřicí zařízení určené pro přesnou detekci teploty a relativní vlhkosti v různorodých podmínkách prostředí. Zařízení se vyznačuje vysokou měřicí přesností, kdy odchylka činí maximálně ±2 % pro relativní vlhkost a ±0,3 °C pro teplotu. Mezi klíčové technické parametry patří implementace komunikačního rozhraní I²C, které umožňuje digitální přenos dat do řídicích jednotek a usnadňuje integraci senzoru do komplexních systémů. Provoz senzoru je možný v napěťovém rozsahu od 2,5 V do 5 V, což zaručuje širokou kompatibilitu s mikrokontroléry různých napěťovém hladin. Při prototypování a testovacích aplikacích bývají často využívány tzv. breakout moduly, jež obsahují nezbytné podpůrné prvky, včetně pull-up rezistorů a standardizovaných konektorů, umožňujících rychlou montáž. (Sensirion, 2024)

Připojení senzoru SHT31-D k mikrokontrolérům, jako jsou platformy Arduino nebo systémy založené na jazycích CircuitPython a Python, se provádí pomocí sběrnice I²C. Ke zprovoznění senzoru je nezbytné připojení napájecího napětí (Vin), zemního potenciálu (GND) a dvou datových vodičů (SCL pro hodinový signál a SDA pro datový signál). Doporučuje se, aby napájecí napětí odpovídalo logické úrovni daného mikrokontroléru, obvykle 3,3 V nebo 5 V. Senzor standardně využívá I²C adresu 0x44, kterou lze změnit na 0x45 propojením pinu ADR s napájecím vodičem. Pro usnadnění implementace jsou dostupné softwarové knihovny, jako například Adafruit SHT31 pro Arduino či Adafruit CircuitPython SHT31D, jež zajišťují rychlé inicializační rutiny a čtení hodnot teploty a vlhkosti. (Sensirion, 2024)

Senzory měřící teplotu a relativní vlhkost vzduchu, včetně typu SHT31-D, nacházejí široké uplatnění v mnoha oblastech průmyslu i služeb. Jsou aplikovány zejména v monitorovacích systémech životního prostředí, v precizním zemědělství, v automobilové a strojírenské technice nebo v domácí automatizaci a systémech pro kontrolu budov. V uvedených aplikacích je kladen důraz na spolehlivost, rychlost reakce a přesnost sběru dat. Při kombinaci s lokalizačními moduly, například GPS, lze senzory využít pro tvorbu komplexních monitorovacích řešení, například při sledování pohybu zvířat v kontextu změn okolních podmínek. (Jambek, 2012)

Nespornou výhodou těchto senzorů je jejich nízká cena a snadná integrace do různorodých systémů. Tyto vlastnosti umožňují jejich široké nasazení v hustých monitorovacích sítích, které poskytují detailní prostorové pokrytí sledované oblasti. Tím je usnadněno získávání dat s vysokou časovou i prostorovou granularitou, což je zvláště cenné při modelování lokálních jevů a při rozhodování v oblasti ochrany životního prostředí či veřejného zdraví. (Nalakurthi, 2024)

BME680

Senzor BME680 je označován jako multifunkční environmentální MEMS zařízení, které umožňuje měření několika základních fyzikálních veličin prostředí. Konkrétně se jedná o teplotu, relativní vlhkost, atmosférický tlak a koncentraci těkavých organických látek. Díky kompaktním rozměrům a nízké energetické náročnosti je vhodný pro široké spektrum aplikací, včetně mobilních zařízení a nositelné elektroniky. Komunikace se senzorem je zprostředkována digitálním rozhraním, přičemž jsou podporovány standardy I²C a SPI. Napájecí napětí hlavního obvodu (VDD) se pohybuje v rozmezí od 1,71 V do 3,6 V, zatímco napětí rozhraní (VDDIO) činí 1,2 V až 3,6 V. Senzor je navržen pro provoz v teplotním rozsahu −40 °C až 85 °C, při relativní vlhkosti 0 % až 100 % a tlaku 300 až 1100 hPa. Hodnoty elektrického odporu plynů mohou být softwarově převedeny na index kvality vnitřního ovzduší (IAQ), přičemž algoritmus BSEC zajišťuje kalibraci a vyhodnocení v reálném čase (Bosch Sensortec, 2024; Rizal et al., 2023). (Bosch Sensortec, 2024; Rizal, 2023)

Zapojení senzoru BME680 do elektronických systémů, jako jsou platformy Arduino nebo vývojové desky s mikrokontroléry ESP, je z hlediska implementace považováno za nenáročné. Komunikace se zpravidla realizuje prostřednictvím sběrnice I²C, která vyžaduje propojení datové linky SDA a hodinové linky SCL mezi senzorem a mikrokontrolérem. Kromě datových vodičů je nezbytné zajistit i napájecí připojení na piny VCC a GND. V případě Wemos D1 Mini bylo v praxi ověřeno zapojení, kdy linka SDA byla připojena na pin D1 a linka SCL na pin D2. Pro usnadnění softwarové komunikace a zajištění korektních výstupních hodnot teploty, tlaku a vlhkosti jsou k dispozici knihovny a rozhraní API, která umožňují efektivní přenos dat prostřednictvím bezdrátové Wi-Fi sítě. (Rizal, 2023)

Díky schopnosti simultánního snímání více environmentálních veličin nachází senzor BME680 uplatnění ve velkém množství praktických aplikací, zejména v oblasti Internetu věcí (IoT). Typickým využitím je například monitorování kvality vzduchu v interiérech i exteriérech, kde senzor detekuje přítomnost škodlivých plynů a převádí naměřené hodnoty na číselné vyjádření

indexu IAQ. Dalšími oblastmi nasazení jsou domácí meteorologické stanice, nositelná zařízení, navigační elektronika nebo chytré spotřebiče, kde je vyžadováno kontinuální sledování stavu prostředí. Vzhledem ke schopnosti poskytovat komplexní informace v reálném čase lze senzor BME680 považovat za univerzální a flexibilní komponent vhodný pro různé měřicí a řídicí aplikace. (Bosch Sensortec, 2024; Rizal, 2023)

TMP117

Digitální teplotní senzor TMP117 je definován jako vysoce přesné a energeticky úsporné zařízení, určené pro aplikace vyžadující spolehlivé sledování teploty v širokém rozsahu. Zařízení umožňuje rozlišení 0,0078 °C (1 LSB) a dosahuje přesnosti až ±0,1 °C v rozsahu –20 °C až 50 °C bez nutnosti kalibrace. Provozní teplotní rozsah je stanoven od –55 °C do 150 °C. Komunikace s nadřazeným systémem je realizována prostřednictvím sběrnice SMBus™ nebo I²C, přičemž je podporována kompatibilita s rychlým režimem až do 400 kHz. Typická spotřeba činí 3,5 µA při konverzním cyklu 1 Hz a 150 nA v režimu vypnutí. Díky těmto parametrům může být zařízení využito jako digitální náhrada platinových RTD čidel, například typu PT100. (Texas Instruments, 2022)

Propojení senzoru TMP117 s mikrokontroléry, jako jsou platformy Arduino nebo Raspberry Pi, se běžně realizuje prostřednictvím sběrnice I²C. Základní zapojení vyžaduje připojení pinů V+, GND, SCL a SDA. Pin ADD0 slouží k nastavení adresy, což umožňuje připojení až čtyř senzorů na jednu sběrnici. Fyzické připojení je usnadněno dostupností vývojových desek s konektory STEMMA QT nebo SparkFun Qwiic. Softwarová podpora je zajištěna knihovnami dostupnými pro Arduino i Python/CircuitPython. Pomocí těchto knihoven lze konfigurovat parametry senzoru, včetně nastavení teplotních limitů, výběru režimů konverze, povolení průměrování k potlačení šumu, případně aplikace digitálního offsetu pro systémovou kalibraci. Zařízení disponuje také výstupním pinem ALERT, který může být využit ke signalizaci překročení teplotních limitů nebo dostupnosti nových dat. (Siepert, b.r.)

Díky vysoké přesnosti, nízké spotřebě energie a variabilitě nastavení je senzor TMP117 vhodný pro široké spektrum praktických aplikací. Doporučené oblasti použití zahrnují elektronické lékařské teploměry, bezdrátové senzory pro monitorování teploty prostředí, termostaty a systémy pro sledování chladicích řetězců. V průmyslové a komerční sféře se zařízení uplatňuje například v plynoměrech a měřičích tepla. Možnost programovatelného nastavení teplotních mezí a digitální korekce měření umožňuje implementaci pokročilých monitorovacích a řídicích systémů. Tyto systémy mohou automaticky reagovat na změny teploty, například

spuštěním chlazení nebo topení při překročení nastavených mezních hodnot. Výhodou je rovněž možnost propojení více senzorů v rámci jedné sběrnice, což rozšiřuje možnosti využití pro měření teplotních profilů ve více lokalitách jednoho systému. (Young, 2014)

1.1.3 Výška hladiny

Výška hladiny vody musí být pečlivě sledována kvůli dopouštění, prevenci přetečení a zajištění správného provozu zařízení. V této části jsou popsány různé principy měření výšky hladiny, jako jsou kapacitní, plovákové nebo ultrazvukové senzory, včetně důvodů jejich výběru.

Plovákové senzory

Plováková čidla hladiny představují běžně využívaný prostředek pro měření výšky hladiny kapalin v různých průmyslových i monitorovacích aplikacích. Jednou z realizací tohoto principu je systém Float Magnetic Level Gauge, který využívá jazýčkové spínače aktivované magnetem umístěným na plováku. Pohyb plováku v závislosti na výšce hladiny způsobuje sepnutí jednotlivých spínačů v různých úrovních. Změna výstupního napětí čidla je dále realizována pomocí napěťového děliče, přičemž výsledné napěťové hodnoty jsou převáděny na odpovídající výšku hladiny kapaliny. (Miranty, 2024)

Signály získané z plovákových čidel jsou převáděny na elektrické napětí, které je následně zpracováváno mikrokontrolérem. Tento mikrokontrolér plní funkci procesoru i řídicí jednotky dalších prvků systému, jako jsou relé nebo alarmové a zobrazovací jednotky. Ve vyspělých systémech je implementováno zobrazování aktuální výšky hladiny na LCD displeji i spouštění výstražných prvků při překročení mezních hodnot. Pro dosažení vyšší přesnosti měření bývá signál upravován pomocí instrumentačních a logaritmických zesilovačů a následně převáděn analogově-digitálním převodníkem. (Nirupam, 2015)

Plováková čidla nacházejí uplatnění v mnoha odvětvích průmyslu, zejména při sledování a řízení hladiny kapalin v zásobnících, nádržích a přehradách. V metalurgickém průmyslu, například při výrobě oceli, bývají tato čidla využívána pro automatické řízení odčerpávání kapalin z odpadních nádrží, čímž se předchází jejich přetečení a zajišťuje se vyšší bezpečnost pracoviště. Moderní řešení dále umožňují vzdálené monitorování systému prostřednictvím softwarového rozhraní, jako je například LabVIEW, a podporují i funkci automatické kalibrace pro udržení přesnosti měření. (Nirupam, 2015)

Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové senzory výšky hladiny představují bezkontaktní technologii, která slouží k měření vzdálenosti. Tato metoda nachází široké uplatnění mimo jiné při monitorování hladiny kapalin v zásobních nádržích. Princip činnosti je založen na vysílání ultrazvukových impulsů a měření doby, za kterou se odražený signál vrátí od povrchu sledovaného objektu. Mezi konkrétní představitele této technologie patří senzor JSN-SR04T V3.0, jenž je vybaven vodotěsným převodníkem a pracuje na frekvenci 40 kHz. Měření je umožněno v rozsahu od 23 cm do 600 cm s deklarovanou přesností 1 cm. Minimální detekční vzdálenost činí přibližně 23 cm. Funkčnost senzoru může být negativně ovlivněna kapkami vody na převodníku. Zatímco hladký povrch klidné vody bývá detekován spolehlivě, u materiálů pohlcujících zvuk může být detekce méně konzistentní. (JSN-SR04T datasheet, 2022)

Z hlediska integrace do řídicích a monitorovacích systémů je výhodou možnost snadného propojení ultrazvukových senzorů s mikrokontroléry, jako je například Arduino. Senzor JSN-SR04T V3.0 nabízí více provozních režimů, mezi něž patří režim Ping a sériový režim. V režimu Ping je měřicí cyklus aktivován pulzem na vstupním pinu TRIG, přičemž délka trvání signálu na výstupním pinu ECHO odpovídá době letu ultrazvukového impulsu. Výsledná vzdálenost je následně vypočtena dle známé rychlosti zvuku ve vzduchu, přičemž naměřená doba je dělena dvěma z důvodu obousměrného pohybu vlny. Sériový režim umožňuje obousměrnou komunikaci prostřednictvím pinů RX a TX. Modul podporuje jak automatické, tak i manuálně řízené režimy. Tato variabilita umožňuje jeho přímé nasazení v různorodých aplikacích bez nutnosti složitých zásahů do hardwaru systému. (Jayalakshmi, 2023)

Významné uplatnění nacházejí ultrazvukové senzory ve vodohospodářských aplikacích, kde jsou využívány pro přesné a kontinuální sledování výšky hladiny v reálném čase. Integrace do inteligentních systémů na bázi Internetu věcí (IoT) umožňuje efektivní dálkovou správu a analýzu dat. Získané údaje jsou zpracovávány mikrokontroléry a následně přenášeny do centrálních řídicích jednotek. Tím je umožněno optimalizované hospodaření s vodními zdroji a minimalizace jejich ztrát. Kromě monitorování hladiny vody mohou být senzory využity rovněž při detekci překážek nebo v jiných aplikacích, kde je vyžadováno bezkontaktní měření vzdálenosti. Tato technologie tak tvoří základ moderních autonomních a dálkově řízených systémů. (Jayalakshmi, 2023)

Kapacitní senzory

Bezkontaktní kapacitní snímače hladiny pracují na principu měření změny elektrické kapacity, ke které dochází v důsledku proměnného dielektrického prostředí mezi elektrodami snímače. Tento způsob snímání se rozšířil především díky schopnosti detekovat přítomnost kapaliny bez přímého kontaktu se samotným médiem, čímž je eliminováno riziko kontaminace nebo chemického poškození měřicího systému. Uplatnění nachází zejména v provozech, kde je kladen důraz na hygienu, nebo v prostředích s výskytem agresivních či toxických látek. (Nikhil Chandra, 2021)

Z hlediska konstrukčního uspořádání mohou být kapacitní snímače realizovány různými způsoby. Mezi běžné patří cylindrické uspořádání, kdy je snímač umístěn kolem válcové nádoby, a rovinné (planární) uspořádání, využívající interdigitální elektrody na plochém substrátu. Ve všech případech je změna kapacity úzce vázána na polohu rozhraní mezi kapalinou a plynem. Moderní řešení dále využívají adaptivní konfigurace elektrod, které umožňují zvýšit přesnost měření a optimalizovat detekci v závislosti na konkrétních podmínkách aplikace. (Pietrikova, 2019)

Kapacitní snímače hladiny disponují několika výraznými přednostmi. Kromě jednoduché mechanické konstrukce a nízké energetické náročnosti lze mezi výhody zařadit i schopnost instalace na netransparentní nebo hermeticky uzavřené nádoby. Tyto snímače umožňují nepřetržité monitorování hladiny v reálném čase při zachování vysoké opakovatelnosti výsledků. Mezi limitující faktory patří zejména citlivost na změny teploty, vlhkosti a chemického složení kapaliny, které mohou ovlivnit výslednou hodnotu kapacity. Z tohoto důvodu je často nezbytné provádět kalibraci zařízení a pravidelnou kontrolu funkce. Canbolat, 2009)

Využití kapacitních snímačů je široké a nachází uplatnění napříč různými odvětvími průmyslu. Mezi typické aplikace patří sledování hladiny vody či jiných provozních kapalin ve velkokapacitních zásobnících, řízení technologických procesů v potravinářství, farmacii a chemickém průmyslu, nebo monitorování palivových nádrží v oblasti automobilové techniky. Jejich konstrukce umožňuje dlouhodobý provoz bez nutnosti časté údržby i v náročných prostředích s výskytem vysokých teplot či chemických látek. (Loizou, 2015)

1.2 Řízené prvky a akční členy

Tato kapitola se věnuje popisu prvků, které jsou systémem aktivně ovládány. Jedná se o zařízení zajišťující osvětlení, filtraci, ohřev, mlžení, větrání a dávkování látek (voda, hnojivo, CO_2, krmivo). Popsány jsou různé způsoby jejich řízení – silnoproudé, slaboproudé a PWM – a použití konkrétních akčních členů v dané aplikaci.

1.2.1 Světelné požadavky organismů a technické řešení

Světelné podmínky představují klíčový environmentální faktor, jenž ovlivňuje fyziologické procesy u akvarijních ryb. Většině druhů vyhovuje tlumené osvětlení odpovídající jejich přirozenému biotopu s omezeným přístupem přímého slunečního záření. Spektrální složení a intenzita světla ovlivňují nejen chování jedinců, ale rovněž jejich schopnost přijímat potravu a růst. U druhu Carassius auratus (Karas zlatý) bylo experimentálně prokázáno, že modré spektrum světla stimuluje růstovou aktivitu, a to pravděpodobně prostřednictvím aktivace sítnicových čípků a následného spuštění neuroendokrinní osy zodpovědné za produkci růstových hormonů. Z těchto důvodů je nezbytné, aby volba osvětlení respektovala biologické rytmy a ekologické nároky jednotlivých druhů. (Sabrina, 2023)

U akvarijních rostlin je závislost na světelném režimu zásadní, neboť světlo podmiňuje fotosyntetickou aktivitu, tvorbu chlorofylu i morfologický vývoj pletiv. Mezi rozhodující faktory náleží nejen intenzita osvětlení, ale především jeho spektrální složení. Modrá část spektra podporuje buněčné dělení a přispívá ke kompaktnímu růstu, zatímco červené světlo stimuluje syntézu chlorofylu a prodlužování buněk. Výsledky studií realizovaných v aquaponických podmínkách potvrdily, že rostliny, jako jsou salát či petržel, dosahují vyšších přírůstků biomasy při použití LED nebo vysokotlakých sodíkových výbojek ve srovnání se zářivkami. Současně bylo zjištěno, že stabilní fotoperioda napodobující přirozené střídání dne a noci v tropických oblastech přispívá k optimalizaci růstových parametrů. Z tohoto důvodu se doporučuje, aby celková doba osvětlení nepřesahovala 12 hodin denně. (Krček, 1989)

S ohledem na specifické požadavky živočišné i rostlinné složky akvarijního ekosystému se jako nejvhodnější typ umělého osvětlení jeví technologie LED. Tento zdroj umožňuje přesné nastavení spektrálního složení, vyniká vysokou energetickou účinností a dlouhou životností. Výzkumy prokázaly, že červené LED světlo zvyšuje intenzitu zbarvení ryb v důsledku stimulace chromatoforů, zatímco modré spektrum přispívá ke zlepšení růstových parametrů. Z hlediska rostlin je ideálním řešením světlo pokrývající celé viditelné spektrum, přičemž důraz je kladen zejména na složku červenou a modrou. Kombinované LED osvětlení s možností

regulace fotoperiody se proto jeví jako optimální varianta pro moderní akvarijní systémy. (Krček, 1989)

1.2.2 Silnoproudé řízení

Polovodičová relé (solid state relays – SSR) jsou v této práci využívána jako efektivní nástroj pro bezkontaktní spínání elektrických zátěží, jako jsou topná tělesa, čerpadla nebo světelné systémy. Na rozdíl od mechanických relé je spínání realizováno pomocí výkonových polovodičových prvků, zejména triaků nebo tyristorů, čímž je eliminováno mechanické opotřebení. Vstupní napětí relé se obvykle pohybuje v rozmezí 3–32 V DC, což umožňuje přímé propojení s výstupy mikrokontroléru ESP32-S3. Výstupní část bývá navrhována pro napětí až stovek voltů a proudy v řádu desítek ampér. Galvanické oddělení je zajišťováno optočlenem, čímž je dosaženo vysoké provozní spolehlivosti i při častém spínání. (Ganeshkumar, b.r.)

Řízení polovodičových relé prostřednictvím mikrokontroléru ESP32-S3 je realizováno digitálními GPIO výstupy s logickou úrovní 3,3 V. K jejich připojení postačuje ochranný rezistor; v případě vyšší proudové zátěže je využíván tranzistorový budič. Absence zpětnovazebních ochran, typických pro mechanická relé, usnadňuje integraci a zvyšuje bezpečnost systému. Programování řídicí jednotky je prováděno v prostředí Arduino IDE nebo pomocí rozhraní ESP-IDF. V rámci softwarové logiky je implementováno spínání výstupních pinů na základě předem definovaných podmínek (Zabala, 2017)

V praktické části byly SSR využity k bezpečnému spínání zátěží napájených 230 V, konkrétně topných těles, filtrace, UV lampy a dalších zařízení. Díky absenci elektromagnetického rušení a jiskření jsou považována za vhodná i pro prostředí s citlivými senzory a komunikačními prvky. Tichý provoz přispívá k vyššímu uživatelskému komfortu. V rámci tohoto řešení byla SSR relé využita k zajištění galvanického oddělení mezi řídicí a výkonovou částí systému. (Zabala, 2017)

1.2.3 Slaboproudé řízení

K řízení zařízení napájených napětím 12 V DC, jako jsou elektromagnetické ventily, peristaltická čerpadla nebo LED pásky, byly využity tranzistorové spínače. Uplatnění nalezly zejména bipolární tranzistory (např. MMBT2222A) a MOSFETy s nízkým prahovým napětím (např. AO3400A), které umožňují spolehlivé spínání při logické úrovni 3,3 V. Nedílnou součástí zapojení je ochranná dioda připojená antiparalelně k induktivní zátěži, jež slouží k eliminaci napěťových špiček při vypínání. (Saputra, 2024)

ESP32-S3 je vybaven dostatečným počtem GPIO výstupů s proudovou zatížitelností přibližně 40mA, což postačuje pro ovládání nízkovýkonových budičů. Pro zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti jsou do obvodu začleňovány ochranné rezistory a zpětnovazební prvky. V případech, kdy je požadováno větší množství výstupů, je mikrokontrolér rozšiřován pomocí I^2C expandérů. Tímto způsobem je umožněno řízení dalších komponent. (Zabala, 2017)

Při aplikacích s vyšším proudovým odběrem, který přesahuje možnosti přímého výstupu z GPIO, byly tranzistorové spínače navrženy jako vhodné řešení. Typicky se jedná o elektromagnetické ventily nebo peristaltická čerpadla s odběrem 200–500mA. Tato metoda je cenově dostupná, lehce implementovatelná a provozně spolehlivá. V navrženém systému byly tranzistorové výstupy využity jako univerzální ovládací prvky pro všechna 12 V zařízení.

1.2.4 PWM řízení

Metoda PWM (Pulse Width Modulation) umožňuje řízení výkonu zařízení pomocí změny střídy obdélníkového signálu. V rámci této práce je PWM využívána především pro regulaci intenzity LED osvětlení a řízení otáček ventilátorů. Mikrokontrolér ESP32-S3 poskytuje až 16 hardwarových PWM kanálů s frekvencí dosahující stovek kHz a rozlišením až 16 bitů, což umožňuje velmi přesné a plynulé řízení. (Pahlevi, 2018)

PWM výstupy jsou konfigurovány buď prostřednictvím funkcí v prostředí Arduino, nebo pomocí rozhraní ESP-IDF. Díky možnosti mapování výstupů na libovolné piny je zajištěna flexibilita návrhu. Výstupní signály jsou následně přiváděny na výkonové spínací prvky, jako jsou tranzistory ovládající LED pásky či ventilátory. Tímto způsobem je umožněna plynulá regulace intenzity osvětlení nebo otáček v závislosti na denní době či teplotních podmínkách v paludária. (Saputra, 2024)

PWM řízení je v systému využíváno pro simulaci přirozených světelných cyklů (např. východ a západ slunce) a adaptivnímu řízení ventilátorů podle aktuální vlhkosti. Oproti binárnímu spínání umožňuje PWM jemnější přechody, vyšší účinnost a přispívá k prodloužení životnosti elektronických součástek.(Saputra, 2024)

1.1 Komunikační sběrnice

Komunikační sběrnice zajišťují propojení jednotlivých komponent systému s mikrokontrolérem. V této kapitole jsou rozebrány principy a charakteristiky sběrnic 1-Wire, I²C, SPI a UART, které byly při návrhu použity. Dále je uvedeno, jak jednotlivé sběrnice ovlivňují návrh hardwarové architektury systému.

1.3.1 1-Wire

Technologie 1-Wire představuje specifický typ sériové komunikační sběrnice, jejíž vývoj byl realizován společností Dallas Semiconductor, nyní součástí firmy Maxim Integrated. Tato sběrnice umožňuje současný přenos dat, signalizaci i napájení prostřednictvím jediného datového vodiče, doplněného o zemní vedení. Architektura sběrnice je koncipována na principu topologie master–slave, kdy iniciace komunikace probíhá výhradně ze strany zařízení typu master, nejčastěji mikrokontroléru nebo počítače vybaveného odpovídajícím rozhraním, přičemž zařízení typu slave (např. senzory, paměti, iButtony) se s tímto signálem synchronizují. (Maceková, 2012)

Napájení slave zařízení bývá ve většině případů realizováno tzv. parazitním způsobem, kdy je elektrická energie odebírána z datové linky v době jejího klidového stavu a akumulována ve vnitřním kondenzátoru zařízení. Pro tento účel je zapotřebí externí pull-up rezistor, jehož odpor se obvykle pohybuje v rozmezí 1 kΩ až 5 kΩ. Každé připojené zařízení je identifikováno unikátním 64bitovým kódem (ROM ID), který obsahuje identifikátor typu zařízení, sériové číslo a kontrolní součet CRC. Tento kód je využíván k adresaci zařízení v rámci celé sítě. Komunikace je realizována buď standardní rychlostí 16,3 kbps, nebo v režimu zrychleného přenosu (overdrive), který dosahuje až 142 kbps, což je výhodné např. při čtení dat z paměťových zařízení. (Maceková, 2012)

Začlenění technologie 1-Wire do moderních vestavných a automatizačních systémů bývá řešeno přímým připojením zařízení typu master (např. mikrokontrolérů Arduino nebo jednodeskových počítačů Raspberry Pi) ke sběrnici. Komunikace je realizována prostřednictvím GPIO pinů nebo pomocí specializovaných převodníků, které zprostředkovávají propojení s jinými rozhraními, jako jsou UART nebo I^2C. Typickým příkladem takového zapojení je konfigurace, v níž Raspberry Pi plní funkci master zařízení a Arduino Uno slouží jako kryptografický modul s rozhraním 1-Wire pro zajištění zabezpečené komunikace. (Magre Colorado, 2017)

Při návrhu rozsáhlých komunikačních sítí je nutné zohlednit vliv parazitních kapacit vznikajících v důsledku délky kabeláže a počtu připojených zařízení, které mohou negativně ovlivnit kvalitu přenosu. Za účelem zvýšení spolehlivosti komunikace se doporučuje použití kroucené dvojlinky, například UTP kabeláže kategorie CAT5e. Naopak nekroucené vodiče jsou vhodné pouze pro kratší trasy, obvykle do 15 metrů. Přenosová spolehlivost může být dále zlepšena využitím adaptérů s aktivním řízením signálu. (Maceková, 2012)

Technologie 1-Wire nachází uplatnění v širokém spektru aplikací, a to zejména díky své konstrukční jednoduchosti, nízkým nákladům a odolnosti vůči nepříznivým provozním podmínkám, jako jsou otřesy, vibrace či korozní prostředí. Významnou oblastí použití je identifikace osob a objektů prostřednictvím zařízení typu iButton, která využívají 64bitový identifikační kód. Tato zařízení jsou často implementována v systémech kontroly přístupu do budov, vozidel, k technickému vybavení či výpočetní technice a rovněž ve formě bezkontaktních platebních prostředků pro automaty či dopravní systémy. (Diaconescu, 2010)

Další oblastí použití jsou senzorové sítě určené k monitorování environmentálních veličin, jako jsou teplota nebo vlhkost. Tyto sítě tvoří integrální součást systémů chytrých budov (domotics), kde slouží k automatizaci a zvyšování uživatelského komfortu při řízení např. osvětlení či vytápění. Technologie 1-Wire se dále využívá v oblasti průmyslové automatizace, zabezpečovacích systémů a také ve vestavných aplikacích v automobilovém průmyslu. (Maceková, 2012)

1.3.2 I²C

Protokol Inter-Integrated Circuit (I²C) je standardizovaný sériový komunikační protokol, který je široce uplatňován při propojení integrovaných obvodů a komponent v rámci vestavěných systémů. Fyzická vrstva sběrnice I²C je tvořena dvěma aktivními vodiči: sériovým datovým vodičem (SDA) a sériovým hodinovým vodičem (SCL), doplněnými o zemní spoj a napájení. Minimalizace počtu vodičů přispívá k redukci fyzických rozměrů a spotřeby energie připojených komponent. Oba vodiče jsou obousměrné a pracují v poloduplexním režimu. (Mankar et al., 2014)

Protokol I²C umožňuje softwarové adresování zařízení, což usnadňuje jejich integraci a údržbu. Vysoce je ceněn pro svou jednoduchost, nízkou cenovou náročnost a širokou rozšířenost. Je schopen zajistit efektivní přenos dat bez ztrát a přístup k vnitřním registrům jednotlivých zařízení. Tyto vlastnosti jej předurčují k nasazení v kompaktních a energeticky účinných systémech. Řešení založená na I²C protokolu lze efektivně realizovat pomocí FPGA, přičemž je možné navrhnout řídicí logiku v jazyce VHDL pro řízení datových toků v aplikacích zaměřených na sledování a řízení procesů. (Drehmel, 2020)

V moderních vestavěných systémech a v oblasti internetu věcí (IoT) je protokol I²C využíván zejména pro komunikaci mezi řadiči a periferními moduly. Běžně je podporován mikrokontroléry a vývojovými platformami, jako jsou Arduino či Raspberry Pi. Tato kompatibilita z něj činí atraktivní volbu pro prototypování i realizaci finálních řešení v rámci

IoT. Ve vědeckých studiích se protokol I²C často využívá pro srovnání parametrů, jako jsou spotřeba energie, využití paměti či časová náročnost, oproti jiným sériovým protokolům, například SPI. V případech, kdy mikrokontrolér nativně nepodporuje I²C, lze zajistit kompatibilitu pomocí převodníků protokolů. (Maemunah, 2018)

V praxi se I²C často nasazuje tam, kde je třeba propojit více snímačů, převodníků analogově-digitálních (ADC) a digitálně-analogových (DAC), LCD displejů a jiných periferií. Je využit v aplikacích typu chytrá domácnost, e-zdraví, průmyslová automatizace či inteligentní doprava. Vzhledem k jedinečným adresám jednotlivých zařízení a možnosti, aby se chovala jako vysílač či přijímač, je I²C vhodný i pro bezpečnostně kritické aplikace, včetně komunikace s RFID a biometrickými čidly. Podpora více master jednotek a snadná rozšiřitelnost činí tento protokol ideálním pro systémy s nízkými nároky na údržbu a dlouhodobou udržitelnost. (Mankar, 2014)

1.3.3 SPI

Sériová sběrnice SPI (Serial Peripheral Interface) představuje vysokorychlostní, plně duplexní a synchronní komunikační rozhraní, které je široce využíváno při datové výměně mezi mikroprocesory. Protokol SPI je navržen v režimu master-slave a jeho funkce je zajišťována pomocí čtyř signálových linek: CS (Chip Select), SCK (Serial Clock), MISO (Master Input Slave Output) a MOSI (Master Output Slave Input). Linka CS umožňuje selekci podřízeného zařízení, SCK synchronizuje datový tok a linky MISO a MOSI zajišťují obousměrnou komunikaci mezi jednotkami. V případě jednosměrné komunikace lze implementace zjednodušit na dvouvodičové propojení. Oproti sběrnici UART není součástí protokolu SPI vestavěný mechanismus pro kontrolu integrity dat, což může negativně ovlivnit spolehlivost komunikace. (Wei, 2021)

V rámci experimentálního ověření datové spolehlivosti SPI sběrnice bylo navrženo hardwarové zapojení s důrazem na minimalizaci rušení, a to zejména zkrácením délky signálových tras a vhodným dimenzováním odporů. Komunikační protokol využíval jednobytový datový rámec, který byl vysílán hlavní jednotkou a následně vracen zpět podřízeným zařízením. V případě nesouladu mezi odeslanými a obdrženými daty byl přenos opakován až do dosažení předem definovaného limitu, po jehož překročení byla komunikace ukončena. (Wei, 2021)

Pro zvýšení spolehlivosti datového přenosu v podmínkách s výskytem elektromagnetického rušení byla implementována strategie uzavřené smyčky s omezeným počtem opakování přenosu. Vysílající jednotkou bylo provedeno porovnání odeslaných a přijatých dat, přičemž v případě shody byl přenos považován za úspěšný. V opačném případě došlo k jeho opakování.

Tento přístup přispěl k výraznému zlepšení spolehlivosti ve srovnání s řešeními, která nevyužívají zpětnou verifikaci. (Wei, 2021)

1.3.4 UART

Rozhraní UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) je běžně využíváno jako digitální sériové komunikační rozhraní ve vestavěných systémech. Jeho základní funkcí je převod paralelně přenášených datových bytů na sériový proud dat při vysílání a zpětný převod ze sériového proudu na paralelní data při příjmu. Jelikož se jedná o asynchronní přenos, není sdílen společný hodinový signál mezi vysílačem a přijímačem. Synchronizace přenosu je zajišťována pomocí startovacích a koncových bitů, které ohraničují jednotlivé datové rámce. Typické implementace UART podporují plně duplexní komunikaci a mohou volitelně zahrnovat i paritní bit pro základní kontrolu chyb. (Mikhaylov, 2012)

UART rozhraní je často integrováno přímo v mikrokontrolérech, kde slouží k výměně dat s periferními zařízeními, jako jsou například senzory či externí paměti. Implementace tohoto rozhraní může být řešena hardwarově, například pomocí modulu EUSART, nebo softwarově formou tzv. bit-bangingu za použití univerzálních vstupně-výstupních pinů (GPIO). Hardwarová realizace obvykle dosahuje vyšší energetické účinnosti a umožňuje větší přenosové rychlosti než implementace softwarová. Naopak softwarová implementace, přestože může spotřebovávat podobné množství paměti, vykazuje zvýšenou spotřebu energie. (Mikhaylov, 2012)

V praktických aplikacích je UART rozhraní využíváno k propojení vestavěných systémů s dalšími zařízeními. Mezi běžné příklady patří komunikace s modemy, počítači, terminály nebo zařízeními využívajícími infračervený přenos. Ve sféře bezdrátových senzorových sítí (Wireless Sensor Networks, WSN) je UART preferován z důvodu své nízké energetické náročnosti. Omezením však zůstává skutečnost, že UART standardně umožňuje pouze komunikaci typu peer-to-peer, což znemožňuje přímé připojení více zařízení k jedinému UART portu bez dodatečné logiky. (Pahlevi, 2018)

Při práci s tímto rozhraním je nutné rozlišovat mezi samotným UART modulem a standardem RS232. UART zajišťuje logiku sériové komunikace včetně formátování přenášených dat a řízení rámce přenosu. Naproti tomu standard RS232-C (případně V.24) definuje elektrické a mechanické parametry rozhraní, včetně úrovní napětí signálu a typů fyzických konektorů. Zařízení komunikující dle standardu RS232-C typicky využívají interní UART moduly pro implementaci této komunikace v souladu s definovanými elektrickými parametry. (Dong, b.r.)

1.4 Porovnání s komerčními produkty

Navržená řídicí jednotka je založena na čipu ESP32-S3 a slouží jako skutečná centrála pro akvárium i paludárium. Disponuje sedmi spínacími výstupy na 230 V pro topení, filtraci, generátor mlhy a ventilátor; dále devíti výstupy na 12 V, z nichž dva kanály podporují PWM stmívání a čtyři mají ochranu proti zaseknutí pomocí obvodů NE555. Mezi vstupy patří senzory teploty vody, indukční senzor hladiny, který lze připevnit zvenčí k nádrži bez nutnosti vrtání dovnitř, a DHT/SHT senzory pro měření teploty a vlhkosti vzduchu paludária. Jednotka je navíc připojena k internetu a nabízí vlastní webové rozhraní pro ovládání a monitoring. Celkové výrobní náklady přitom činí přibližně 1 500 Kč.

Na trhu jsou k dispozici komerční systémy, například ovládací modul od firmy OASE, který řídí maximálně pět zařízení. Pro další funkce je třeba dokoupit a nastavit samostatné moduly, jež fungují jako oddělené zařízení spárované do jednoho systému. Výhodou tohoto systému je možnost vzdáleného ovládání přes mobilní aplikaci, která umožňuje přístup odkudkoli na světě. (Petomar, b.r.)

Při srovnání nákladů a funkcionality naše řešení výrazně předčí komerční alternativy – modul OASE vychází na přibližně 1 372 Kč na kanál, kdežto u naší jednotky činí výrobní cena necelých 94 Kč na jeden výstup. Všechny funkce (výstupy i vstupy) jsou integrovány v jediné skryté krabičce, kterou lze umístit do akvarijní skříně, a na povrch vyvést jen diskrétní LED indikátory a tenké kabely, zatímco komerční moduly jsou objemnější a vyžadují více samostatných prvků. Nevýhodou navrženého řešení je však vyšší náročnost na odborné znalosti, k jeho sestavení je třeba zvládnout práci s elektronikou, návrh a výrobu plošných spojů i programování. Celý proces je časově náročnější než zakoupení hotového komerčního systému, i když přináší možnost vytvořit si řešení přesně podle vlastních požadavků. (Petomar, b.r.)

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část dokumentuje návrh, implementaci a testování konkrétního systému řízení akvária a paludária. Popsán je celý vývojový proces od specifikace požadavků, přes volbu komponent, návrh elektroniky, tvorbu softwaru až po oživení a testování zařízení. Pozornost je věnována jak hardwarovým, tak softwarovým aspektům s cílem vytvořit funkční, spolehlivý a uživatelsky přívětivý systém.

2.1 Požadavky na systém a architektura

Na začátku praktické části jsou stanoveny klíčové požadavky kladené na navrhovaný systém – spolehlivost, rozšiřitelnost, bezpečnost, uživatelská přívětivost a energetická efektivita. Dále je popsána navržená architektura systému, která tyto požadavky naplňuje. Kapitola poskytuje čtenáři ucelený přehled o základní koncepci řešení.

2.1.1 Spolehlivost, rozšiřitelnost, modularita

Spolehlivost automatizovaného řídicího systému určeného pro akvárium a paludárium je považována za klíčový předpoklad pro zajištění dlouhodobého a bezpečného provozu vodního ekosystému. V uzavřeném prostředí se vodní organismy spoléhají na stabilitu základních parametrů, jako jsou teplota vody, účinnost filtrace, intenzita osvětlení a chemické složení média, které je nezbytné udržovat v úzce vymezeném rozmezí. I drobné odchylky těchto veličin mohou vést k akumulaci toxických látek, narušení homeostatických mechanismů a zvýšení stresu organismů, což může následně vyústit v poruchy metabolismu, oslabení imunitních funkcí a v krajním případě v onemocnění či úhyn populace.

Za účelem minimalizace rizika poruch a výpadků byly do konstrukce systému začleněny specifické ochranné mechanismy. Pro zajištění nepřetržitého chodu byl použit hardwarový hlídač běhu (watchdog), jehož úkolem je monitorovat správný průběh programu na mikrokontroléru ESP32-S3. V případě zablokování je spuštěn automatický restart, při němž je systém uveden zpět do provozuschopného stavu. Napájecí soustava byla doplněna o záložní napájecí zdroj UPS a filtry proti přechodovým jevům, které eliminují nežádoucí výkyvy napětí. Každá detekovaná chyba je řešena restartem systému, čímž se předchází dlouhodobým výpadkům a akumulaci neodhalených stavů. Tím se prodlužuje střední doba mezi poruchami.

Modularita a rozšiřitelnost systému byly navrženy tak, aby bylo umožněno snadné doplňování nových modulů bez potřeby zásadních úprav hardwaru. Na základní desce je vyveden jeden volný I²C konektor pro připojení digitálních senzorů (např. pH-metru, konduktometru, senzoru rozpuštěného kyslíku nebo kompenzovaného teplotního čidla) pomocí standardizovaných

sběrnicových kabelů. Tři 12V výstupy jsou chráněny samostatnými pojistkami proti nadproudovému zatížení. Ochranný obvod založený na časovači NE555 zajišťuje při zablokování procesoru automatické odpojení výstupů a tím i bezpečný stav zařízení. Konfigurace výstupů je prováděna úpravou parametrů ve firmware; změny jsou automaticky uplatněny po nahrání aktualizovaného kódu do systému. V případě nedostupnosti ethernetového připojení může být prostřednictvím anténního konektoru mikrokontroléru ESP32-S3 aktivováno bezdrátové komunikační rozhraní Wi-Fi nebo Bluetooth.

2.1.2 Energetická účinnost a bezpečnost

Jedním z významných hledisek při návrhu automatického systému řízení akvária a paludária je energetická účinnost, která zásadním způsobem ovlivňuje provozní náklady a dlouhodobou udržitelnost systému. V realizovaném řešení byl kladen důraz na volbu komponent, které minimalizují spotřebu energie. Jako řídicí jednotka byl vybrán mikrokontrolér ESP32-S3, který se vyznačuje nízkou spotřebou energie, vysokým výpočetním výkonem a schopností přechodu do energeticky úsporného režimu v době nízkého zatížení. Pro spínání zařízení, jako jsou filtrace, topení nebo osvětlení, byla použita polovodičová SSR. Tato relé nemají pohyblivé mechanické součásti, čímž eliminují energetické ztráty způsobené mechanickým opotřebením kontaktů a snižují celkovou spotřebu elektrické energie systému. Osvětlení je řízeno pomocí PWM, což umožňuje efektivní regulaci intenzity osvětlení v závislosti na aktuálních potřebách. Další možnou optimalizací energetické účinnosti systému je integrace senzoru okolního světla, který by umožnil automaticky upravovat intenzitu umělého osvětlení dle aktuálních světelných podmínek v okolním prostředí. Tím by bylo dosaženo dalších úspor energie při zachování optimálních životních podmínek pro akvarijní a paludární organismy.

Druhým zásadním aspektem automatického řízení akvária a paludária je bezpečnost provozu, která chrání jak samotné zařízení, tak i jeho uživatele. Zvolená polovodičová SSR relé poskytují galvanické oddělení mezi řídicí elektronikou a výkonovou částí systému, což výrazně snižuje riziko poškození citlivých elektronických komponent vlivem přepětí nebo poruch na výkonové straně. K další ochraně elektrických obvodů systému jsou využívány klasické pojistky, které slouží jako jednoduchý a efektivní prostředek proti nadproudu a zkratu v jednotlivých elektrických okruzích.

2.1.3 Uživatelská přívětivost

Uživatelská přívětivost automatického řídicího systému akvária a paludária je zajištěna prostřednictvím webového rozhraní, které nevyžaduje instalaci jakýchkoliv dodatečných

aplikací. Tento způsob přístupu umožňuje pohodlné ovládání systému pomocí jakéhokoliv zařízení, které je vybaveno internetovým prohlížečem, a to odkudkoliv a kdykoliv. Na webovém rozhraní je uživatelům k dispozici možnost manuálního spuštění procesů krmení a hnojení nad rámec automatických režimů. Součástí hlavní stránky jsou rovněž kontinuálně aktualizované hodnoty teploty vody v akváriu, stejně jako teploty a vlhkosti vzduchu v paludáriu. Pro potřeby údržby a diagnostiky je dostupný speciální servisní režim, který umožňuje manuálně přepínat jednotlivé výstupy systému mezi režimy „zapnuto“, „automatika“ a „vypnuto“, což značně usnadňuje údržbu a řešení případných technických problémů bez nutnosti složitých zásahů.

Webové uživatelské rozhraní bylo navrženo s důrazem na maximální přehlednost, ergonomii a jednoduchost ovládání jednotlivých funkcí. Všechny ovládací prvky jsou logicky seskupeny a jednoznačně označeny, čímž se výrazně snižuje riziko nesprávného ovládání systému uživatelem. Stav jednotlivých výstupů je přehledně indikován pomocí barevných symbolů doplněných textovými popisy, které uživatelům umožňují rychle a jednoznačně určit, zda je příslušný prvek v režimu aktivním, vypnutém nebo automaticky řízeném. Podstatným aspektem návrhu je rovněž použití asynchronní komunikace s řídicím čipem ESP32-S3, která zajišťuje rychlou odezvu na změny stavu i aktualizace zobrazovaných veličin. Tento přístup výrazně zvyšuje komfort užívání celého systému a přispívá k vytvoření intuitivního uživatelského prostředí pro efektivní správu akvária a paludária.

2.2 Návrh a výběr komponent

V této části je popsán výběr konkrétních elektronických komponent a snímačů použitých v systému. Důraz je kladen na technická a praktická kritéria výběru, jako je přesnost, dostupnost, způsob komunikace a energetická náročnost. Uveden je také seznam všech použitých součástek.

2.2.1 Seznam použitých senzorů a ovládání akčních členů

Pro měření teploty vody byl použit digitální senzor DS18B20 s rozhraním 1-Wire, připojený k mikrokontroléru ESP32 S3. Každé čidlo je vybaveno jedinečnou 64bitovou adresou, která umožňuje paralelní provoz více jednotek na jedné sběrnici. Firmware řídí sekvenci iniciace měření, získávání surových dat a jejich převod na teplotní hodnoty, přičemž je aplikována softwarová kalibrace kompenzující systematické odchylky až ± 0,5 °C.

Snímacím prvkem pro měření teploty, relativní vlhkosti a tlaku vzduchu je modul BME680 připojený přes I^2C sběrnici. Interní algoritmy modulu poskytují kompenzované výstupy,

zatímco rezervní I^2C konektor na desce plošných spojů umožňuje rozšíření systému o další senzory se rozdílnou adresou nebo přepínatelným adresovým bitem.

Pro detekci hladiny vody bylo použito kapacitní čidlo XKC-Y25-NPN, které pracuje na principu změny kapacity mezi elektrodami senzoru při přiblížení vodivého média, například vody. Změna kapacitního pole způsobí aktivaci výstupu senzoru, přičemž jeho výstupní pin přejde do logické úrovně HIGH.

Osvětlení je zajištěno adresovatelným LED páskem WS2812B obsahujícím integrované řadiče pro jednotlivé články. Řídicí signál se přenáší jedním datovým vodičem podle časově kritického protokolu, přičemž barvy jsou definovány textově („red“, „blue“) nebo 24bitovým RGB kódem. Efekty a plynulé přechody jsou generovány knihovnou FastLED.

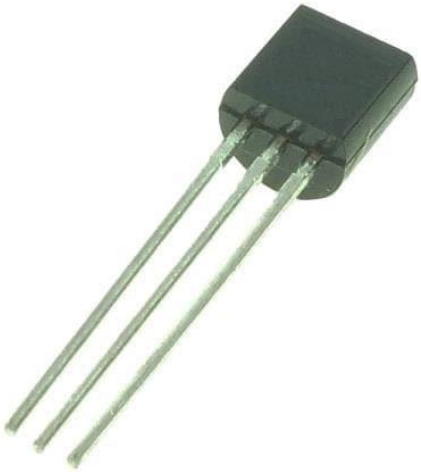
Pro spínání výkonových akčních členů je využito sedm kanálů SSR. SSR jsou aktivována přivedením signálu z GPIO ESP32 S3 na logickou úroveň LOW, čímž se sepne interní MOSFET relé. Tento režim zaručuje rychlé a bezhlučné spínání bez mechanického opotřebení.

Pro čtyři kanály časově ohraničeného sepnutí jsou navrženy monostabilní obvody s integrovaným obvodem NE555. Každý obvod obsahuje RC článek tvořený odporem $R = 560\ \Omega$ a kondenzátorem $C = 4{,}7\ \mu F$ zapojeným mezi napájecí napětí +5 V a piny TRIG a CONT. Řídicí impuls z GPIO ESP32 S3 spouští monostabilní cyklus trvající přibližně 2,6 ms, po jehož uplynutí se výstup vrací do klidového stavu a je přerušen výstupní obvod řízený MOSFET tranzistory .

Dva kanály výkonového řízení jsou realizovány čistě přes MOSFET tranzistory, jejichž brány jsou přímo ovládány z GPIO ESP32 S3. Poslední kanál kombinuje spínání MOSFET s blokací na základě signálu z hladinového čidla XKC Y25 NPN. Při detekci dosažení požadované výšky hladiny vody je sepnutí MOSFET potlačeno, aby nedošlo k přetečení nádrže.

2.2.2 Kritéria výběru

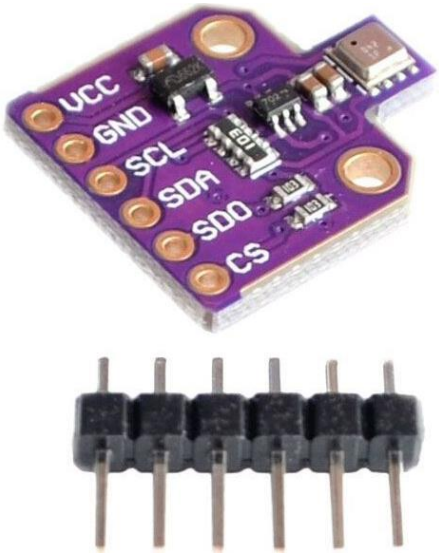
Při výběru snímačů pro automatizovaný systém řízení akvária a paludária byla zohledněna kritéria jako dostupnost komponent, přesnost měření, typ komunikačního rozhraní a specifické požadavky na sledované veličiny.



Obrázek 1: Teplotní čidlo DS18B20

Zdroj: Mouser electronics – DS18B20+, b.r.

Teplotní čidlo DS18B20, které je zobrazeno na obrázku 1 bylo zvoleno zejména díky své široké rozšířenosti, ověřené spolehlivosti a jednoduché integraci prostřednictvím sběrnice 1-Wire, která umožňuje snadné rozšíření systému o další snímače. Dalším rozhodujícím faktorem byla jeho okamžitá dostupnost, čímž se urychlil vývoj a snížily náklady.



Obrázek 2: Teplotní čidlo a vlhkoměr BME680

Zdroj: Hadex – Teplotní čidlo a vlhkoměr BME680, b.r.

Pro měření teploty, vlhkosti a kvality vzduchu v paludáriu bylo zvoleno čidlo BME680 (Obrázek 2), které vyniká vysokou přesností a komplexností snímaných parametrů. Skutečnost, že senzor byl již k dispozici, rovněž přispěla k jeho výběru.

Obrázek 3: Čidlo výšky hladiny XKC-Y25-NPN

Zdroj: XKC sensors – Y25 non-contact liquid level sensor, b.r.

Měření výšky hladiny bylo řešeno pomocí bezkontaktního kapacitního senzoru XKC-Y25-NPN (Obrázek 3), který umožňuje detekci kapaliny přes stěnu nádoby. Tento princip minimalizuje riziko mechanického opotřebení i zanesení čidla, což je v akvarijním prostředí zvláště přínosné.

Obrázek 4: Procesor ESP32-S3-WROOM-1U

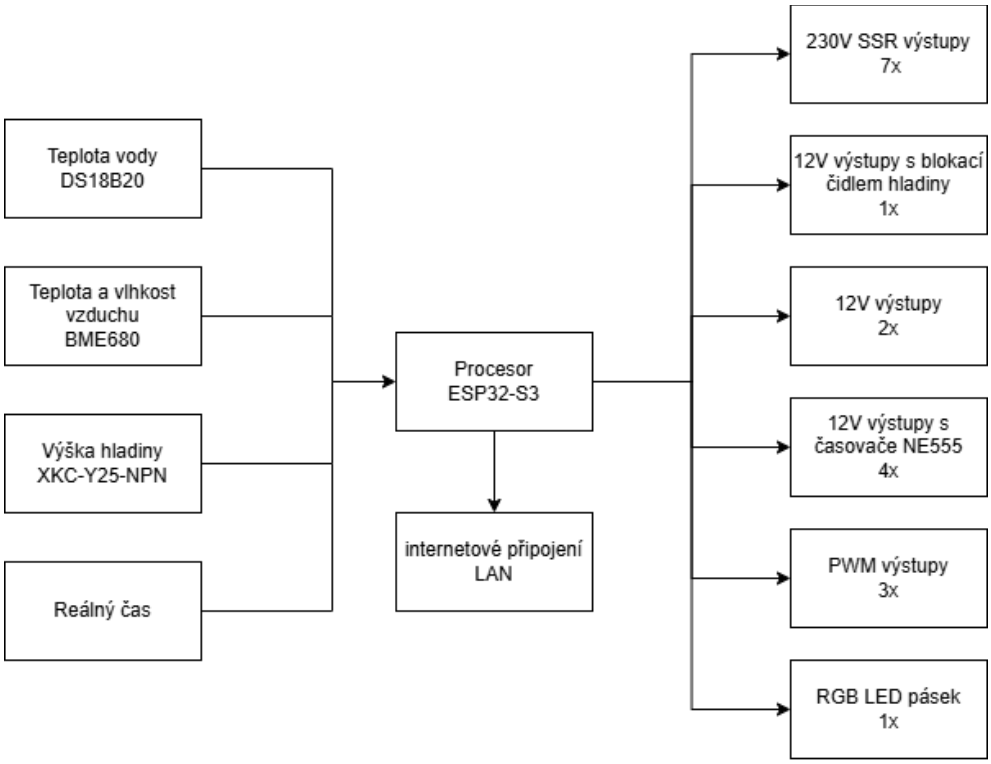
Zdroj: Mouser electronics – ESP32-S3-WROOM-1U-N8R2, b.r.

Jako hlavní řídicí jednotka byl zvolen mikrokontrolér ESP32-S3 (Obrázek 4), a to především s ohledem na jeho vysoký výpočetní výkon, dostatek volných vstupně-výstupních pinů a pokročilé možnosti bezdrátové konektivity. ESP32-S3 je schopen paralelně zpracovávat data z více senzorů a současně provádět řídicí algoritmy v reálném čase, což je pro stabilní provoz systému zásadní. Významnou výhodou je také velký počet dostupných GPIO, přičemž i po připojení všech plánovaných periferií zůstávají volné dva piny pro případné budoucí rozšíření. Integrace bezdrátových technologií Wi-Fi a Bluetooth rozšiřuje možnosti vzdáleného monitorování a ovládání systému, čímž se zvyšuje jeho uživatelská flexibilita a připravenost na další rozvoj.

2.3 Návrh elektroniky

Tato kapitola popisuje návrh elektronických obvodů, včetně schémat zapojení a návrhu desky plošných spojů. Jsou zde podrobně rozebrány vstupní a výstupní obvody, komunikační propojení i bezpečnostní prvky. Cílem je představit logickou a fyzickou strukturu systému a ukázat způsoby řešení technických problémů při návrhu.

2.3.1 Blokové schéma systému



Obrázek 5: Blokové schéma systému

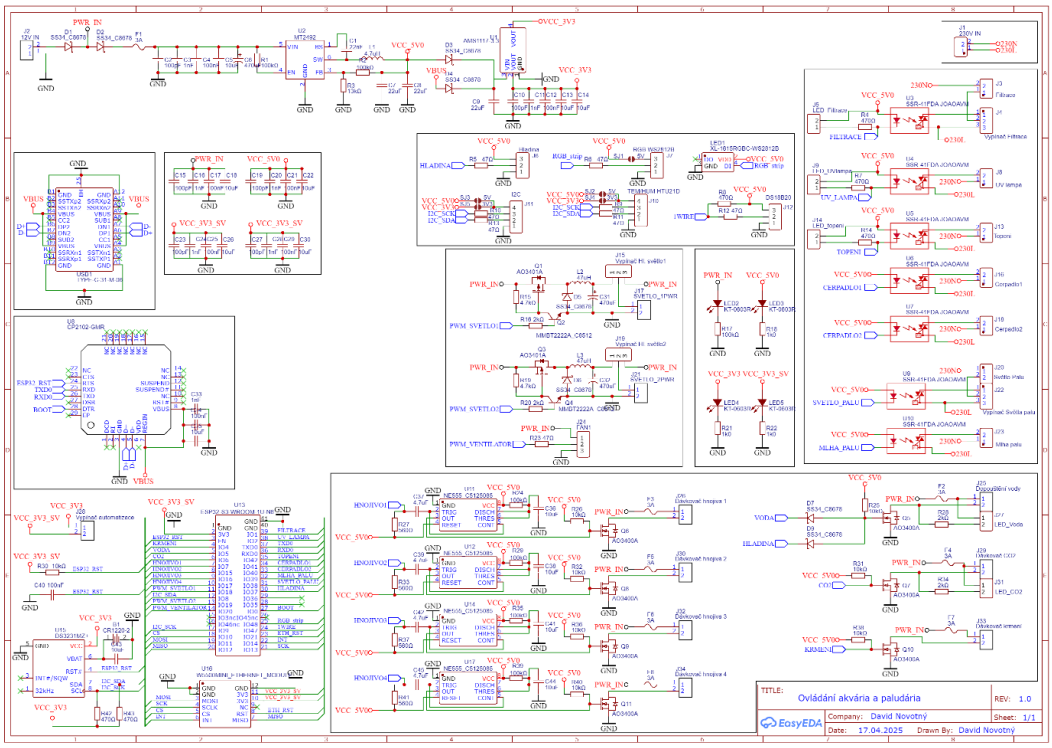
Zdroj: Vlastní zpracování

Blokové schéma (Obrázek 5) znázorňuje architekturu systému automatizovaného řízení akvária a paludária, jehož centrálním prvkem je mikrokontrolér ESP32-S3. Tento prvek zajišťuje nejen zpracování vstupních dat a generování řídicích signálů, ale rovněž propojení systému s vnějším prostředím prostřednictvím ethernetového rozhraní (LAN). Na vstupní straně jsou implementovány čtyři klíčové moduly. Pro měření teploty vody byl zvolen digitální senzor DS18B20 komunikující prostřednictvím sběrnice 1-Wire. Tento senzor se vyznačuje vysokou přesností a spolehlivostí měření. K monitorování teploty a relativní vlhkosti vzduchu v prostoru paludária slouží čidlo BME680, které využívá princip měření založený na změnách odporu polovodičového prvku. Informace o výšce hladiny vody jsou získávány pomocí kapacitního senzoru XKC-Y25-NPN, jehož výstup má binární charakter a indikuje přítomnost kapaliny v předem definované úrovni. Časová synchronizace celého systému je zajištěna prostřednictvím modulu reálného času (RTC), který umožňuje přesné plánování jednotlivých operací v čase.

Na straně výstupů je implementováno několik typů akčních členů, rozdělených podle charakteru řízení a požadavků na bezpečnost provozu. Sedm výstupů je určeno pro spínání zařízení napájených síťovým napětím 230 V, přičemž galvanické oddělení je zajištěno pomocí SSR. Jeden z 12V výstupů je navržen s ochranou závislou na signálu z hladinového čidla, čímž je zabráněno aktivaci zařízení v případě dostatku kapaliny v nádrži. Další dva 12V výstupy slouží pro obecné použití bez zvláštních bezpečnostních opatření. Čtyři výstupy napájené napětím 12 V jsou vybaveny ochranou proti zablokování stavu způsobeného poruchou mikroprocesoru, a to pomocí časovače založeného na integrovaném obvodu NE555, který po uplynutí nastaveného času výstup automaticky deaktivuje. Pro účely analogového řízení jsou k dispozici tři výstupy s modulací šířky pulzu (PWM), přičemž dva z nich využívají dvouvodičové zapojení (napětí a zem) a jeden výstup je řešen jako třívodičový (napájení, signál PWM a zem). Ovládání barevného LED pásku typu WS2812B je realizováno samostatným výstupem využívajícím jednovodičovou digitální komunikaci umožňující adresovatelné řízení jednotlivých segmentů.

Celý systém byl navržen s důrazem na modularitu, provozní bezpečnost a spolehlivost. Použití ethernetového rozhraní umožňuje uživateli vzdálený dohled a řízení systému prostřednictvím webového rozhraní. Díky široké škále použitých vstupů a výstupů je zajištěno komplexní řízení životních podmínek v akváriu a paludáriu a zároveň vytvořen prostor pro budoucí rozšíření systému podle specifických požadavků aplikace.

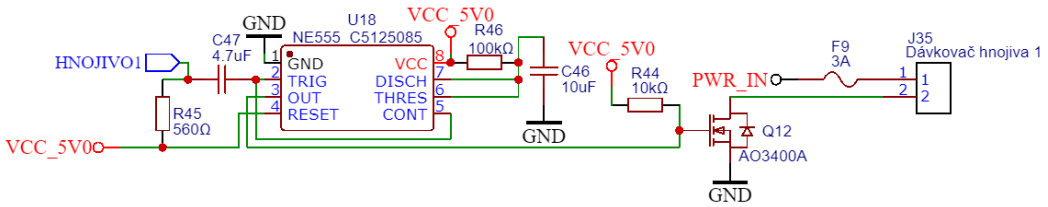
2.3.2 Schéma systému ve vývojovém prostředí



Obrázek 6: Schéma systému

Zdroj: Vlastní zpracování

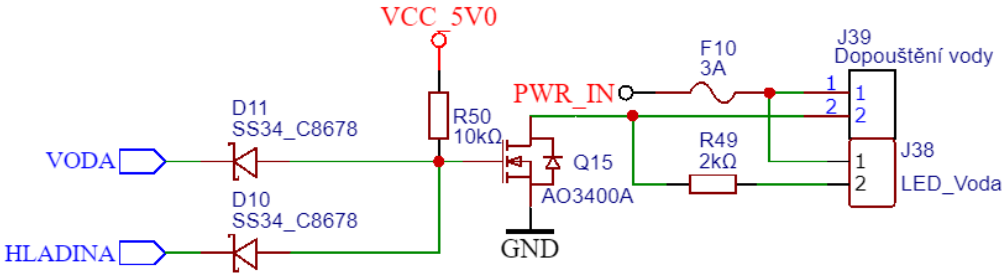
Návrh elektronického zapojení systému automatického řízení akvária a paludária byl realizován ve vývojovém prostředí EasyEDA. Toto prostředí bylo zvoleno zejména s ohledem na jeho přehlednost, intuitivní ovládání a návaznost na tvorbu desky plošných spojů. Kompletní schéma (Obrázek 6) bylo umístěno na výkres formátu A3, aby bylo možné zachytit všechny moduly systému, včetně napájecích obvodů, řídicí jednotky ESP32-S3, komunikačních rozhraní, vstupních snímačů a výstupních prvků. Vzhledem k vysoké hustotě zapojení však není možné zobrazit všechny detaily v plném rozlišení na jedné straně, aniž by tím nebyla narušena čitelnost. Z tohoto důvodu byly vybrány reprezentativní části schématu, které jsou dále podrobněji rozebrány v následujících podkapitolách.



Obrázek 7: Zapojení 12-ti voltových výstupů s časovačem NE555

Zdroj: Vlastní zpracování

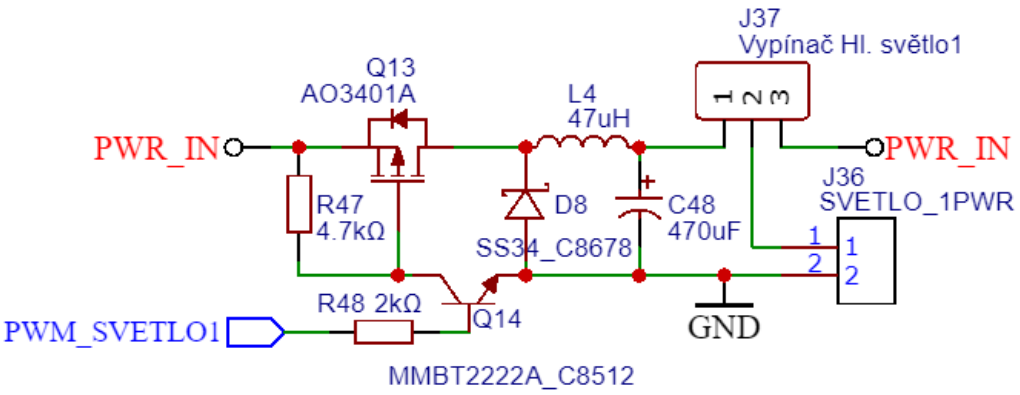
Jedním z kritických výstupních obvodů je část určená pro ovládání dávkovače hnojiva(Obrázek 7). Tento obvod je navržen s ohledem na zvýšenou bezpečnost provozu a obsahuje ochranný mechanismus proti případnému zablokování řídicí jednotky. K tomuto účelu je použit integrovaný obvod NE555, který pracuje v monostabilním režimu. Po aktivaci vstupního signálu „HNOJIVO1“ je generován výstupní impuls o definované délce, čímž je zajištěno, že výkonová část bude aktivována pouze po omezenou dobu. Výstup časovače je přiveden na řídicí elektrodu výkonového N-MOSFETu AO3400A, který spíná 12 V napájecí napětí připojené k výkonovému výstupu. Tímto způsobem je oddělena nízkonapěťová logická část (5 V) od výkonové části (12 V). Obvod je navíc doplněn o ochrannou pojistku a konektor pro připojení dávkovače, čímž je zajištěna funkční i provozní bezpečnost celého subsystému.



Obrázek 8: Zapojení 12 voltových výstupu s ochranou před přeplněním nádrže

Zdroj: Vlastní zpracování

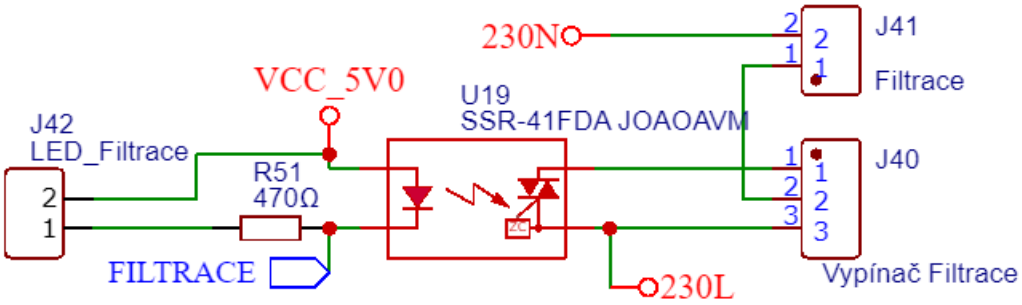
Pro řízení dopouštění vody byl navržen výstupní obvod (Obrázek 8), který místo časové ochrany využívá blokaci na základě výstupu ze snímače hladiny. Vstupní signály „VODA“ a „HLADINA“ jsou vedeny přes ochranné Schottkyho diody a spojeny do jednoho řídicího uzlu přes odpor typu pull-up. Tím je zajištěno, že výstup může být aktivován pouze tehdy, pokud je současně přítomen signál k dopouštění vody a zároveň čidlo nehlásí kritický stav hladiny. Tento signál dále ovládá bránu výkonového tranzistoru AO3400A, jenž spíná napájecí napětí do příslušného výstupu. Obvod je dále vybaven indikační LED, která signalizuje aktivní stav, a proudovou pojistkou pro zvýšení bezpečnosti. V případě, že by tento výstup nebyl určen pro práci s vodou, nebylo by zapojení doplněno o diody ani vstup ze snímače hladiny.



Obrázek 9: Zapojení PWM výstupů

Zdroj: Vlastní zpracování

Výstupní obvody, u nichž je požadováno řízení výkonu, jsou řešeny pomocí pulzně šířkové modulace (Obrázek 9). V konkrétním zapojení je PWM signál přiveden na bázi bipolárního tranzistoru MMBT2222A, který následně ovládá bránu výkonového P-MOSFETu AO3401A. Ten moduluje 12 V napájecí napětí na výstupní zátěž podle šířky PWM signálu. Pro zajištění správné filtrace a omezení rušení je výstupní napětí vedeno přes indukčnost a filtrační kondenzátor. Obvod je navržen s důrazem na rychlou spínací charakteristiku, účinné řízení a minimalizaci přechodových jevů. Součástí zapojení je také přepínač umožňující ruční odpojení výstupu, což je výhodné při testování nebo servisu.



Obrázek 10: Zapojení 230 voltových výstupů

Zdroj: Vlastní zpracování

Pro ovládání zařízení napájených ze sítě 230 V byl použit polovodičový relé modul (Obrázek 10). Tento prvek je řízen nízkonapěťovým signálem „FILTRACE“, který je přiveden přes proudový omezený odpor na řídicí vstup SSR. Zapojení dále obsahuje indikační LED diodu, která vizuálně signalizuje sepnutý stav výstupu. Unikátním prvkem tohoto obvodu je třípolohový přepínač, jenž umožňuje volbu mezi třemi režimy – automatickým řízením, trvalým vypnutím a trvalým zapnutím. Tímto způsobem lze zařízení ovládat nejen z řídicí jednotky, ale

i manuálně, což je výhodné zejména při zprovozňování systému, testování nebo údržbě. Obvod je navržen s ohledem na provozní bezpečnost a přehlednou obsluhu při manipulaci s napětím sítě.

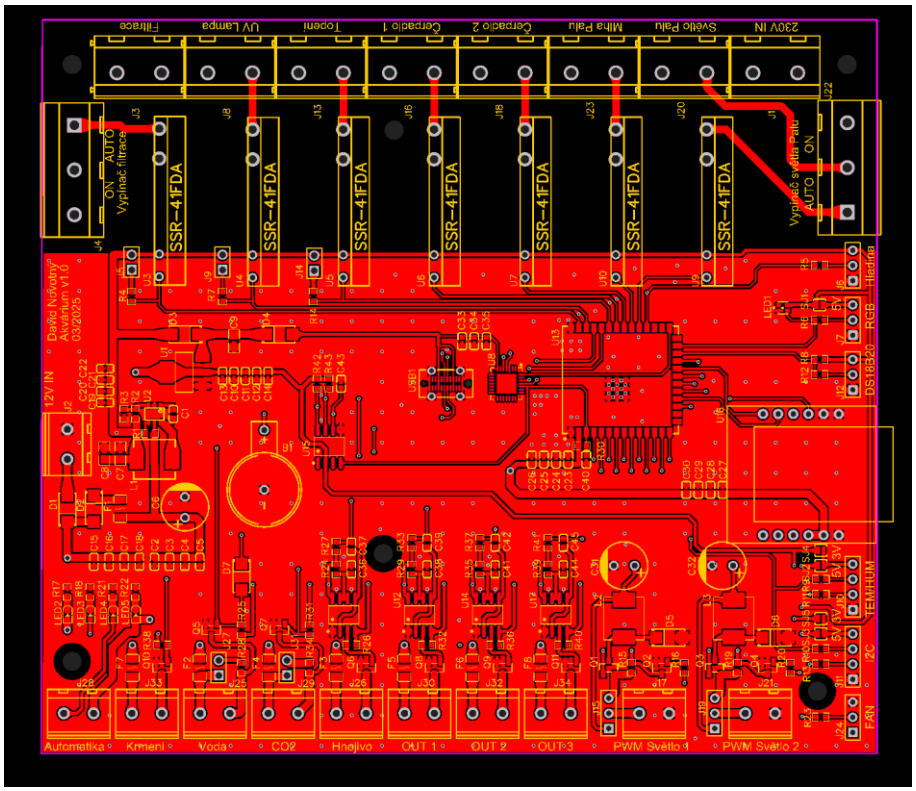
2.3.3 Návrh desky plošných spojů

V rámci praktické realizace systému automatického řízení akvária a paludária byla navržena dvouvrstvá deska plošných spojů, která zajišťuje propojení mikrokontroléru ESP32-S3 s veškerými snímači, akčními členy a komunikačními moduly (Obrázek 11, 12). Návrh byl vytvořen v prostředí EasyEDA. Při návrhu byl kladen důraz na optimalizaci rozložení datových i napájecích cest, minimalizaci elektromagnetického rušení a zajištění přehledné struktury spoje. Veškeré komponenty byly na desce rozmístěny tak, aby byla zajištěna vysoká provozní spolehlivost i snadná servisní přístupnost.

Do desky byly integrovány různé typy výstupů, a to jak reléové (SSR), tak spínané 12V výstupy s blokací řízenou hladinovým senzorem. Dále byly přidány výstupy chráněné obvodem NE555 proti nežádoucímu zablokování procesoru a PWM výstupy pro řízení osvětlení či ventilace. Mikrokontrolér je propojen se senzory teploty, vlhkosti, výšky hladiny, modulem reálného času a ethernetovým modulem W5500. Výstupy byly tematicky seskupeny a doplněny o diagnostické LED diody a pojistky s cílem zvýšit provozní bezpečnost a srozumitelnost zapojení.

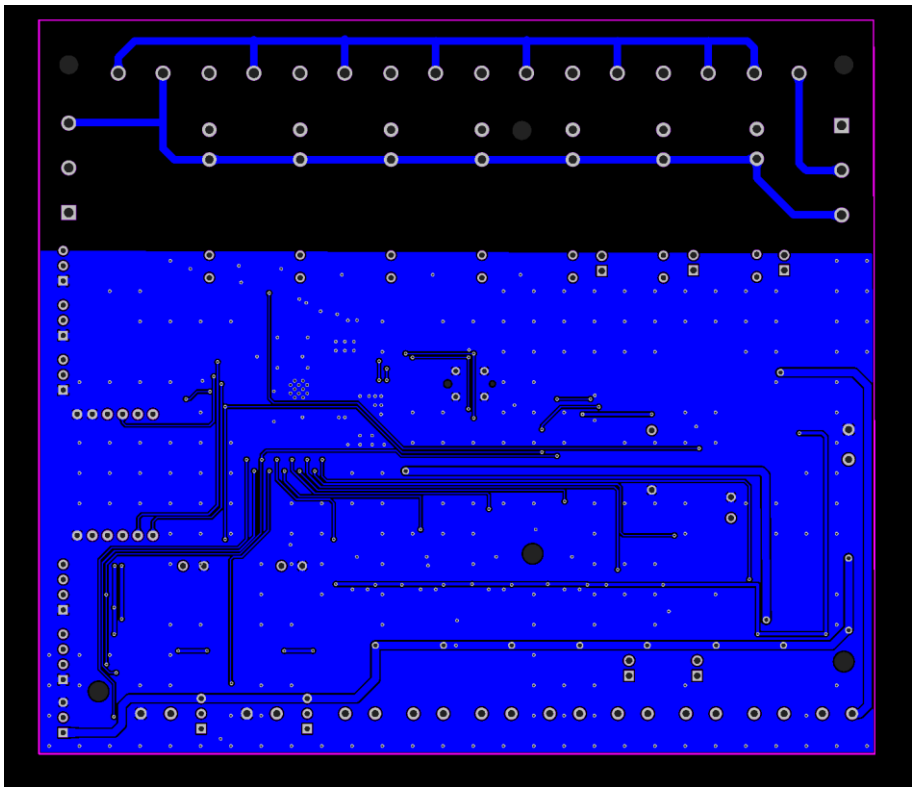
Obě vrstvy plošného spoje byly využity pro vedení signálových i silových tras, přičemž spodní strana byla z velké části pokryta zemnící plochou. Tento výsledek však nevyplynul z předem stanoveného konstrukčního záměru, nýbrž z optimalizace trasování a výsledného uspořádání vodičů. Vedení jednotlivých cest bylo přizpůsobeno požadavkům na kompaktní rozměry, separaci silových a signálových částí a správnou funkčnost zařízení. Při návrhu byly dále uplatněny zásady správné praxe, včetně použití ochranných prvků, filtrace napájecího napětí a dostatečné vzdálenosti mezi kritickými spoji.

Před exportem návrhu do výrobních dat ve formátu Gerber byla deska důkladně zkontrolována z hlediska návrhových pravidel. Byly ověřeny šířky cest, mezery, průchodky i integrity napájecích větví. Deska byla navržena s využitím kombinace SMD a THT součástek, přičemž byl zohledněn jak dostupný prostor, tak mechanická odolnost a jednoduchost montáže.



Obrázek 11: Vrchní strana desky plošného spoje ve vývojovém prostředí

Zdroj: Vlastní zpracování



Obrázek 12: Spodní strana desky plošných spojů ve vývojovém prostředí

Zdroj: Vlastní zpracování

2.3.4 Seznam součástek

Tabulka 1: Použité součástky

Typ součástky	Hodnota	Pouzdro	Počet kusů
Baterie	CR1220-2	BAT-CR1220	1
Dioda	SS34_C8678	SMA	8
Induktor	4.7uH	IND-SMD	1
Induktor	47uH	IND-SMD	2
Integrovaný obvod	AMS1117-3.3	SOT-223	1
Integrovaný obvod	CP2102-GMR	WQFN-28	1
Integrovaný obvod	DS3231MZ+	SOIC-8	1
Integrovaný obvod	ESP32-S3-WROOM-1U-N8	WIRELM-SMD_ESP32-S3-WROOM-1U	1
Integrovaný obvod	MT2492	SOT-23	1
Integrovaný obvod	NE555_C5125085	SOIC-8	4
Solid-State relé	SSR-41FDA JOAOAVM	SSR-41FDA	7
Kondenzátor	100pF	C0603	6
Kondenzátor	1nF	C0603	7
Kondenzátor	22nF	C0603	1
Kondenzátor	100nF	C0603	8
Kondenzátor	4.7uF	C0603	4
Kondenzátor	10uF	C0603	13
Kondenzátor	22uF	C0805	3
Kondenzátor	470uF	CAP-TH	3
LED dioda	KT-0603R	LED0603-RD	4

LED dioda	XL-1615RGBC-WS2812B	WS2812B	1
Pojistka	3A	F1206	8
Rezistor	47Ω	R0603	8
Rezistor	470Ω	R0603	6
Rezistor	560Ω	R0603	4
Rezistor	1k0	R0603	3
Rezistor	2kΩ	R0603	4
Rezistor	4.7kΩ	R0603	2
Rezistor	10kΩ	R0603	8
Rezistor	13kΩ	R0603	1
Rezistor	100kΩ	R0603	7
Tranzistor	AO3400A	SOT-23	7
Tranzistor	AO3401A	SOT-23	2
Tranzistor	MMBT2222A_C8512	SOT-23	2
USB	TYPE-C-31-M-06	TYPE-C-USB-SMD_TYPE-C-31-M-06	1
Konektor		CONN-TH_2P-P5.00_CPC3703CTR	11
Konektor		CONN-TH_DB129V-7.5-2P-GN-S	8
Konektor		CONN-TH_DB129V-7.5-3P-GN-S	2
Konektor		HDR-M-2.54_1X2	5
Konektor		HDR-M-2.54_1X3	6
Konektor		HDR-M-2.54_1X4	2

Zdroj: Vlastní zpracování

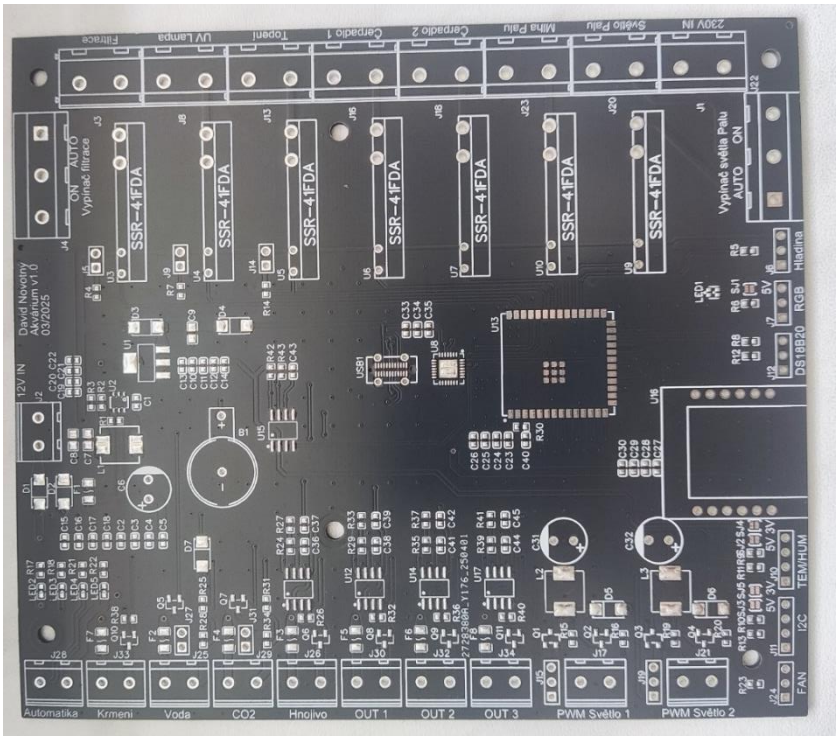
Pro návrh a realizaci systému automatického řízení akvária a paludária bylo nutné zvolit vhodné elektronické součástky, které odpovídají požadavkům na funkčnost, spolehlivost a bezproblémovou integraci do návrhu desky plošných spojů. Volba jednotlivých komponent byla provedena s ohledem na jejich technické parametry, dostupnost na trhu a kompatibilitu

s použitou řídicí jednotkou ESP32-S3. Do návrhu byly zařazeny jak pasivní prvky (rezistory, kondenzátory), tak aktivní součástky (tranzistory, diody, polovodičové obvody), spínací prvky (polovodičová relé) a periferní moduly (např. modul reálného času či ethernetový převodník).

Všechny součástky (Tabulka 1) byly při návrhu schématu a plošného spoje systematicky označeny tak, aby byla zajištěna jednoznačná identifikace v dokumentaci i při samotném osazování. Kromě základního označení bylo přihlédnuto rovněž k použitým pouzdrům, které byly zvoleny s ohledem na technologii výroby a servisovatelnost. Výsledný seznam všech použitých součástek je uveden v přehledové tabulce, která obsahuje typ komponenty, nominální hodnotu, počet kusů a v případě potřeby i specifikaci pouzdra. Tento seznam tvoří nedílnou součást projektové dokumentace a slouží jako podklad pro výrobu, osazení i případnou technickou údržbu zařízení.

2.3.5 Výroba a osazení desky plošných spojů

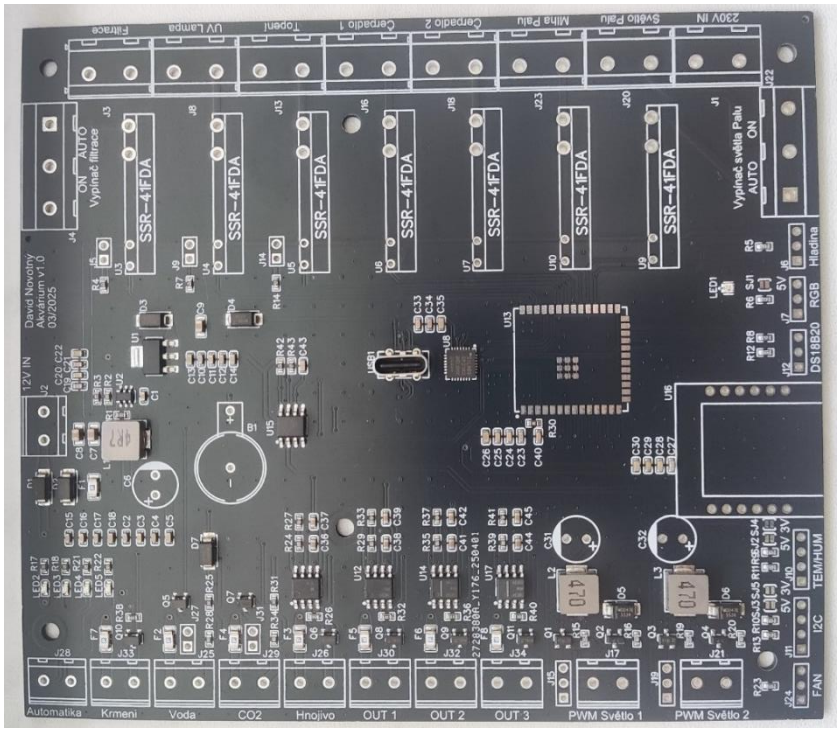
V první fázi vývoje byla připravena deska plošných spojů navržená v prostředí EasyEDA. Výroba byla realizována profesionálním způsobem, a to metodou fotolitografie s následným chemickým leptáním. Výsledná deska je dvouvrstvá, opatřená průchozími otvory a nepájivou maskou. V horní části je vyznačeno označení projektu, včetně jména autora, verze a data dokončení návrhu. V této fázi deska neobsahovala žádné osazené součástky (Obrázek 13).



Obrázek 13: Neosazená deska plošných spojů

Zdroj: Vlastní zpracování

Ve druhé fázi bylo přistoupeno k osazení desek součástkami technologie povrchové montáže (SMD), přičemž toto osazení bylo zajištěno přímo výrobcem. Z celkového počtu pěti vyrobených kusů byly dvě desky osazeny automatizovaným procesem v rámci výrobní služby, která zahrnovala osazení všech specifikovaných SMD komponent s výjimkou hlavního mikroprocesoru. Výrobcem byly aplikovány všechny pasivní prvky, jako jsou rezistory a kondenzátory, dále stabilizátory napětí, logické obvody, výkonové tranzistory a podpůrné integrované obvody (Obrázek 14). Osazení proběhlo ve shodě s výstupní dokumentací návrhu a polohovým souborem. V této fázi byl na desku rovněž připájen konektor USB-C.

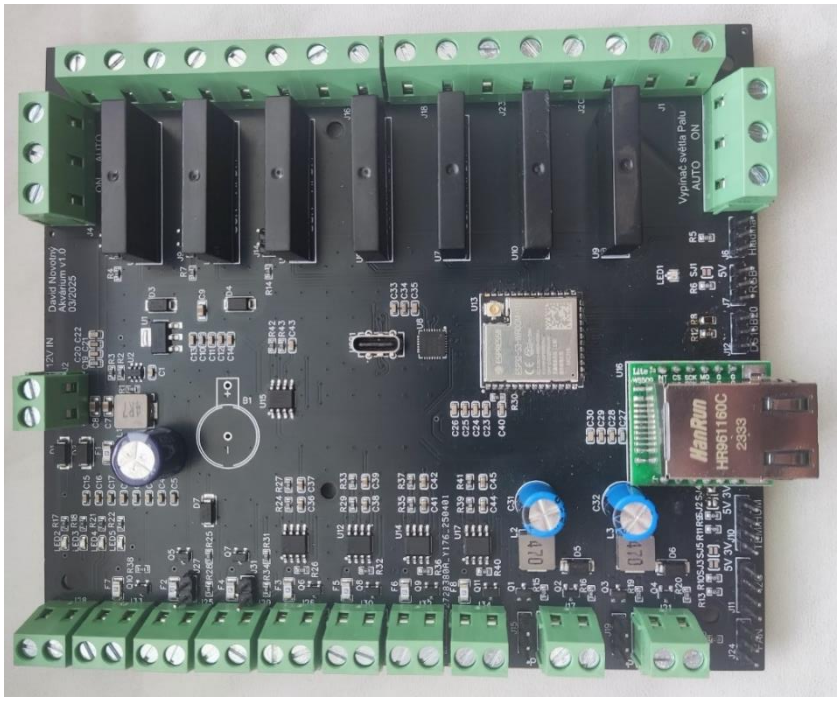


Obrázek 14: Deska plošných spojů s osazením z výroby

Zdroj: Vlastní zpracování

Ve třetí, finální fázi bylo přistoupeno k úplnému osazení desky všemi zbývajícími komponentami (Obrázek 15). Byl připájen modul ESP32-S3-WROOM-1, který zajišťuje řídicí funkce celého systému. Dále byly osazeny konektorové svorky pro připojení periferií a napájení, polovodičová relé určená pro spínání výkonových zátěží (např. filtrace, UV lampa, topení) a přepínače režimu pro ruční nebo automatické řízení jednotlivých výstupů. Na vstupní části desky byly připraveny konektory pro připojení senzorů teploty vody, vlhkosti a teploty vzduchu a čidla výšky hladiny. Došlo rovněž k připojení ethernetového modulu W5500 s konektorem RJ45, čímž byla zajištěna stabilní síťová komunikace. Po dokončení osazení byla deska podrobena vizuální kontrole, elektrickému testování a ověření funkčnosti všech

vstupních a výstupních částí. Takto připravená deska byla určena k nasazení do automatizovaného systému řízení akvária a paludária.



Obrázek 15: Plně osazená deska

Zdroj: Vlastní zpracování

2.4 Testování a ladění systému

Po návrhu a sestavení systému bylo přistoupeno k jeho důkladnému testování. V této kapitole je popsán způsob ověřování funkčnosti jednotlivých částí systému, včetně hardwaru, softwaru a webového rozhraní. Testovány byly také bezpečnostní a havarijní situace a celková stabilita systému při dlouhodobém provozu.

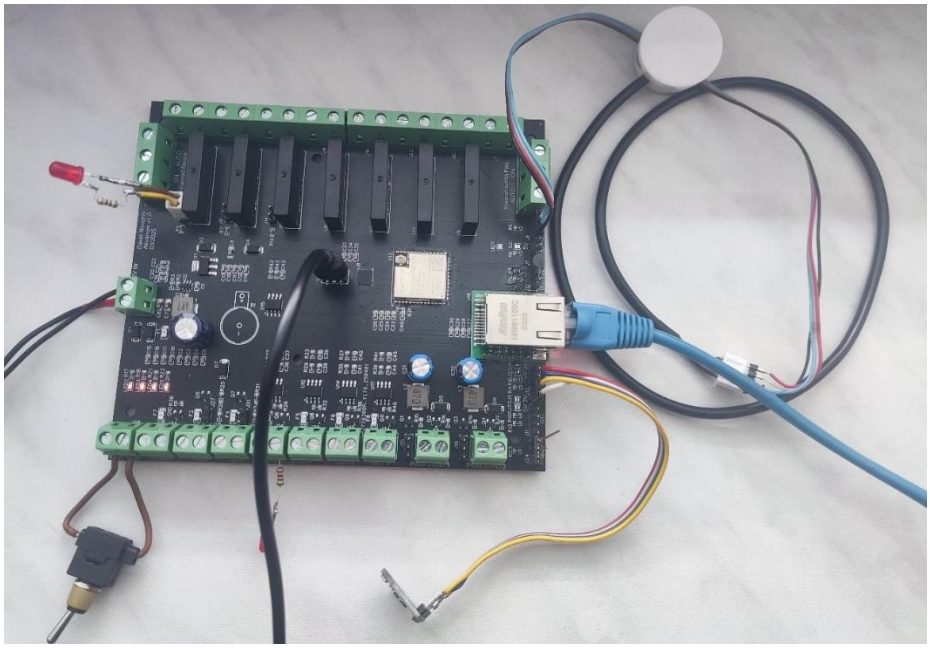
2.4.1 Testování hardwaru

Po dokončení návrhu a výroby vývojové desky určené pro automatizované řízení akvária a paludária bylo přikročeno k její systematické verifikaci. Cílem této etapy bylo ověření funkčnosti všech vstupních a výstupních obvodů, kontrola integrity napájecí části a prověření schopnosti desky komunikovat s řídicím mikrokontrolérem. Mikrokontrolér ESP32-S3 byl připojen k osobnímu počítači prostřednictvím rozhraní USB, přičemž byla navázána komunikace pomocí sériové linky. Pomocí ní byly zasílány testovací příkazy a zároveň byla přijímána zpětná hlášení o stavech jednotlivých periferií (Obrázek 16).

Pro účely testování byl do mikrokontroléru nahrán jednoduchý diagnostický program umožňující manuální aktivaci jednotlivých digitálních výstupů. Na každý z testovaných

výstupů byla připojena indikační LED dioda s ochranným rezistorem. V případě, že došlo ke správné aktivaci výstupu, rozsvítila se odpovídající LED po dobu přibližně pěti sekund. Tímto způsobem byla ověřena správná činnost výstupních pinů, a to včetně těch, které jsou řízeny prostřednictvím polovodičových relé. Správné sepnutí relé bylo rovněž signalizováno připojenými LED diodami, čímž bylo umožněno vizuální potvrzení jejich funkčnosti.

Testování vstupních obvodů probíhalo připojením konkrétního hardwarového prvku (například teplotního senzoru, hladinového spínače nebo jednoduchého spínacího prvku) na příslušný vstupní kanál. Prostřednictvím sériového rozhraní byla načítána aktuální vstupní hodnota a porovnávána s očekávaným výsledkem. Tento postup umožnil ověřit, že signály ze vstupních zařízení jsou korektně vyhodnocovány a dále zpracovávány mikrokontrolérem. Na základě výsledků zkoušek bylo potvrzeno, že veškeré vstupy a výstupy vykazují správnou funkčnost a že vývojová deska je plně připravena pro nasazení řídicí logiky v rámci finálního provozu systému.



Obrázek 16: Testování hardwaru

Zdroj: Vlastní zpracování

2.4.2 Testování softwaru

Testování softwarových funkcí představovalo nedílnou součást vývoje systému řízení akvária a paludária. Jednotlivé části programu byly implementovány postupně, přičemž každá nová funkce byla nejprve samostatně navržena, následně naprogramována, a nakonec otestována v reálném prostředí. Po úspěšném ověření její funkčnosti bylo přistoupeno k vývoji další části. V případě zjištění chybného chování byla provedena analýza kódu a odstranění zjištěných

nedostatků. Důraz byl kladen na průběžné a systematické ověřování funkce celého systému, nikoliv pouze nově přidaných prvků.

V rámci testování čidla DS18B20, určeného pro měření teploty vody, bylo zjištěno, že používaná knihovna pro komunikaci po sběrnici 1-Wire podporuje pouze omezený počet portů mikrokontroléru. Jelikož snímač je připojen na port GPIO47, který nebyl knihovnou podporován, bylo nutné provést její úpravu. Po modifikaci zdrojového kódu bylo umožněno použití potřebného portu, a funkčnost čidla byla následně úspěšně ověřena.

Pro měření teploty a vlhkosti vzduchu byl využit senzor BME680 komunikující po sběrnici I²C. Jeho funkčnost byla ověřena prostřednictvím sériového výstupu a později i zobrazováním naměřených hodnot ve webovém rozhraní. Při testování nebyly zaznamenány žádné problémy s přesností či stabilitou měření.

Součástí testování bylo rovněž kapacitní čidlo výšky hladiny, které sloužilo k detekci přítomnosti vody. Jeho správná funkce byla ověřena při různých hladinách v akváriu. V rámci testů bylo sledováno také správné vyhodnocení stavu hladiny a následné blokování výstupů, které nesměly být aktivní při nedostatku vody.

RGB LED pásek typu WS2812B byl testován z hlediska správného generování barev a světelných efektů. Komunikace s jednotlivými LED diodami probíhala prostřednictvím knihovny FastLED. Testování ověřilo korektní časování signálů a bezchybnou funkci efektů i při souběžném běhu dalších funkcí systému.

Výstupy chráněné pomocí externího časovače NE555 byly testovány s cílem ověřit jejich odolnost vůči případnému zamrznutí hlavního programu. V simulovaných podmínkách, kdy byl provoz mikrokontroléru záměrně narušen, bylo ověřeno, že výstupy byly spolehlivě odpojeny, čímž byla zajištěna bezpečnost systému.

Testována byla rovněž funkce asynchronního webového serveru, který zajišťuje zobrazování aktuálních hodnot a současně umožňuje manuální ovládání jednotlivých zařízení. Testování bylo provedeno jak na stolním počítači, tak na mobilních zařízeních, a bylo ověřeno správné zobrazování údajů i stabilita komunikace.

Zvláštní důraz byl kladen na správné propojení hlavního programu s webovým serverem. Testována byla schopnost systému přenášet aktuální hodnoty teploty, vlhkosti a reálného času do webového rozhraní a současně přijímat zpětné vstupy uživatele, jako je nastavení času nebo manuální zásahy do výstupů. Všechny přenosy probíhaly bezchybně.

Na závěr bylo provedeno testování automatického režimu řízení. Systém byl vystaven simulovaným provozním stavům, jako např. pokles teploty vody či nárůst vlhkosti vzduchu. Během testování bylo potvrzeno, že systém správně reaguje na definované podmínky a provádí odpovídající zásahy do řízených zařízení. Tím byla potvrzena funkčnost automatického režimu bez potřeby zásahu uživatele.

2.5 Návrh a implementace softwaru

Závěrečná kapitola praktické části se věnuje návrhu a programování softwaru běžícího na mikrokontroléru ESP32-S3. Popsány jsou hlavní funkce systému, způsob zpracování senzorických dat, logika řízení akčních členů a implementace webového rozhraní. Kladen je důraz na modularitu, spolehlivost a efektivitu programového kódu.

2.5.1 Ovládání časovače NE555

V rámci návrhu řídicího systému bylo nutné zabezpečit spolehlivé spínání některých výstupních prvků, u nichž existovalo riziko, že v případě softwarové chyby mikrokontroléru ESP32-S3 zůstanou v aktivním stavu. K eliminaci tohoto rizika byly vybrány časovací integrované obvody NE555, zapojené v monostabilním režimu. Tento způsob zapojení umožňuje automatické vypnutí výstupu po uplynutí definovaného časového intervalu a tím přispívá ke zvýšení celkové bezpečnosti systému.

Původně bylo zamýšleno spouštět monostabilní režim časovače pomocí PWM signálu generovaného mikrokontrolérem. Tato metoda se však ukázala jako nevhodná z důvodu rozdílných napěťových úrovní mezi oběma obvody. Zatímco výstupy mikrokontroléru ESP32-S3 pracují s logickou úrovní 3,3 V, obvod NE555 je napájen napětím 5 V. Výstupní napětí mikrokontroléru tedy nebylo schopné překročit prahovou úroveň potřebnou k aktivaci časovače.

Jako vhodné řešení se osvědčilo nastavení výstupního pinu mikrokontroléru do režimu OUTPUT_OPEN_DRAIN. Tento režim umožňuje přepínání mezi stavem logické nuly (LOW) a vysokou impedancí (neaktivním výstupem), čímž je zajištěna kompatibilita se vstupem obvodu NE555 napájeného vyšším napětím. Pro správné buzení časovače byla následně vytvořena funkce, která slouží jako jednoduchý generátor krátkých impulzů (Obrázek 17). Tato funkce sestává z poklesu výstupní úrovně na LOW, krátké časové prodlevy a následného návratu do neaktivního stavu. Tím je časovač inicializován a připraven na další aktivaci.

```
if (Out1Zapnuto) {
  if (millis() - casSpusteniOut1 <= delkaOut1) {
    digitalWrite(OUT1, LOW);  // Aktivace hnojení
    digitalWrite(OUT1, HIGH); // Připraveno na další impul
    delay(10);                // Krátký impulz
  }
}
```

Obrázek 17: Funkce pro ovládání výstupu s NE555

Zdroj: Vlastní zpracování

2.5.2 Měření teploty vody, teploty vzduchu a vlhkosti vzduchu.

Pro zajištění přesného a spolehlivého měření základních fyzikálních veličin prostředí akvária a paludária byl navržen senzorický subsystém umožňující sledování teploty vody, teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu. Měření teploty vody je realizováno pomocí digitálního senzoru typu DS18B20, který využívá komunikační sběrnici 1-Wire. Díky této technologii je možné připojit více čidel k jediné datové lince, přičemž každé z nich disponuje unikátní identifikační adresou. Teplota a vlhkost vzduchu jsou snímány integrovaným senzorem BME680, který komunikuje prostřednictvím sběrnice I²C a kromě základních veličin umožňuje také detekci tlaku a koncentrace VOC, což v dané aplikaci nebylo využito.

Inicializace měřicích prvků probíhá ve funkci setupTemp() (Obrázek18), která je volána jednorázově při spuštění systému. V této fázi je provedeno vyhledání všech připojených snímačů DS18B20, přičemž adresy nalezených čidel jsou postupně ukládány do vyhrazeného pole. Zároveň je zaznamenán celkový počet nalezených snímačů a vypsán na sériový port pro účely ladění. Následně je inicializován senzor BME680 s pevně definovanou adresou 0x77. V případě úspěšného navázání komunikace jsou nastavena převzorkování jednotlivých veličin – teploty (8×), vlhkosti (2×) a tlaku (4×) – a zároveň je aktivován filtr a tepelný výkon plynového senzoru. Tím je dosaženo zvýšené přesnosti měření, a to zejména v podmínkách s proměnlivými vlhkostními a teplotními poměry.

```
void setupTemp() {
  ds18.reset_search();
  numberOfSensors = 0;
  while (ds18.search(ds_buf) && numberOfSensors< maxnumberOfSensors) {
    memcpy(&ds_addr[numberOfSensors*8], ds_buf, 8);
    numberOfSensors++;
  }
  Serial.printf("Discovered %d DS18B20 sensors\n", numberOfSensors);
  if (!bme.begin(0x77)) {
    Serial.println("Failed to init BME680");
    while (1);
  }
  bme.setTemperatureOversampling(BME680_OS_8X);
  bme.setHumidityOversampling   (BME680_OS_2X);
  bme.setPressureOversampling   (BME680_OS_4X);
  bme.setIIRFilterSize          (BME680_FILTER_SIZE_3);
  bme.setGasHeater(320, 150);
  Serial.println("BME680 init OK");
}
```

Obrázek 18: Funkce hledání teploměrů

Zdroj: Vlastní zpracování

Vlastní měřicí cyklus je realizován ve smyčce hlavního programu s periodou 30 sekund. Aby byla zajištěna maximální aktuálnost a přesnost měřených hodnot, je s jednosekundovým předstihem volána funkce konverzeDS18B20() (Obrázek19), která zahájí převod teplotních údajů na všech senzorech. Následně je provedeno čtení hodnot prostřednictvím funkce cteniTemp() (Obrázek 20). V jejím rámci jsou postupně načítány adresy jednotlivých čidel, přistupuje se k jejich paměti a vyčítají se výsledky měření. Naměřená hodnota je převedena z binárního formátu na desetinné číslo reprezentující teplotu ve stupních Celsia. Souběžně je provedeno odečtení dat ze senzoru BME680 pomocí metody performReading(), přičemž je uplatněna korekce podle zadaných konstant, které reflektují konkrétní umístění senzoru a podmínky měření.

```
void konverzeDS18B20() {
  ds18.reset();
  ds18.write(0xCC); // skip ROM
  ds18.write(0x44); // start conversion
}
```

Obrázek 19: Funkce pro načtení aktuálních teplot

Zdroj: Vlastní zpracování

```
void cteniTemp() {
  for (int i = 0; i < numberOfSensors; i++) {
    memcpy(ds_buf, &ds_addr[i*8], 8);
    ds18.reset();
    ds18.select(ds_buf);
    ds18.write(0xBE); // read scratchpad
    byte data[9];
    for (int j = 0; j < 9; j++) data[j] = ds18.read();
    int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0];
    float t = raw/16.0;
    ds_temps[i] = t;
    Serial.printf("DS18B20[%d]: %.1f C\n", i, t);
  }
  if (!bme.performReading()) {
    Serial.println("Failed BME680 reading");
    return;
  }
  teplotaVody = ds_temps[0] + korekceTeplotaVody;
  teplotaVzduchu = bme.temperature + korekceTeplotaVzduchu;
  vlhkostVzduchu = bme.humidity + korekceVlhkostVzduchu;
  Serial.printf("Teplota vody: %.1f°C \nTeplota vzduchu: %.1f°C\nVlhkost vzduchu: %.1f %%\n", teplotaVody, teplotaVzduchu ,vlhkostVzduchu);
}
```

Obrázek 20: Funkce čtení aktuálních teplot

Zdroj: Vlastní zpracování

Výsledné hodnoty – teplota vody, teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu – jsou po každém měřicím cyklu vypsány na sériový port a zároveň jsou prostřednictvím interního webového serveru odesílány do webového rozhraní. Tím je uživateli umožněn přímý dohled nad aktuálními podmínkami v akváriu a paludáriu prostřednictvím běžného internetového prohlížeče. Díky tomu lze sledovat stav systému v reálném čase bez nutnosti připojování dalších zobrazovacích zařízení nebo ručního zásahu do systému. Tato funkcionalita významně přispívá k pohodlí a efektivitě provozu celého zařízení.

2.5.3 Ovládání dopouštění vody

Pro udržení stabilní výšky hladiny vody v akváriu byl navržen jednoduchý systém automatického dopouštění. Princip činnosti je založen na čtení digitálního signálu z hladinového snímače, který indikuje, zda je hladina vody pod, nebo na požadované úrovni. V případě poklesu hladiny pod nastavenou mez není snímač sepnut, což je vyhodnoceno jako logická úroveň LOW. Na základě tohoto stavu je aktivováno čerpadlo, které začne dopouštět vodu do systému. Jakmile hladina dosáhne požadované úrovně, dojde k sepnutí snímače a tím k přepnutí jeho výstupu do logického stavu HIGH, čímž je čerpadlo automaticky vypnuto.

Samotná implementace řízení probíhá prostřednictvím jednoduché podmínky, která vyhodnocuje stav vstupního pinu snímače hladiny. Pokud je načtena logická úroveň LOW, je na výstupní pin čerpadla vyslán signál ve stejném stavu, čímž dojde k jeho aktivaci. V opačném případě je na výstup aplikována logická úroveň HIGH a čerpadlo je deaktivováno. Tento přístup představuje energeticky nenáročné a zároveň dostatečně spolehlivé řešení, které nevyžaduje pokročilé algoritmy ani složitou elektroniku.

Funkce dopouštění vody je navíc doplněna o možnost jejího softwarového vypnutí pomocí logické proměnné vodaZapnuto. Pokud je tato proměnná nastavena na hodnotu FALSE, je dopouštění vody zcela blokováno bez ohledu na stav hladinového snímače. Tato možnost je využívána zejména během servisních zásahů, při údržbě zařízení nebo při specifických provozních stavech, kdy je žádoucí mít nad celým procesem manuální kontrolu. Zavedením této podmínky je zvýšena bezpečnost a flexibilita celého systému (Obrázek 21).

```
if (vodaZapnuto) {
  if (digitalRead(hladina) == LOW) {
    digitalWrite(voda, LOW); // Zapnutí čerpadla
  } else {
    digitalWrite(voda, HIGH); // Vypnutí čerpadla
  }
}
```

Obrázek 21: Funkce dopouštění vody

Zdroj: Vlastní zpracování

2.5.4 Uživatelské rozhraní

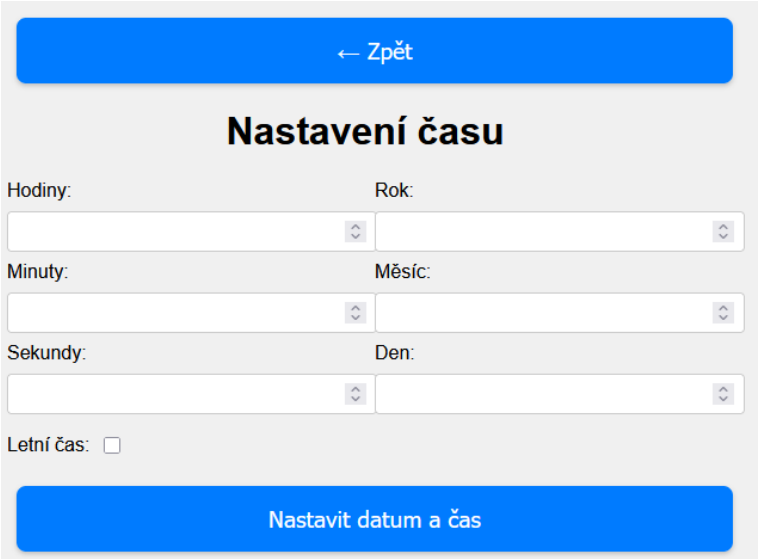
Uživatelské rozhraní automatického systému řízení akvária a paludária bylo navrženo s důrazem na jednoduchost, přehlednost a intuitivní ovládání. Hlavní obrazovka systému slouží především ke kontinuálnímu monitorování aktuálních provozních hodnot. Uživatel má

k dispozici okamžitý přehled o teplotě vody, teplotě vzduchu a vlhkosti vzduchu. Tyto veličiny jsou prezentovány přehledně v samostatných informačních blocích, což umožňuje rychlou kontrolu a usnadňuje detekci případných odchylek od ideálního stavu bez nutnosti složitého hledání (Obrázek 22).

Obrázek 22: Výchozí webová stránka

Zdroj: Vlastní zpracování

Vedle monitorovacích prvků jsou na hlavní stránce dostupná ovládací tlačítka umožňující manuální aktivaci důležitých akcí, jako je krmení rybiček či spuštění systému hnojení. Tyto funkce poskytují uživateli možnost přímé a rychlé intervence podle momentálních potřeb nebo mimořádných situací. Jednotlivé ovládací prvky jsou jasně označené a aktivují se jednoduchým kliknutím, což minimalizuje riziko chybné manipulace a zvyšuje uživatelský komfort.



Obrázek 23: Webová stránka nastavení datumu a času

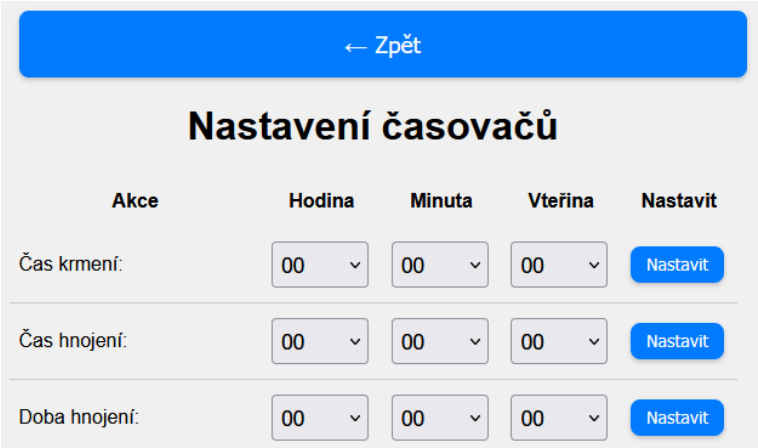
Zdroj: Vlastní zpracování

Další významnou součástí uživatelského rozhraní je modul určený pro nastavení systémového času (Obrázek 23). Uživatel je z hlavní obrazovky navigován na samostatnou stránku, kde může přesně definovat aktuální časové parametry včetně hodin, minut a sekund, stejně jako datum včetně roku, měsíce a dne. K dispozici je také možnost přepínání mezi zimním a letním časem, což zaručuje správnou synchronizaci automatizovaných procesů s reálným časem.

Obrázek 24: Webová stránka servisního režimu

Zdroj: Vlastní zpracování

Značnou část uživatelského rozhraní tvoří servisní režim (Obrázek 24), který umožňuje pokročilé ovládání jednotlivých výstupů systému. V tomto režimu je každý výstup samostatně nastavitelný do jedné ze tří poloh: manuálního zapnutí (ON), automatického režimu (AUTO) nebo úplného vypnutí (OFF). Tato možnost výrazně usnadňuje provádění údržby, servisních zásahů či diagnostických testů jednotlivých zařízení bez rizika ovlivnění běžného provozu.



Obrázek 25: Nastavení automatického ovládání podle času

Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 26: Nastavení PWM výstupů

Zdroj: Vlastní zpracování

Uživatelské rozhraní dále zahrnuje rozsáhlé možnosti nastavení časovačů, které umožňují automatizované spouštění jednotlivých operací podle předem stanovených časů. Uživatel může definovat nejen čas zahájení, ale také dobu trvání akcí, jako je krmení či hnojení (Obrázek 25). U výstupů řízených pomocí PWM signálů je navíc k dispozici možnost regulace intenzity osvětlení a ventilace nastavením odpovídající hodnoty PWM (Obrázek 26). Díky těmto pokročilým funkcím je systém schopen precizně optimalizovat a řídit prostředí v akváriu a paludáriu podle specifických požadavků chovaných organismů.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat systém pro automatické řízení akvária a paludária, který by umožnil efektivní sběr dat z okolního prostředí, spolehlivé ovládání akčních členů a intuitivní správu systému prostřednictvím uživatelského rozhraní. Na základě uskutečněného návrhu a praktické implementace lze konstatovat, že stanovený cíl byl úspěšně splněn.

V první fázi práce byly analyzovány vhodné typy senzorů pro měření teploty vody, teploty a vlhkosti vzduchu a výšky hladiny kapaliny. Pro jednotlivé veličiny byly vybrány konkrétní typy čidel, jejichž výběr zohledňoval jak technické parametry (např. přesnost, rozsah, spotřeba), tak praktické požadavky na bezúdržbový provoz a jednoduchou integraci. Následně byly popsány vhodné akční členy a způsoby jejich řízení, včetně silnoproudých výstupů pomocí polovodičových relé, tranzistorových spínačů pro slaboproudá zařízení a PWM řízení pro plynulou regulaci osvětlení či ventilace.

Praktická část se věnovala detailnímu návrhu systému, včetně volby mikrokontroléru, návrhu desky plošných spojů a schématického zapojení všech komponent. Systém byl koncipován s důrazem na modularitu, spolehlivost, energetickou úspornost a bezpečnost. Významným přínosem byla integrace uživatelského rozhraní ve formě webové stránky dostupné přes LAN připojení pomocí modulu W5500. Webové rozhraní umožňuje nejen monitoring aktuálních hodnot, ale také ruční ovládání jednotlivých funkcí a přepínání do servisního režimu.

V rámci testování byla ověřena funkčnost všech výstupů, správné čtení senzorických dat a stabilita systému při dlouhodobém provozu. Zvláštní důraz byl kladen na ochranu výstupních obvodů před havarijními stavy, například zaseknutím mikrokontroléru či přeplněním nádrže, čemuž byly přizpůsobeny jak hardwarové, tak softwarové bezpečnostní mechanismy. Implementace asynchronního webového serveru přispěla ke stabilnímu a rychlému zobrazování dat v reálném čase.

Na základě provedené práce lze systém hodnotit jako plně funkční. V porovnání s komerčně dostupnými řešeními dosahuje výrazně nižší ceny při zachování široké funkcionality, čímž potvrzuje efektivitu vlastního návrhu. Přínosem je i výrazná možnost přizpůsobení konkrétním potřebám uživatele.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] BOSCH SENSORTEC, 2024. BME680 Datasheet. Online. Dostupné z: https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme680-ds001.pdf. [cit. 2025-04-30].

[2] CANBOLAT, H., 2009. A Novel Level Measurement Technique Using Three Capacitive Sensors for Liquids. Online. In: IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. S. 3762-3768. ISSN 0018-9456. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/TIM.2009.2019715. [cit. 2025-04-30].

[3] DHODAPKAR, Kunal a SATHYA, P, 2014. Simple and cost effective environment monitoring system. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology. Online. Roč. 3, č. 2. ISSN 2277-9655. Dostupné z: https://www.academia.edu/download/33153118/61.pdf. [cit. 2025-04-30].

[4] DIACONESCU, Eugen, 2010. An identifying and authorizing application using 1-wire® technology. Online. In: 2010 IEEE 16th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME). IEEE, s. 243-248. ISBN 978-1-4244-8123-1. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/SIITME.2010.5649119. [cit. 2025-04-30].

[5] DREHMEL, Robert a HEFELE, Markus, 2020. Increasing Autonomy of I/O Cores in Heterogeneous FPGA-SoCs for Data Acquisition Applications. Online. In: 2020 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS). IEEE, s. 1-5. ISBN 978-1-7281-9615-2. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216335. [cit. 2025-04-30].

[6] GANESHKUMAR, S; SUDHARSAN, K; PARTHASARATHI, R; VANCHIMUTHU, C a HARISH, D, b.r. Advances In Industrial Process Automation Using Microcontrollers - A Review. Online. In: Advances in Intelligent Systems and Technologies. S. 137-143. Dostupné z: https://doi.org/10.53759/aist/978-9914-9946-4-3_21. [cit. 2025-04-30].

[7] Hadex – Teplotní čidlo a vlhkoměr BME680, b.r.. Online. In: Hadex. Dostupné z: https://www.hadex.cz/m441p-teplotni-cidlo-a-vlhkomer-bme680/?gQT=2. [cit. 2025-05-09].

[8] CHEN, Andrew; CHEN, Hsuan-Yu a CHEN, Chiachung, 2020. A Software Improvement Technique for Platinum Resistance Thermometers. Online. In:

Instruments. ISSN 2410-390X. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/instruments4020015. [cit. 2025-04-30].

[9] CHENGLIANG ZHANG; XIANYING FENG a LEI LI, 2010. The key technologies of a distributed temperature monitoring system based on 1-Wire bus. Online. In: 2010 8th World Congress on Intelligent Control and Automation. IEEE, s. 7041-7045. ISBN 978-1-4244-6712-9. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/WCICA.2010.5554277. [cit. 2025-04-30].

[10] JAMBEK, Asral Bahari; WENN, Lau Chyun a HASHIM, Uda, 2012. Design and analysis of a localised environment monitoring sensor system. Online. In: 2012 10th IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE). IEEE, s. 324-327. ISBN 978-1-4673-2396-3. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/SMElec.2012.6417151. [cit. 2025-04-30].

[11] JAYALAKSHMI, S., 2023. IoT-enabled smart water tank monitoring system with android application control. Online. In: I-manager's Journal on Instrumentation and Control Engineering. ISSN 2321-113X. Dostupné z: https://doi.org/10.26634/jic.11.2.20406. [cit. 2025-04-30].

[12] JSN-SR04T DATASHEET, 2022. Waterproof Ultrasonic Range Finder – V3.0. Online. Dostupné z: https://shop.tavir.hu/wp-content/uploads/datasheet-sen-uh-sr04t-v3.pdf. [cit. 2025-04-30].

[13] KARTIKA, Kartika; ASRAN, Asran; HASIBUAN, Mhd Perdiansyah a MISRIANA, Misriana, 2024. Implementation of Linear Regression Method for Calibration and Temperature Measurement on PT100 Temperature Sensor. Online. In: Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri. 2024-07-31, s. 503-511. ISSN 2356-0533. Dostupné z: https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i2.5206. [cit. 2025-04-30].

[14] KOESTOER, R. A.; SALEH, Y. A.; ROIHAN, I. a HARINALDI, 2019. A simple method for calibration of temperature sensor DS18B20 waterproof in oil bath based on Arduino data acquisition system. Online. In: . Indonesia, 020006-. Dostupné z: https://doi.org/10.1063/1.5086553. [cit. 2025-04-30].

[15] KRČEK, Karel, 1989. Akvaristická elektrotechnika. 2. dopl. vyd. Polytechnická knižnice. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. ISBN 80-03-00152-8.

[16] LOIZOU, Konstantinos; KOUTROULIS, Eftichios; ZALIKAS, Dimitrios a LIONTAS, Georgios, 2015. A low-cost capacitive sensor for water level monitoring in large-scale storage tanks. Online. In: 2015 IEEE International Conference on

Industrial Technology (ICIT). IEEE, s. 1416-1421. ISBN 978-1-4799-7800-7. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/ICIT.2015.7125295. [cit. 2025-04-30].

[17] MACEKOVÁ, Ľudmila, 2012. 1-Wire - The Technology for Sensor Networks. Online. In: Acta Electrotechnica et Informatica. 2012-01-1. ISSN 1338-3957. Dostupné z: https://doi.org/10.2478/v10198-012-0045-z. [cit. 2025-04-30].

[18] MAEMUNAH, M. a RIASETIAWAN, Mardhani, 2018. The Architecture of Device Communication in Internet of Things Using Inter-Integrated Circuit and Serial Peripheral Interface Method. Online. In: 2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST). IEEE, s. 1-4. ISBN 978-1-5386-5813-0. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/ICSTC.2018.8528663. [cit. 2025-04-30].

[19] MAGRE COLORADO, Luz A. a MARTÍINEZ-SANTOS, Juan C., 2017. Leveraging 1-wire Communication Bus System for Secure Home Automation. Online. In: Advances in Computing. Communications in Computer and Information Science. Cham: Springer International Publishing, 2017-08-17, s. 759-771. ISBN 978-3-319-66561-0. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-319-66562-7_54. [cit. 2025-04-30].

[20] MANKAR, J; DARODE, C; TRIVEDI, K; KANOJE, M a SHAHARE, P, 2014. Review of I2C Protocol. International Journal of Research in Advent Technology. Online. Roč. 2, č. 1. ISSN 2321–9637. Dostupné z: https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=314537daa1f601f83044b25b68e2af6c8f331f3f. [cit. 2025-04-30].

[21] MAXIM INTEGRATED, 2019. DS18B20 - Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet. Online. Dostupné z: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf. [cit. 2025-04-30].

[22] MICROCHIP TECHNOLOGY INC., 2007. MCP9700/9700A and MCP9701/9701A Data Sheet. Online. Dostupné z: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001942G.pdf. [cit. 2025-04-30].

[23] MIKHAYLOV, Konstantin a TERVONEN, Jouni, 2012. Evaluation of Power Efficiency for Digital Serial Interfaces of Microcontrollers. Online. In: 2012 5th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS). IEEE, s. 1-5. ISBN 978-1-4673-0229-6. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/NTMS.2012.6208716. [cit. 2025-04-30].

[24] MIRANTY, Miranty; SYAM, F S a OPU, A.S, 2024. PENERAPAN SENSOR FLOAT MAGNETIC LEVEL GAUGE PADA SISTEM MONITORING LEVEL CAIRAN LIMBAH. Online. In: Foristek. 2024-05-31. ISSN 2579-7174. Dostupné z: https://doi.org/10.54757/fs.v14i1.376. [cit. 2025-04-30].

[25] Mouser electronics – ESP32-S3-WROOM-1U-N8R2, n.d.. Online. In: Mouser. Dostupné z: https://cz.mouser.com/ProductDetail/Espressif-Systems/ESP32-S3-WROOM-1U-N8R2?qs=Li%252BoUPsLEnvv7kyEkzf6%252Bw%3D%3D&mgh=1&gQT=2. [cit. 2025-05-09].

[26] Mouser Electronics DS18B20+, n.d.. Online. In: Mouser. Dostupné z: https://cz.mouser.com/ProductDetail/Analog-Devices-Maxim-Integrated/DS18B20%2b?qs=7H2Jq%252ByxpJKegCKabDbglA%3D%3D. [cit. 2025-05-09].

[27] NALAKURTHI, Naga Venkata Sudha Rani; ABIMBOLA, Ismaila; AHMED, Tasneem; ANTON, Iulia; RIAZ, Khurram et al., 2024. Challenges and Opportunities in Calibrating Low-Cost Environmental Sensors. Online. In: Sensors. ISSN 1424-8220. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/s24113650. [cit. 2025-04-30].

[28] NIKHIL CHANDRA, B S; ROOPA, J; HARIGOVIND, A a BHARADWAJ, Ajay, 2021. A Review on Capacitive Liquid Level Sensing Techniques. Online. In: Journal of University of Shanghai for Science and Technology. 2021-06-17, s. 654-662. ISSN 10076735. Dostupné z: https://doi.org/10.51201/JUSST/21/05312. [cit. 2025-04-30].

[29] NIRUPAM; DWIVEDI, A.K. a SOLANKI, S.S., 2015. Innovative Design of Dam Water Level Sensor. Sensors & Transducers. Online. Roč. 189, č. 6. Dostupné z: https://www.proquest.com/openview/a5b9e69ecf3770d09cc6857c110254ff/1?cbl=52938&pq-origsite=gscholar. [cit. 2025-04-30].

[30] OSEPP ELECTRONICS, b.r. DHT11 Humidity & Temperature Sensor Datasheet. Online. Dostupné z: https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf?srsltid=AfmBOooG4m6Wuv3x_hQ5ZcuSdrBiuSlHB-vE8dGr1dut2KcLZOOWMDTu. [cit. 2025-04-30].

[31] PAHLEVI, Rizka Reza; PUTRADA S., Aji Gautama a ABDUROHMAN, Maman, 2018. Fast UART and SPI Protocol for Scalable IoT Platform. Online. In: 2018 6th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT).

IEEE, s. 239-244. ISBN 978-1-5386-4572-7. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/ICoICT.2018.8528745. [cit. 2025-04-30].

[32] PAHLEVI, Rizka Reza; PUTRADA S., Aji Gautama a ABDUROHMAN, Maman, 2018. Fast UART and SPI Protocol for Scalable IoT Platform. Online. In: 2018 6th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT). IEEE, s. 239-244. ISBN 978-1-5386-4572-7. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/ICoICT.2018.8528745. [cit. 2025-04-30].

[33] PETOMAR, b.r. Ovladač akvária EAC. Online. Dostupné z: https://www.petomar.cz/ovladac-akvaria-eac. [cit. 2025-05-12].

[34] PIETRIKOVA, Alena; ZUK, Samuel a VEHEC, Igor, 2019. Coplanar Capacitive Liquid Level Sensor. Online. In: 2019 42nd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE). IEEE, s. 1-6. ISBN 978-1-7281-1874-1. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/ISSE.2019.8810232. [cit. 2025-04-30].

[35] RIZAL, Muhammad; ARIFIN, Arham; RASYD, Muhammad Furqan; SURADI, Andi Asvin Mahersatillah a BAHTIAR, Akbar, 2023. Desain dan Implementasi Sistem Pemantauan Polusi Udara Berbasis Android Real-Time di SMKS Darul Ulum Layoa Bantaeng. Online. In: MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science. 2023-08-31, s. 143-152. ISSN 2775-8575. Dostupné z: https://doi.org/10.57152/malcom.v3i2.894. [cit. 2025-04-30].

[36] SABRINA, Annisa Nur; MUKTI, Akhmad Taufiq; SUCIYONO, Suciyono; KENCONOJATI, Hapsari; ULKHAQ, Mohammad Faizal et al., 2023. Color Brightness and Growth Levels of Goldfish (Carassius auratus) Reared with Different Light Spectrums. Online. In: Jurnal Medik Veteriner. 2023-10-22, s. 250-255. ISSN 2581-012X. Dostupné z: https://doi.org/10.20473/jmv.vol6.iss2.2023.250-255. [cit. 2025-04-30].

[37] SAPUTRA, T. a SURAPATI, U., 2024. Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika dan Komunikasi. Online. Roč. 5, č. 2. ISSN 2723-7079. Dostupné z: https://journal.stmiki.ac.id/index.php/jimik. [cit. 2025-04-30].

[38] SENSIRION, 2024. Adafruit SHT31-D Temperature & Humidity Sensor Breakout. Online. Dostupné z: https://learn.adafruit.com/adafruit-sht31-d-temperature-and-humidity-sensor-breakout. [cit. 2025-04-30].

[39] SIEPERT, B, b.r. Adafruit TMP117 High Accuracy I2C Temperature Monitor. Online. Dostupné z: https://learn.adafruit.com/adafruit-tmp117-high-accuracy-i2c-temperature-monitor/arduino. [cit. 2025-04-30].

[40] SMARTHERM, b.r. Platinum temperature sensor PT1000-550. Online. Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/67cf717905f835bc5efcdcd56ca3a8e2/Pt1000-550_EN.pdf. [cit. 2025-04-30].

[41] SUDARYANTO, Aris; WARDANA, Yohanes Aditya Wisnu a KRIDOYONO, Agung, 2024. Accuracy of DHT11 Temperature and Humidity Sensor In Egg Incubator. Online. In: Informatics, Electrical and Electronics Engineering (Infotron). 2024-05-08, s. 1-6. ISSN 2798-0197. Dostupné z: https://doi.org/10.33474/infotron.v4i1.20846. [cit. 2025-04-30].

[42] TEXAS INSTRUMENTS, 2022. MP117 High-Accuracy, Low-Power, Digital Temperature Sensor With SMBus™- and I2C-Compatible Interface. Online. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/gpn/TMP117. [cit. 2025-04-30].

[43] WEI, Haibo; MEI, Jianwei; LIU, Jie; WANG, Zhaozhao; FANG, Shengli et al., 2021. Application Research on Data Reliability of SPI Bus between Microprocessors. Online. In: 2021 IEEE 4th International Conference on Electronics Technology (ICET). IEEE, 2021-5-7, s. 347-351. ISBN 978-1-7281-7673-4. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/ICET51757.2021.9450983. [cit. 2025-04-30].

[44] XKC sensors – Y25 non-contact liquid level sensor, n.d.. Online. In: Xkc-sensor. Dostupné z: https://www.xkc-sensor.com/detail/1432.html. [cit. 2025-05-09].

[45] YOUNG, Duick T.; CHAPMAN, Lee; MULLER, Catherine L.; CAI, Xiao-Ming a GRIMMOND, C. S. B., 2014. A Low-Cost Wireless Temperature Sensor: Evaluation for Use in Environmental Monitoring Applications. Online. In: Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2014-04-01, s. 938-944. ISSN 0739-0572. Dostupné z: https://doi.org/10.1175/JTECH-D-13-00217.1. [cit. 2025-04-30].

[46] ZABALA, Paul, 2017. Development of Programmable Relay Switch Using Microcontroller. Online. In: American Journal of Remote Sensing. ISSN 2328-5788. Dostupné z: https://doi.org/10.11648/j.ajrs.20170505.11. [cit. 2025-04-30].

[47] ZRIOUAL, Hajar; TOLUWALASE ADEWALE, Isogun a BAHAA EDDINE, Cherkaoui, b.r. Remote Environmental Monitoring System Using DHT11. Online. In: International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT). S. 386-392. ISSN 2456-2165. Dostupné z: https://doi.org/10.38124/ijisrt/IJISRT24NOV200. [cit. 2025-04-30].

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: ZIP soubor programu