



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## AUTONOMNÍ AKVÁRIUM

AUTONOMOUS AQUARIUM

### SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Charvot

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Tomíček

BRNO 2023



# Semestrální práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

**Student:** Jakub Charvot

**ID:** 240844

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2023/24

**NÁZEV TÉMATU:**

## Autonomní akvárium

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout systém, který umožní plně automaticky monitorovat a řídit akvárium. Provedtě průzkum trhu a analyzujte existující komerční i hobby řešení. Určete faktory, které je nutné regulovat, popřípadě pouze monitorovat, pro úspěšný provoz akvária. Vyberte vhodné snímače a akční členy. V rámci bakalářské práce systém zhotovte.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 18.9.2023

**Termín odevzdání:** 15.12.2023

**Vedoucí práce:** Ing. Pavel Tomíček

**doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.



## **ABSTRAKT**

Abstrakt práce v originálním jazyce TODO

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Klíčová slova v originálním jazyce TODO

## **ABSTRACT**

Překlad abstraktu TODO (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)

## **KEYWORDS**

Překlad klíčových slov TODO (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)



CHARVOT, Jakub. *Autonomní akvárium*. Semestrální práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2024. Vedoucí práce: Ing. Pavel Tomíček,





## Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Jakub Charvot  
**VUT ID autora:** 240844  
**Typ práce:** Semestrální práce  
**Akademický rok:** 2023/24  
**Téma závěrečné práce:** Autonomní akvárium

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského 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, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....  
.....  
podpis autora\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.



## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské/diplomové/disertační práce panu Ing. XXX  
YYY, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. TODO



# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>21</b>
<b>1 Základní teorie akvaristiky</b>	<b>23</b>
1.1 Historie . . . . .	23
1.1.1 Počátky . . . . .	23
1.1.2 Věda a technika . . . . .	23
1.2 Rozdělení akvárií . . . . .	23
1.3 Technické vybavení akvária . . . . .	24
1.3.1 Filtrace vody . . . . .	24
1.3.2 Osvětlení . . . . .	25
1.3.3 Ohřev . . . . .	27
1.3.4 Monitorování . . . . .	28
1.3.5 Dostupná komplexní řešení . . . . .	29
<b>2 Systémový návrh</b>	<b>33</b>
2.1 Požadavky . . . . .	33
2.2 Blokové schéma . . . . .	33
<b>3 Návrh dílčích bloků</b>	<b>37</b>
3.1 Komunikační rozhraní . . . . .	37
3.1.1 Výběr datové sběrnice . . . . .	37
3.1.2 Počet a funkce vodičů . . . . .	39
3.1.3 Konektor . . . . .	40
3.2 Řídící jednotka . . . . .	40
3.2.1 MCU . . . . .	40
3.2.2 Zapojení ESP32 modulu . . . . .	41
3.2.3 Napájecí obvod . . . . .	43
3.2.4 Ochrana konektorů . . . . .	44
3.3 Ovládání 230V periferií . . . . .	46
3.4 Obecný modul periferie . . . . .	47
3.4.1 MCU . . . . .	48
<b>Závěr</b>	<b>49</b>
<b>Literatura</b>	<b>51</b>
<b>Seznam symbolů a zkratk</b>	<b>53</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>55</b>

<b>A</b>	<b>Některé příkazy balíčku <code>thesis</code></b>	<b>57</b>
A.1	Příkazy pro sazbu veličin a jednotek . . . . .	57
A.2	Příkazy pro sazbu symbolů . . . . .	57
<b>B</b>	<b>Druhá příloha</b>	<b>59</b>
<b>C</b>	<b>Příklad sazby zdrojových kódů</b>	<b>61</b>
C.1	Balíček <code>listings</code> . . . . .	61
<b>D</b>	<b>Obsah elektronické přílohy</b>	<b>65</b>

# Seznam obrázků

1.1	Příklad různých typů filtrů. Fotografie převzaty z [1] . . . . .	25
1.2	Trubice s LED páskem a manuální stmívač a časovač. Převzato z [1].	26
1.3	SUNSUN topítka 100W s termostatem. Převzato z [1]. . . . .	27
1.4	GHL ProfiLux Mini, nejmenší dostupný kontroler této firmy. Převzato z [2]. . . . .	30
1.5	Neptune Systems Apex EL, základní set. Převzato z [3]. . . . .	30
1.6	CoralVue HYDROS Control X2 Starter pack. Převzato z [4]. . . . .	31
1.7	Seneye Home a Seneye Web Server, převzato z [5]. . . . .	32
2.1	Blokové schéma systému. . . . .	34
2.2	Ilustrační obrázek pro vzhled zařízení. CoralVue HYDROS Control XP8, převzato z [6]. . . . .	35
3.1	Ukázka koncepce sběrnice pro periferie. . . . .	39
3.2	Blokové schéma řídicí jednotky. Vytvořeno v KiCad 7.0. . . . .	41
3.3	Podpůrné obvody pro modul ESP32-WROOM-E. Vytvořeno v KiCad 7.0. . . . .	42
3.4	Napájecí obvod řídicí jednotky. Vytvořeno v KiCad 7.0. . . . .	43
3.5	Ochrana konektorů řídicí jednotky, principiální schéma. Vytvořeno v KiCad 7.0. . . . .	44
3.6	Relé modul, ilustrační foto. Převzato z [7]. . . . .	47
3.7	Modul expandéru GPIO pinů, ilustrační foto. Převzato z [8]. . . . .	47
B.1	Alenčino zrcadlo . . . . .	59





# Seznam tabulek

3.1	Datové sběrnice, porovnání [9]. . . . .	38
3.2	Popis vodičů komunikačního rozhraní periférií. . . . .	39
3.3	Elektrické parametry ESP32, výňatek z [10], platné pro $V_{DD} = 3,3\text{ V}$ . . . . .	45
A.1	Přehled příkazů . . . . .	57



# Seznam výpisů

C.1	Ukázka sazby zkratk . . . . .	61
C.2	Příklad Schur-Cohnova testu stability v prostředí Matlab. . . . .	62
C.3	Příklad implementace první kanonické formy v jazyce C. . . . .	63



# Úvod

V dnešní době, kdy jsou na vzestupu fenomény jako chytrá domácnost, IoT (Internet of Things) nebo Průmysl 4.0, se na trhu objevuje stále více výrobků, které se snaží automatizovat a zjednodušit různé oblasti našeho života. Tento trend se dnes dotýká nejen volnočasové aktivity a to včetně akvaristiky. Tu lze samozřejmě provozovat na různé úrovni, ale i majitelé malých domácích akvárií potřebují k provozu svého koníčku relativně velké množství elektroniky. Běžnou praxí je, že každé z použitých zařízení je ovládáno buďto zcela ručně nebo, pokud disponuje možností vzdáleného přístupu a automatizace, má svou samostanou aplikaci a uživatel tak provoz akvária musí ovládat z několika různých míst, což může být značně nepohodlné a nepřehledné.

Na trhu samozřejmě existují také velmi sofistikované a komplexní systémy, ty ovšem svou cenou vysoce přesahují rozpočet běžného „domácího“ akvaristy. Tato práce se věnuje návrhu a tvorbě zařízení, které má za cíl nabídnout pohodlnou kontrolu a ovládání všech potřebných součástí domácího akvária, a to při zachování jednoduchosti a nízké pořizovací ceny.



# 1 Základní teorie akvaristiky

## 1.1 Historie

### 1.1.1 Počátky

Akvaristika v různých podobách provází lidstvo téměř od prvopočátku. Nejprve se jednalo spíše o chov ryb užitkových, tedy rybářství, ovšem už ve starověké Mezopotámii docházelo také k chovu ryb okrasných. Počátky akvaristiky byly prováděny spíše metodou pokusů a omylů, protože lidem nebyla známa velká část přírodních zákonitostí – životní potřeby chovaných ryb, způsob jejich rozmnožování a v neposlední řadě také procesy, odehrávající se v přírodním ekosystému, zajišťující jeho rovnováhu. Základem udržení chovaných ryb naživu byla zejména častá výměna vody, ani tak ale dlouho nebylo možné udržet ryby při životě dlouhodobě.

V období středověku se poprvé objevuje také dovoz exotických okrasných rybek z cizích zemí, pro naprostý nedostatek znalostí ale často brzo hynou, např. jen proto, že chovatele nenapadne je nakrmit [11].

### 1.1.2 Věda a technika

Na konci 18. století dochází k rozvoji vědy a několika objevům, které historii akvaristiky zásadně ovlivnili. Poprvé byl izolován kyslík, byl objasněn princip dýchání živočichů a následně také fotosyntéza. Akvaristika, v tehdejší době umělý chov ryb za účelem pozorování a výzkumu, byla provozována zejména na vědecké půdě a byl zde zájem o zdokonalení používaných technik a postupů. V roce 1837 S. H. Ward prakticky prokázal, že osvětlené akvárium obsahující jak rybky, tak i rostliny, vydrží velmi dlouho bez nutnosti výměny vody [11]. Princip výměny plynů byl významným milníkem ve snaze dosáhnout v akváriu rovnováhy podobné přírodnímu prostředí.

Při stále nových poznatcích o životních potřebách ryb a o akvariijní rovnováze bylo nutné přijít s různými technickými řešeními. Akvária 19. a 20. století už byla vytápěná a uměle okysličovaná. Původní mechanická řešení a lihové kahany byly postupně nahrazovány elektrickými přístroji. V pozdějších letech pak přibýlo i umělé osvětlení a systémy filtrace vody.

## 1.2 Rozdělení akvárií

Akvária je možné rozdělit na základě mnoha různých parametrů jako je např. velikost, materiál a tvar anebo jejich funkce. Pro účely této práce jsou však relevantní zejména rozdělení, která jsou zásadní pro rozsah použité akvaristické techniky.

V jednoduchosti lze tedy akvária rozdělit podle biotopu [12]:

- Sladkovodní
- Brakická – salinita přibližně 5 až 15 ‰
- Mořská – salinita přibližně 30 až 40 ‰

Asi není potřeba vysvětlovat, že pro akvária mořská a brakická nestačí použít běžnou kohoutkovou vodu, ale je potřeba ji před použitím upravit. Má-li být systém automatizován, je nutné přidat zařízení, které bude salinitu průběžně monitorovat a upravovat. Komplexní profesionální systémy tyto možnosti nabízejí, ale pořizovací cena je relativně vysoká (viz sekce 1.3.5). Lze tedy konstatovat, že po technické stránce je provoz sladkovodních akvárií jednodušší než provoz akvárií mořských.

Další dělení akvárií je možné z hlediska jejich obsazení:

- Čistě rostlinná akvária
- S běžnými druhy ryb
- Se speciálními druhy – zvýšené nároky na parametry vody

Rozsah použité akvaristické techniky a zejména požadavek na její přesnost je závislý na volbě umístěných druhů rostlin a živočichů. Každý druh má své optimální životní podmínky a zatímco některým živočichům se bude dařit ve vodě o teplotě v rozsahu klidně i 10 °C, jiné vyžadují téměř konstantní teplotu v rozsahu třeba jen 2 °C [13], to zásadně ovlivní požadavky na přesnost měření teploty i způsob její regulace. Stejně tak je tomu i s dalšími parametry.

Zařízení vytvořené v rámci této práce bude určeno pro použití v menším sladkovodním akváriu osazeném běžnými druhy rostlin a živočichů bez speciálních životních potřeb – tedy scénář běžného domácího akvaristy s omezeným rozpočtem. Není ale vyloučeno jeho budoucí rozšíření i pro náročnější aplikace.

## 1.3 Technické vybavení akvária

V této kapitole je uveden výčet základní akvaristické techniky nutné k provozu domácího akvária, rozčleněné podle svého účelu. Ve druhé části se text věnuje přehledu různých dostupných komplexních systémů zaměřujících se na automatizaci provozu akvária. Cílem kapitoly je seznámit čtenáře blíže s problematikou založení a provozu akvária a různými možnostmi technického zajištění jak domácích, tak i profesionálních akvárií.

### 1.3.1 Filtrace vody

Úkolem filtru je průběžně odstraňovat z vody nečistoty a to jak mechanické, tak zejména v podobě škodlivých látek vznikajících v akváriu. Filtrační materiál je volen tak, aby tvořil vhodné prostředí pro život filtračních bakterií, které se těmito



škodlivými látkami živí [14]. Rozlišujeme tři základní typy akvariijních filtrů – vnější, vnitřní a závěsné. Na obr. 1.1 se nachází ukázka vybraných zástupců jednotlivých typů.

**Vnější filtr** se rozumí zařízením umístěné obvykle ve skřínce pod akváriem, mívá připojeny dvě hadice – na vstup a výstup vody. Toto řešení je považováno za nejlepší, protože filtr není omezen rozměry a může tak dosahovat daleko vyššího výkonu a účinnější filtrace díky většímu množství filtračních materiálů.

**Vnitřní filtr** (někdy také ponorný) je levným, ale nepříliš účinným řešením pro malá akvária. Nachází se z velké části v akváriu a za pomoci motorku tlačí vodu přes obvykle molitanovou náplň.

**Závěsný filtr** je kompromisním řešením. Cenou i účinností filtrace se pohybuje mezi oběma zmíněnými typy. Nezabírá prostor uvnitř akvária a může tak využít větší objem filtrační hmoty než filtr vnitřní. Instalace je provedena zavěšením na stěnu akvária, je tedy velmi jednoduchá.



SUNSUN HJ-752  
*vnitřní filtr*



SUNSUN CBG-500  
*závěsný filtr*



Oase BioMaster 350  
*vnější filtr*

Obr. 1.1: Příklad různých typů filtrů. Fotografie převzaty z [1]

### 1.3.2 Osvětlení

Funkce osvětlení akvária je dvojitá. Jednak jde o estetický dojem z pohledu pozorovatele, kdy vhodné nasvícení přidává akváriu na atraktivitě. Druhá se osvětlení snaží nasimulovat osazenstvu akvária přirozené životní podmínky, aby celý ekosystém mohl fungovat.

Hlavními parametry při výběru svítidla je jeho **intenzita**, **spektrální charakteristika** a **spotřeba**.

Příliš intenzivní světlo zvyšuje riziko nežádoucí tvorby řas a pro ryby může být stresovým faktorem, nízká intenzita zase může způsobit špatný růst rostlin [15]. Na internetu existuje mnoho návodů a rad na stanovení správné intenzity, ale protože zde hraje roli spousta dalších parametrů jako např. výška hladiny nebo konkrétní typ rostlin, je vhodné tyto hodnoty brát pouze jako orientační a intenzitu osvětlení upravit během provozu podle potřeby. Výpočet se také liší pro jednotlivé typy svítidel.

Spektrum světla hraje roli hned z několika důvodů. Rostliny pro tvorbu chlorofylu a následnou fotosyntézu potřebují světlo zejména vlnových délek 440 nm (modrá barva) a 660 nm (červená barva) [16], pokud by zvolené osvětlení tyto vlnové délky neobsahovalo, nemohou rostliny správně fungovat. Akvárium osvětlené pouze těmito dvěma barvami by ale nevypadalo vizuálně dobře, proto se využívá také širokospektrální bílé světlo, které svým spektrem odpovídá co nejlépe dennímu světlu. Specializovaná svítidla pak nabízejí možnost napodobit světelné spektrum různých vodních prostředí a přizpůsobit se tak i rostlinám a živočichům žijícím ve velkých hloubkách.



Obr. 1.2: Trubice s LED páskem a manuální stmívač a časovač. Převzato z [1].

Na trhu jsou v současné době tři typy akvaristických světel: **zářivky**, **výbojky** a **LED svítidla** [17]. Zářivky jsou považovány za dnes již nepříliš moderní řešení a bývají nahrazovány LED svítidly, ty se vyznačují lepší účinností (tedy nižší spotřebou energie při stejné intenzitě světla), delší životností a širší paletou barev. U zářivek také nebylo možné plynule regulovat intenzitu, jako je tomu u LED, a dosáhnout tak např. postupného rozsvícení nebo zhasnutí světla simulujícího východ a západ slunce. Skoková změna při zapnutí nebo vypnutí světla je pro ryby také zbytečným

stresovým faktorem [13]. Co se týče výbojek, ty nacházejí uplatnění zejména pro hluboké nádrže, protože jejich světlo je bodové a intenzita dostačující k prosvícení velkého objemu vody, spotřeba energie je ale v porovnání s LED vysoká, takže pokud to není nezbytně nutné, je lepší se jim vyhnout.

Typické domácí akvárium je osvětleno jedním nebo několika samostatně stmívatelnými LED svítidly a to buďto v podobě LED pásků nalepených na hliníkovém profilu anebo hotového svítidla, ve kterém jsou čipy s LED zabudovány napevno. Stmívání je nastavováno buď ručně anebo za pomoci mobilní aplikace dodané výrobcem stmívače. Příklad běžně dostupného výrobku lze vidět na obr. 1.2.

### 1.3.3 Ohřev

Většina okrasných sladkovodních ryb běžně chovaných akvaristy pochází z tropických krajů a vyžaduje teplotu vody v rozmezí 22 – 26 °C [18], to je o něco málo vyšší teplota než bývá v domácnosti typická a proto je nutné zajistit akváriu možnost do-datečného ohřevu. Nejčastějším řešením je ponorné topné těleso na odporové bázi s vlastní termostatovou regulací, viz obr. 1.3.



Obr. 1.3: SUNSUN topítko 100W s termostatem. Převzato z [1].

Z principu fungování termostatu vyplývá, že výsledná teplota vody není v čase konstantní, ale osciluje okolo nastavené hodnoty. Rozsah kolísání teploty je pak

závislý na hysterezi termostatu, obecně lze říci, že to může být i několik stupňů. Pro většinu aplikací to není velký problém, ale některé druhy ryb mohou být na změny teploty náchylnější, v takovém případě je potřeba buďto vybrat topítko takové, kde výrobce rozsah teplot uvádí, anebo zvolit jiný způsob regulace.

### 1.3.4 Monitorování

Jak již vyplynulo z úvodních kapitol, v akváriu probíhá celá řada procesů ovlivňujících jeho stav. Klíčem k vytvoření prosperujícího akvária je dosažení rovnováhy a stability mezi nimi za pomoci vhodně nastavené akvarijní techniky. Nejen u začínajících akvaristů se mohou vyskytnout problémy s růstem rostlin, zdravím ryb nebo třeba výskytem řasy. Odhalit příčiny těchto problémů může být mnohdy obtížné, ovzvláště pokud není k dispozici dostatečné množství informací o tom, co se v akváriu děje.

Existuje několik veličin, které úzce souvisí s procesy v akváriu a které je možné také poměrně jednoduše sledovat. Na trhu je celá řada produktů sloužících k tomuto účelu. Většinou je na výběr možnost analogového nebo čistě mechanického přístroje případně samostatného digitálního čidla, existují však také komplexní řešení, těm se dále věnuje kapitola 1.3.5.

#### Teplota

Umístěním teploměru (ať už v analogové nebo digitální podobě) do akvária je možné zkontrolovat správné nastavení topného tělesa a následně provést jeho úpravu. Také lze včas získat informaci o jeho případné poruše a nebo třeba jen nedostatečném výkonu.

#### pH a CO<sub>2</sub>

Hodnota pH popisuje kyselost resp. zásaditost měřeného vodného roztoku. Běžně se používá logaritmická stupnice s hodnotami 0 až 14, přičemž zcela neutrální voda má pH rovno 7, menší hodnoty mají roztoky kyselé a větší než 7 pak roztoky zásadité. Obecně lze říci, že pro ryby je vyhovující pH v rozsahu 6 až 8 [18].

Důležitým parametrem vody z pohledu rostlin a ryb je koncentrace CO<sub>2</sub>. Přirozeně platí, že rostliny CO<sub>2</sub> spotřebovávají při fotosyntéze a jistá koncentrace je tedy nutná pro jejich prosperitu, naopak příliš vysoká koncentrace může být nebezpečná pro ryby, kterým (obdobně jako např. lidem) komplikuje dýchání. Obsah CO<sub>2</sub> ve vodě je obtížné přímo měřit, jeho měnící se koncentrace má ale vliv právě na hodnoty pH, s rostoucí koncentrací CO<sub>2</sub> se pH vody snižuje a obráceně [19, 15].

K měření pH vody se používají různé chemické testy (kapkové testy, testovací papírky), které je možné zakoupit v chovatelských potřebách. Z pohledu automatizace je mnohem zajímavějším řešením pH sonda, která umožňuje nepřetržité měření této veličiny a případnou okamžitou regulaci dávkování CO<sub>2</sub>.

### 1.3.5 Dostupná komplexní řešení

Tato sekce se věnuje porovnání několika nejznámějších systémů v oblasti automatizace akvárií. Je důležité připomenout, že ve všech oblastech elektrotechniky dochází k rychlému rozvoji a každý rok se na trhu objevují nové produkty se stále lepšími parametry a nižší cenou. Informace uvedené v této kapitole, a to zejména cenové údaje, se mohou velmi rychle stát neaktuálními a jsou tedy relevantní pouze v době vzniku této práce.

Při tvorbě této kapitoly byly jako zdroj informací použity jednak oficiální materiály výrobců, ty ovšem samozřejmě obsahují vždy pouze pozitivní informace, dále pak různé uživatelské recenze na platformě YouTube popř. diskuzních fórech, nejedná se o zcela seriózní zdroje a proto je nutné také informace z této kapitoly brát s rezervou.

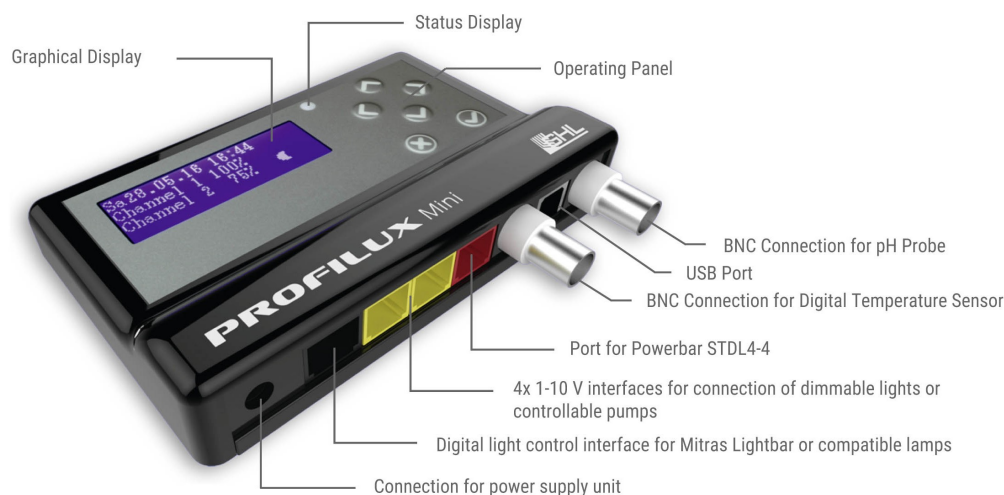
#### **GHL – ProfiLux**

Německá firma GHL se v oblasti akvaristiky pohybuje již přes 20 let a patří nepochybně ke špičce na trhu z hlediska komplexity a spolehlivosti. Základem jejich systému ProfiLux je kontrolér (např. nejmenší varianta viz obr. 1.4), který je možné konfigurovat z PC za pomoci kabelu anebo vzdáleně s použitím aplikace nebo webového rozhraní. Ke kontroleru lze připojit celou řadu periférií z portfolia firmy, jedná se o různé typy senzorů, dávkovače (pro úpravu parametrů vody), pumpy nebo říditelný prodlužovací přívod pro síťové zásuvky (laicky řečeno „chytrá prodlužovačka“). Společnost si zakládá na opravdu vysoké kvalitě a přesnosti svých výrobků, což se ale odráží také na jejich ceně.

Na výběr je z několika variant systému, přičemž ty nejdražší dokážou obsloužit i opravdu rozsáhlé a náročné akvaristické instalace. Cena nejlevnějšího základního setu je přibližně od 10 000 Kč [2, 20].

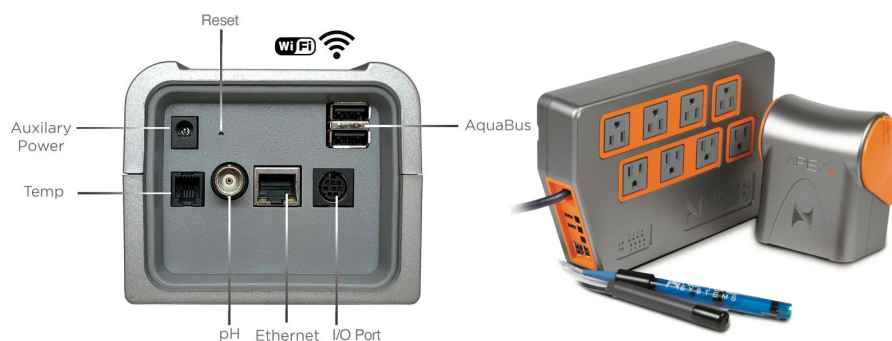
#### **Neptune Systems – Apex**

Systém Apex je nepochybně další ze světových leaderů v této oblasti. Opět je k dispozici několik variant systému podle požadavků a finančních možností uživatele a systém je také velmi modulární. Stejně jako firma GHL, i Neptune Systems je na trhu více než 20 let a jedná se tedy o léty ověřenou značku. Architektura systému



Obr. 1.4: GHL ProfiLux Mini, nejmenší dostupný kontroler této firmy. Převzato z [2].

je podobná a kromě samotného kontroleru je opět v nabídce celá řada kompatibilních periférií. Dle uživatelských recenzí je konfigurace systému oproti GHL výrazně jednodušší a není nutná znalost programování, navíc systém už od výroby obsahuje přednastavené nejčastější scénáře použití.



Obr. 1.5: Neptune Systems Apex EL, základní set. Převzato z [3].

Cena opět závisí na množství zakoupených modulů, základní set s podobnou výbavou jako u GHL je k dispozici přibližně od 12 000 Kč [21, 3].

## CoralVue – HYDROS

Firma CoralVue se svým systémem HYDROS je na trhu oproti svým konkurentům relativně krátce, přibližně 3 roky, svým originálním přístupem a cenově dostupným řešením si ale své zákazníky našla rychle. Systém je svou architekturou ještě více



modulární než jeho konkurenti, umožňuje v rámci jedné aplikace spojit i více kontrolerů, které mezi sebou komunikují. Dokonce v případě poruchy hlavního kontroleru dokáže jeho roli převzít jiný připojený kontroler a systém tak zůstane dále v provozu.

Kromě bezdrátově řízeného modulu se čtyřmi síťovými zásuvkami nově firma nabízí také modul, který krom zásuvek obsahuje i vlastní kontroler (Control XP8, viz obr. 2.2), může tak fungovat zcela samostatně, stále však umožňuje také drátové spojení s dalšími kontrolery nebo bezdrátové připojení k dalším zásuvkám. Toto může sloužit jako jednoduché univerzální řešení pro menší akvária s možností budoucího rozšíření.



Obr. 1.6: CoralVue HYDROS Control X2 Starter pack. Převzato z [4].

Základní minimální sada je dostupná již od přibližně 4500 Kč, aby byla ale výbava stejná jako u výše zmíněných konkurentů je potřeba dokoupit ještě pH sondu za přibližně 800 Kč [6, 4].

## Seneye

Společnost Seneye nenabízí komplexní řešení pro automatizaci, ale i přesto jsou její produkty zajímavé a pro mnoho akvaristů mohou být skutečně užitečné. Místo pokročilého ovládání akvarijní techniky se výrobky zaměřují pouze na monitorování parametrů vody (popř. dalších veličin), důraz je kladen na maximální jednoduchost použití. Vnitřním sladkovodním akváriím je věnována řada Seneye Home a veškeré monitorování je zajištěno jedním malým zařízením, které uživatel přímo ponoří do vody a pomocí kabelu připojí k počítači ze kterého se zařízení napájí a zároveň do něj odesílá data. Alternativně lze přikoupit také krabičku, která slouží jako webserver, do ní se zařízení připojí namísto počítače a data jsou rovnou zálohována do cloudu, odkud jsou uživateli dostupná v mobilní aplikaci.

Zařízení monitoruje teplotu, pH, úroveň škodlivého amoniaku, osvětlení a hladinu vody. Umožňuje také odesílat oznámení při překročení nastavené meze některého z parametrů.



Obr. 1.7: Seneye Home a Seneye Web Server, převzato z [5].

Cena samotného monitorovacího zařízení je přibližně 3000 Kč a podobná je také cena zmíněného webserveru, pro automatické monitorování se zálohou na cloud je tedy potřeba počítat s investicí okolo 6000 Kč [5].



## 2 Systémový návrh

Tato část práce popisuje proces návrhu vlastního zařízení, který by měl být výstupem této práce. Věnuje se konkretizaci požadavků na zařízení a koncepčního návrhu na systémové úrovni, který je zde podpořen blokovým schématem. Po celou dobu tvorby zařízení bude kladen důraz na požadavky stanovené v této kapitole a na jejich základě budou tvořena vhodná technická řešení. Detailně se jednotlivým blokům a jejich návrhu věnuje kapitola 3.

### 2.1 Požadavky

Cílem je vytvořit zařízení, které umožní co nejvíce automatizovat provoz akvária. Hlavním aspektem by měla být jednoduchost použití pro koncového uživatele, vše by mělo být nanejvýš intuitivní a přehledné. Zařízení musí mít možnost připojení k internetu prostřednictvím sítě Wi-Fi, uživatel tak bude moci zařízení konfigurovat a sledovat z libovolného místa za pomoci webové stránky popř. mobilní aplikace.

Požadavky jednotlivých akvaristů se mohou lišit a zároveň se v čase měnit. Vytvoření dokonalého a všestaránného zařízení, které vyhoví všem účelům použití není v časových ani finančních možnostech bakalářské práce, proto byl stanoven požadavek, aby bylo zařízení co nejvíce modulární a rozšiřitelné. Musí být zvolena taková architektura, aby bylo možné v budoucnu přidat další funkce a periferie bez nutnosti modifikovat stávající hardware.

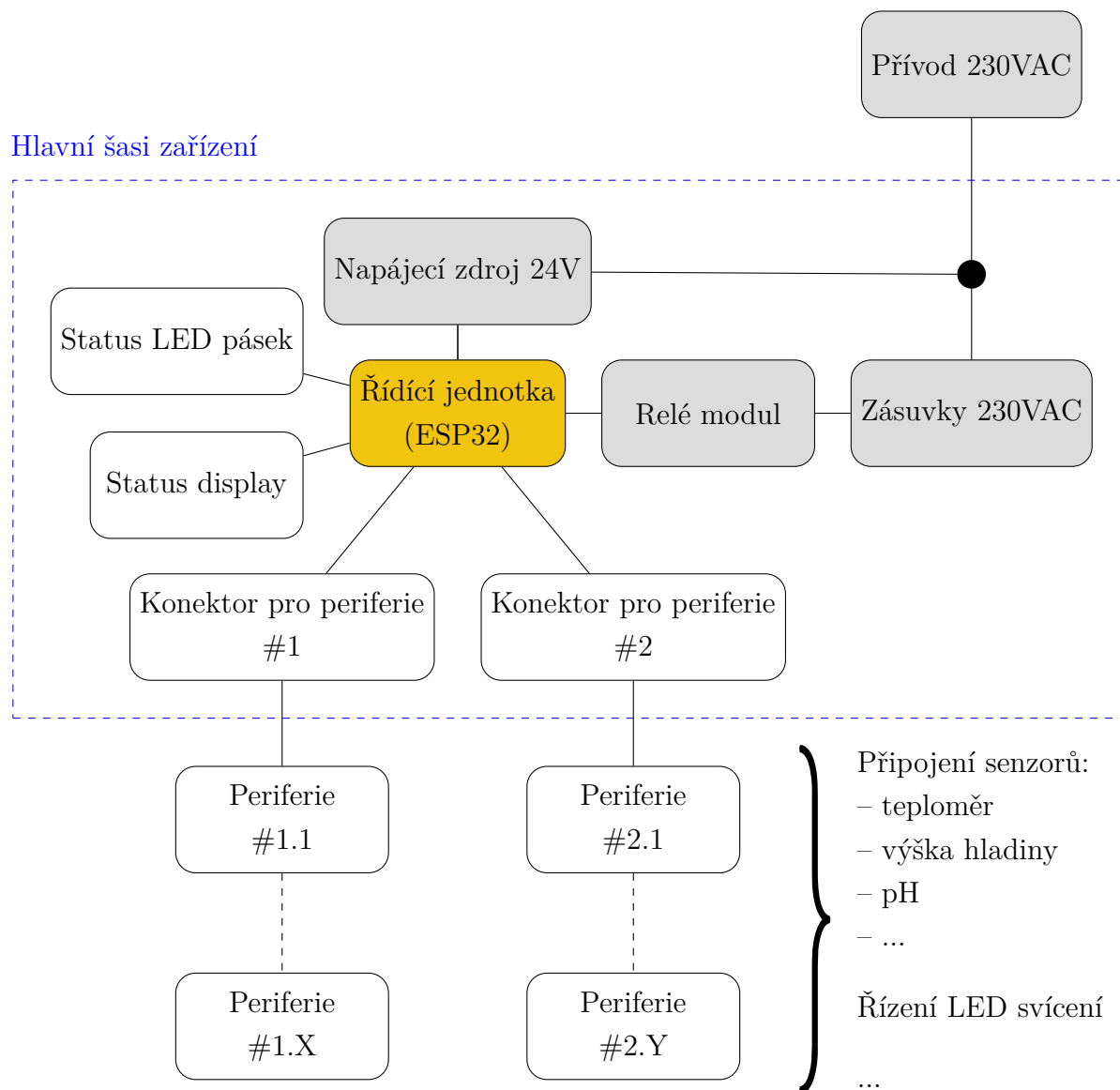
Výstupem bakalářské práce by mělo být zařízení schopné monitorovat některé akvaristické veličiny a na základě jejich hodnoty informovat uživatele a ovládat akvárium. Zařízení bude přímo řídit LED páskové osvětlení na 12 nebo 24 V a spínat popř. vypínat již existující akvaristické přístroje pracující se síťovým napětím 230 V.

Jelikož modulární architektura bude nepochybně vyžadovat použití více než jednoho mikrokontroleru a tedy také více různých firmwarů, je potřeba zajistit jejich vzájemnou kompatibilitu a stabilitu celého systému. Veškerý firmware tak musí být verzovaný a po připojení nové periferie musí řídicí jednotka rozpoznat, o jakou periferii se jedná. V případě připojení nekompatibilní periferie (např. z důvodu zastaralého firmwaru řídicí jednotky) musí být uživatel upozorněn a nesmí být nijak narušena funkce zbytku systému. Aby bylo možné těmto situacím předejít, musí mít řídicí jednotka možnost vzdálené aktualizace firmwaru.

### 2.2 Blokové schéma

Blokové schéma zařízení se nachází na obr. 2.1. Pro pohodlné použití je hlavní část zařízení soustředěna do jedné krabičky napájené přívodním síťovým kabelem. Uživa-

tel pak dle potřeby připojí příslušenství pracující s napětím 230 V do integrovaných síťových zásuvek a veškeré další periferie za pomoci jednoho z univerzálních konektorů. O stavu zařízení bude uživatel informován sérií notifikačních LED a malým displayem. Pro ilustraci je na obr. 2.2 uveden jeden z produktů řady HYDROS, který zvolil podobnou koncepci.



Obr. 2.1: Blokové schéma systému.

Pro napájení vlastní elektroniky zařízení bude v šasi umístěn hotový modul spínaného zdroje převádějící síťové napětí 230 V na stejnosměrných 24 V se kterými pak zařízení dále pracuje (viz sekce 3.2.3).

Z hlediska bezpečnosti je potřeba zajistit, aby se uživatel ani samotná nízkonapěťová část obvodu nemohli dostat do kontaktu s nebezpečným napětím. Toho



Obr. 2.2: Ilustrační obrázek pro vzhled zařízení. CoralVue HYDROS Control XP8, převzato z [6].

bude dosaženo galvanickým oddělením částí zařízení pracujících se síťovým napětím. V blokovém schématu (obr. 2.1) jsou všechny tyto části podbarveny šedou barvou. Galvanického oddělení bude zajištěno použitím vhodných komerčně dostupných modulů, které již mají tento problém vyřešen. U relé modulu je potřeba zvolit variantu s optočlenem a pro napájecí zdroj s výstupem 24 V pak zkontrolovat v dokumentaci přítomnost galvanického oddělení.



## 3 Návrh dílčích bloků

Tato kapitola se důkladněji věnuje návrhu jednotlivých částí zařízení tak, aby splnily požadavky specifikované v sekci 2.1. Je zde vždy stručně rozebrána problematika týkající se daného modulu, popsán princip jeho funkce a následně rozvedeny důležité části elektrického schématu spolu s výběrem vhodných komponent.

### 3.1 Komunikační rozhraní

Komunikační rozhraní mezi řídicím modulem a periferiemi není samo o sobě funkčním modulem, ale je zde rozebráno jako první, protože právě od jeho specifikace se následně odvíjí tvorba zbytku zařízení.

Úkolem rozhraní je obousměrně komunikovat s periferiemi, tedy např. stahovat data z připojených sensorů a zároveň za pomoci příkazů periferie řídit. Kromě datové komunikace musí rozhraní periferie také napájet a to i v případě energeticky náročnějších obvodů jako např. osvětlení.

#### 3.1.1 Výběr datové sběrnice

##### Srovnání sběrnic

Existuje celá řada datových sběrnic, které jsou v elektrotechnice hojně využívány. Každá z nich má své výhody a nevýhody stejně jako jisté limitace použití. V tab. 3.1 se nachází výčet různých sběrnic, které byly při výběru uvažovány.

Protože hlavní šasi zařízení nabízí dva konektory, ale žádoucí je připojit větší předem nedefinovaný počet periférií, je potřeba, aby sběrnice umožnila připojení více zařízení. Obecný problém všech sběrnic je omezení jejich maximální délky, s rostoucí délkou se sběrnice snáze zaruší, navíc z důvodu parazitních vlastností vedení dochází k zaoblení ostrých hran signálu, dlouhé vedení se chová jako filtr typu dolní propust. V důsledku toho se snižuje maximální rychlost sběrnice.

Sběrnice SPI nebo I<sup>2</sup>C je obecně doporučeno používat pouze v rámci DPS, tedy na krátké vzdálenosti. Při snížení rychlosti je možné je používat i na větší vzdálenost, ovšem modulární scénář vytvářeného systému teoreticky nestanovuje žádný délkový limit a bylo by velmi obtížné spolehlivě určit, kolik periférií uživatel může za sebe zapojit při zachování spolehlivé komunikace.

Sběrnice CAN je určena pro provoz v průmyslovém prostředí (zejména je používána v automobilovém průmyslu) a díky své robustnější konstrukci ji lze bez problému použít i na delší vzdálenosti a pro více zařízení. Při komunikaci je používán diferenční pár vodičů, takže i odolnost proti rušení je výrazně lepší. Velkou nevýhodou je ale její složitá a drahá implementace. Většina běžných mikrokontrolerů

Tab. 3.1: Datové sběrnice, porovnání [9].

Typ	Výhody	Nevýhody	Limitace
SPI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Více zařízení na sběrnici</li> <li>- Vysoká rychlost přenosu dat</li> <li>- Jednoduchý protokol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutný CS pin pro každé zařízení</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Určeno na krátkou vzdálenost</li> </ul>
I <sup>2</sup> C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pouze 2 piny</li> <li>- Více zařízení – 128 adres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riziko kolize adres</li> <li>- Nižší rychlost přenosu dat proti SPI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Určeno na krátkou vzdálenost</li> </ul>
CAN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vysoká spolehlivost</li> <li>- Dlouhé propojení</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vyšší náklady na implementaci</li> <li>- Nižší rychlost přenosu dat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nepodporovano běžnými MCU – nutný externí řadič</li> </ul>
UART	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jednoduchá implementace</li> <li>- Možnost asynchronní komunikace</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nižší rychlost přenosu dat proti SPI</li> <li>- Pouze 2 zařízení</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pouze 2 zařízení</li> <li>- Určeno na krátkou vzdálenost</li> </ul>

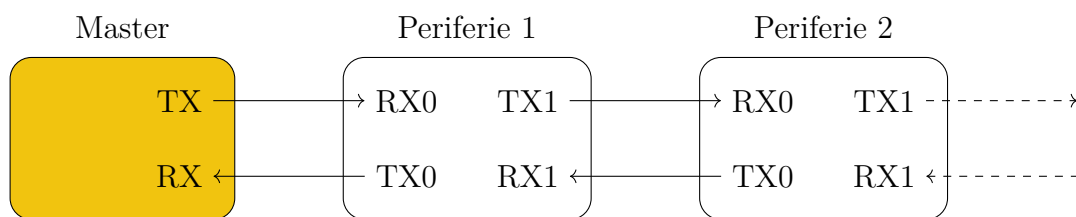
nemá pro CAN vestavěnou periférii a je tak třeba připojit externí ovladač připojený např. přes SPI, dále je vhodné přidat i řadič, aby sběrnice mohla pracovat s vyšším provozním napětím, 12 nebo 24 V.

### Zvolené řešení

Po důkladné rešerši a zvážení zmíněných problémů bylo zvoleno řešení inspirované adresovatelnými LED pásky (např. NEOPIXEL). Princip spočívá v řetězení jednotlivých zařízení za sebe. Nejsou ale připojeny ke stejné sběrnici, každé z nich je zvlášť připojeno ke svým dvěma sousedním zařízením, se kterými komunikuje pomocí rozhraní UART. Uživatel tak může do série zapojit libovolné množství zařízení a na kvalitu komunikace to nebude mít vliv. Jednotlivé úseky jsou definované délky, pro kterou je komunikace řádně otestována. Znázornění se nachází na obr. 3.1.

Pro komunikaci mezi jednotlivými zařízeními byl zvolen UART z důvodu velmi snadné implementace a flexibilního nastavení rychlosti. Při výběru mikrokontroleru pro periférie stačí zvolit libovolný model se dvěma UART rozhraními, toto kritérium splňuje většina mikrokontrolerů.

Adresace jednotlivých periférií bude řešena protokolárně, na úrovni firmwaru použitých mikrokontrolerů.



Obr. 3.1: Ukázka koncepce sběrnice pro periferie.

### 3.1.2 Počet a funkce vodičů

Z hlediska datové komunikace jsou zapotřebí dva vodiče (TX a RX), kromě toho je ale nutné periferiím dodat napájení. Většina periferií by měla být v principu dosti jednoduchá a energeticky nenáročná zařízení, typicky obsahující mikrokontroler pracující s napětím 3,3 nebo 5 V s jedním nebo několika málo připojenými senzory. Pro jejich napájení postačí další dva vodiče, jeden zemní, společný i pro datové vodiče, a druhý s napětím 5,2 V. Periferie musí být navrženy tak, aby je drobné změny této hodnoty neovlivnily. V případě několika periferií zapojených za sebe bude na delším vedení zákonitě docházet k poklesu napětí, proto byla zvolena návrhová rezerva 0,2 V, která na základě praktického testu bude možná v budoucnu ještě navýšena. Každá periferie musí obsahovat vlastní regulátor, kterým si pro svůj provoz vytvoří potřebné stabilní napětí 5 nebo 3,3 V.

Tab. 3.2: Popis vodičů komunikačního rozhraní periferií.

Č.	Zkratka	Popis	Napětí
1	24V	Napájení z externího zdroje, pro náročné periferie	24 V
2	GND0	Zem pro výkonové napájení	0 V
3	5V	Napájení pro MCU periferií	5,2 V
4	GND1	Zem pro datové linky a napájení MCU	0 V
5	TX	Datový výstup	0 až 3,3 V
6	RX	Datový vstup	0 až 3,3 V

Některé periferie mohou mít vyšší výkonové nároky a navržené nízkonapěťové napájení by jim nemuselo stačit, zároveň by vysokým odběrem proudu klesala stabilita celé sběrnice. Pro tyto periferie je proto potřeba přivést další napájecí větev, opět o dvou vodičích. Krom zemního vodiče přivedeme napájení 24 V, které pochází přímo z externího zdroje v hlavním šasi zařízení. Daná periferie pak musí obsahovat vlastní měnič, kterým si vytvoří napětí o potřebné velikosti.

Všechny zmíněné vodiče jsou pro lepší přehlednost shrnuty v tab. 3.2.

### 3.1.3 Konektor

Hlavní šasi bude disponovat dvěma konektory typu samice. Každá periferie bude mít napevno připevněn kabel zakončený konektorem typu samce a na své krabičce pak opět jeden konektor typu samice. Periferie tedy bude možné připojit buďto přímo do jednoho ze slotů hlavního šasi anebo do série s některou jinou již připojenou periferií.

V principu lze zvolit jakýkoliv typ konektoru disponující alespoň šesti piny, musí však být možné konektor pohodlně použít jak na zakončení kabelu, tak i jako montovaný do panelu, např. na hlavním šasi. Volba konkrétního typu dosud nebyla provedena.

## 3.2 Řídící jednotka

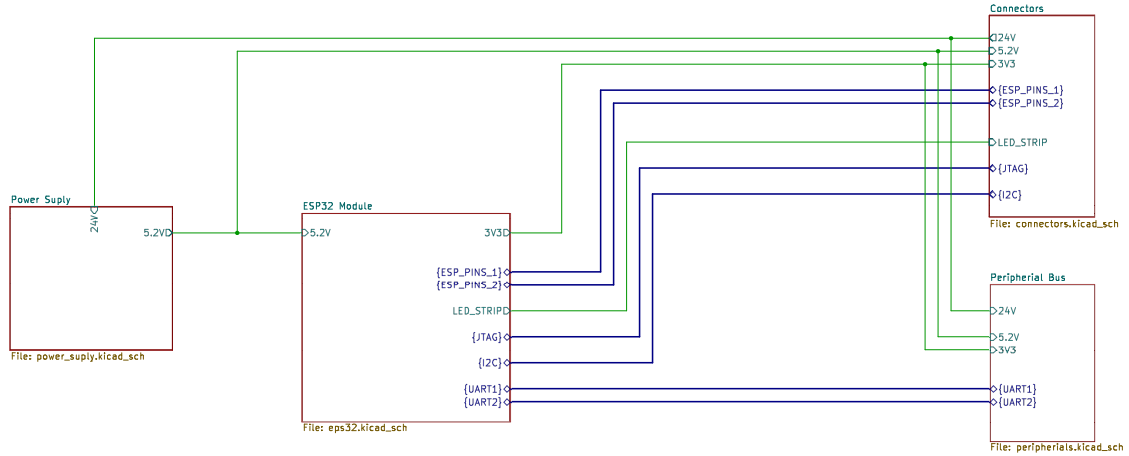
Jedná se o jádro celého zařízení. Její funkcí je řízení celého systému a zároveň komunikace s uživatelem za pomoci Wi-Fi. Musí v sobě nést informaci o konfiguraci systému a na jejím základě zpracovávat data z jednotlivých připojených periferií. Podle uživatelem nastavených scénářů pak dynamicky reaguje na změny hodnot měřených akvaristických veličin a ovládá akční členy (osvětlení, ohřev, filtr vody). Za pomoci displaye a LED pásku také informuje uživatele o momentálním stavu zařízení.

Řídící jednotka bude tvořena jednou speciálně navrženou DPS, která kromě samotného mikrokontroleru bude obsahovat také obvody ke snížení napájecího napětí externího zdroje na hodnotu 5,2 V (odůvodnění v sekci 3.1.2). Toto napětí pak bude dále používáno pro napájení samotného mikrokontroleru řídicí jednotky a zároveň vyvedeno na konektor pro připojení periferií. Blokové schéma na úrovni logických bloků v rámci jedné DPS je na obr. 3.2, jednotlivým částem se blíže věnují další sekce. Celé schéma je k dispozici v příloze TODO REF.

### 3.2.1 MCU

Při výběru vhodného mikrokontroleru bylo potřeba zohlednit výše zmíněné požadavky, tedy zejména Wi-Fi konektivitu a dostatečný výkon k její obsluze, dvě volné UART periferie a dostatek GPIO pinů pro připojení zbylých modulů v hlavním šasi (viz obr. 2.1). Na trhu existuje vícero výrobců nabízejících mikrokontrolery s vhodnými parametry, z důvodu jednoduchosti použití a nízké ceny byl nakonec zvolen model ESP32 od firmy Espressif, konkrétně modul WROOM-32E [10] s čipem ESP32-D0WDR2-V3 [22]. Tento modul je často využíván v různých hobby projektech, ale také v komerčních aplikacích zejména v oblasti chytré domácnosti. Z tohoto





Obr. 3.2: Blokové schéma řídicí jednotky. Vytvořeno v KiCad 7.0.

důvodu k němu existuje velká škála softwarových knihoven a v rámci komunity uživatelů je také sdíleno mnoho projektů, kterými je možné se inspirovat.

### 3.2.2 Zapojení ESP32 modulu

Při tvorbě schématu bylo vycházeno z dokumentace výrobce [10] a také ze schématů různých existujících vývojových desek. K zajištění správné a spolehlivé funkce modulu je potřeba dodržet několik věcí. Výřez schématu obsahující potřebné doplňující obvody je na obr. 3.3.

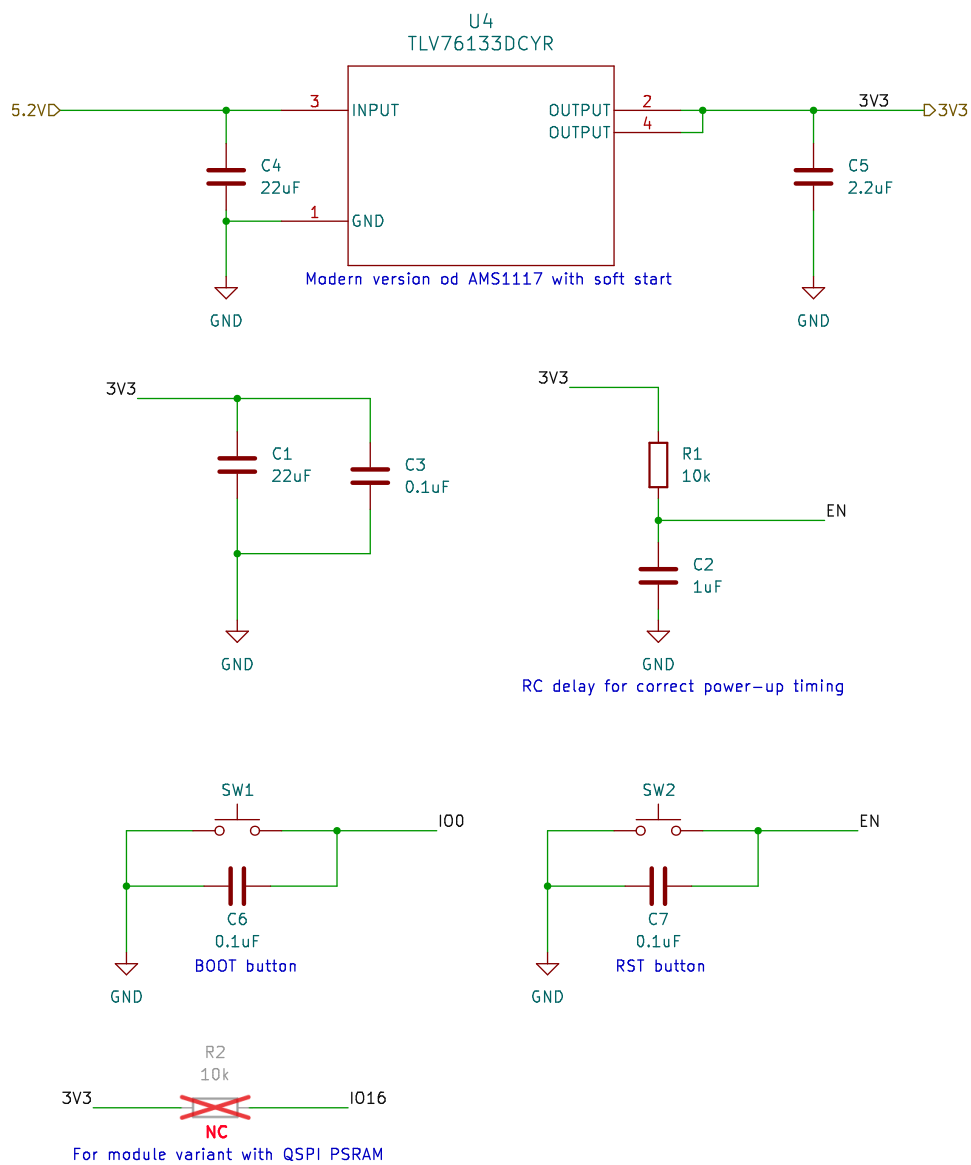
Na napájecí pin (3V3) je třeba přivést stabilní napětí a opatřit ho blokovacími kondenzátory (C1, C3). Ke snížení napětí z původních 5,2 V na požadovaných 3,3 V je použit lineární regulátor TLV76133 (U4).

Dále je potřeba přivést kladné napětí na povolovací pin (EN), z dokumentace vyplývá, že by mělo být přivedeno až po ustálení napájecí linky. Uvedený čas nutný ke stabilizaci je roven  $t_{STBL} = 50 \mu s$  [22]. Požadované zpoždění zajistí RC článek (R1, C2) s časovou konstantou  $\tau$  :

$$\tau = R_1 C_2 = 10 \text{ k}\Omega \cdot 1 \mu\text{F} = 10 \text{ ms} \quad (3.1)$$

Jak je vidět, byla zvolena dostatečná návrhová rezerva.

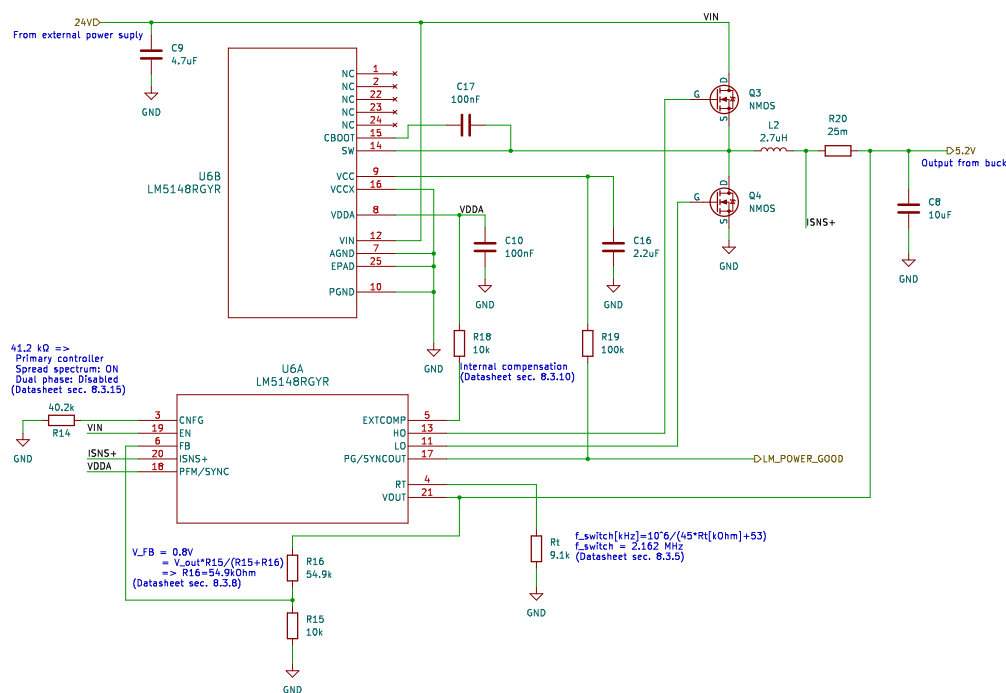
Pro možnost resetu zařízení a nahrání nového firmware byla doplněna také dvě tlačítka (SW1, SW2)



Obr. 3.3: Podpůrné obvody pro modul ESP32-WROOM-E. Vytvořeno v KiCad 7.0.

### 3.2.3 Napájecí obvod

Pro napájení celého zařízení bude použit externí zdroj stejnosměrného napětí 24 V, toto napětí bude rozvedeno všem připojeným periferiím (viz sekce 3.1.2). Pro většinu komponent ale bude nutné napětí snížit, k tomuto účelu bude využit DC/DC měnič typu buck s požadovaným výstupním napětím 5,2 V. Existuje celá řada čipů vyvinutých pro tento účel. Aplikace v tomto zařízení je specifická svými požadavky na výstupní proud, zatímco samotná řídicí jednotka nebude odebírat velký proud, není jasně dané, kolik periferií a s jakými výkonovými požadavky uživatel k systému připojí. Navržený měnič tak musí fungovat v širším rozsahu proudů (řádově od desítek mA po jednotky A) a to s co nejlepší účinností.



Obr. 3.4: Napájecí obvod řídicí jednotky. Vytvořeno v KiCad 7.0.

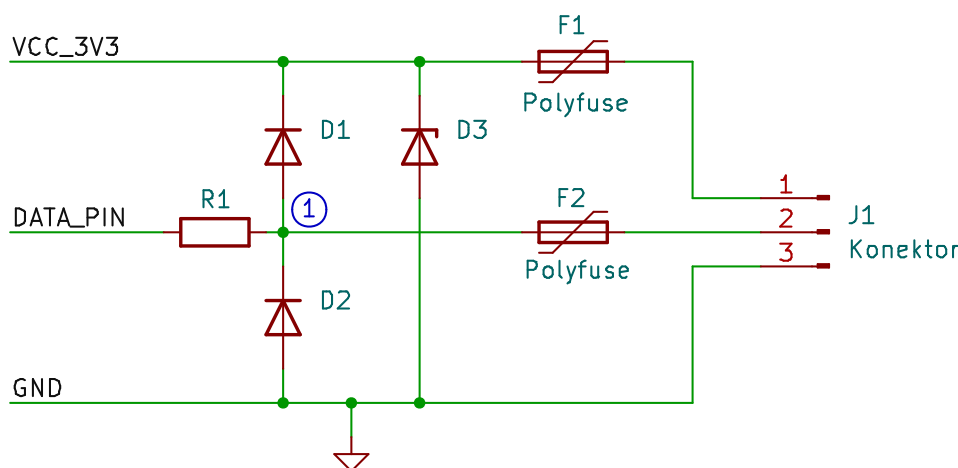
Po zvážení výše zmíněných požadavků byl jako základ buck měniče zvolen čip LM5148 [23], jedná se o moderní součástku firmy Texas Instruments s velkou výkonovou rezervou. Jelikož funguje pouze jako regulátor a je potřeba doplnit zapojení externími MOSFET tranzistory, většina tepelných ztrát vzniká právě na nich, čímž se sníží ohřev samotného čipu a zjednoduší chlazení. Na volbě tranzistorů závisí také výsledná účinnost měniče. Při návrhu zapojení této součástky byl použit nástroj Webench Power Designer [24], který podle zadaných parametrů navrhne konkrétní schéma zapojení, provede simulaci a zobrazí grafy upravené na míru podle zvolených hodnot. Tento nástroj uvádí přibližnou účinnost zapojení jako 88 %. V navrženém

schématu bylo posléze provedeno několik drobných změn, aby vše odpovídalo požadavkům uvedeným v katalogovém listu součástky [23]. Výsledné zvolené zapojení se nachází na obr. 3.4. V obrázku se nachází také odkazy ke konkrétním kapitolám katalogového listu relevantních k volbě hodnot vybraných součástek.

### 3.2.4 Ochrana konektorů

Při návrhu elektronických obvodů je dobré myslet na různé problémy a poruchy, které by při provozu mohly nastat. Kromě snahy problémům předejít je důležité zařízení uzpůsobit pro maximální potlačení jejich následků. Důvodů k ochraně navrhovaných obvodů je několik, na prvním místě by měla být vždy bezpečnost – zařízení by při případné poruše např. nemělo způsobit požár, výbuch ani jinou podobnou situaci. Dalším důvodem je pak ochrana samotného zařízení a to zejména jeho drahých komponent. Přepětí na napájení nebo zkrat na konektoru nesmí mít za následek zničení procesoru popř. jiné dražší elektroniky [25].

Citlivým místem z hlediska ochrany jsou odkryté části zařízení, typicky uživateli přístupné konektory, v případě zde popisovaného zařízení zejména konektory pro připojení periférií vyžadují při návrhu zvýšenou pozornost. Největším rizikem u konektorů je elektrostatický výboj (ESD) při doteku uživatele popř. zkrat mezi jednotlivými vodiči při špatné manipulaci s konektorem nebo doteku vodivým předmětem, v případě zařízení pro akvaristiku není vyloučen ani kontakt s vodou.



Obr. 3.5: Ochrana konektorů řídicí jednotky, principiální schéma. Vytvořeno v KiCad 7.0.

## Princip zvolené ochrany

Na obr. 3.5 je znázorněn princip použité ochrany proti přepětí na datové lince. Toto zapojení je účinné jako proti ESD, tak i proti zkratu [26]. Je tvořeno několika stupni. Předmětem ochrany je zejména datový pin mikrokontroleru (na obr. jako DATA\_PIN). V případě ESP32 je povolený rozsah napětí na datovém pinu  $-0,3\text{ V}$  až  $3,6\text{ V}$  a maximální přípustný vstupní proud  $28\text{ mA}$ , viz tab. 3.3.

Pokud se na pinu 2 konektoru (J1) objeví vyšší napětí, než je hodnota  $V_{CC} + V_f$ , kdy  $V_f$  je prahové napětí diody (D1, resp. D2), stane se dioda (D1) propustnou, napětí se dále nezvyšuje a přebytečný proud je skrze tuto diodu odveden do napájecí větve (VCC\_3V3), obdobné chování pro záporné napětí zajistí dioda D2. Pokud by napájecí větev nebyla schopná přebytečný proud odvést a hrozil by na ní nárůst napětí, dojde k otevření stabilizační Zenerovy diody (D3) a disipaci energie v podobě tepla. Aby nedošlo k trvalému tepelnému poškození diod, je v obvodu zařazena vratná pojistka (ang. polyfuse, PPTC; ve schématu konkrétně F2). Při překročení povoleného proudu se pojistka zahřeje a v návaznosti na to výrazně zvýší svůj odpor, čímž proud stabilizuje na pevně danou úroveň.

Pro případ zkratu na napájení je přidána ještě jedna vratná pojistka (F1), která limituje proud napájecí větve na bezpečnou úroveň.

Ve skutečném schématu (viz příloha *TODO: doplnit*) jsou diody nahrazeny ekvivalentním integrovaným obvodem.

Tab. 3.3: Elektrické parametry ESP32, výňatek z [10], platné pro  $V_{DD} = 3,3\text{ V}$ .

Parametr	Popis	Min	Typ	Max
$V_{IH}$ (V)	High-level input voltage	2,475	–	3,6
$V_{IL}$ (V)	Low-level input voltage	-0,3	–	0,825
$I_{IH}$ (nA)	High-level input current	–	–	50
$I_{IL}$ (nA)	Low-level input current	–	–	50
$I_{OH}$ (mA)	High-level source current	–	40	–
$I_{OL}$ (mA)	Low-level sink current	–	28	–

## Výpočet hodnot součástek

Při použití diody s  $V_f = 0,7\text{ V}$  je maximální napětí v uzlu ① rovno:

$$V_1 = V_{CC} + V_f = 3,3 + 0,7 = 4\text{ V} \quad (3.2)$$

Pro omezení proudu do pinu mikrokontroleru je do linky zařazen sériový rezistor (R1). Počítejme s napětím na pinu rovnému  $V_{pin} = 3,3\text{ V}$  a maximálnímu přípustnému proudu  $I_{OL} = 28\text{ mA}$ . Minimální hodnota odporu rezistoru se pak stanoví

následujícím způsobem:

$$R_1 = \frac{V_1 - V_{pin}}{I_{OL}} = \frac{4 - 3,3}{28 \cdot 10^{-3}} = 25 \Omega \quad (3.3)$$

Je možné zvolit také větší hodnotu odporu a z hlediska ochrany si tak zajistit jistou návrhovou rezervu, příliš velká hodnota by však způsobila zhoršení přenosové rychlosti sběrnice. Pokud by ale došlo k opačnému problému a to ke zkratování výstupu z pinu se zemí (GND), byl by při hodnotě  $25 \Omega$  překročen maximální povolený výstupní proud z pinu ( $I_{OH} = 40 \text{ mA}$ ). Hodnota odporu z hlediska takového zkratu by tedy musela být minimálně:

$$R_1 = \frac{V_{pin}}{I_{OH}} = \frac{3,3}{40 \cdot 10^{-3}} = 82,5 \Omega \quad (3.4)$$

Pro účely této práce byla zvolena hodnota sériových odporů  $100 \Omega$ , která splňuje všechny výše uvedené podmínky.

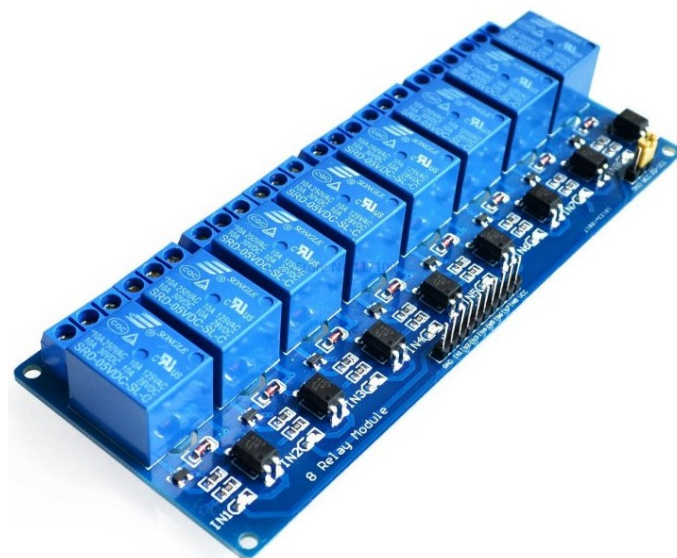
Dále bylo nutné vybrat vratnou pojistku s vhodnými parametry. Maximální provozní proud, který může po sběrnici téct je limitovaný sériovým odporem a pro zvolenou hodnotu  $100 \Omega$  odpovídá  $I_{max} = 33 \text{ mA}$ , této hodnoty ale nikdy nedosáhne stabilně nýbrž pouze na krátký čas při změně mezi logickou nulou a jedničkou. Byla proto zvolena pojistka s hodnotou limitního proudu  $I_{trip} = 60 \text{ mA}$  a běžného provozního proudu  $I_{hold} = 20 \text{ mA}$ .

### 3.3 Ovládání 230V periférií

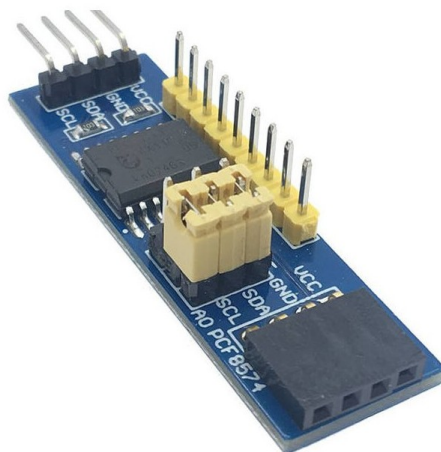
Jak vyplývá z požadavků zařízení a přehledu používané akvaristické techniky, pro automatizovaný provoz akvária je nutné umožnit řídicí jednotce ovládat několik okruhů se síťovým napětím a spínat tak zvlášť zakoupené hotové spotřebiče pracující s tímto napětím. Jedná se typicky o ohřev vody, filtr, popř. některé druhy osvětlení.

Aby uživatel mohl zařízení bezpečně zapojit bez nutnosti odborné způsobilosti, budou se na hlavním šasi zařízení nacházet čtyři standartní zásuvky (typ E) s jednofázovým napětím 230 V. Fázové vodiče budou uvnitř zařízení přerušeny spínacími relé. Bude použit předpřipravený modul disponující osmi relé, kupříkladu modul na obr. 3.6. Zbylé čtyři relé slouží jako rezerva pro případ poškození některého z používaných relé nebo při potřebě rozšíření o další zásuvky.

Z důvodu nedostatku pinů na mikrokontroleru řídicí jednotky (ESP32) bude k relé modulu připojen ještě jeden externí modul a to expandér GPIO pinů komunikující přes sběrnici I<sup>2</sup>C [8], ilustrační foto na obr. 3.7. Z pohledu mikrokontroleru tak budou všechny 230 V zásuvky řízeny pomocí dvou datových pinů (SDA, SCL), které je navíc možné dále využít pro připojení jiných periférií jako např. OLED displaye pro zobrazení stavu zařízení.



Obr. 3.6: Relé modul, ilustrační foto. Převzato z [7].



Obr. 3.7: Modul expandéru GPIO pinů, ilustrační foto. Převzato z [8].

Možným zlepšením a rozšířením práce by bylo také zahrnutí obou zmíněných modulů přímo na DPS řídicí jednotky.

### 3.4 Obecný modul periferie

Díky zvolené koncepci systému je možné za periferii považovat jakékoliv zařízení schopné obousměrně komunikovat po navržené sběrnici. Není vyloučeno, aby byla každá periferie navržena zcela odlišně na základě svých vlastních požadavků na výkon, počet pinů nebo dostupná rozhraní daného MCU. Hlavní výhodou této koncepce je to, že periferie mohou být vyvíjeny postupně a přidávány do již funkčního

a odladěného systému bez nutnosti modifikovat stávající hardware. V případě chyby v návrhu periferie je také oprava méně náročná, než by tomu bylo v případě zabudování veškeré funkcionality přímo do řídicí jednotky.

Nicméně pokud by byl pro každou periférii zvolen zcela jiný mikrokontroler a vytvořen vlastní návrh DPS, vývoj více periférií by byl zbytečně drahý a časově náročný. Proto byl zvolen koncept „obecného modulu periferie“, tedy jedné DPS s konkrétním mikrokontrolerem zajišťující připojení k oběma stranám komunikačního rozhraní, napájení periferie a rozhraní pro programování. Kromě toho budou na DPS dvě dutinkové lišty, do kterých bude možné vsadit druhou DPS (popř. během vývoje pouze prototypovací desku) ve funkci dceřinné desky (ang. daughterboard). Vložená deska pak bude obsahovat obvody nutné přímo pro danou konkrétní periférii, např. pro teploměr to bude elektronika umožňující připojení teplotního čidla k mikrokontroleru.

V aktuální fázi této práce byl pouze zvolen vyhovující mikrokontroler, návrh konkrétního schématu a rozložení DPS bude předmětem práce budoucí.

### 3.4.1 MCU

Kritéria pro výběr mikrokontroleru byla následující:

- Musí nutně splňovat:
  - 2x UART periferie – pro komunikaci po sběrnici
  - PWM výstup – řízení LED, popř. jiné
  - Nízká cena
- Je výhodou:
  - Dobrá dokumentace, komunita uživatelů
  - Zkušenost autora s danou platformou
  - Další periferie (I<sup>2</sup>C, SPI, ...)

Na základě těchto kritérií byl vybrán mikrokontroler **PIC16F15325** od firmy Microchip, ten splňuje všechna kritéria a disponuje také množstvím dalších periférií, které by mohly být v budoucnu užitečné [27].



# **Závěr**

Shrnutí studentské práce.



# Literatura

- [1] Rostlinná akvária. E-shop, 2023. URL: <https://www.rostlinna-akvaria.cz/eshop>.
- [2] GHL. Profilux aquarium controller, 2023. URL: <https://www.aquariumcomputer.com/products/profilux-aquarium-controller/>.
- [3] E shop Neptune Systems Store. Apex el controller system, 2023. URL: <https://shop.neptunesystems.com/products/apex-el-controller-system?variant=14414158921780>.
- [4] E shop CoralVue Aquarium Products. Hydros, 2023. URL: <https://www.coralvue.com/hydros>.
- [5] Seneye. Seneye home, 2023. URL: <https://www.seneye.cz/seneye-home/>.
- [6] CoralVue Hydros, 2023. URL: <https://www.coralvuehydros.com/>.
- [7] E shop LaskaKit.cz. 8-kanálové relé modul 5vdc 250vac 10a, 2023. URL: <https://www.laskakit.cz/8-kanalu-rele-modul-5vdc-250vac-10a/>.
- [8] E shop LaskaKit.cz. Pcf8574 i2c 8bit i/o expandér, 2023. URL: <https://www.laskakit.cz/pcf8574-i2c-8bit-i-o-expander/>.
- [9] Prodigy Technovations. I2c vs spi: Difference between i2c and spi, 2021. URL: <https://prodigytechno.com/i2c-vs-spi/>.
- [10] Espressif Systems. *ESP32-WROOM-32E/ESP32-WROOM-32UE Data-sheet*. Espressif Systems, 2023. URL: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e\\_esp32-wroom-32ue\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf).
- [11] Jiří Vítek. Akvaristika včera, dnes a zítra, rok vydání neuveden. URL: [https://www.akvarijni.cz/texty/historie\\_akvaristiky.htm](https://www.akvarijni.cz/texty/historie_akvaristiky.htm).
- [12] Barbora Hásková. Společenstva prvoků a bezobratlých živočichů ve sladkovodních akváriích a možnosti jejich využití ve výuce, 2011. URL: [https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/39224/BPTX\\_2010\\_2\\_\\_0\\_258158\\_0\\_107901.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/39224/BPTX_2010_2__0_258158_0_107901.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [13] Libor Musil. Inteligentní systém pro správu akvária, 2018.
- [14] Rostlinná akvária | INVITAL. Akvarijní filtrace, 2023. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=XRoeJDoCl0k>.

- [15] Radim Kejzlar. Automatizované řízení provozu akvária, 2022.
- [16] E shop LED SOLUTION. Jak osvětlit akvárium?, 2023. URL: <https://eshop.ledsolution.cz/jak-osvetlit-akvarium-led-paskem/>.
- [17] E shop Rostlinná akvária. Jaké osvětlení vybrat pro vaše akvárium, 2023. URL: <https://www.rostlinna-akvaria.cz/jak-vybrat-osvetleni-pro-vase-akvarium-a-usetrit>.
- [18] J. Slavotínek. Systém podpory akvariálních životních podmínek, 2014.
- [19] Jan Dvořák. Regulátor ph pro akvárium, 2014.
- [20] E shop GHL Store. Profilux sets, 2023. URL: <https://store.aquariumcomputer.com/profilux-sets-2/>.
- [21] Neptune Systems. Why apex?, 2023. URL: <https://www.neptunesystems.com/products/apex-controllers/why-apex/>.
- [22] Espressif Systems. *ESP32 Series Datasheet*. Espressif Systems, 2023. URL: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf).
- [23] Texas Instruments. *LM5148 Datasheet*. Texas Instruments, 2023. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5148.pdf>.
- [24] Webench Power Designer. URL: <https://webench.ti.com/power-designer/>.
- [25] Mark Harris. Methods of circuit protection. Altium Resources, August 27 2021. Updated: November 29, 2023. URL: <https://resources.altium.com/p/methods-protect-your-circuit>.
- [26] Zachariah Peterson. Beginner's guide to esd protection circuit design for pcbs. Altium Resources, September 27 2021. Updated: June 13, 2023. URL: <https://resources.altium.com/p/beginners-guide-esd-protection-circuit-design-pcbs>.
- [27] PIC16F15325. URL: <https://www.microchip.com/en-us/product/PIC16F15325>.

# Seznam symbolů a zkratek

Šířka levého sloupce Seznamu symbolů a zkratek je určena šířkou parametru prostředí `acronym` (viz řádek 1 výpisu zdrojáku na str. 61)

**IoT** Internet of Things

**DSP** číslicové zpracování signálů – Digital Signal Processing

$f_{\text{vz}}$  vzorkovací kmitočet



# Seznam příloh

<b>A</b>	<b>Některé příkazy balíčku <code>thesis</code></b>	<b>57</b>
A.1	Příkazy pro sazbu veličin a jednotek . . . . .	57
A.2	Příkazy pro sazbu symbolů . . . . .	57
<b>B</b>	<b>Druhá příloha</b>	<b>59</b>
<b>C</b>	<b>Příklad sazby zdrojových kódů</b>	<b>61</b>
C.1	Balíček <code>listings</code> . . . . .	61
<b>D</b>	<b>Obsah elektronické přílohy</b>	<b>65</b>





# A Některé příkazy balíčku thesis

## A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek

Tab. A.1: Přehled příkazů pro matematické prostředí

Příkaz	Příklad	Zdroj příkladu	Význam
<code>\textind{...}</code>	$\beta_{\max}$	<code>\$\beta_{\textind{max}}\$</code>	textový index
<code>\const{...}</code>	$U_{\text{in}}$	<code>\$\const{U}_{\textind{in}}\$</code>	konstantní veličina
<code>\var{...}</code>	$u_{\text{in}}$	<code>\$\var{u}_{\textind{in}}\$</code>	proměnná veličina
<code>\complex{...}</code>	$\mathbf{u}_{\text{in}}$	<code>\$\complex{u}_{\textind{in}}\$</code>	komplexní veličina
<code>\vect{...}</code>	$\mathbf{y}$	<code>\$\vect{y}\$</code>	vektor
<code>\mat{...}</code>	$\mathbf{Z}$	<code>\$\mat{Z}\$</code>	matice
<code>\unit{...}</code>	kV	<code>\$\unit{kV}\$</code> či <code>\unit{kV}</code>	jednotka

## A.2 Příkazy pro sazbu symbolů

- `\E`, `\eul` – sazba Eulerova čísla:  $e$ ,
- `\J`, `\jmag`, `\I`, `\imag` – sazba imaginární jednotky:  $j$ ,  $i$ ,
- `\dif` – sazba diferenciálu:  $d$ ,
- `\sinc` – sazba funkce:  $\text{sinc}$ ,
- `\mikro` – sazba symbolu mikro stojatým písmem<sup>1</sup>:  $\mu$ ,
- `\uppi` – sazba symbolu  $\pi$  (stojaté řecké pí, na rozdíl od `\pi`, což sází  $\pi$ ).

Všechny symboly jsou určeny pro matematický mód, vyjma `\mikro`, jenž je použitelný rovněž v textovém módu.

---

<sup>1</sup>znak pochází z balíčku `textcomp`



## B Druhá příloha



Obr. B.1: Zlepšené Wilsonovo proudové zrcadlo.

Pro sazbu vektorových obrázků přímo v  $\text{\LaTeX}$  je možné doporučit balíček `TikZ`. Příklady sazby je možné najít na `TikZexample`. Pro vyzkoušení je možné použít programy `QTikz` nebo `TikzEdt`.



## C Příklad sazby zdrojových kódů

### C.1 Balíček listings

Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít balíček `listings`. Balíček zavádí nové prostředí `lstlisting` pro sazbu zdrojových kódů, jako například:

```
\section{Balíček lstlistings}
Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít
  balíček \href{https://www.ctan.org/pkg/listings}%
  {\texttt{listings}}.
Balíček zavádí nové prostředí \texttt{lstlisting} pro
  sazbu zdrojových kódů.
```

Podporuje množství programovacích jazyků. Kód k vysázení může být načítán přímo ze zdrojových souborů. Umožňuje vkládat čísla řádků nebo vypisovat jen vybrané úseky kódu. Např.:

Zkratky jsou sázeny v prostředí `acronym`:

6 `\begin{acronym}[]`

Šířka textu volitelného parametru `KolikMista` udává šířku prvního sloupce se zkratkami. Proto by měla být zadávána nejdelší zkratka nebo symbol. Příklad definice zkratky  $f_{vz}$  je na výpisu C.1.

Výpis C.1: Ukázka sazby zkratek

```
21 \acro{symfvz}           % název
22   [\ensuremath{f_{\text{vz}}}] % symbol
23   {vzorkovací kmitočety} % popis
```

Ukončení seznamu je provedeno ukončením prostředí:

26 `\end{acronym}`

**Poznámka k výpisům s použitím volby jazyka `czech` nebo `slovak`:**

Pokud Váš zdrojový kód obsahuje znak spojovníku `-`, pak překlad může skončit chybou. Ta je způsobena tím, že znak `-` je v českém nebo slovenském nastavení balíčku `babel` tzv. aktivním znakem. Přepněte znak `-` na neaktivní příkazem `\shorthandoff{-}` těsně před výpisem a hned za ním jej vraťte na aktivní příkazem `\shorthandon{-}`. Podobně jako to je ukázáno ve zdrojovém kódu šablony.

Na výpisu C.2 naleznete příklad kódu pro Matlab, na výpisu C.3 zase pro jazyk C.

Výpis C.2: Příklad Schur-Cohnova testu stability v prostředí Matlab.

```
1 %% Příklad testování stability filtru
2
3 % koeficienty polynomu ve jmenovateli
4 a = [ 5, 11.2, 5.44, -0.384, -2.3552, -1.2288];
5 disp('Polynom:'); disp(poly2str(a, 'z'))
6
7 disp('Kontrola pomocí kořenů polynomu:');
8 zx = roots(a);
9 if( all( abs( zx) < 1))
10     disp('System je stabilní')
11 else
12     disp('System je nestabilní nebo na mezí stability');
13 end
14
15 disp(' '); disp('Kontrola pomocí Schur-Cohn:');
16 ma = zeros( length(a)-1, length(a));
17 ma(1,:) = a/a(1);
18 for( k = 1:length(a)-2)
19     aa = ma(k,1:end-k+1);
20     bb = fliplr(aa);
21     ma(k+1,1:end-k+1) = (aa-aa(end)*bb)/(1-aa(end)^2);
22 end
23
24 if( all( abs( diag( ma.'))))
25     disp('System je stabilní')
26 else
27     disp('System je nestabilní nebo na mezí stability');
28 end
```

Výpis C.3: Příklad implementace první kanonické formy v jazyce C.

<i>// první kanonická forma</i>	1
<u>short</u> fxdf2t( <u>short</u> coef[][5], <u>short</u> sample)	2
{	3
<u>static int</u> v1[SECTIONS] = {0,0}, v2[SECTIONS] = {0,0};	4
<u>int</u> x, y, accu;	5
<u>short</u> k;	6
	7
x = sample;	8
<u>for</u> ( k = 0; k < SECTIONS; k++){	9
accu = v1[k] >> 1;	10
y = _sadd( accu, _smpy( coef[k][0], x));	11
y = _sshl(y, 1) >> 16;	12
	13
accu = v2[k] >> 1;	14
accu = _sadd( accu, _smpy( coef[k][1], x));	15
accu = _sadd( accu, _smpy( coef[k][2], y));	16
v1[k] = _sshl( accu, 1);	17
	18
accu = _smpy( coef[k][3], x);	19
accu = _sadd( accu, _smpy( coef[k][4], y));	20
v2[k] = _sshl( accu, 1);	21
	22
x = y;	23
}	24
<u>return</u> ( y);	25
}	26





## D Obsah elektronické přílohy

Elektronická příloha je často nedílnou součástí semestrální nebo závěrečné práce. Vkládá se do informačního systému VUT v Brně ve vhodném formátu (ZIP, PDF ...).

Nezapomeňte uvést, co čtenář v této příloze najde. Je vhodné okomentovat obsah každého adresáře, specifikovat, který soubor obsahuje důležitá nastavení, který soubor je určen ke spuštění, uvést nastavení kompilátoru atd. Také je dobře napsat, v jaké verzi software byl kód testován (např. Matlab 2018b). Pokud bylo cílem práce vytvořit hardwarové zařízení, musí elektronická příloha obsahovat veškeré podklady pro výrobu (např. soubory s návrhem DPS v Eagle).

Pokud je souborů hodně a jsou organizovány ve více složkách, je možné pro výpis adresářové struktury použít balíček `dirtree`.

```
/ .....kořenový adresář přiloženého archivu
├── logo .....loga školy a fakulty
│   ├── BUT_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── BUT_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── FEEC_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── FEKT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── UTKO_color_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── UTKO_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── VUT_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── VUT_symbol_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   └── VUT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
├── obrazky .....ostatní obrázky
│   ├── soucastky.png
│   ├── spoje.png
│   ├── ZlepseneWilsonovoZrcadloNPN.png
│   └── ZlepseneWilsonovoZrcadloPNP.png
├── pdf .....pdf stránky generované informačním systémem
│   ├── student-desky.pdf
│   ├── student-titulka.pdf
│   └── student-zadani.pdf
├── text .....zdrojové textové soubory
│   ├── literatura.tex
│   ├── prilohy.tex
│   ├── reseni.tex
│   ├── uvod.tex
│   ├── vysledky.tex
│   ├── zaver.tex
│   └── zkratky.tex
├── sablona-obhaj.tex .....hlavní soubor pro sazbu prezentace k obhajobě
├── sablona-prace.tex .....hlavní soubor pro sazbu kvalifikační práce
└── thesis.sty .....balíček pro sazbu kvalifikačních prací
```