



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

NÁVRH KOMPLEXNÍHO AUTOMATIZOVANÉHO SYSTÉMU PRO AKVARISTY

DESIGN OF A COMPLEX AUTOMATED SYSTEM FOR AQUARISTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Hedvíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miroslav Uher

BRNO 2017

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektrotechnická výroba a materiálové inženýrství**
Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. Michal Hedvíček

ID: 147428

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Návrh komplexního automatizovaného systému pro akvaristy

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Provedte průzkum trhu dostupných komerčních i otevřených systémů pro automatické řízení akvaristických systémů. Zaměřte se na detailní popis vlastností těchto systémů a ekonomické aspekty jejich nasazení.

Popište jednotlivé periferie, které lze k akvaristickým systémům zakoupit (sestrojit). Zaměřte se na detailní popis možností jejich připojení z elektrického a ekonomického hlediska. Svou pozornost věnujte také vhodné přesnosti spojitě nastavovaných parametrů.

Navrhněte komplexní automatizovaný systém pro akvaristy, který kromě standardních podpůrných systémů bude také umožňovat připojení systémů pro ovlivnění chemických vlastností vody. Systém navrhněte s využitím otevřené platformy ARDUINO tak, aby byl maximálně univerzální, avšak snadno dostupný. Diskutujte ekonomické aspekty Vašeho návrhu.

Realizujte navržený automatizovaný systém a otestujte jeho funkčnost. Popište postupy nutné k počátečnímu nastavení systému. Provedte ověření přesnosti a stability regulace teploty vody v akváriu při ochlazení navrženým členem. Navrhněte způsob kontroly požadovaných parametrů chemismu vody a s ní spojenou metodiku změny akčního zásahu prostřednictvím regulovaných parametrů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 25.5.2017

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Uher

Konzultant:

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Diplomová práce se zabývá teoretickým návrhem automatizovaného řídicího systému pro akvárium a jeho následnou simulací v softwarovém prostředí Proteus ISIS. Díky simulačnímu programu lze ověřit chování procesoru při žádaných funkcích, správnost elektrických zapojení a předem vyloučit chyby ve zdrojovém kódu.

V další části práce je uveden rozbor komerčních systémů, jejich vlastností a možností použití. Kromě dostupných komerčních systémů je zde uveden základní přehled běžně používaných periférií v akvaristice, včetně jejich srovnání a zhodnocení.

Následně je provedena realizace komplexního systému a jsou popsány postupy a metody potřebné k nastavení systému. Prostor je zde věnován také problematice chlazení a testům spolehlivosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Arduino, I²C, akvárium, automatizace akvária, chemismus vody, obvod reálného času, maticová klávesnice, mikrokontrolér, PCF8574, LCD displej, dávkování hnojiva

ABSTRACT

Thesis deals with the theoretical design of an automatic control system for the aquarium and following simulation in software environment Proteus ISIS. Due to simulation program can verify the behavior of the microprocessor in the specified functions, the correctness of electrical connections and errors in source code.

The second part is analysis of commercial systems, their characteristics and applications. Apart from available commercial systems, there is a basic overview of commonly used peripherals in the aquarium, including their comparison and evaluation.

Furthermore, the implementation of a complex system is done and the procedures and methods needed to set up the system are described. This topic also deals with cooling and reliability tests.

KEYWORDS

Arduino, I²C, aquarium, aquarium automation, water chemistry, real time clock, matrix keyboard, microcontroller, PCF8574, LCD display, dosage fertilizer

HEDVÍČEK, M. *Návrh komplexního automatizovaného systému pro akvaristy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav elektrotechnologie, 2017. 77 s. Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Uher

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Návrh komplexního automatizovaného systému pro akvaristy“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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 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.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Miroslavu Uhrovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

OBSAH

1	Úvod	9
2	Komerční systémy komplexního řízení	10
	2.1 Reef Keeper Elite Aquarium Controller (RKEAC)	10
	2.2 Aquarium Controller Evolution ACQ110	11
3	Samostatně použitelné Periferie v akvariijních systémech	12
	3.1 Teplota	12
	3.2 Měření a regulace pH	15
	3.3 Dávkovač krmiva	18
	3.4 Chlazení	20
	3.5 Tekutá hnojiva	21
	3.6 Elektrolýza vody	23
	3.7 Programovatelná spínací zásuvka	24
4	Návrh komplexního systému	25
	4.1 Mikroprocesor	26
	4.2 Klávesnice	27
	4.3 Obvod reálného času (RTC)	28
	4.4 Měření pH	28
	4.5 LAN – připojení k internetu	29
	4.6 Displej	29
	4.7 Osvětlení	30
	4.8 Řízení CO ₂	31
	4.9 Elektrolýza	33
	4.10 Tekutá hnojiva	34
	4.11 Chlazení	35
	4.12 Krmení	36
	4.13 Ostatní periferie	36
5	Popis realizace, možností a inicializace ovládacího software	37
	5.1 Zapojení modulů	37
	5.2 Rozhraní uživatel-systém	38
	5.3 Položky menu systému	39
6	Chlazení	53
7	Zkoušky spolehlivosti	57
	7.1 Dlouhodobá zkouška stability	57
	7.2 Diference časového obvodu	57
	7.3 Funkce řízení intenzity osvětlení	58
	7.4 Životnost pH elektrody	58
	7.5 Životnost elektrolyzační elektrody	60
	7.6 Stabilita sběrnice I ² C	60
	7.7 Diagnostická funkce	61
8	Ovlivnění chemismu vody	62
	8.1 Řízení procesu dávkování oxidu uhličitého	62
	8.2 Řízení procesu dávkování tekutých hnojiv	63
	8.3 Řízení procesu elektrolýzy	65
9	Cenová analýza	66
10	Závěr	68
11	Seznam použité literatury	71
12	Přílohy	72

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1. AUTOMATIZOVANÝ SYSTÉM RKEAC [1]	10
OBRÁZEK 2. AUTOMATIZOVANÝ SYSTÉM ACQ110 [2]	11
OBRÁZEK 3. SKLENĚNÝ	13
OBRÁZEK 4. BLOKOVÉ SCHÉMA DIGITÁLNÍHO TEPLoměRU	14
OBRÁZEK 5. DIGITÁLNÍ TEPLoměR [4]	14
OBRÁZEK 6. SERAMIC pH CONTROLLER [6]	16
OBRÁZEK 7. ADWA AD11 [7]	17
OBRÁZEK 8. AUTOMATICKÝ DÁVKOVAČ KRMIVA JUWEL [8]	18
OBRÁZEK 9. AUTOMATICKÝ DÁVKOVAČ KRMIVA EHEIM [9]	19
OBRÁZEK 10. VENTILÁTOR HOBBY AQUA COOLER V2 [10]	20
OBRÁZEK 11. TECO TK150 [11]	21
OBRÁZEK 12. RUWAL PD2001 [12]	22
OBRÁZEK 13. GROTECH TEC3 NG [13]	22
OBRÁZEK 14. TWINSTAR NANO [14]	23
OBRÁZEK 15. PROGRAMOVATELNÁ SPÍNACÍ ZÁSUVKA [15]	24
OBRÁZEK 16. BLOKOVÉ SCHÉMA NAVRHOVANÉHO SYSTÉMU	25
OBRÁZEK 17. BLOK MIKROPROCESORU V SIMULAČNÍM PROGRAMU	26
OBRÁZEK 18. REÁLNÁ KLÁVESNICE [16]	27
OBRÁZEK 19. KLÁVESNICE V SIMULAČNÍM PROGRAMU	27
OBRÁZEK 20. BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ KLÁVESNICE	27
OBRÁZEK 21. MODELOVÉ SCHÉMA OBVODU REÁLNÝCH HODIN	28
OBRÁZEK 22. BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ RTC OBVODU	28
OBRÁZEK 23. BLOKOVÉ SCHÉMA MĚŘICÍHO ŘETĚZCE pH	29
OBRÁZEK 24. BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ LCD DISPLEJE	29
OBRÁZEK 25. LCD DISPLEJ V SIMULAČNÍM PROGRAMU	30
OBRÁZEK 26. BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ SYSTÉMU OSVĚTLENÍ	30
OBRÁZEK 27. ELEKTRICKÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘEVODNÍKU 1-10V	31
OBRÁZEK 28. BLOKOVÉ SCHÉMA PRO ŘÍZENÍ SYSTÉMU CO ₂	31
OBRÁZEK 29. TOPOLOGIE SYSTÉMU SYCENÍ PLYNNÝM CO ₂	32
OBRÁZEK 30. OVLÁDÁNÍ CÍVKY ELEKTROMAGNETICKÉHO VENTILU V SIMULAČNÍM PROGRAMU	32
OBRÁZEK 31. BLOKOVÉ SCHÉMA NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ ELEKTROLÝZY VODY	33
OBRÁZEK 32. BLOKOVÉ SCHÉMA ŘÍZENÍ DÁVKOVÁNÍ HNOJIVA	34
OBRÁZEK 33. ELEKTRICKÉ SIMULAČNÍ SCHÉMA DÁVKOVÁNÍ HNOJIVA	34
OBRÁZEK 34. BLOKOVÉ SCHÉMA NAVRHOVANÉHO CHLADÍCÍHO SYSTÉMU	35
OBRÁZEK 35. ŘEZ CHLADÍCÍM BLOKEM	35
OBRÁZEK 36. ELEKTRICKÉ MODELOVÉ SCHÉMA ŘÍZENÍ OSTATNÍCH PERIFÉRIÍ	36
OBRÁZEK 37. BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ MODULŮ A PERIFERÍÍ	37
OBRÁZEK 38. MODUL ROZHRANÍ UŽIVATEL-SYSTÉM	38
OBRÁZEK 39. REÁLNÉ HODNOTY NA DISPLEJI PŘI PROVOZU	39
OBRÁZEK 40. BLOKOVÉ SCHÉMA NASTAVENÍ ČASU	41
OBRÁZEK 41. BLOKOVÉ SCHÉMA NASTAVENÍ ZIMNÍHO/LETNÍHO ČASU	41
OBRÁZEK 42. BLOKOVÉ SCHÉMA NASTAVENÍ ČASU PROSTŘEDNICTVÍM INTERNETU	42
OBRÁZEK 43. BLOKOVÉ SCHÉMA NASTAVENÍ DATA	42
OBRÁZEK 44. BLOKOVÉ SCHÉMA MANUÁLNÍHO REŽIMU NASTAVENÍ OSVĚTLENÍ	43
OBRÁZEK 45. BLOKOVÉ SCHÉMA AUTOMATICKÉHO REŽIMU OSVĚTLENÍ	44
OBRÁZEK 46. PRŮBĚH INTENZITY OSVĚTLENÍ V ČASE PRO AUTOMATICKY ŘÍZENÉ OSVĚTLENÍ	44

OBRÁZEK 47. BLOKOVÉ SCHÉMA FUNKCE VYPNUTÍ OSVĚTLENÍ.....	45
OBRÁZEK 48. BLOKOVÉ SCHÉMA FUNKCE FILTRACE.....	45
OBRÁZEK 49. BLOKOVÉ SCHÉMA FUNKCE TOPENÍ.....	46
OBRÁZEK 50. BLOKOVÉ SCHÉMA FUNKCE PRO ŘÍZENÍ OXIDU UHLÍČITÉHO.....	46
OBRÁZEK 51. BLOKOVÉ SCHÉMA FUNKCE PRO MĚŘENÍ A KALIBRACI PH	48
OBRÁZEK 52. PROCES KALIBRACE ELEKTRODY	49
OBRÁZEK 53. BLOKOVÉ SCHÉMA FUNKCE ELEKTROLÝZA	50
OBRÁZEK 54. BLOKOVÉ SCHÉMA FUNKCE KRMENÍ.....	51
OBRÁZEK 55. BLOKOVÉ SCHÉMA FUNKCE ZÁLOHY	51
OBRÁZEK 56. ZÁVISLOST TEPLoty VODY V ČASE PRO OBJEM 1 LITR	54
OBRÁZEK 57. ZÁVISLOST TEPLoty VODY V ČASE PRO OBJEM 100 LITRŮ	55
OBRÁZEK 58. ZÁVISLOST VÝSTUPNÍHO NAPĚTÍ ŘÍDÍČÍHO PŘEVODNÍKU OSVĚTLENÍ NA ČÍSELNÉ HODNOTĚ NASTAVOVANÉ MIKROPROCESOREM	58
OBRÁZEK 59. ŽIVOTNOST ZKOUMANÉ PH ELEKTRODY.....	59
OBRÁZEK 60. PRŮBĚH HODINOVÉHO SIGNÁLU SCL A DATOVÉHO SIGNÁLU SDA NA OSCIOSKOPU	60
OBRÁZEK 61. VIRTUÁLNÍ TERMINÁL ZACHYCUJÍCÍ VÝPISY MIKROPROCESORU	61
OBRÁZEK 62. VÝVOJOVÝ DIAGRAM ŘÍDÍČÍHO ALGORITMU PROCESU MĚŘENÍ PH A HLÍDÁNÍ JEHO HLADINY	63
OBRÁZEK 63. VÝVOJOVÝ DIAGRAM ŘÍDÍČÍHO ALGORITMU HNOJENÍ TEKUTÝMI HNOJIVY	64
OBRÁZEK 64. PROCENTUÁLNÍ VYJÁDŘENÍ POČTU SOUČÁSTEK OBRÁZEK 65. PROCENTUÁLNÍ VYJÁDŘENÍ NÁKLADŮ.....	67

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1. POPIS ZNAKŮ KLÁVESNICE	38
TABULKA 2. PŘEHLED FUNKCÍ V MENU	40
TABULKA 3. PŘEVODNÍ TABULKA DNE V TÝDNU	42
TABULKA 4. NAMĚŘENÉ HODNOTY STRMOSTÍ PH ELEKTRODY	59
TABULKA 5. CENOVÁ ROZPISKA JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ SYSTÉMU.....	66

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1. MODELOVÉ SCHÉMA NAVRHOVANÉHO SYSTÉMU.....	72
PŘÍLOHA 2. MODELOVÉ SCHÉMA MIKROPROCESORU	73
PŘÍLOHA 3. SERVER ARDUINO (TEST LAN)	73
PŘÍLOHA 4. STRUKTURA MENU	74
PŘÍLOHA 5. DPS STRANA TOP	75
PŘÍLOHA 6. DPS STRANA BOT	75
PŘÍLOHA 7. 3D MODEL KRABÍČKY 1#	76
PŘÍLOHA 8. 3D MODEL KRABÍČKY 2#	76
PŘÍLOHA 9. MODUL ŘÍZENÍ	77
PŘÍLOHA 10. AKVÁRIUM, NA KTERÉM BYL SYSTÉM TESTOVÁN	77

1 ÚVOD

Cílem diplomové práce je vypracování řešení dostupných komerčních zařízení, které se používají pro automatické řízení akvária a také provést jejich vyhodnocení a srovnání v ekonomickém i technickém aspektu. Kromě komplexních systémů lze pro řízení v oblasti akvaristiky využít samostatné periferie. Další část práce se tedy zabývá těmito periferiemi s ohledem na možnost použití ve společenském akváriu, kde je třeba zohlednit vhodné systémy jak pro flóru, tak pro faunu. Následně se práce je věnuje návrhu komplexního automatizovaného systému. Samotný návrh je realizovaný v softwarovém prostředí programu Proteus ISIS, který je výkonným simulačním programem pro návrh elektronických a logických obvodů. Celé zapojení je realizované na platformě mikroprocesoru Arduino MEGA2560. Zdrojový kód je psán jazykem C v originálním softwarovém prostředí Arduino. Z hlediska efektivity celého zapojení, tento návrh v co možná největší míře využívá sériovou multi-masterovou sběrnici I²C a její přednosti.

V druhé části práce je věnován prostor praktické realizaci a ověření funkčnosti komplexního systému. V jednotlivých kapitolách je uveden přehled funkcí menu systému, postupy nutné k počátečnímu nastavení a kalibraci, hardwarové uspořádání, problematika chlazení, testy spolehlivosti apod.

2 KOMERČNÍ SYSTÉMY KOMPLEXNÍHO ŘÍZENÍ

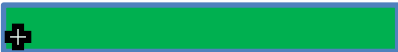








Jedna z možností jak řídit vhodné podmínky v akváriu je použití více jednoúčelových zařízení pro zajištění dané regulované veličiny. Druhou možností je použití komplexního systému. Komplexní řešení existují v několika variantách a pokrývají jen omezené množství žádaných vlastností. Český trh nabízí jednodušší varianty těchto systémů a převážně jde o produkty, které jsou vyvíjeny samotnými akvaristy v rámci volného času. Základem těchto zařízení bývají mikroprocesory a v dražších verzích programovatelné logické automaty (PLC). Nevýhodou systémů na bázi PLC je vysoká cena proti verzi s mikroprocesorem.

2.1 Reef Keeper Elite Aquarium Controller (RKEAC)

Komplexní automatizovaný systém, který zahrnuje regulaci teploty, pH, redoxního potenciálu, salinity a funkce generování vln pomocí spínání čerpadel. Pro zobrazení informací uživateli je použit monochromatický grafický displej s rozlišením 128x64 bodů. K zadávání parametrů regulace slouží voděodolná tlačítka. Systém lze rozšířit velkým množstvím různých modulů. Za zmínku stojí LAN modul, který umožňuje správu zařízení prostřednictvím internetu. Nevýhodou tohoto komplexního systému pro mnoho akvaristů je vysoká pořizovací cena, téměř 10000 Kč a dostupnost pouze v zahraničí.



Obrázek 1. Automatizovaný systém RKEAC [1]

Výhody	Nevýhody
	
 Integrovaná regulace PH a redoxního potenciálu	 Vysoká cena (~10000Kč)
 Přídavné moduly	 Dostupnost pouze v zahraničí
 Grafický výstup	 Nedostatečný popis parametrů
 Aktualizace softwaru	

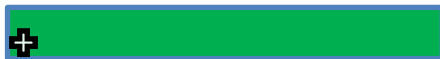
2.2 Aquarium Controller Evolution ACQ110

Tento automatizovaný systém umožňuje správu více sladkovodních nebo mořských akvárií. Systém dokáže řídit osvětlení, dávkování hnojiva, přílivové efekty, řízení spotřeby, čtení a sledování parametrů, manuální ovládání výstupů, akustické a vizuální varování, grafické zobrazení průběhu měřených veličin a další funkce. Řídící jednotka také nabízí možnost připojení k osobnímu počítači a aktualizaci programového vybavení. Pro zobrazení informací uživateli je použit grafický displej, který zobrazuje aktuální informace a umožňuje přehledné nastavení žádaných parametrů. Nevýhodou tohoto systému je opět vysoká pořizovací cena (do 7000 Kč) a dostupnost pouze v zahraničí.



Obrázek 2. Automatizovaný systém ACQ110 [2]

Výhody



- + Akustické a vizuální varování
- + Unifikovaná logika ovládání akčních členů
- + Grafický výstup a možnost zobrazení trendů
- + Podpora řízení více akvárií
- + Aktualizace softwaru
- + Přídavné moduly

Nevýhody



- = Vysoká cena (~7000Kč)
- = Dostupnost pouze v zahraničí

3 SAMOSTATNĚ POUŽITELNÉ PERIFERIE V AKVARIJNÍCH SYSTÉMECH

3.1 Teplota

Jednou z nejdůležitějších fyzikálních veličin v prostředí akvária je teplota. Každý organismus, ať už se jedná o rostlinu nebo živočicha, ke svému životu potřebuje teplo. Ve vodním prostředí akvária je největším zdrojem tepelné energie topný element a částečně také osvětlení.

Nejvíce používané teploměry v akvaristice jsou skleněné dilatační teploměry. Dilatační teploměry jsou založeny na principu teplotní roztažnosti kapalin, plynů a pevných látek. Z hlediska konstrukce dělíme dilatační teploměry na tyčové, bimetalické, skleněné, plynové, kapalinové a parní tlakové.

Teploměry bez převodu na elektrickou veličinu

Skleněné dilatační teploměry využívají roztažnosti kapalin v závislosti na teplotě. Tato závislost sice není lineární, ale pro malé teplotní rozdíly můžeme použít vztah (3.1.1).

$$V = V_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta\vartheta) \quad (3.1.1)$$

kde $\beta [K^{-1}]$ je součinitel teplotní objemové roztažnosti, $V_0 [m^3]$ je objem při zvolené teplotě (volí se 0°C nebo 20°C) a $\Delta\vartheta [K]$ je rozdíl teplot. Skleněné teploměry se dělí na tyčinkové a obalové. V prvním případě je stupnice trvale a čitelně vyznačena přímo na kapilárním sloupku. Obalové teploměry mají stupnici na destičce, a ta je spolu s kapilárou nepropustně uzavřena v průhledné obalové trubici. Teplota se určuje z výšky hladiny kapaliny v kapiláře. Nevýhodou skleněných teploměrů je jejich snadné rozbití, avšak jsou velmi přesné.



Výhody



- + Přesnost
- + Nízká cena
- + Pasivní snímač

Nevýhody

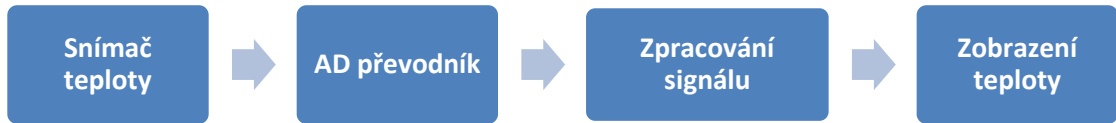


- = Křehkost
- = Nutnost použití uvnitř akvária

Obrázek 3. Skleněný
lihový teploměr [3]

Teploměry bez převodu na elektrickou veličinu mají mnoho pozitivních parametrů, ale pro účely automatizace nejsou příliš vhodné. Měřenou veličinu by bylo nejprve nutné převést do číslkové podoby, např. pomocí kamery a vyhodnocovacího algoritmu v případě skleněných teploměrů. Tento způsob měření by podstatně zvýšil nároky na měřicí hardware a pořizovací náklady. Naopak teploměry, které mají svůj výstup ve formě elektrické veličiny, jsou pro potřeby automatizace velice výhodné.

Teploměry s převodem na elektrickou veličinu

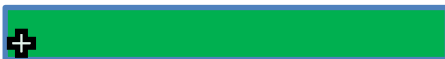







Obrázek 4. Blokové schéma digitálního teploměru

U polovodičových senzorů teploty se podobně jako u kovových využívá teplotní závislosti odporu materiálu na teplotě. Na rozdíl od kovů je ale princip vodivosti polovodičů odlišný, a proto jsou jiné i vlastnosti těchto senzorů. Při teplotě absolutní nuly jsou všechny elektrony pevně vázány ke svým jádrům a materiál nemůže vést proud. Elektronům je třeba dodat určitou energii k tomu, aby „přeskočily“ přes zakázaný pás do pásu vodivostního a mohly se účastnit vedení proudu. Touto energií může být např. energie elektromagnetického pole nebo energie tepelná. S rostoucí teplotou tedy bude koncentrace nosičů náboje růst a elektrický odpor materiálu se bude snižovat.



Obrázek 5. Digitální teploměr [4]

Výhody	Nevýhody
	
 Použití vně akvária	 Nutnost napájení
 Nízká cena	 Přesnost

3.2 Měření a regulace pH

Hodnota pH má vypovídající schopnost nejen o alkalitě/aciditě, ale pokud je známá přechodná tvrdost lze vypočítat přibližný obsah volného oxidu uhličitého rozpuštěného ve vodě. Každá rostlina a každý živočich mají rozdílné nároky na kvalitu a parametry vody. Měřením hodnoty pH uživatel sleduje chemické vlastnosti vody a v případě potřeby je schopný adekvátního rozhodnutí.

pH je záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů ve zředěném vodném roztoku. pH stupnice pro zředěné roztoky má rozsah 0 - 14. Číslo 14 je odvozeno od iontového součinu vody a nula odpovídá koncentraci vodíkových kationtů $c_{H^+} = 1 \text{ mol/l}$. Roztoky o vyšší koncentraci H^+ než $c_{H^+} = 1 \text{ mol/l}$ vedou k zápornému pH.

Všechny regulátory pH využívají potenciometrické metody (přímá potenciometrie) ke stanovení měřeného pH. Názvem potenciometrie se označují metody využívající pro stanovení aktivity (koncentrace) sledované látky měření elektromotorického napětí elektrochemických článků, které nejsou proudově zatíženy (článkem protéká prakticky nulový proud). Elektrochemické články (elektrody) používané při potenciometrických metodách se skládají ze dvou elektrod: elektrody měrné (indikační), jejíž potenciál je závislý na koncentraci stanovované látky a elektrody referenční, jejíž potenciál je za daných podmínek konstantní. Jako referenční elektrody se používají například elektrody chlorido-stříbrné, chlorido-rtuťné a merkuro-sulfátové. Jako měrné pak většinou iontově selektivní elektrody membránové, z nichž nejznámější je elektroda skleněná.[5]

Seramic pH controller

Seramic pH controller regulátor pracující na principu přímé potenciometrie. Reguluje a stabilizuje hodnotu pH v sladkovodním i mořském akváriu. Kromě samotného regulátoru sada obsahuje elektromagnetický ventil pro řízení dávkování oxidu uhličitého, pH elektrodu, kalibrační roztoky pro dvoustupňovou regulaci a zpětný ventil.



Obrázek 6. Seramic pH controller [6]

Výhody



- + Použití vně akvária
- + Příslušenství
- + Přehlednost

Nevýhody



- = Vysoká cena (9583Kč)
- = neuvedené údaje o vlastnostech (přesnost, odběr)
- = Chybí teplotní kompenzace

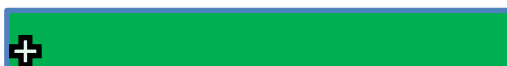
Adwa AD11

Adwa AD11 je přenosný pH metr pracující na principu přímé potenciometrie s možností výměny elektrodového systému. Fyzické provedení je kompletně vodotěsné. Kromě měření pH měří také teplotu, jedná se tedy o teplotně kompenzované měření.



Obrázek 7. Adwa AD11 [7]

Výhody



- + Cena (997 Kč)
- + Teplotní kompenzace
- + Vodotěsné provedení
- + Indikace vybití baterie

Nevýhody



- = neuvedené údaje o vlastnostech (přesnost, odběr)

3.3 Dávkovač krmiva

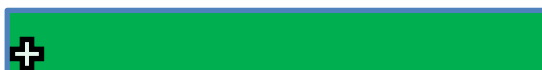
Dávkování krmiva je další proces vhodný k automatizaci v akvariijním prostředí. Většina akvaristů používá umělá vločková nebo granulovaná krmiva, která jsou snadno dostupná z hlediska kvality i ceny. Nevýhoda těchto zařízení je nemožnost použití při krmení živou nebo mraženou potravou kvůli možnému znehodnocení krmiva. Průmyslová krmítka jsou založena na principu rotačního bubnu, který za jedno otočení kolem vlastní osy poskytne definovanou dávku krmiva. Velikost jedné dávky se nastavuje otevíráním výsypné části bubnu. Z hlediska elektroniky tyto zařízení obsahují jednoduchý časovač a spínací prvek. Po uplynutí definovaného času spínací prvek sepne a pomocí převodového mechanismu a stejnosměrného motoru bubnu dávkuje krmivo.

Juwel



Obrázek 8. Automatický dávkovač krmiva Juwel [8]

Výhody



+ Krmení až dvakrát denně

+ Bateriový provoz

+ Jednoduchá obsluha

Nevýhody



= Nemožnost připojení k DC zdroji

= Nutnost úpravy konstrukce akvária
- narušení krytu

= Cena (500 Kč)

Eheim



Obrázek 9. Automatický dávkovač krmiva Eheim [9]

Výhody



- + Digitální programování až pro 4 časy
- + Volitelná dávka krmiva
- + Jednoduchá obsluha
- + Bateriový provoz
- + Aktivní ventilace - udržuje krmivo suché

Nevýhody



- = Nemožnost připojení k DC zdroji
- = Nutnost úpravy konstrukce akvária - narušení krytu
- = Cena (1500 Kč)

3.4 Chlazení

Mnoho akvaristů řeší problém spojený s přehříváním akvária a to zejména v době letních měsíců. Jedním z nejjednodušších neelektrických řešení je zvýšení četnosti výměny vody. Tato metoda je ovšem značně nerentabilní a časově náročná. Do systému by musel být zařazen větší počet akčních členů a samotná vodovodní voda není příliš vhodná k přímé aplikaci do akvária. Zvyšovalo by se také riziko spojené s přetečením akvária, které by mohlo vést k velkým materiálním škodám. Z hlediska elektrického řešení se naskytují dvě hlavní možnosti. Řešení pomocí ventilátorů a chladících jednotek. Ventilátorové řešení spočívá v umístění ventilátorů do prostoru mezi vodní hladinou akvária a horním víkem, na kterém jsou většinou umístěny zdroje světla (tepla). Zavedeme tedy nucenou cirkulaci vzduchu. V jednom rohu akvária jsou umístěny ventilátory, které ženu vzduch z okolí do prostoru nad hladinou a na druhé straně jsou ventilátory, které odvádějí ohřátý vzduch mimo prostor akvária.

Druhou variantou, která umožňuje automatizaci je použití chladicí stanice. Tyto stanice jsou většinou založeny na principu Peltierova jevu nebo na principu tepelného výměníku s kompresorem. Voda je z akvária odváděna do chladicí stanice, kde prochází přes pasivní chladič, který odebírá její teplo a odevzdává ho do okolí.

Hobby aqua cooler V2



Obrázek 10. Ventilátor Hobby aqua cooler V2 [10]

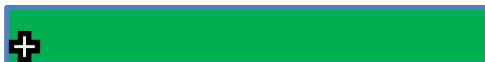
Výhody	Nevýhody
Uváděné ochlazení až 4°C	Hlučnost
Naklápěcí systém	Nízký chladicí výkon
Nízký odběr el. energie	Cena (1000 Kč)

Teco TK150



Obrázek 11. Teco TK150 [11]

Výhody



+ Přesnost měření teploty 0,1°C

+ Odchyłka 0,5°C od žádané hodnoty

+ Ochrana proti korozi

Nevýhody



= Hlučnost

= Vysoký příkon 150W

= Cena (11500 Kč)

3.5 Tekutá hnojiva

Rostliny ke svému růstu potřebují světlo, teplo a živiny. Živiny do akvária dodáváme ve formě roztoku hnojiva, které pravidelně dávkujeme do akvária. Možnost automatického dávkování hnojiva je velkou výhodou, která nám ušetří spoustu času. Systémy pro dávkování hnojiva používají hydrostatická čerpadla, která jsou samonasávací. Běžně se jedná o dávkovací čerpadla o průtočném výkonu do 100 ml za minutu. Rostliny potřebují ke svému zdravému růstu několik základních živin. Tyto živiny se dělí do dvou základních skupin: makroprvky a mikroprvky. Makroprvky tvoří majoritní skupinu hnojiva, tedy rostliny je potřebují ve větším množství. Mezi tyto prvky lze řadit dusík, fosfor, draslík a hořčík. Naopak mikroprvky tvoří minoritní skupinu hnojiva, protože je rostliny potřebují jen ve stopovém množství. Základními mikroživinami jsou železo, mangan, bór, zinek a molybden. Tyto prvky dodáváme do akvária většinou ve formě roztoku hnojiva. Proto jeho dávkování můžeme snadně automatizovat. *PMDD* (Poor's man dosing drops) – kapkové hnojivo chudého muže. Cílem této metody hnojení je dostatečně povzbudit růst vyšších rostlin do takové míry, aby převládly nad řasami. Podle Searse a Conlina je důvodem pro bujení řas v akváriu

nevhodný poměr makroživin především uhlíku (CO_2), dusíku (*amoniak, dusičnany*) a fosforu (*fosforečnany*). Vhodným poměrem lze nastolit rovnováhu pro dobrý růst vyšších rostlin, které svým růstem odebírají živiny, a tím omezují růst řas. Uhlík, dusík a fosfor jsou potřebné k růstu rostlin, a proto stav, kdy dojde k jejich úplnému vyčerpání není žádoucí. Nežádoucí je i stav, kdy je těchto živin ve vodním sloupci příliš mnoho.

Ruwal PD2001



Obrázek 12. Ruwal PD2001 [12]

Výhody



- + Nízká spotřeba při sepnutí 2,2 W
- + Přesnost dávky $\pm 3\%$
- + Možnost sepnutí až 24x za den
- + Možnost řazení do série

Nevýhody



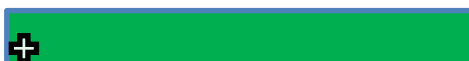
- Cena (1650 Kč)

Grotech TEC 3 NG



Obrázek 13. Grotech TEC3 NG [13]

Výhody



- + Maximální dávka až 2l / den na jeden kanál
- + Nastavitelná dávka 1-99 ml
- + Možnost sepnutí až 24 za den

Nevýhody



- Cena (9900 Kč)

3.6 Elektrolýza vody

Elektrolýza je redoxní děj probíhající na elektrodách při průchodu stejnosměrného elektrického proudu v roztoku nebo tavenině. V akvaristice je elektrolýza poměrně nová metoda, využívá se pozitivního účinku vytvářeného kyslíku, který je schopen ničit určité druhy řas a má prokazatelné účinky na kvalitu vody. Komerční zařízení používají titanové elektrody a řídicí systém, který v pravidelných intervalech uzavírá elektrický obvod mezi stejnosměrným zdrojem a elektrodovým systémem.

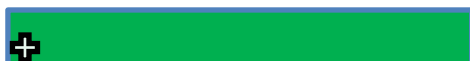
TWINSTAR

System TWINSTAR potlačuje zelené řasy bez škodlivého vlivu na ekologii akvária. Udržuje vhodné prostředí tím, že odstraňuje spory z počátečního množení řas prostřednictvím vytvářených mikrobublin kyslíku, které současně inhibují jejich růst.



Obrázek 14. Twinstar NANO [14]

Výhody



- + Prokazatelné účinky kyslíku
- + Módy podle velikosti akvária
- + Přepólování elektrod - zvýšení životnosti elektrod
- + Kompaktní provedení

Nevýhody



- = Cena (4000 Kč)

3.7 Programovatelná spínací zásuvka

Pro mnoho akvaristů je tato zásuvka zřejmě nejpoužívanější řídicí člen. Pomocí tohoto zařízení lze ovládat osvětlení, topení, hnojení, dávkování oxidu uhličitého a mnoho dalších periférií. Standardně se tato zásuvka vyskytuje ve dvou verzích. Analogová verze používá mechanický oscilátor k měření času. Nastavení sepnutí se provádí pomocí mechanických kontaktů. Nevýhodou tohoto zařízení je velká chyba měření času. Digitální verze používá zapojení mikroprocesoru s obvodem reálných hodin. Mikroprocesor pak na základě zadaných časů rozhoduje o sepnutí relé.



Obrázek 15. Programovatelná spínací zásuvka [15]

Výhody



- + Jednoduchá konstrukce
- + Cena (250 Kč)
- + Možnost až 8 sepnutí denně

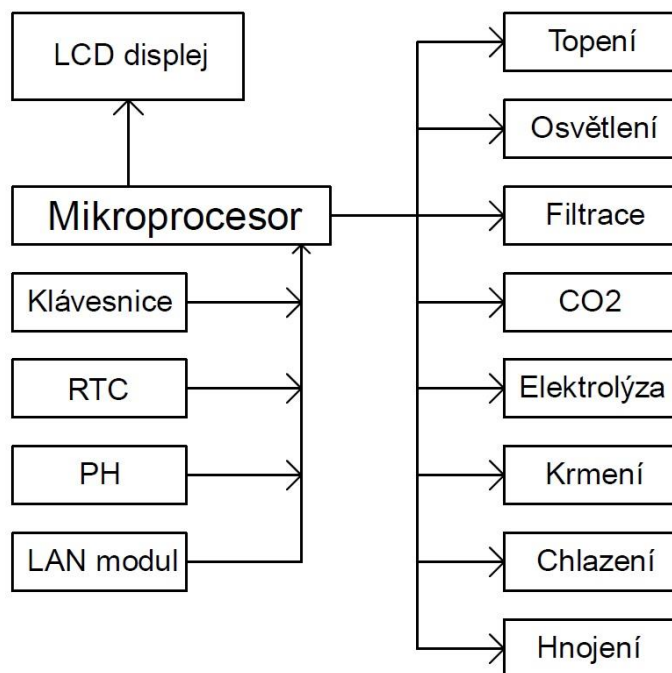
Nevýhody



- Rozměry - nelze řadit vedle sebe ve standardním prodlužovacím přívodu

4 NÁVRH KOMPLEXNÍHO SYSTÉMU

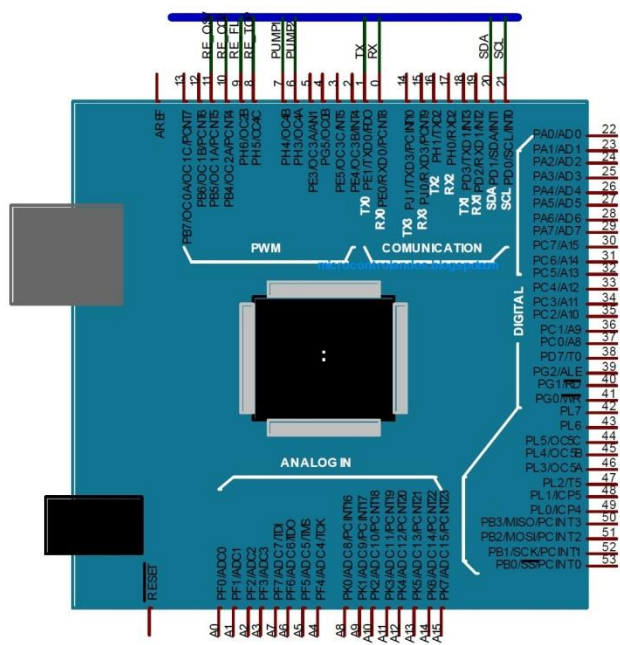
V předchozích kapitolách se tato práce věnovala komerčním automatizovaným systémům pro řízení akvária a perifériím vhodných pro udržení života v akváriu. V této kapitole se bude práce věnovat vlastnímu návrhu automatického řízení akvária. V rámci semestrální práce bude maximálně využít potenciál simulačního programu Proteus ISIS, ve kterém se bude celé zařízení simulovat bez nutnosti použití reálných součástek. Proteus ISIS poskytuje velké možnosti v simulaci nízko i vysokofrekvenčních obvodů, silnoproudé i slaboproudé techniky a sledování průběhů pomocí virtuálních nástrojů (osciloskop, napěťové a proudové měření, I^2C debugger a mnoho dalších). Navržený systém je zobrazený v blokovém schématu na obr.16.



Obrázek 16. Blokové schéma navrhovaného systému

4.1 Mikroprocesor

Základem celého zařízení je mikroprocesor firmy Atmel Atmega2560. Jedná se o osmibitový mikroprocesor založený na jádře AVR s maximální frekvencí hodinového signálu 16 MHz. Paměť je rozdělena na programovou část, která poskytuje 256 kB paměti a datovou část paměti typu RAM o velikosti 8 kB. Dále 4 kB typu EEPROM paměti ROM. Procesor má integrovaný AD převodník s rozlišením 10 bitů. Napájecí napětí má v rozsahu 4,5 V – 5,5 V. Mikroprocesor disponuje 86 vstupně výstupními piny. 16 pinů je vyhrazeno pro analogové použití s rozlišením 10 bitů vhodných pro PWM modulaci. Velký potenciál použití umožňuje připojení periférií prostřednictvím sběrnic I²C, SPI a USART. [17]

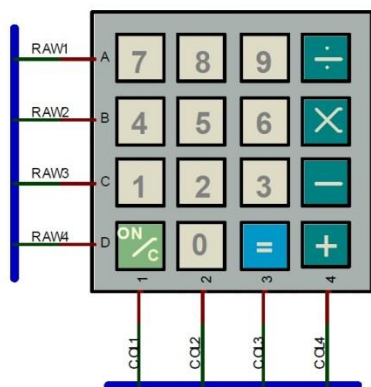


Obrázek 17. Blok mikroprocesoru v simulačním programu

Komunikace periférií a mikroprocesoru lze rozdělit na sériovou a paralelní. Sériová komunikace má proti paralelnímu zapojení některé výhody. Sériová komunikace nemá tak velké hardwarové nároky a samotná softwarová komunikace je v některých případech jednodušší. Z tohoto důvodu, jsem se rozhodl maximálně využít sériovou multi-masterovou sběrnici I²C podporovanou mikroprocesorem. Kvůli vyšší přehlednosti v modelových schématech jsou použity systémy sběrnic a popisy jednotlivých pinů.

4.2 Klávesnice

Jak je vidět v blokovém schématu (obr.16), prvním vstupem do mikroprocesoru je maticová klávesnice 4x4 buňky (obr.19), která slouží jako uživatelský interface.

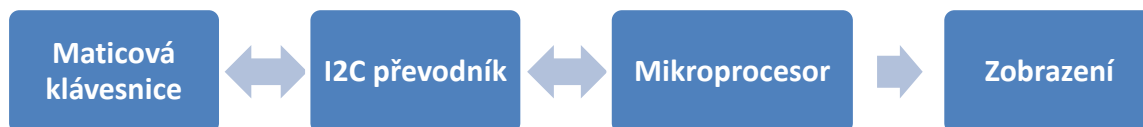


Obrázek 19. Klávesnice v simulačním programu



Obrázek 18. Reálná klávesnice [16]

Na obrázku 19. můžeme vidět zapojení v modelovém schématu. Proteus ISIS bohužel nedovolí definovat znaky na klávesnici. Tato skutečnost však na simulaci nemá vliv, stačí každému znaku přiřadit nadefinovaný význam, například stiskem tlačítka + se vyvolá potvrzení akce. Obrázek 18. vpravo, zachycuje skutečnou maticovou klávesnici, která bude reálně použita.

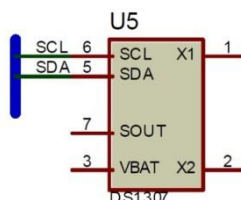


Obrázek 20. Blokové schéma zapojení klávesnice

Princip vyhodnocení stisku tlačítek na maticové klávesnici je takový, že sekvenčně měníme logický stav na řádku klávesnice a vyhodnocujeme stisk tlačítka pomocí změny logické úrovně na sloupci displeje. Pokud tedy uvedeme řádek jedna do logické jedničky a stiskneme klávesu 7 (obr.19) na sloupci jedna se nám objeví logická jednička, na ostatních sloupcích a řádcích pak bude logická nula. Z tohoto sekvenčního spínání dokážeme určit stisknuté klávesy. Vzhledem k tomu, že paralelní zapojení klávesnice a mikroprocesoru by znamenala použití 8 signálových vodičů, použijeme převodník na I^2C sběrnici. Pro komunikaci s klávesnicí budou stačit dva vodiče, jeden vodič pro hodinový signál (SCL) a jeden vodič pro datový signál (SDA). Díky použití I^2C převodníku jsme klávesnici přidělili unikátní adresu.

4.3 Obvod reálného času (RTC)

Obvod reálného času je zařízení, které i po vypnutí nebo výpadku elektrického proudu dále měří čas za předpokladu, že je k zařízení připojena malá lithiová baterie. Jedná se o podstatnou veličinu, na základě které se v systému řídí všechny periodicky se opakující procesy.



Obrázek 21. Modelové schéma obvodu reálných hodin



Obrázek 22. Blokové schéma zapojení RTC obvodu

Pro potřeby simulace nemusí být pin VBAT (obr.21) připojený na trvalé napájení, protože aktuální čas zjišťuje z prostředí operačního systému. Tato volba je dobrovolná a lze ji vypnout. Velkou výhodou zvoleného obvodu DS1307 je opět integrovaná I²C sběrnice. K reálnému obvodu je potřeba připojit vhodný krystal, pin VBAT udržovat trvale pod napětím 3 V a zvolit vhodné napájecí napětí 5 V (pin 4 a 8). Maximální odběr z baterie při vypnutém napájecím napětí je 800 nA, jedná se tedy o nízko-příkonový obvod.

4.4 Měření pH

Princip zvolené metodiky měření pH je zobrazen v blokovém schématu (obr.23). Měření pH pomocí elektrody nevyžaduje žádné pomůcky (čínidla, chemikálie, drahé přístroje) a díky této metodě, mikroprocesor dokáže poměrně snadným způsobem získat informaci o hodnotě pH ve zkoumaném médiu. pH elektroda (skleněná) je tvořena tenkou skleněnou membránou zhotovenou ze speciálního iontově selektivního sodno-vápenatého skla. Elektroda je naplněna tlumičem o konstantním pH, do kterého je ponořena vnitřní referenční elektroda, označovaná také jako svodná elektroda. K tomuto účelu se nejčastěji používá elektroda chlorido-stříbrná. Působením vody pak dochází k hydrolyze skleněné membrány a k vzájemné výměně sodíkových iontů skla za vodíkové ionty z roztoku.



Obrázek 23. Blokové schéma měřicího řetězce pH

Z obodového hlediska se jedná se o zdroj napětí s vysokým vnitřním odporem, větším než 100 MΩ, proto je nutné impedančně upravit vstup měřicího přístroje (AD převodník, multimetr), aby se eliminovala chyba měření. Impedanční přizpůsobení je možné provést operačním zesilovačem, který má teoreticky nekonečně velký vstupní odpor. V praktické části to bude zesilovač na bázi unipolárních tranzistorů. Pak už lze provést digitalizaci analogové hodnoty výstupu zesilovače vhodným AD převodníkem. V digitální podobě už mikroprocesor dokáže pracovat s naměřenou hodnotou pH a dokáže provádět kalibrace. Jinou možností jak provádět kalibraci elektrody by bylo zavedení zpětné vazby do obvodu zesilovače (impedanční přizpůsobení), ale tato možnost by vyžadovala mechanické nastavení zpětnovazebního prvku (potenciometr), což není žádoucí.

4.5 LAN – připojení k internetu

V dnešní době roste trend ovládání a sledování věcí na dálku. Proto i tento systém bude vybaven komunikačním rozhraním LAN. Bohužel komunikace prostřednictvím LAN se nedá bez kompletního zdrojového kódu simulovat v programu Proteus ISIS. Prostřednictvím LAN se vytvoří jednoduchý webový server, na kterém budou informativní údaje o akváriu (aktuální teplota a pH, režim osvětlení, režim hnojení apod.).

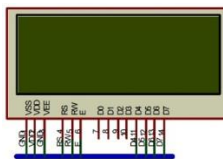
4.6 Displej



Obrázek 24. Blokové schéma zapojení LCD displeje

Jako hlavní informační prvek je použit LCD displej o rozměrech 20x4 znaků (obr.25), který pracuje s poměrně známým a jednoduchým řadičem HD44780. Nevýhodou tohoto řadiče je paralelní komunikace ve dvou možných režimech, tedy pomocí 8 signálních vodičů plus napájení nebo pomocí 4 signálních vodičů plus napájení. Jak můžeme vidět v blokovém schématu (obr.24), návrh tedy obsahuje převodník paralelní komunikace na sériovou I²C. Pro komunikaci budou pak stačit opět

pouze dva signální vodiče a napájení.

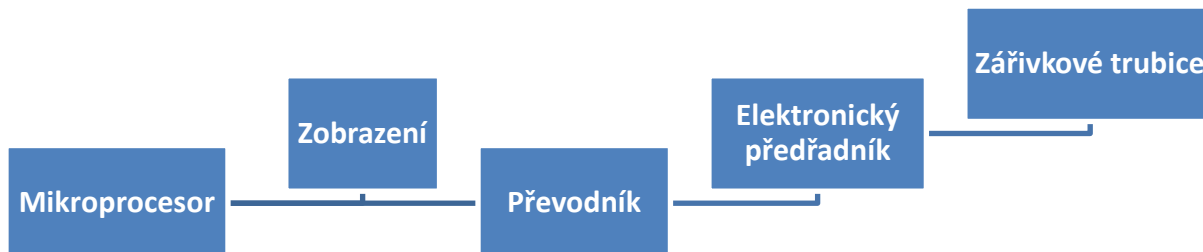


Obrázek 25. LCD displej v simulačním programu

Model LCD displeje v simulačním návrhu má integrovanou pouze paralelní komunikaci (D7, ..., D4), proto je mezi procesorem a LCD displejem převodník na I^2C sběrnici. Při fyzické realizaci bude použit I^2C převodník.

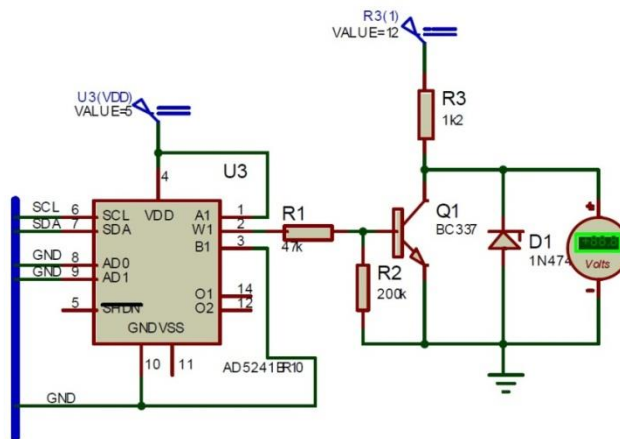
4.7 Osvětlení

Osvětlení je jedním z nejdůležitějších prvků akvária. Musí existovat vhodný poměr mezi osvětlením a hnojivem, tak aby byl splněn ekologický zákon minima a nastolena ekologická rovnováha. Tedy vyšší rostliny prosperují a tím pádem nezbyvá místo pro růst řas. Existuje mnoho názorových směrů ohledně výběru druhu osvětlení (LED, zářivky, metal-halidové výbojky apod.), ale pro potřeby této práce uvažujeme stále nejpoužívanější druh zářivkového osvětlení s trubicemi T5.



Obrázek 26. Blokové schéma zapojení systému osvětlení

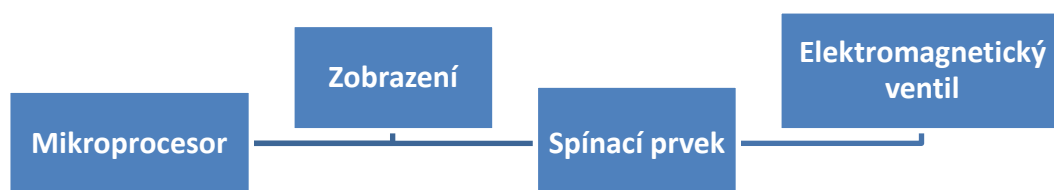
V blokovém schématu (obr.26) můžeme vidět zapojení mikroprocesoru se zářivkovým osvětlením. Samotné řízení obstarává převodník, který vytváří vhodné napětí (logika 1-10 V) pro elektronický předřadník. Bližší pohled na navržený převodník nám dává elektrické schéma zapojení.



Obrázek 27. Elektrické schéma zapojení převodníku 1-10V

Velkou výhodou tohoto zapojení (obr.27) je fakt, že mikroprocesor odešle do převodníku žádanou hodnotu a nadále nemusí generovat žádné podpurné signály, jak tomu je v obdobných převodnicích frekvence-napětí. Základem je digitální potenciometr nebo DA převodník komunikující s mikroprocesorem po I^2C sběrnici. V případě simulace je použit digitální 10 k Ω potenciometr s programovatelnou 7 bitovou adresou. Digitální potenciometr nastavuje pracovní bod tranzistoru tak, aby výstupní napětí za Zenerovou diodou bylo v rozsahu 1-10 V. Samotná Zenerova dioda pak obstarává horní limitaci signálu právě na 10 V. Mikroprocesor zašle žádanou numerickou hodnotu v rozsahu 0-255, které pak odpovídá na výstupu obvodu napětí v rozsahu 1-10 V (logika pro řízení elektronických předřadníků). Vzhledem k tomu, že tranzistor je nelineární součástka, v řídicím kódu programu je provedena normalizace řídicí funkce, tak aby řízení intenzity osvětlení probíhalo lineárně.

4.8 Řízení CO₂



Obrázek 28. Blokové schéma pro řízení systému CO₂

Oxid uhličitý je pro rostliny hlavní živinou, bez níž by nebyl možný jejich růst. Přírodní zdroj oxidu uhličitého v akváriu (dýchání ryb, procesy ve dně akvária, difuze ze vzduchu) může být díky intenzivní fotosyntéze brzy vyčerpán a stává se tak limitujícím faktorem růstu rostlin. Proto musíme vodu uměle dosycovat. Obecně pro rozpustnost plynů platí Henryho zákon, který říká, že koncentrace rozpuštěného

plynu ve vodě je přímo úměrná parciálnímu tlaku plynu nad její hladinou.

$$C = K \cdot P \quad (4.8.1)$$

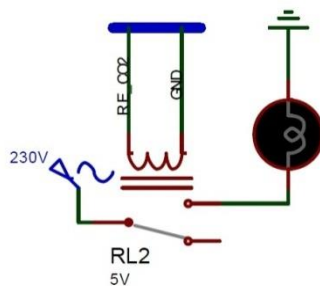
kde $C [mg/l]$ je koncentrace nasycení vody plynem, $K [mg/l]$ je absorpční koeficient a $P [Pa]$ je parciální tlak plynu, který je přímo úměrný objemovému procentu, v jakém je plyn obsažen ve vzduchu.

Absorpční koeficient silně závisí na teplotě vody a tlaku. Čím je teplota vody vyšší, tím méně plynu je voda schopna pojmout. Difuze je spontánní pronikání molekul (iontů) z oblasti vyšší koncentrace do míst s koncentrací nižší v důsledku tepelného pohybu částic. Rychlost difuze se řídí Fickovými zákony, kde mírou difuze je difuzní koeficient. Koncentrace oxidu uhličitého rozpuštěného ve vodě ze vzduchu je nepatrná v porovnání s koncentrací dosažitelnou sycení čistým plynem.



Obrázek 29. Topologie systému sycení plyným CO₂

Vzhledem k důležitosti hnojení pomocí oxidu uhličitého je zde uvedeno blokové schéma sycení (obr.29). Zdrojem plynu je nádoba s čistým oxidem uhličitým naplněná až do tlaku 200 barů. Tento tlak je pro přímé použití příliš velký, takže je ho potřebné snížit na úroveň v jednotkách barů. Pro tento účel poslouží redukční ventil, který tlak sníží. Pro jemné nastavení průtoku plynu slouží jehlový ventil, za kterým následuje elektricky ovládaný ventil řízený mikroprocesorem, který na základě zvoleného řízení vyhodnotí, zda se má ventil otevřít nebo zavřít. Z hlediska bezpečnosti je těsně před difuzérem zařazen zpětný ventil, aby nedošlo k průniku vody do tlakové nádoby. Samotný difuzér vytváří jemné bubliny oxidu uhličitého, které difundují do vody a zvyšují tak koncentraci volného oxidu uhličitého.

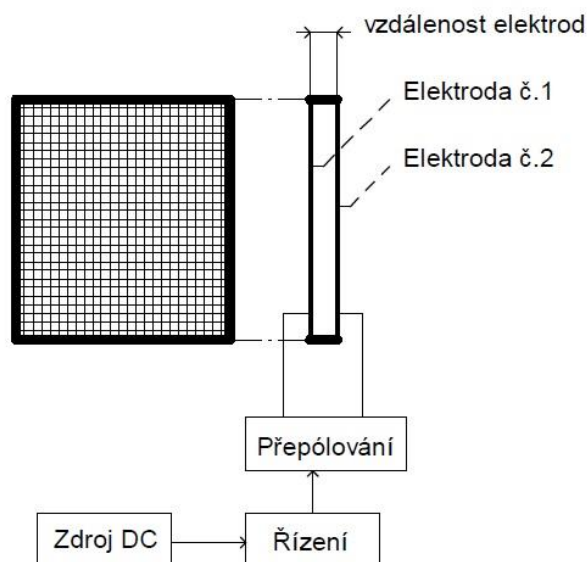


Obrázek 30. Ovládání cívky elektromagnetického ventilu v simulačním programu

Spínání elektromagnetického ventilu obstarává relé (obr.30), protože majoritní většina dostupných solenoidových ventilů pracuje se síťovým napětím 230 V, proto je použití relé nejjednodušší volbou z hlediska akčního členu řízení. Samotné vinutí elektromagnetického ventilu je v elektrickém schématu reprezentováno vláknem žárovky, které se po sepnutí relé rozsvítí.

4.9 Elektrolýza

Jak bylo uvedeno výše (obr.14), je elektrolýza velice vhodný prostředek pro boj s řasami. Základem je elektrodový systém tvořený dvěma elektrodami z nerezové oceli (jemné pletivo) vzdálených řádově v milimetrech od sebe (obr.31).



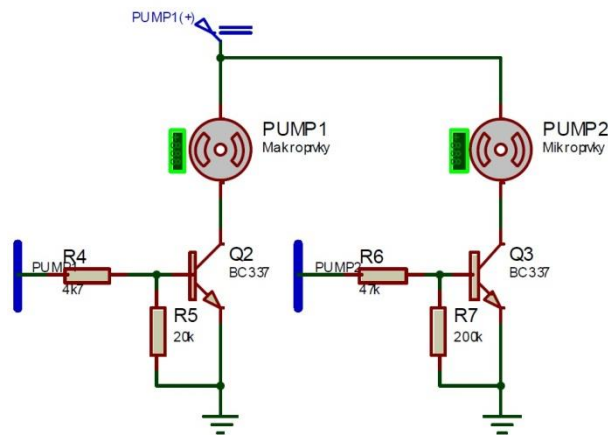
Obrázek 31. Blokové schéma navrhovaného řešení elektrolýzy vody

Přepólování zde řeší problém s nerovnoměrným opotřebením elektrod. Z hlediska řízení se jedná o pravidelné spínání DC zdroje. Ve zdrojovém kódu mikroprocesoru bude nastavena intenzita spínání a doba sepnutí. V komerčním řešení se elektrody spínají pravidelně dvakrát za hodinu na zhruba 15 sekund v závislosti na objemu akvária.

4.10 Tekutá hnojiva



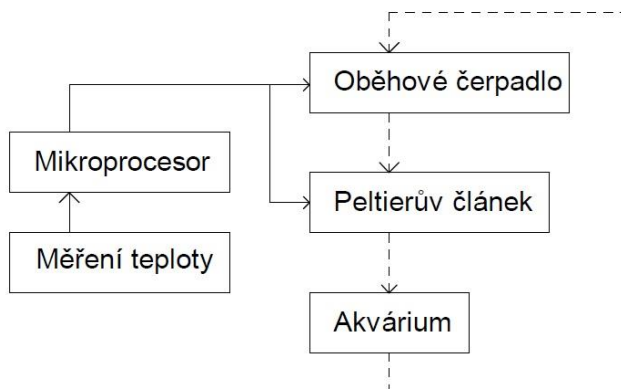
Obrázek 32. Blokové schéma řízení dávkování hnojiva



Obrázek 33. Elektrické simulační schéma dávkování hnojiva

Schéma (obr.33) ukazuje spínání dávkovacích čerpadel pomocí tranzistorů. Vzhledem k tomu, že dávkovací čerpadla pracují s napětím 12 V lze bez problému použít spínání tranzistorem namísto relé. Základem zapojení je tedy tranzistor jako spínač s vhodně nastaveným pracovním bodem. Fyzické realizace obsahuje zásobní nádobky na hnojivo s objemem 300 ml. Tento objem je optimální z hlediska životnosti hnojiva při pokojové teplotě a při standardní dávce 10 ml za den. Dávkovací čerpadla jsou samonasávací s výtlakem do 2 metrů nad úroveň čerpadla. Při napájecím napětí 12 V je objemový průtok čerpadla 1 ml za sekundu. Z toho vyplývá jednoduchost řízení a to pouhé uvedení tranzistoru do vysoké logické úrovně na definovaný čas, v případě jedné dávky tedy na dobu 10 sekund.

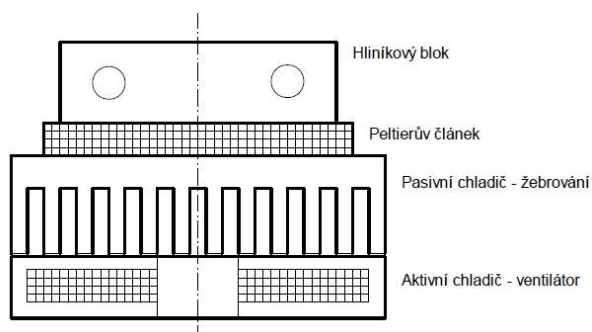
4.11 Chlazení



Obrázek 34. Blokové schéma navrhovaného chladicího systému

Zejména v letních měsících akvaristé řeší problém vysoké teploty vody v akváriu. Pro některé druhy ryb a rostlin může být teplota nad 28°C fatální. Vzhledem k ceně komerčních chladících zařízení však většina akvaristů řeší problém s přehříváním každodenní výměnou většího objemu vody, tento způsob je však časově i finančně náročný v závislosti na objemu akvária. Hlavním prvkem navrhované chladicí stanice je Peltierův článek, který využívá Peltierova jevu. Průchodem stejnosměrného elektrického proudu článkem se vytvoří teplotní rozdíl mezi spoji článku. V závislosti na polaritě přiloženého napětí se bude jeden spoj ohřívat a druhý ochlazovat.

V blokovém schématu (obr.34) vidíme základní uspořádání systému. Jedná se o uzavřený okruh, kde na začátku oběhové čerpadlo nasává vodu z akvária a žene ji přes chladicí blok napojený na Peltierův článek zpět do akvária. Měření teploty a řízení chlazení obstarává mikroprocesor. Na obrázku můžeme vidět fyzickou reprezentaci chladicího bloku. V simulačním prostředí proteus ISIS bohužel nelze Peltierův článek simulovat.

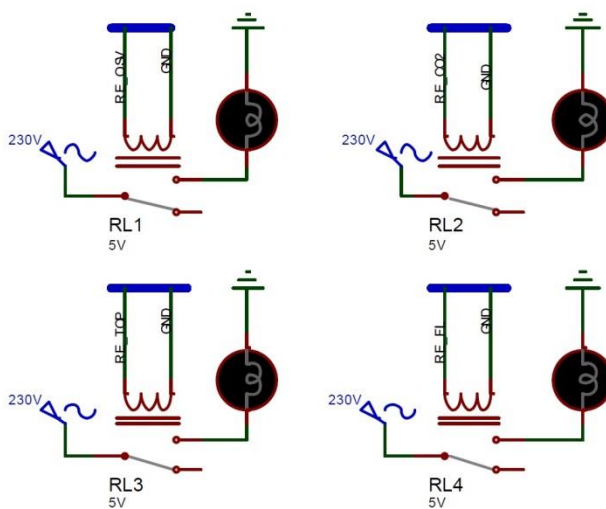


Obrázek 35. Řez chladícím blokem

4.12 Krmení

Automatické dávkování suchého krmiva pro akvarijní živočichy je nedílnou součástí automatizovaných systémů. Základním dílem je zásobník na krmivo a elektronické obvody, které řídí dávkování. Nejjednodušší uspořádání je rotační buben, kterým otáčí v nastaveném čase motor s převodovým mechanismem. Složitější systémy využívají stacionárního zásobníku a šnekového mechanismu pro dopravu krmiva do akvária. Díky tomu, že výroba bubnu a podobného mechanismu by byla nejen časově náročná, volíme variantu úpravy nejlevnějšího dávkovače krmiva. Tento dávkovač lze objednat za cenu přibližně 7 dolarů. Samotná úprava zahrnuje jen demontáž elektronické části krmítka (DPS s časovačem a tranzistorem zapojeným jako spínač), veškeré mechanické části zůstávají. Mikroprocesor na základě nastaveného programu krmení (např. jednou za 24 hodin) sepne výstup do vysoké logické úrovně na dobu nezbytně nutnou, aby se z bubnu vysypala jedna dávka krmiva.

4.13 Ostatní periferie



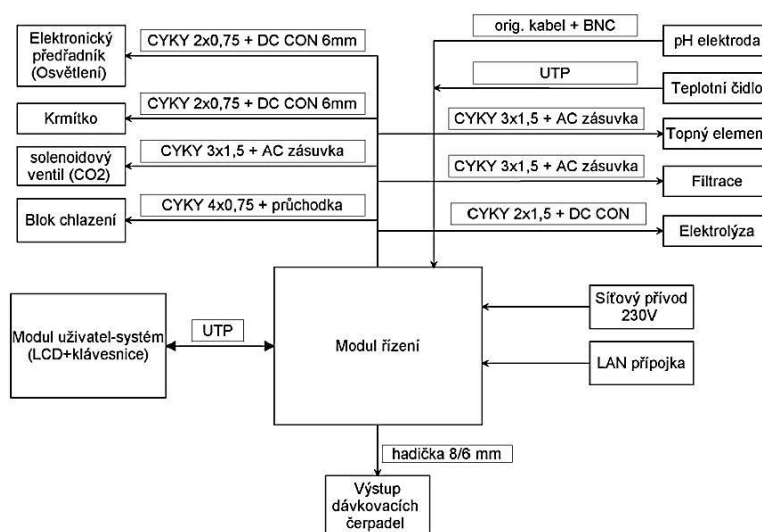
Obrázek 36. Elektrické modelové schéma řízení ostatních periférií

Vzhledem k možnosti dálkové správy prostřednictvím LAN modulu a programového nastavení je použito spínání všech komponent pomocí relé modulu. Lze tedy manuálně ovládat zapnutí a vypnutí filtračního systému, topítka, osvětlení, elektrolýzy a CO₂. Kompletní simulační schéma obsahuje příloha č.1.

5 POPIS REALIZACE, MOŽNOSTÍ A INICIALIZACE OVLÁDACÍHO SOFTWARE

5.1 Zapojení modulů

System je složen ze dvou propojených modulů. Srdcem celého zařízení je mikroprocesor Arduino a deska plošného spoje řízení. Tyto dva prvky jsou vzájemně propojeny a umístěny v instalační krabičce, která je jako celek „Modul řízení“ označena v blokovém schématu na obr.37. Kromě mikroprocesoru a plošného spoje (příloha č. 5 a č. 6) je instalační krabička osazena pěti jednofázovými zásuvkami pro jednotlivé komponenty, které vyžadují napájení 230 V. Jedna zásuvka je trvale pod síťovým napětím 230 V. Dále je zde umístěn zdroj stejnosměrného napětí 230 V/12 V, který slouží k napájení veškeré logiky a procesu elektrolýzy. Na mikroprocesoru je implementován modul LAN komunikace pro připojení do internetové sítě prostřednictvím UTP kabelu. Výstupem řízení je série konektorů, do kterých se připojují periferie. Spojení s uživatelským rozhraním a teplotním čidlem je kvůli jednoduchosti a dostupnosti vyřešeno opět UTP kabelem. Elektroda pro měření pH vody se připojuje na BNC konektor. Ostatní elektrické výstupy jsou realizovány stejnsměrným konektorem o průměru 6 mm. Výstupem dávkovacích čerpadel je hadička s vnitřním průměrem 6 mm osazená přímou spojkou pro jednoduché spojení s rozvodem hnojiva. Přehled Kabeláže a jednotlivých konektorů můžeme vidět v blokovém schématu na obr. 37.



Obrázek 37. Blokové schéma zapojení modulů a periférií

5.2 Rozhraní uživatel-systém



Obrázek 38. Modul rozhraní uživatel-systém

Pro usnadnění komunikace mezi uživatelem a systémem byl vytvořen modul rozhraní uživatel-systém. Tvoří jej plastová krabička vytištěná na *3D tiskárně*, která je osazena *LCD* displejem o velikosti 20x4 znaků, a maticovou nalepovací klávesnicí 4x4 znaky. Komunikace modulu a řídicí sběrnice je fyzicky realizována pomocí *UTP* kabelu s nakrimpovanými konektory *RJ45*, který je levný a běžně dostupný. Elektrickou komunikaci zajišťuje sběrnice *I²C*, po které probíhá přenos dat jak pro displej, tak pro klávesnici. Popis zobrazovaných hodnot na displeji je v kapitole 5.3. Na klávesnici jsou obsaženy numerické znaky pro zadávání číselných hodnot do systému (obr.38 *modře*) a zbytek tvoří znaky, které mají definované procesy s výjimkou znaku „*“ pomocí kterého uživatel kromě jiného zadává desetinnou tečku. Znak „*“ a „#“ slouží pro pohyb v menu, kde hvězdička představuje posun nahoru, a mřížka posun dolů. Pro potvrzení slouží písmeno *D* a pro krok zpět slouží písmeno *A*. Poslední znaky *B* a *C* jsou vyhrazeny pro ovládání podsvícení displeje. Přehled a význam jednotlivých kláves je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1. Popis znaků klávesnice

Znak	Význam	Funkce
0-9	číslo	zadání číselné hodnoty
*	pohyb po menu	pohyb nahoru ↑
#		desetinná tečka
		pohyb dolů ↓
D	aplikační klávesy	potvrzení →
A		krok zpět ←
B	podsvícení	aktivace
C		deaktivace

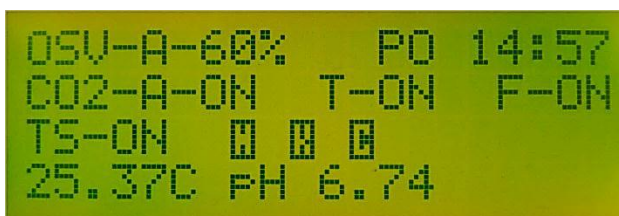
5.3 Položky menu systému

Nápověda

První položkou v menu systému je nápověda. Tato volba obsahuje jméno a kontaktní mail na mou osobu. V případě dotazů, poznámek, návrhům k vylepšení nebo ztráty papírové dokumentace má uživatel možnost komunikovat a poskytnout zpětnou vazbu.

Zobrazení hodnot

Nejdůležitější položkou v celém systému je „zobrazení hodnot“. V tomto bloku jsou uživateli sdělovány všechny důležité parametry vzniklé spojením automatizovaného systému a akvária.



Obrázek 39. Reálné hodnoty na displeji při provozu

Na prvním řádku displeje vlevo je umístěna indikace a režim osvětlení pod zkratkou „OSV“. Další znak udává režim osvětlení, který může nabývat dvou hodnot. Znak „A“ je vyhrazen pro automatizované řízení osvětlení a znak „M“ je vyhrazen pro manuálně nastavované osvětlení. Následující numerická hodnota představuje procentuální intenzitu osvětlení, která je zobrazována jak v manuálním, tak v automatickém režimu osvětlení. Pokud je ovšem osvětlení manuálně vypnuto, je místo číselné hodnoty zobrazený řetězec „OFF“. Další informací, kterou lze nalézt na prvním řádku displeje je aktuální den v týdnu a čas. Časová hodnota je zobrazovaná ve 24 hodinovém formátu. Druhý řádek displeje je rezervován v levé části pro indikaci stavu sycení oxidem uhličitým pod zkratkou „CO₂“. Následující znak opět představuje režim řízení dávkování plynu, kde znak „A“ představuje automatické řízení synchronizované s osvětlením a znak „M“ značí manuální režim. Poslední částí související s dávkováním oxidu uhličitého je aktivita sycení definovaná řetězcem „ON“ pro aktivní dávkování a „OFF“ pro vypnuté dávkování. Uprostřed druhého řádku se nachází informační znak „T“, který je deklarovaný pro aktivitu topného elementu. Následuje režim topení, který vychází z jednoduché dvoustavové logiky ovládání, tedy řetězec „ON“ pro topný element připojený k síťovému napájení a řetězec „OFF“, který značí odpojení od síťového napájení. Stejným způsobem je řízena filtrace pod značkou „F“, která může rovněž nabývat hodnot „ON“ a „OFF“. První položka třetího řádku představuje informaci o elektrolýze vody (*TwinStar*) se značkou „TS“. Indikace této

volby opět nabývá dvoustavové úrovně typu „ON“ a „OFF“. Ovšem logika ovládání je zde odlišná od předchozích funkcí. Aktivací elektrolyzy je povolena funkce pro její ovládání avšak elektrolyza vody v akváriu neprobíhá neustále, ale jen při splnění definovaných podmínek (viz. kapitola 4.9). Další informační hodnotou třetího řádku je série znaků „H“, „K“ a „C“. Znak „H“ informuje o aktivitě funkce hnojení mikro nebo makro prvky. Je definovaný jako logická funkce OR, stačí tedy aktivovat alespoň jednu ze zmíněných metod a znak bude zobrazen. Prostřední znak „K“ z této trojice je přiřazen k funkci krmení a jeho význam informuje uživatele o automatickém denním dávkování krmiva. Poslední znak „C“ informuje uživatele, že byla spuštěna funkce chlazení. Na závěr, v levé části čtvrtého řádku, je uživateli zobrazována teplota vody v akváriu ve stupních celsia následovaná hodnotou pH. V případě, že je aktivní funkce hlídání pH a po překročení nastavené podmínky, se vedle hodnoty pH zobrazí uživateli varovný řetězec „CO₂!“, který informuje o nebezpečně nízké hladině pH vody, která je svázaná s vysokým obsahem oxidu uhličitého. Kompletní přehled zobrazovaných funkcí s možnými variantami zobrazení na displeji je uveden v tabulce 2.

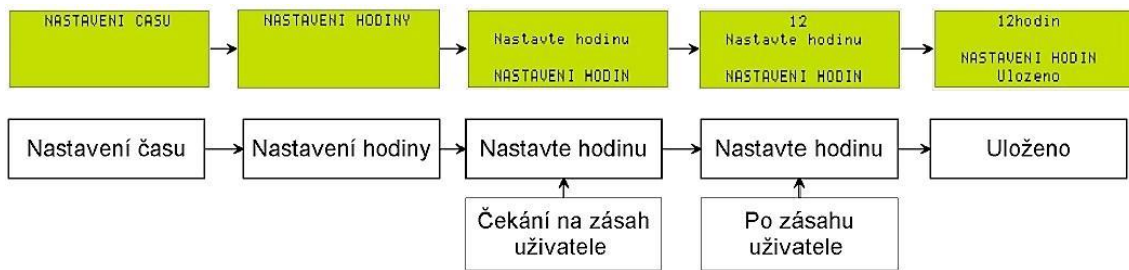
Tabulka 2. Přehled funkcí v menu

Funkce	Zkratka	Režim	Hodnota na displeji
Osvětlení	OSV	A	xyz [%]
		M	xyz [%] OFF
		-	-
Den v týdnu	-	-	PO,UT,ST,ČT,PA,SO,NE
Čas	-	-	hh:mm
Dávkování CO ₂	CO ₂	A	-
		M	-
		-	-
Topení	T	-	ON
		-	OFF
Filtrace	F	-	ON
		-	OFF
Elektrolyza	TS	-	ON
		-	OFF
Hnojení makroprvky	H	1 dávka	-
		A	znak H
		M	-
Hnojení mikroprvky	H	1 dávka	-
		A	znak H
		M	-
Krmení	K	1 dávka	-
		A	znak K
		M	-
Chlazení	C	A	znak C
		-	-
Teplota	-	-	xx.yy °C
pH	pH	-	x.yy

Nastavení času

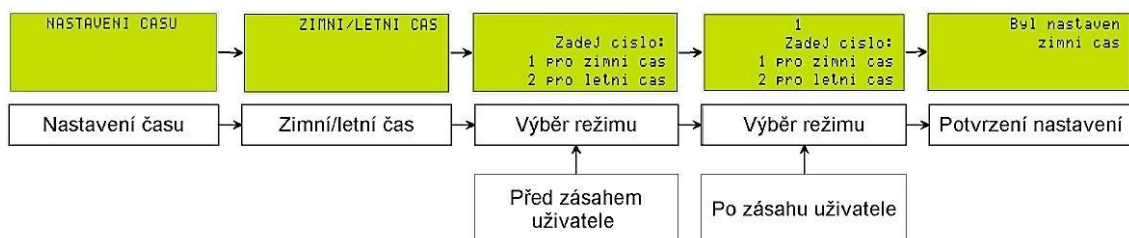
Čas je důležitou měrnou veličinou, se kterou tento automatizovaný systém pracuje. Na základě aktuálního času se odvíjí většina periodických regulačních dějů. Jako zdroj dat pro získání aktuálního času je v souladu s návrhem použit obvod reálných hodin *DS1307* jak bylo popsáno v [kapitole 4.3](#). Pro počáteční nastavení času uživatelem systém disponuje dvěma možnostmi. Uživatel může nastavit časový údaj ručně nebo může použít načtení aktuálního času prostřednictvím internetové komunikace s časovým severem.

Při ručním nastavení uživatel zadává aktuální hodinu a minutu prostřednictvím klávesnice do mikroprocesoru (obr. 40), který provede přepočítání na *BCD kód* a následně jej pošle po sběrnici *I²C* do obvodu reálných hodin, kde se hodnota uloží a obvod s ní dále pracuje. V menu systému se jedná o položky „Nastavení času/Nastavení hodiny“ a „Nastavení času/Nastavení minuty“. Stejným způsobem se provádí nastavení minuty.



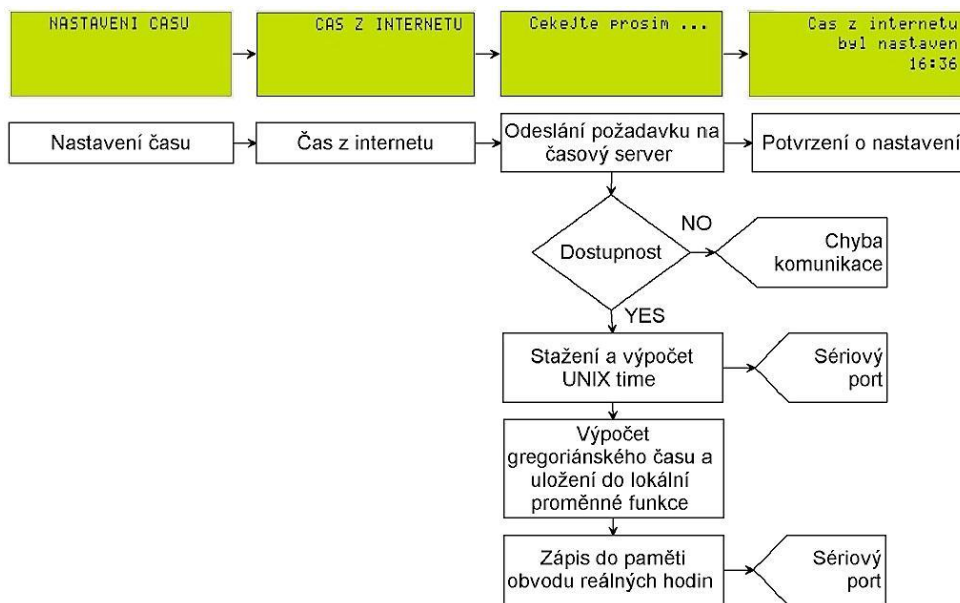
Obrázek 40. Blokové schéma nastavení času

Pokud bude zvolena možnost automatického nastavení času prostřednictvím časového serveru, mikroprocesor se prostřednictvím *LAN* modulu a protokolu *UDP* spojí s časovým serverem a stáhne aktuální čas do své paměti. Stažená časová stopa je ve formátu *UNIX time*, tedy počet uplynulých sekund od okamžiku koordinovaného světového času. Unixový čas tedy není lineární reprezentací času, ani přesnou reprezentací koordinovaného světového času avšak přejímá standardy *UTC*, označuje data podle gregoriánského kalendáře a rozděluje čas dne do hodin, minut a sekund. Na rozdíl od *UTC* nezohledňuje přestupné sekundy, nebere tedy v úvahu synchronizaci se zemskou rotací. Postup nastavení ukazuje obr.42.



Obrázek 41. Blokové schéma nastavení zimního/letního času

Před samotným stažením časové hodnoty z internetu je vhodné nastavit parametr „Zimní/letní čas“, protože Česká Republika spadá k zemím, které provádí časovou korekci na letní čas. V menu systému se jedná o položku „Nastavení času/Zimní/letní čas“. Volba časového režimu je zachycena na obr.41. Po nastavení zimního nebo letního času následuje stažení dat z časového serveru.



Obrázek 42. Blokové schéma nastavení času prostřednictvím internetu

Nastavení data

Obvod *DS1307* umožňuje načtení kompletního data, ale pro přehlednost a omezený počet znaků displeje se bude na displeji zobrazovat jen aktuální den v týdnu. Samotné nastavení dne se provádí položkou menu „Nastavení data/nastavení dne“. Vstupem uživatele je číselná hodnota, která reprezentuje zvolený den. Indexace začíná hodnotou jedna, která odpovídá neděli a končí hodnotou 7, která je přiřazená sobotě.

Tabulka 3. Převodní tabulka dne v týdnu

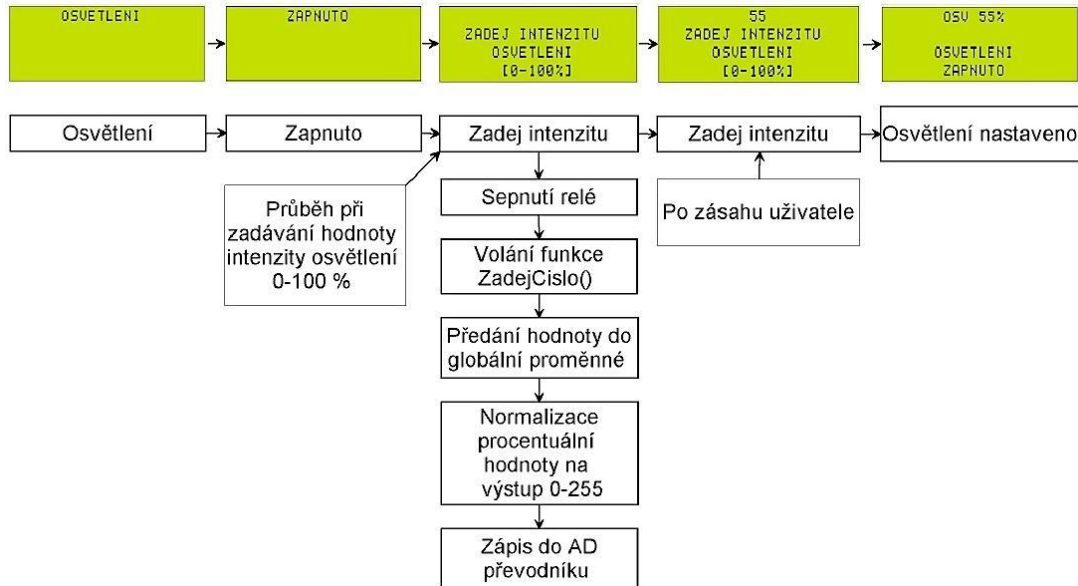
číselná hodnota	den
1	Neděle
2	Pondělí
3	Úterý
4	Středa
5	Čtvrtek
6	Pátek
7	Sobota



Obrázek 43. Blokové schéma nastavení data

Osvětlení

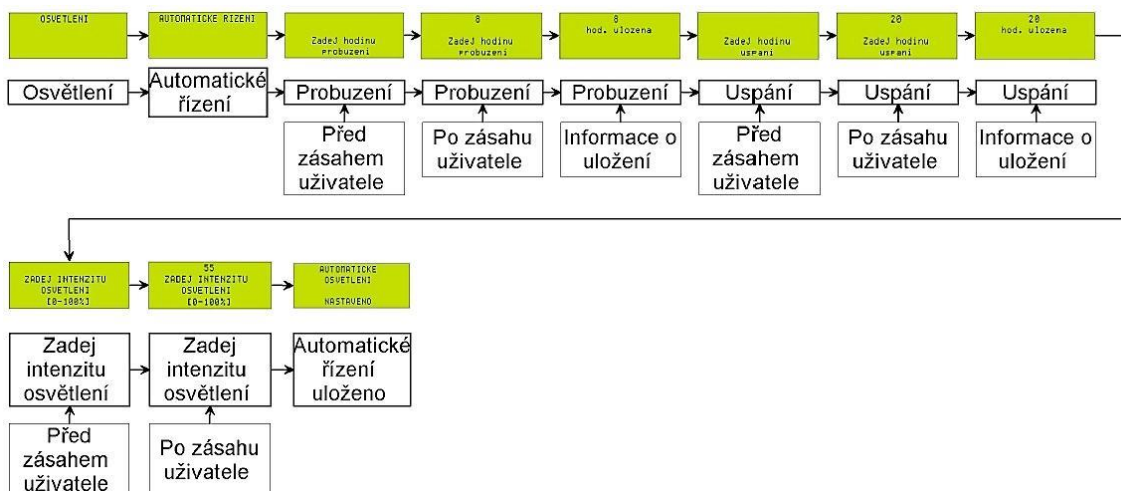
Koncepce a zapojení podpůrných komponentů pro řízení osvětlení byly zmíněny v [kapitole 4.7](#). Uživatel má možnost výběru režimu osvětlení. První z možností je manuální nastavení intenzity osvětlení. V menu se jedná o položku „Osvětlení/Zapnuto“. Manuální režim nastavení osvětlení je zobrazen na obr.44.



Obrázek 44. Blokové schéma manuálního režimu nastavení osvětlení

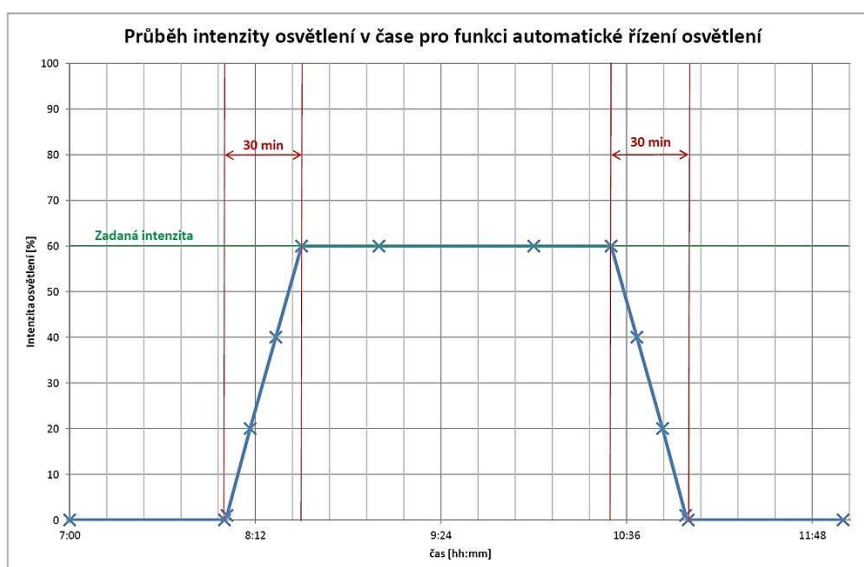
Tato volba je vhodná například pro údržbu akvária, kdy je žádoucí mít vysokou intenzitu osvětlení nebo pro trvale osvětlená akvária. Zvolená intenzita osvětlení je trvale nastavena dokud ji uživatel sám nezmění. Jak je vidět v blokovém schématu, první bude sepnuto relé zápisem na digitální port mikroprocesoru logickou nulou. Sepnutí při logické nule vychází z použitého modulu relé, která jsou proudově posílené a mají takto zvolenou logiku ovládní. Následuje funkce *ZadejCislo()*, která převádí stisk klávesy na číselnou hodnotu. Následné předání načtené hodnoty z klávesnice globální proměnné, na základě které se řídí další procesy. Před samotným odesláním do *AD převodníku* je potřeba hodnotu v procentech normalizovat na standardní bitový výstup. Jedná se o hodnotu 0-255, která je po převedení odeslána do *AD převodníku*, kde vhodně nastaví řídicí napětí pro *elektronický předřadník*.

Funkce automatického osvětlení kompletně ovládá řízení osvětlení. První věc, kterou uživatel musí nastavit je čas, při kterém se osvětlení zapne, tedy „*hodina probuzení*“. V blokovém schématu (obr.45) byla jako příklad nastavena 8 hodina. Následuje zadání časové hodnoty, při které se osvětlení vypne, tedy „*hodina usnutí*“, která byla nastavena na 20 hodin. Poslední zadávanou hodnotou je maximální intenzita osvětlení, které se po pozvolném náběhu intenzity osvětlení dosáhne.



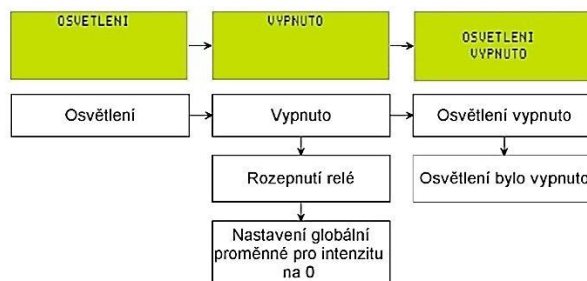
Obrázek 45. Blokové schéma automatického režimu osvětlení

Volba automatického řízení funguje tak, že pokud je aktuální čas shodný s nastaveným časem probuzení, sepne se relé a intenzita osvětlení je nastavena na úroveň 1 %. Během první půl hodiny se lineárně zvětšuje intenzita osvětlení až na nastavenou mez „intenzita osvětlení“. Tato hodnota je konstantní až do doby 30 minut před vypnutím osvětlení, kdy se začne lineárně snižovat až na hodnotu 1 %. Snižování/zvyšování intenzity probíhá každou minutu sestupných/náběžných 30 minut. Následuje rozepnutí relé a kompletní vypnutí osvětlení. Část průběhu s náběhem a sestupem intenzity je vidět na obr.46. Cílem bylo věrné napodobení přirozeného pozvolného východu/západu Slunce a zároveň nastavení žádané intenzity osvětlení v automatickém režimu.



Obrázek 46. Průběh intenzity osvětlení v čase pro automaticky řízené osvětlení

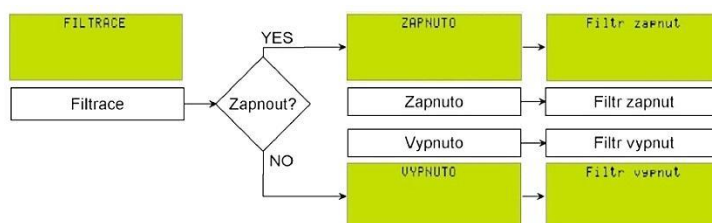
Poslední funkcí v podmenu „Osvětlení“ je položka „vypnuto“. Tato funkce slouží k vypnutí osvětlení, jak pro manuální, tak pro automatické řízení osvětlení. Proběhne vypnutí spínacího relé a odpojení elektrického předřadníku od napájecí sítě 230 V. Obr.47 zachycuje procesy vykonávané mikroprocesorem nutné k vypnutí osvětlení.



Obrázek 47. Blokové schéma funkce vypnutí osvětlení

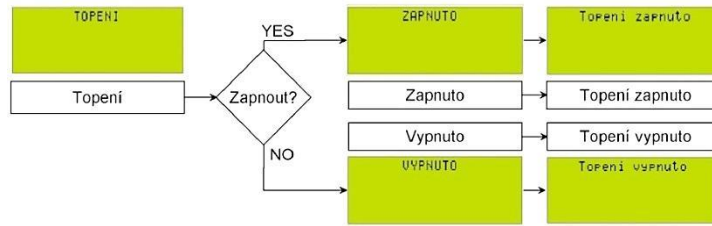
Filtrace a Topení

System umožňuje dvoustavové ovládání *filtrace* a *topení* pomocí spínání relé. Při každé operaci údržby bychom měli v zájmu bezpečnosti odpojit ze sítě všechna elektrická zařízení spojená s vodou, která jsou napájena síťovým napětím 230 V. Především se jedná o zmíněný filtr a topítko. System umožňuje odpojení těchto komponent pohodlně pomocí klávesnice, aniž bychom museli hledat správný kabel za akváriem. Tato volba ovšem nenahrazuje fyzické odpojení zařízení.



Obrázek 48. Blokové schéma funkce filtrace

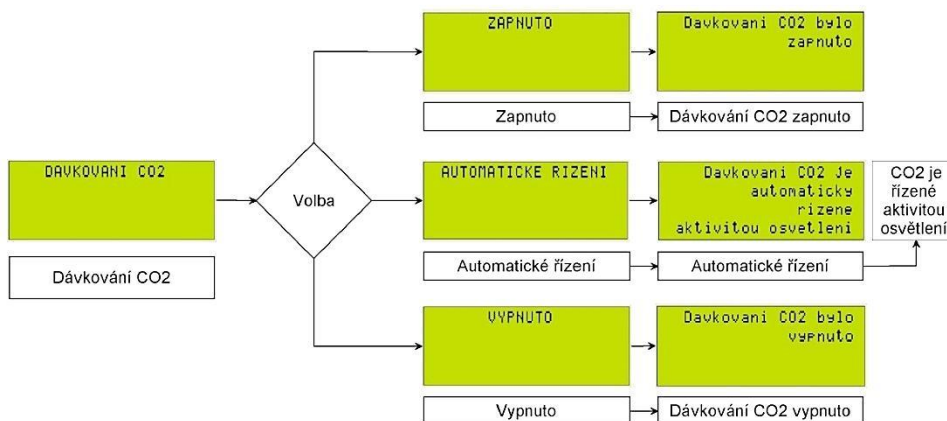
V menu systému jsou to položky „Filtrace“ a „Topení“, které obsahují volbu vypnout a zapnout, pomocí které zvolíme, zda bude zařízení pod napětím. Volba topení nezajišťuje vlastní regulaci teploty. Regulace ohřevu vody obstarává termostat připojeného zařízení „topítko“, který má pro akvaristické účely dostatečnou přesnost a nevyžaduje tedy přesné řízení teploty mikroprocesorem. Možné uživatelské zásahy jsou zobrazeny na obr.48 a obr.49.



Obrázek 49. Blokové schéma funkce topení

Řízení CO₂

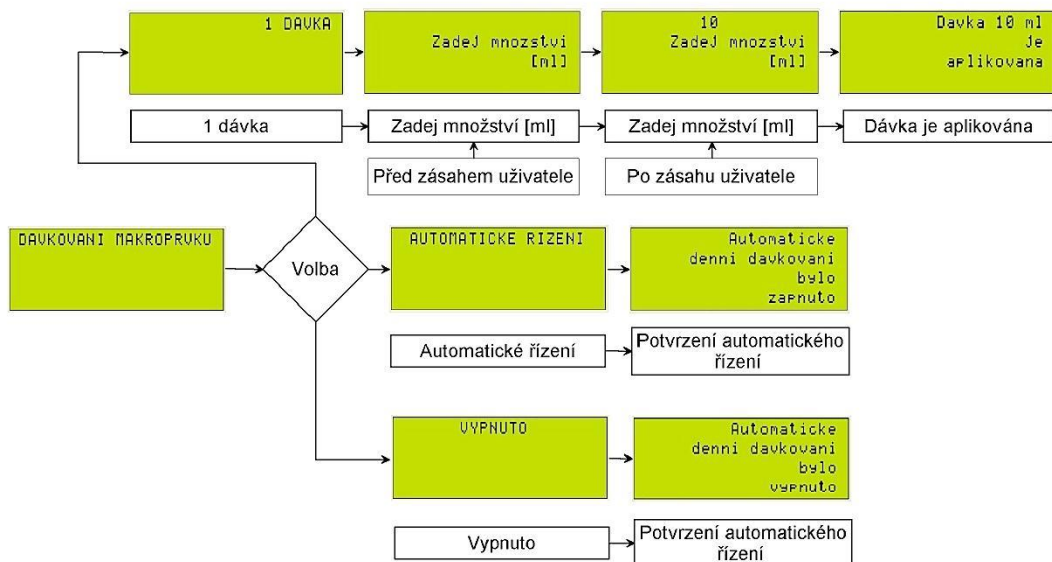
Převážná většina akvaristů používajících syčení oxidem uhličitým dávkuje plyn dvěma způsoby. První možností je neustálé syčení (24 hodin denně). Tato možnost nevyžaduje žádné řídicí členy, jde pouze o snížení tlaku pomocí redukčního ventilu a nastavení vhodného průtoku jehlovým ventilem do difuzéru. Druhou možností je synchronizace s osvětlením, pokud je aktivní osvětlení, dávkuje se plyn do akvária. V souladu s návrhem a různými možnostmi a režimy dávkování byly implementovány oba způsoby řízení. Možnost „Zapnuto“ zobrazená na obr.50 trvale sepne ovládací cívkou solenoidového ventilu a prostřednictvím difuzéru se dávkuje oxid uhličitý do akvária. Dávkování probíhá 24 hodin denně, dokud se uživatel nerozhodne tuto možnost vypnout pomocí možnosti „Dávkování CO₂/Vypnuto“. Druhou možností je automatické řízení spřažené s aktivitou osvětlení. Pokud využijeme možnost automatického řízení osvětlení, dávkování plynu bude probíhat synchronně bez zásahu uživatele. Stejně jako v předchozím případě má uživatel tuto možnost deaktivovat pomocí stejné volby v menu systému „Dávkování CO₂/Vypnuto“. Možné uživatelské zásahy jsou nastíněny na obr.50.



Obrázek 50. Blokové schéma funkce pro řízení oxidu uhličitého

Hnojení mikro a makro prvky

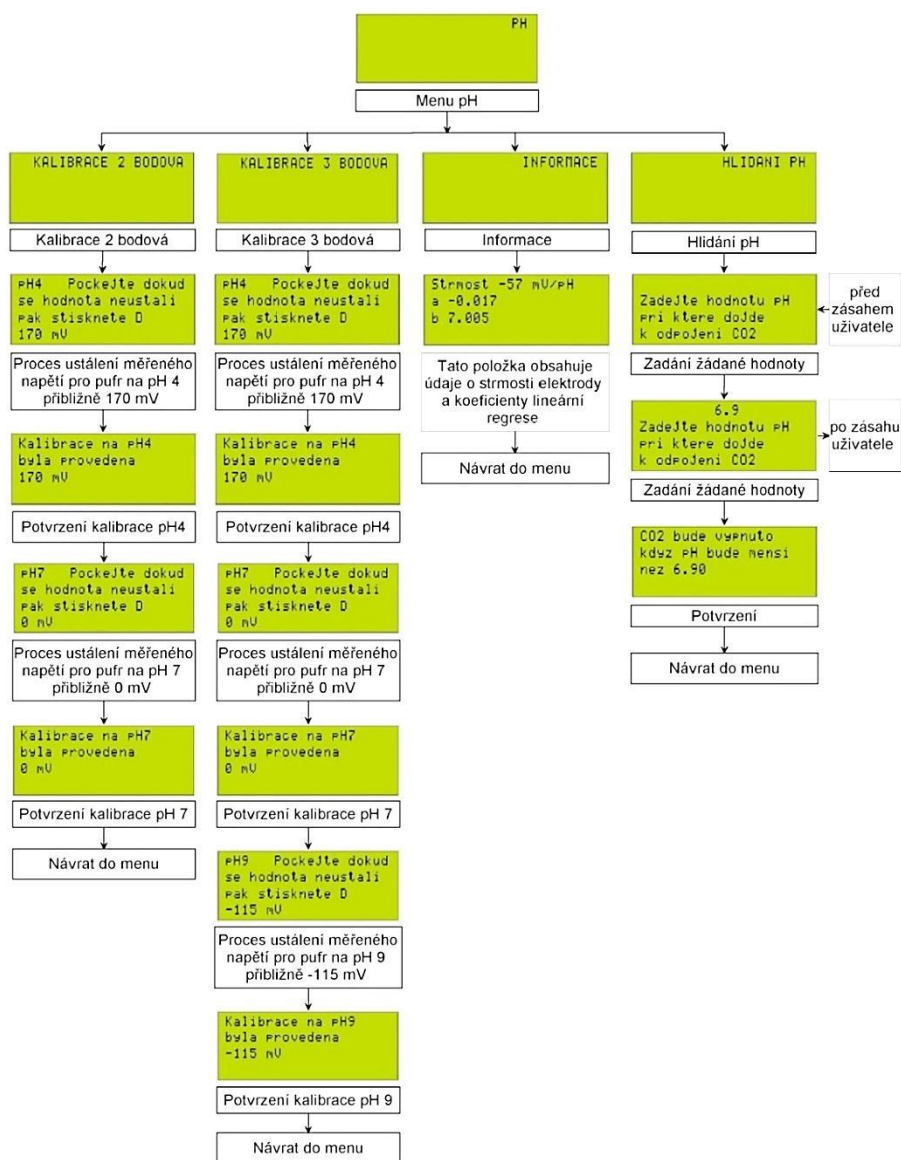
Dalším způsobem jak ovlivnit chemismus vody v akváriu je dávkování připravených roztoků hnojiv. Z tohoto důvodu vyplývá potřeba periodického dávkování hnojiv do vodního sloupce. Systém disponuje dvěma *dávkovacími čerpadly* pro oddělené dávkování *mikro* a *makro* prvků. Uživatel může využít volby „1 dávka“ pro aplikaci požadovaného množství hnojiva, nebo automatického režimu, kdy se jednou denně v 8 hodin ráno dávkuje 10 ml hnojiva. Tato hodnota je přednastavená a vychází z online kalkulátorů hnojiv, které většinou pracují s objemem jedné dávky 10 ml. Blokový diagram (obr.51) ukazuje dávkování makro prvků v jednotlivých režimech hnojení. Automatické hnojení bude pravidelně dávkovat 10 ml hnojiva každý den, dokud uživatel nezvolí možnost „Vypnout“ v menu systému, respektive v sub-menu „Dávkování makroprvků“ a „Dávkování mikroprvků“.



Obrázek 51. Blokové schéma systému dávkování tekutých hnojiv

Měření pH

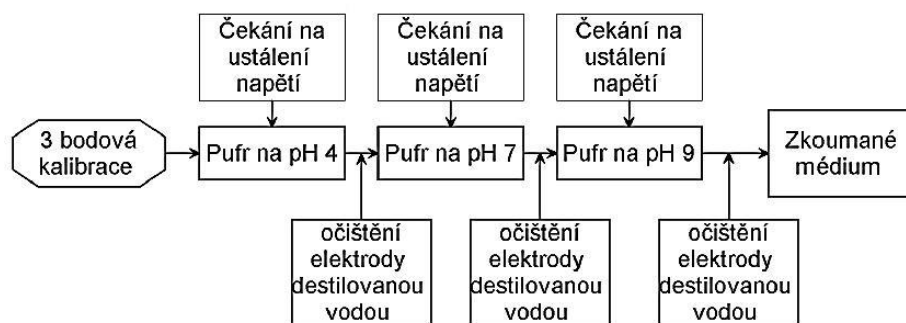
System disponuje nepřetržitým měřením pH vody v akváriu, které je signifikantním ukazatelem chemických vlastností v prostředí akvária. Před měřením pH je nutné provést kalibraci elektrody. Uživatel si sám zvolí, jestli využije možnosti 2 nebo 3 bodové kalibrace. Tyto funkce jsou dostupné v menu systému „PH/Kalibrace 2 bodová“ a „PH/Kalibrace 3 bodová“. Informace o stavu elektrody je dostupná v submenu pH pod položkou „Informace“ jak je zobrazeno na obr.52. Jako poslední je uživateli dostupná funkce „Hlídní pH“, která vyžaduje nastavení meze, při níž se potlačí dávkování oxidu uhličitého.



Obrázek 52. Blokové schéma funkce pro měření a kalibraci pH

Kalibrace pH elektrody

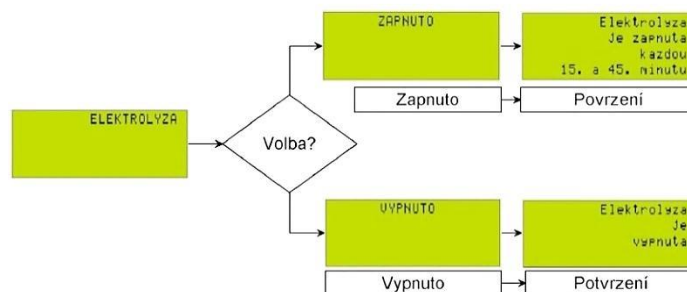
Nezbytným procesem pro měření pH je *kalibrace elektrody*. Systém má implementované dvě funkce pro kalibraci elektrody. První předpokládá použití dvou kalibračních roztoků s hodnotou $pH\ 4$ a $pH\ 7$, v druhém případě se pro kalibraci využívá tří kalibračních roztoků s hodnotou $pH\ 4$, $pH\ 7$ a $pH\ 9$. Další potřebnou věcí pro samotnou kalibraci je destilovaná voda sloužící pro opláchnutí elektrody po vložení do kalibračního roztoku. Postup kalibrace je zobrazován uživateli prostřednictvím displeje, na kterém je zobrazena hodnota napětí na elektrodě. V menu systému zvolíme „*pH/Kalibrace 3 bodová*“. V levé horní části displeje je uživatel informován, že prvním bodem je kalibrace na $pH\ 4$. Nyní je zapotřebí, aby byla elektroda vložena do roztoku s $pH\ 4$. Uživatel je zároveň informován, že má vyčkat než se ustálí hodnota měřeného napětí na elektrodě a následně stisknout klávesu „D“. Zobrazované napětí na elektrodě v roztoku o $pH\ 4$ by mělo být přibližně (170 ± 10) mV v závislosti na stáří elektrody. Po stisknutí klávesy uživatelem systém potvrzuje, že kalibrace na $pH\ 4$ byla provedena a následuje hodnota naměřeného napětí. V tomto bodě je potřeba očistit elektrodu od acidického pufru pomocí destilované vody. Následuje kalibrace neutrálním pufrem o hodnotě $pH\ 7$, kde se celý proces opakuje jako u kalibrace na $pH\ 4$. Hodnota napětí pro neutrální kalibrační roztok by měla být v rozsahu (0 ± 10) mV. Po potvrzení následuje kalibrace posledním roztokem o $pH\ 9$. Opět je třeba očistit elektrodu destilovanou vodou, než bude vložena do alkalického pufru. V tomto případě by měla být zobrazovaná hodnota napětí v rozsahu (-115 ± 5) mV. Celý proces tří bodové kalibrace zachycuje obr.53.



Obrázek 53. Proces kalibrace elektrody

Elektrolýza

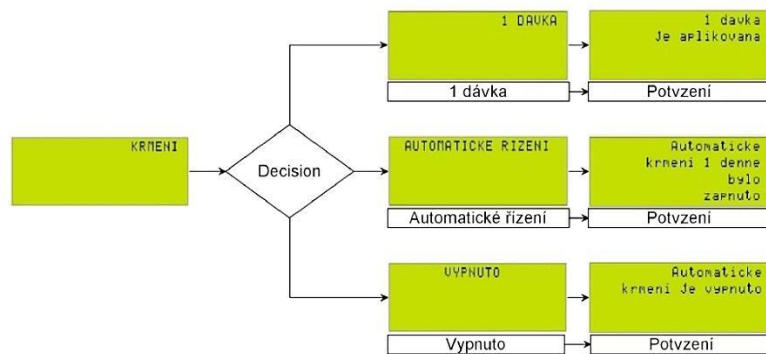
Další možností ovlivnění chemismu vody akvária je elektrolýza. Uživatel má možnost aktivace procesu elektrolýzy v menu „Elektrolýza“ volbou „Zapnuto“. Programově je tento proces nastavený tak, že každou 15. a 45. minutu v hodině sepne výkonový tranzistor zapojený jako spínač a uzavře tak stejnosměrný obvod mezi zdrojem napětí a *elektrodou*. Elektroda je tvořena nerezovým sítím s okem 1x1 mm uloženým v plastovém rámečku a nakrimpovaným kabelem. Elektroda vyžaduje běžnou údržbu, zejména očištění zanesených ok vodním kamenem a dalšími minerálními látkami. Předpokládaná životnost elektrody je úzce spjata s tvrdostí vody, která bude mít zásadní vliv na stav elektrody. Lze očekávat *nepřímou úměru* mezi tvrdostí vody a životností použité nerezové elektrody.



Obrázek 54. Blokované schéma funkce elektrolýza

Krmení

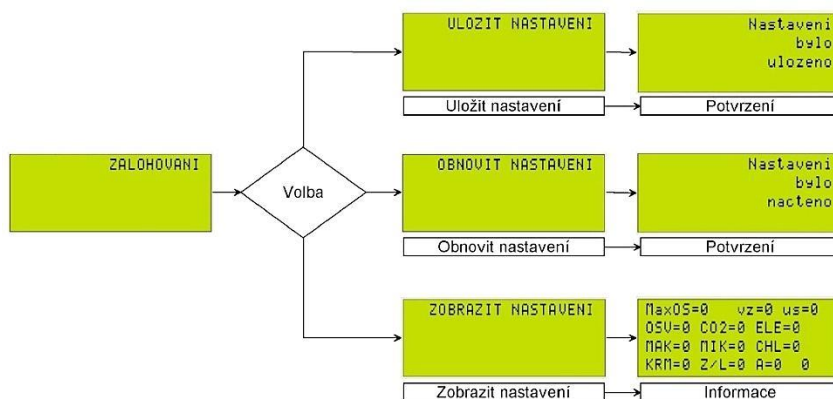
Dávkování krmiva je nedílnou součástí udržení a podpory života ve společenském akváriu. Existuje mnoho druhů potravy pro akvariální živočichy, ale pro účel této práce předpokládáme použití granulovaných nebo vločkových krmiv. Automatizovaný systém pracuje s neznačkovým komerčním, ale levným bubnovým dávkovačem krmiva, který byl pro potřeby tohoto systému zvolen a jednoduchým způsobem upraven. Modifikace komerčního dávkovače spočívá ve využití jeho implementovaného tlačítka pro jednu dávku. Stiskem tlačítka byl přiveden impuls na vstup řídicí logiky dávkovače a bylo provedeno jedno otočení zásobního bubnu kolem své osy. Na tlačítko byl paralelně připojen *digitální výstup* mikroprocesoru, který vhodným ovládním simuluje stisk tlačítka. Z hlediska ovládní má uživatel možnost aplikovat jednu dávku krmiva, mikroprocesor tedy na krmítko vyšle impuls simulující stisk tlačítka na dávkovači a provede se aplikace krmiva. Při dlouhodobém periodickém dávkování má uživatel možnost zvolit komfortnější variantu a to *automatické řízení*. Proces samotné aplikace je stejný jako u *1 dávky* s tím rozdílem, že procesor generuje řídicí signál automaticky jednou za 24 hodin bez nutnosti zásahu uživatele. Množství aplikovaného krmiva se nastavuje mechanicky na dávkovacím bubnu.



Obrázek 55. Blokové schéma funkce krmení

Zálohování

Po provedení všech potřebných nastavení systému se uživateli nabízí možnost uložení všech zadaných parametrů do *externí paměti*. Tato položka je velice užitečná v případě výpadku elektrické napájecí sítě, kdy by došlo ke ztrátě většiny uživatelem provedených nastavení. Výjimku tvoří *kalibrační koeficienty* pH metru, které se po kalibraci ukládají do vnitřní paměti mikroprocesoru. Ostatní nastavení jsou prostřednictvím sběrnice I²C ukládána do sériové *EEPROM* paměti. Pro zálohu nastavení, uživatel v menu na posledním místě najde položku „Zálohování“, ve které je obsažena volba „Uložit nastavení“. Po potvrzení této položky systém informuje uživatele, že nastavení bylo uloženo. Další volbou v sub-menu „Zálohování“ je položka „Obnovit nastavení“, která provede načtení dat z externí paměti a zápis do příslušných proměnných. Systém při každém restartu kontroluje, zda je v externí paměti obsažena záloha. Pokud tedy při zmíněném výpadku napájení a následném startu systému bude v externí paměti uložena záloha, systém ji automaticky obnoví a uvede se do původního stavu. Poslední volbou v sub-menu „Zálohování“ je zobrazení uloženého nastavení. Tato možnost uživateli zobrazuje aktuální nastavení systému. Celý proces zálohy a obnovy dat ukazuje obr.56.



Obrázek 56. Blokové schéma funkce zálohy

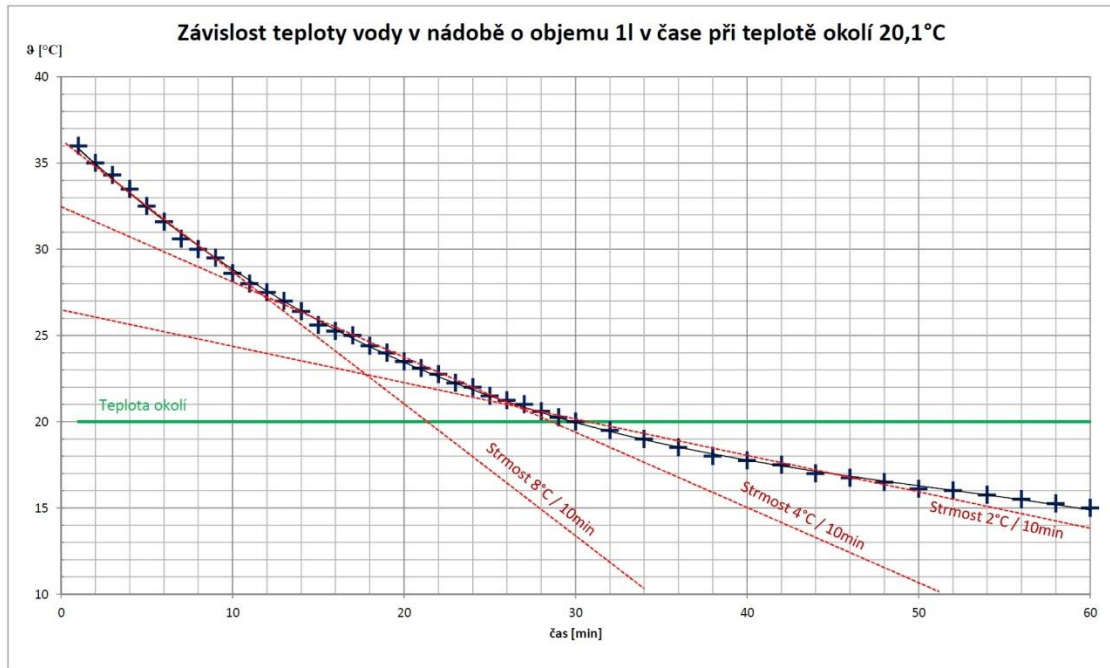
Chlazení

Ovlivnění teploty vody směrem dolů je zejména v letních měsících žádaným procesem. Pro aktivaci chlazení vody stačí, když uživatel tuto funkci aktivuje v menu systému „*Chlazení/Zapnuto*“. Dalším krokem je nastavení žádané teploty a následné potvrzení systémem o aktivaci chlazení. Vychlazování bude probíhat, dokud jej uživatel nedeaktivuje nebo se nedosáhne žádané teploty. Problematika chlazení je detailně popisována v [kapitole 6](#).

6 CHLAZENÍ

V této kapitole bude samostatně popsána problematika chlazení vody v akváriu a bude zde uveden přehled možných řešení. Součástí práce bylo navržení chladicího aparátu fungujícího na principu vychlazování pomocí Peltierových článků (P.Č.) jak již bylo popsáno v [kapitole 4.11](#). Realizace byla provedena na základě tohoto návrhu s drobnou modifikací. Původní návrh předpokládal použití jednoho Peltierova článku s chladicím blokem, avšak reálné měření probíhalo se dvěma články. Chladicí hliníkový blok popsáný v [kapitole 4.11](#) obr.35 byl oboustranně spojený s chladnými stranami Peltierova článku. Obě dvě teplé strany byly spojené s pasivním hliníkovým žebrováním z každé strany a na každém z chladičů byl umístěn ventilátor. Udávaný ztrátový výkon pro jeden chladič (ventilátor+žebrování) je 120 W. Maximální dovolený ztrátový výkon jednoho Peltierova článku je 50 W. Maximální elektrický výkon pro oba články je 100 W, což odpovídá maximálnímu odebíranému stejnosměrnému proudu 8,3 A při napětí 12 V. Z toho vychází požadavky na dostatečné dimenzování vodičů a spínacích prvků.

Vzhledem k předpokládaným dlouhým časům chlazení bylo provedeno měření přechodové charakteristiky nejprve v nádobě s podstatně menším objemem, než který by představovalo akvárium. Byla zvolena nádoba o objemu 1 litr, která byla izolována minerální vatou po svém obvodu. Do nádoby byl vložen *termočlánek typu K*, který měřil teplotu vody. Cirkulaci vody mezi nádobou a chladicím blokem zajišťuje malé 12 V čerpadlo o průtoku 20 ml/s. Pro měření přechodové charakteristiky byly články i chladicí ventilátory připojeny na 12 V bez navrhované pulzně šířkové regulace a byla sledována *teplota* v čase. Průběh teploty můžeme vidět na obr.57. Z naměřené charakteristiky lze v závislosti na teplotě okolí určit tři pracovní oblasti chladicího aparátu. Pokud je teplota ochlazovaného média větší než teplota okolí, ochlazování má *nejvyšší teplotní spád* (8°C / 10 min). Při teplotě ochlazovaného média blízké teplotě okolí se teplotní spád snižuje (4°C / 10 min). V poslední pracovní oblasti s *nejnižším teplotním spádem* 2°C / 10 min se nachází požadavek na ochlazování vody v akváriu. Předpokladem je fakt, že v teplých letních měsících roste teplota okolního vzduchu, která zároveň způsobuje nežádoucí přehřívání akvária.



Obrázek 57. Závislost teploty vody v čase pro objem 1 litr

Z těchto naměřených dat vyplývá, že pro potřeby chlazení vody v akváriu se Peltierův článek nachází v pracovní oblasti s nejnižším teplotním spádem a tedy i s nejnižší účinností. Následuje orientační výpočet účinnosti chladicího zařízení jako celku.

Změna teploty vody za 1 hodinu v pracovní oblasti P.Č se strmostí $2^{\circ}\text{C} / 10\text{ min}$ je:

$$\Delta\vartheta = 12^{\circ}\text{C}$$

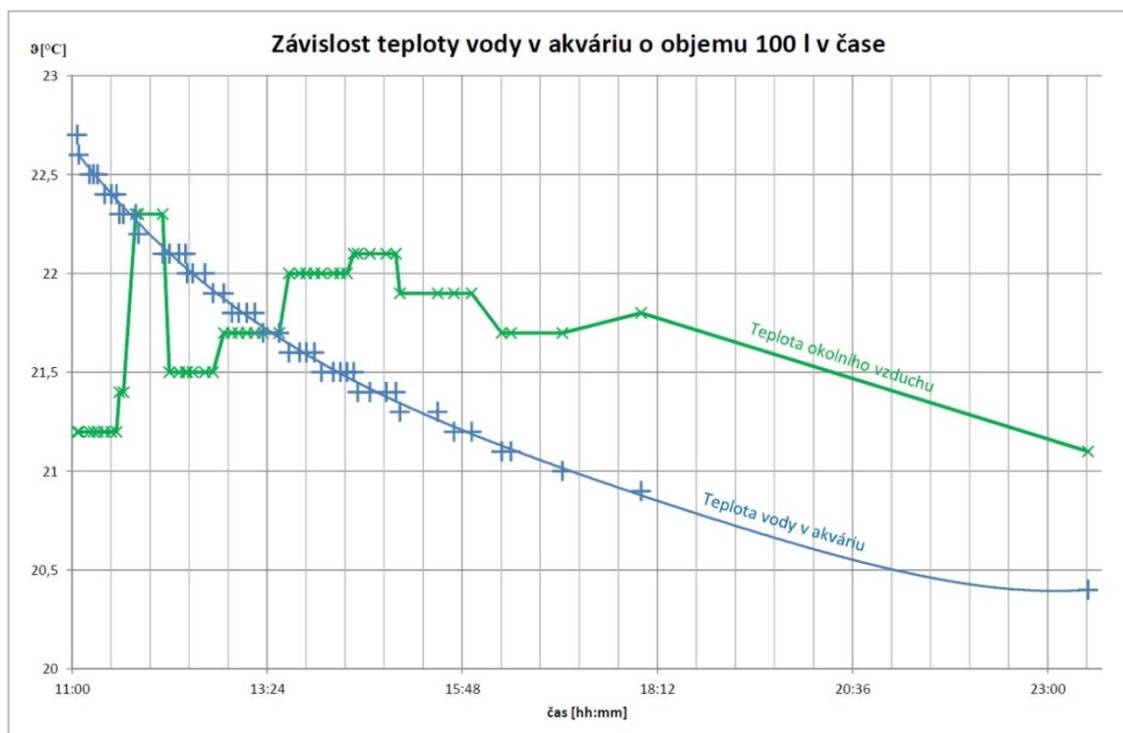
pak množství tepla odevzdaného vodou za 1 hodinu je:

$$Q_{\text{voda}} = m \cdot c_V \cdot \Delta\vartheta = 1 \cdot 4190 \cdot 12 = 50280 \text{ J} \cong 13,97 \text{ Wh},$$

kde $c_V [J \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ je měrná tepelná kapacita vody. Odběr článků je přibližně 100 W, lze tedy orientačně vypočítat účinnost zařízení jako poměr výkonů:

$$\eta = \frac{Q_{\text{voda}}}{P_{\text{článků}}} = \frac{13,97}{100} \cong 14 \text{ \%}.$$

Následně bylo provedeno měření za reálných podmínek, kdy dochází i k rušivým vlivům ve smyslu samovolného oteplování vody díky zapnutému osvětlení, které bylo nastavené na 50 % intenzitu.



Obrázek 58. Závislost teploty vody v čase pro objem 100 litrů

Z grafu je patrné, že chlazení má jen minimální účinek. Během téměř 12 hodin provozu teplota vody klesla jen o 2,3 stupně celsia. Teplota 20,4°C byla hraniční, za kterou už pokles dále nepokračoval. Významným parametrem ovlivňující *teplotní spád* je bezpochyby teplota okolního vzduchu, se kterou je spojena chladící účinnost. Za dobu provozu chladícího aparátu bylo spotřebováno 1150 W elektrické energie. Vzhledem k tomu, že v letních měsících kdy je teplota prostředí značně vyšší než teplota změřená (obr.58-zelená křivka), by provoz v tomto seskupení byl značně nerentabilní a neúčinný.

Možnou alternativou navrženého chladícího aparátu může být aplikování několika postupů s cílem ochlazení vody v akváriu.

Prvním postupem je každodenní výměna části vody. Tento postup není finančně příliš náročný s ohledem na objem akvária, vzniká ovšem potřeba zásahu uživatele. Nejedná se tedy o plně automatický proces. Výměna vody by mohla být systémem řízena, ale vyžadovalo by to větší zásahy do mechanického uspořádání komponent. Vznikla by potřeba blízkého přívodu zdroje vody, kde se nabízí dvě varianty. Aplikace vodovodní vody, která většinou není příliš vhodná pro přímé aplikování. U této varianty by řízení probíhalo ve stylu odčerpání definovaného množství akvariální vody do připravené nádrže nebo odpadu a napuštění čerstvé vody z vodovodního systému do akvária prostřednictvím řízení elektromagnetickým ventilem. U této varianty rostou

nároky na bezpečnost z hlediska možné škody způsobené přetečením akvária. Druhou variantou by bylo přečerpávání předem upravené a vhodné vody do akvária obdobným způsobem.

Alternativní možností, pomineme-li komerční řešení přehřívání akvária (ventilátory nad hladinou, chladicí stanice, ...) je klimatizace místnosti, kde je akvárium umístěné. *Klimatizace* řeší kauzální problém většiny používaných chladících zařízení. Chladicí stanice, ventilátory a další možné zařízení používané ke snížení teploty vydávají teplo, respektive odebírají teplo z akvária, které předávají okolnímu vzduchu v místnosti. Jedná se o uzavřenou smyčku, kde příspěvky tepla z těchto zařízení opět prostřednictvím okolního vzduchu přispívají k oteplení vody v akváriu. Klimatizace tento problém odstraňuje. Většinou se skládá alespoň ze dvou modulů, mezi kterými probíhá přenos tepla. Vnitřní jednotka umístěná v místnosti s akváriem odebírá teplo ze vzduchu pomocí výparníku, které je přenášeno do venkovní jednotky, ve které prostřednictvím kondenzátoru probíhá přenos tepla do venkovního prostředí. Výhodou těchto zařízení je tedy *účinné ochlazení* nejen samotného akvária, ale i prostředí, ve kterém je akvárium umístěno, což vede i ke *klimatické pohodě* uživatele. Současné jednotky jsou vybaveny dálkovým ovládním pro snadné nastavení žádané teploty, možností reverzního režimu (topení) a dalšími funkcemi. Nevýhodou tohoto řešení je cena, která je ovšem srovnatelná s cenou komerční chladicí stanice určené pro akvária. Pro konkrétní srovnání byla vybrána jedna z levnějších variant pokojové klimatizace značky Guzzanti GZ1203 s pořizovací cenou přibližně 15000 Kč. Oponujícím produktem je chladicí stanice pro akvária značky TECO TR10 s cenou přibližně 16000 Kč. Na základě cenové hladiny se jeví vhodnější možností použití pokojové klimatizace, která ovšem nenahrazuje řízení teploty v akváriu, ale odstraňuje problém s přehříváním akvária a přináší uživateli další benefity. Na základě odběru elektrické energie se jeví jako úspornější varianta chladicí stanice TECO s udávaným odběrem 260 W proti pokojové klimatizaci, která má definovaný odběr elektrické energie řádově 0,5-1 kW v aktivním režimu chlazení.

7 ZKOUŠKY SPOLEHLIVOSTI

Ověření funkčnosti a stability systému je jedním z důležitých faktorů ve výrobním procesu zařízení. Metodika zkoumání spolehlivosti tohoto navrženého systému se dělí do sedmi dílčích částí, které se zabývají konkrétními definovanými úkoly. Výsledkem je pak komplexní zhodnocení spolehlivosti systému jako celku, životností některých jeho částí a ověření funkce řízení osvětlení.

7.1 Dlouhodobá zkouška stability

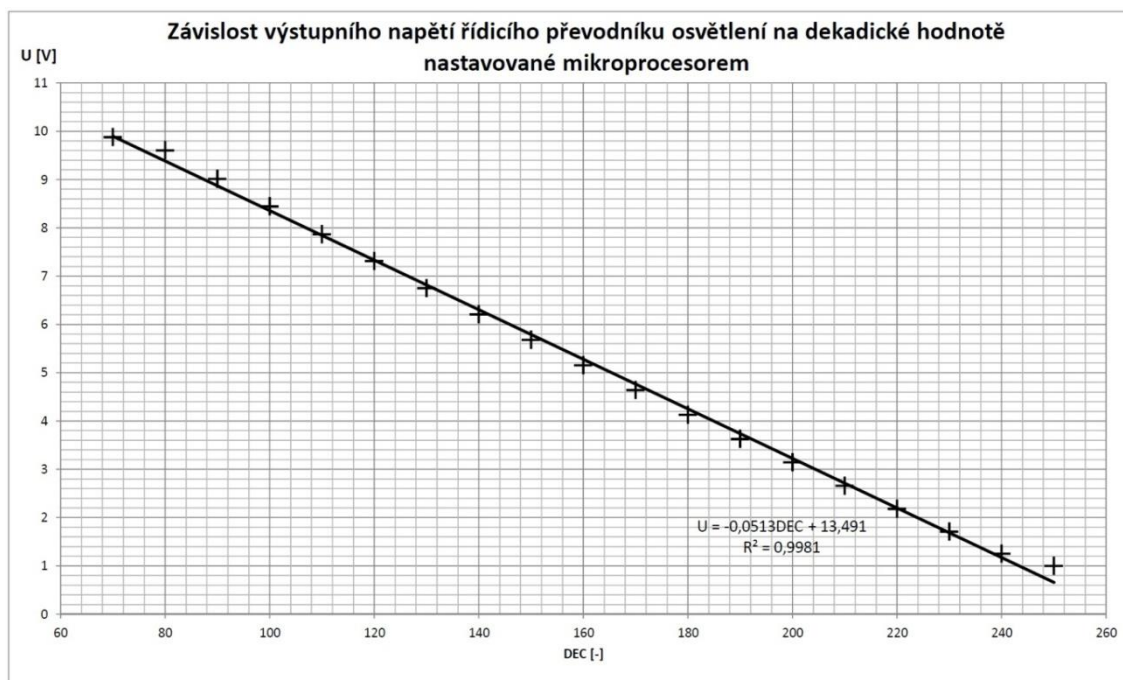
V každém zařízení se během *doby* jeho *života* mohou vyskytnout chyby, které více či méně ovlivňují zařízení nebo uživatele. Závažnost chyby je daná následkem, který způsobí. Zařízení pracuje se síťovým napětím 230 V, se sdělovacími signály a se samotnými řídicími signály. Vzhledem k tomu, že se předpokládá úzký kontakt zařízení s akváriem, je zapotřebí dodržovat zvýšené bezpečnostní opatření zejména při přímé interakci uživatele s vodou, aby nedošlo k úrazu elektrickým proudem. Proto je celá síťově živá část umístěna v elektroinstalační krabici s krytím IP56 a opatřena vhodnými průchodkami pro kabeláž. V tomto sestavení bylo provedeno dlouhodobé sledování systému jako celku. Během 8 měsíců provozu (od září 2016) nebyl zaznamenán žádný problém, který by vyžadoval zásahu uživatele. Mezi pozorované subjekty patřil zejména displej, klávesnice, obvod reálných hodin a napájecí zdroj.

7.2 Diference časového obvodu

Během 3 měsíčního pozorování byla zjištěna rozdílnost mezi přesným časem (internetový čas) a časem generovaným obvodem reálných hodin. Během prvního měsíce byla časová diference obvodu reálných hodin -3 minuty, následující měsíc byla časová diference -2 minuty a poslední zkoumaný měsíc vykazoval rozdíl opět -2 minuty. To znamená, že se časový obvod reálných hodin mírně zpožďoval oproti reálnému času se sumou 7 minut za 3 měsíce. Tato chyba je způsobena změnou frekvence oscilátoru obvodu reálných hodin, kterou vyvolávají teplotní výkyvy okolí. V další fázi testování byla spuštěna funkce automatické aktualizace časové hodnoty z internetu, která pravidelně každý den zapisovala internetový čas do obvodu reálných hodin. Po aplikaci této funkce nebyly časové posuny zaznamenány. V případě výpadku elektrické energie a internetové komunikace udržuje časovou hodnotu samotný obvod reálných hodin, ke kterému je připojena malá lithiová baterie sloužící jako zdroj energie.

7.3 Funkce řízení intenzity osvětlení

Podle popsaného návrhu byl realizován *řídící převodník* pro zářivkové trubice, který umožňuje ovládání *intenzity osvětlení* vhodným elektronickým předřadníkem. Navržený převodník na základě číselné hodnoty odeslané z mikroprocesoru nastaví a přidrží napětí pro *elektronický předřadník*, dokud tato hodnota není uživatelem nebo automatizovanou funkcí změněna. Průběh napětí můžeme pozorovat na obr.59. Naměřená závislost má téměř lineární charakter limitovaný maximálním napětím 10 V (logika předřadníku). Maximální hodnoty napětí 10 V se dosahuje při číselné hodnotě 70 a minimální hodnoty napětí 1 V se dosahuje numerickou hodnotou 250. Normalizační funkce v mikroprocesoru pak tyto číselné hodnoty vhodně upraví do rozsahu 0-100 % s krokem 1 %.



Obrázek 59. Závislost výstupního napětí řídicího převodníku osvětlení na číselné hodnotě nastavované mikroprocesorem

7.4 Životnost pH elektrody

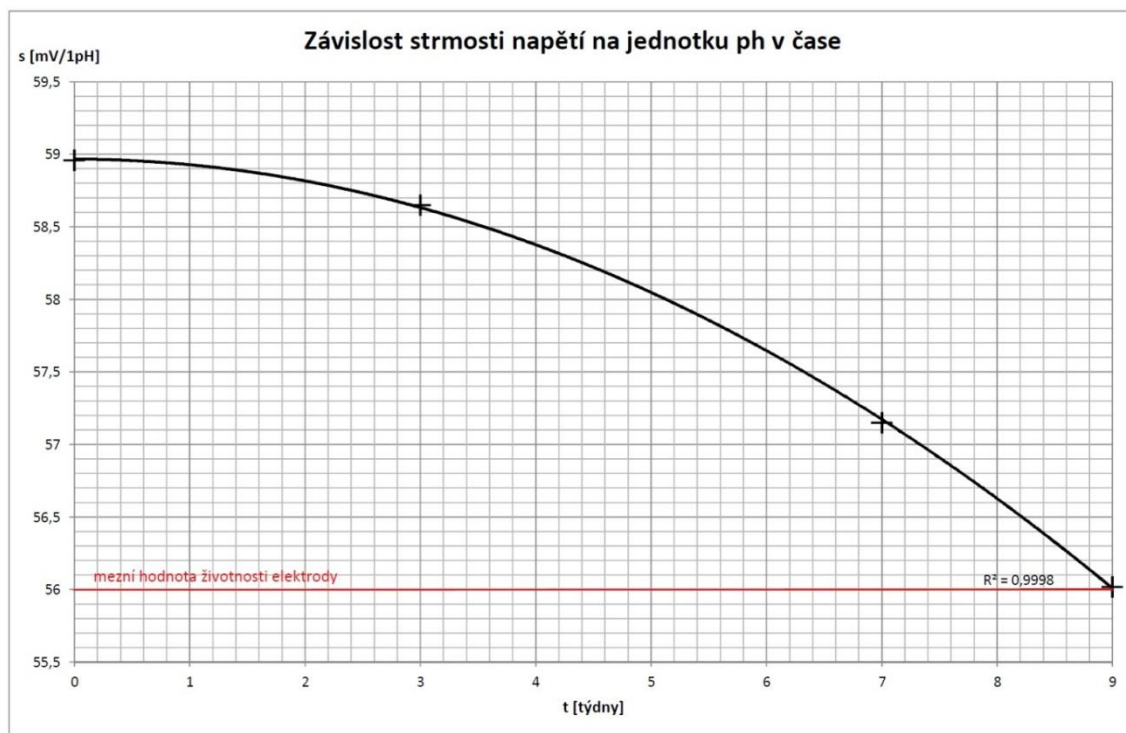
Životnost pH elektrody lze určit pomocí měřitelných ukazatelů. Hlavním představitelem je strmota elektrody v jednotce mV na jeden stupeň pH. Podle obecných kritérií kvality pro pH sondy můžeme elektrody rozdělit do 4 částí. Pokud se strmota elektrody pohybuje v rozmezí -60 až -58 mV/ph jedná se o výbornou elektrodu. V rozsahu -58 až -57 mV/ph se jedná o velmi dobrou elektrodu. Pokud je strmota

v rozmezí -57 až -56 mV/ph je elektroda v uspokojivém stavu. Hodnoty menší než -56 mV/ph jsou považovány za nevyhovující.

Tabulka 4. Naměřené hodnoty strmostí pH elektrody

s	t	s
[mV/1ph]	[týden]	[mV/1ph]
-58,96	0	58,96
-58,65	3	58,65
-57,15	7	57,15
-56,02	9	56,02

Pro měření a testování byla zakoupena levná neznačková elektroda v ceně přibližně 170 Kč ze zahraničí. K elektrodě byl přiložen i tři molární roztok KCl pro uchování s vhodnou plastovou kádinkou. Elektroda byla připojena k systému a kalibrována 3 bodovou kalibrační funkcí. Měření pH probíhalo nepřetržitě. V grafu na obr.60 je uvedený průběh *doby života* elektrody s vyznačenou mezní hodnotou životnosti elektrody. Vynesená hodnota strmosti je absolutní hodnotou naměřené strmosti kvůli zřejmému klesajícímu trendu. Životnost zkoumané elektrody je 9 týdnů při nepřetržitém provozu. Pokud by měření neprobíhalo stále, lze předpokládat zvýšení doby života elektrody.



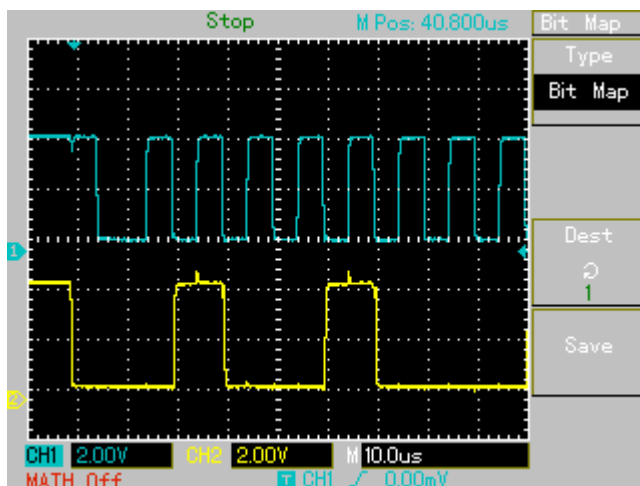
Obrázek 60. Životnost zkoumané pH elektrody

7.5 Životnost elektrolyzační elektrody

Elektroda byla vyrobena z nerezového pletiva s velikostí ok 1x1 mm čtvercového řezu. Celková velikost elektrodového systému je 5x10 cm se vzdáleností mezi jednotlivými sítý přibližně 1 mm. Během dvouměsíčního testování nebyly zaznamenány větší známky koroze ani zanesení. Testované médium byla akvarijní voda o parametrech přibližně 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH 6,7 a přechodné tvrdosti 9°dH. Z těchto parametrů lze vyvodit, že se jedná o vodu na mezi měkká/středně tvrdá. Lze očekávat, že s rostoucí tvrdostí vody, tedy větším podílem rozpuštěných látek bude životnost elektrody klesat. Dalším pozorovaným efektem byl pozvolný ústup zelené prachové řasy, při zachování referenčních podmínek chemismu vody a hnojení. Bohužel účinek na řasy z rodu *Ruducha* nebyl pozorován.

7.6 Stabilita sběrnice I²C

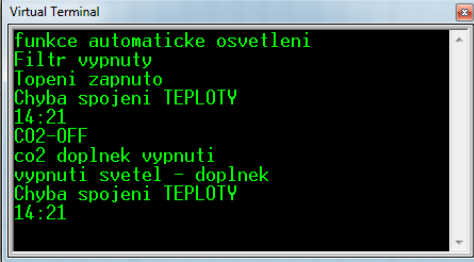
Hlavní komunikační linkou mezi procesorem a jednotlivými periferiemi je sběrnice I²C. Tato komunikační linka může být více či méně náchylná na různé rušivé signály a způsobovat výpadky „zamrznutí“. Sběrnice, tedy hodinový i datový signál pracuje na frekvenci 100 kHz, jak můžeme vidět na obrázku 61. Modrá křivka představuje hodinový signál SCL a žlutá křivka znázorňuje datový signál SDA. Během 8 měsíců provozu nebyl zaznamenán žádný problém se stabilitou sběrnice.



Obrázek 61. Průběh hodinového signálu SCL a datového signálu SDA na osciloskopu

7.7 Diagnostická funkce

Během psaní zdrojového kódu pro mikroprocesor, byly do každé funkce a metody vloženy výpisy stavu na *sériovou linku*. Pokud by došlo k problému v komunikaci mezi mikroprocesorem a jednotlivými periferiemi nebo softwarové chybě, lze tento problém poměrně snadným způsobem identifikovat. Mikroprocesor stačí připojit prostřednictvím *USB* kabelu k osobnímu počítači a spustit sběr dat z příslušného *USB* portu. Na obrázku 62 je vidět problém se spojením mezi mikroprocesorem a *teplotním čidlem*, které bylo záměrně odpojeno, následují výpisy provedených funkcí a čas.



```
Virtual Terminal
funkce automaticke osvetleni
Filtr vypnuty
Topeni zapnuto
Chyba spojeni TEPL0TV
14:21
CO2-OFF
co2 doplněk vypnuti
vypnuti svetel - doplněk
Chyba spojeni TEPL0TV
14:21
```

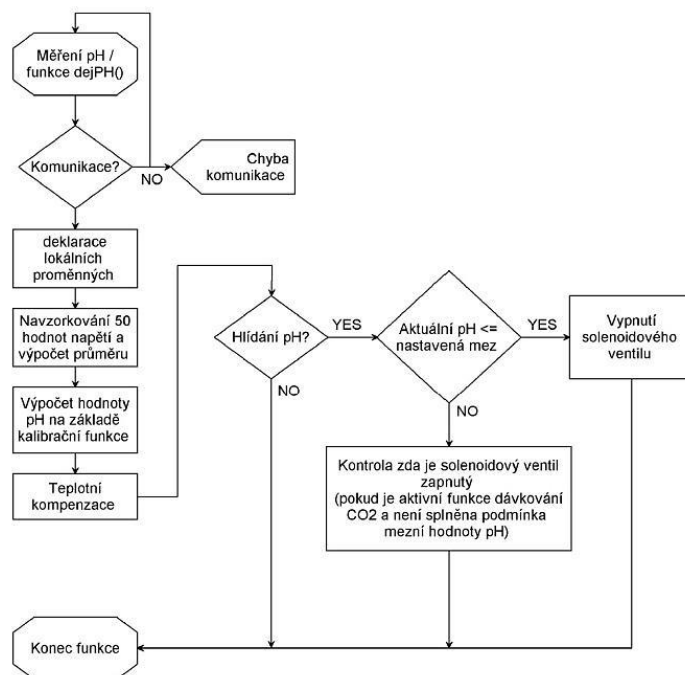
Obrázek 62. Virtuální terminál zachycující výpisy mikroprocesoru

8 OVLIVNĚNÍ CHEMISMU VODY

Jak už bylo popsáno v [návrhu systému](#) a [popisu jednotlivých funkcí](#) systém má možnost ovlivnění chemismu vody několika způsoby. Hlavní metodou vedoucí ke změně chemických vlastností vody je dávkování plynného oxidu uhličitého do akvária. Zpětnou vazbou tohoto procesu je změna hodnoty pH, která je se sycením CO_2 úzce spjata.

8.1 Řízení procesu dávkování oxidu uhličitého

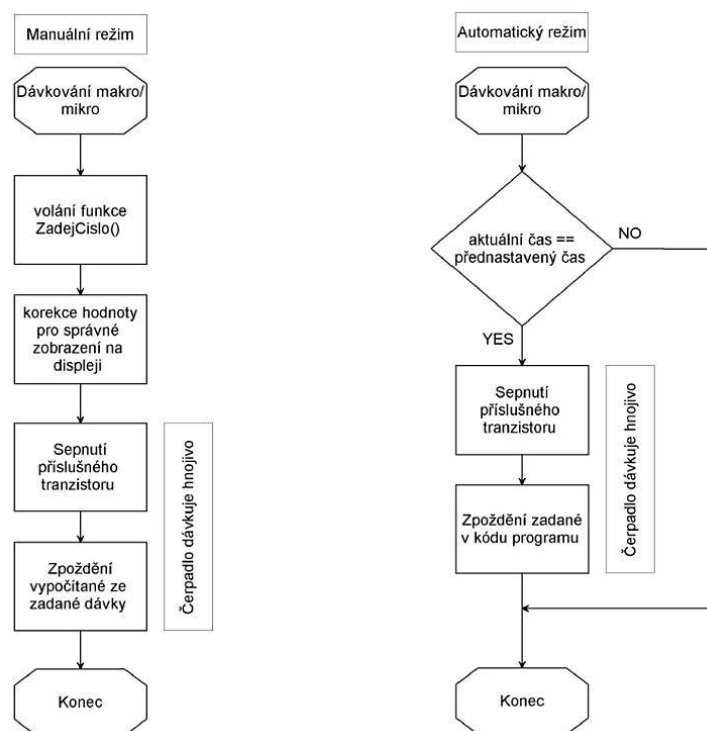
Vývojový diagram (obr.63) naznačuje metodiku měření a vyhodnocení pH a naznačuje jednotlivé zásahy systému. Po volání funkce *dejPH()* se kontroluje, zda je na sběrnici připojený *AD převodník* a je možná komunikace. Pokud převodník není připojený, nebo je sběrnice zaneprázdněná, podmínka se opakuje a uživatel je o této skutečnosti informován. Pokud je komunikační linka v pořádku následuje deklarace proměnných potřebných pro výpočet hodnoty pH. Hodnota napětí v řádu setin a desetín mV může kmitat, proto probíhá vzorkování 50 hodnot a následný výpočet *průměrné hodnoty napětí*, aby se eliminovaly případné extrémy. Na základě předem změřené kalibrační funkce proběhne dosazení průměrného napětí a výpočet pH. Dalším krokem je *kompensace* vypočítané hodnoty pH, na kterou má vliv teplota měřeného média. Tímto krokem končí výpočet hodnoty pH a následují podmínky, které ovlivňují *akční zásahy* systému. První z nich je kontrola zda je uživatelem aktivovaná funkce hlídání hodnoty pH. Pokud se uživatel rozhodnul, že má systém hlídat dolní mezní hodnotu sycení *oxidem uhličitým*, bude provedeno porovnání, zda aktuální naměřená hodnota je menší nebo rovna přednastavené úrovni. Když je tato podmínka splněná, hrozí, že voda obsahuje příliš mnoho volného oxidu uhličitého, proto systém vypne přívod oxidu uhličitého a přeruší tak proces sycení. Jedná se o typický dvoustavový regulátor s uměle zavlečenou hysterezí. Hystereze byla v kódu mikroprocesoru nastavena na absolutní hodnotu 0,2 pH. Opětovné spuštění ventilu a procesu sycení nastane až v případě, že pH měřeného média přesáhne nastavenou úroveň plus 0,2 pH.



Obrázek 63. Vývojový diagram řídicího algoritmu procesu měření pH a hlídání jeho hladiny

8.2 Řízení procesu dávkování tekutých hnojiv.

Další možností, jak ovlivnit chemické vlastnosti vody je aplikace *hnojiv*, tedy chemických sloučenin ve formě roztoků s cílem zvýšení koncentrace žádaných prvků ve vodním sloupci. Existuje mnoho způsobů přípravy těchto roztoků, ale pro domácí účely akvaristiky je nejrozšířenější metoda *PMDD* ([kapitola 5.3-hnojení](#)). Předpokladem pro využití funkce dávkování hnojiva tohoto systému je, že každý uživatel si dokáže roztok hnojiva připravit nebo koupit. Pak už jen stačí spojit zásobní nádobu hnojiva se spojkou dávkovacího čerpadla a proces dávkování je připravený. Ovládání dávkovacích čerpadel v automatickém ani manuálním režimu nemá zpětnou vazbu, protože se jedná o procesy, které jsou řízené časem nebo zásahem uživatele.



Obrázek 64. Vývojový diagram řídicího algoritmu hnojení tekutými hnojivy

Obrázek 64 ukazuje vývojové diagramy řídicího procesu dávkování tekutých hnojiv. Vlevo můžeme vidět manuální režim, ve kterém uživatel pomocí klávesnice zadá dávku v mililitrech, která má být aplikována. Začátkem funkce je načtení čísla z klávesnice. Tato funkce čte a ukládá stisknuté znaky do řetězce a následně je vhodnou metodou převede na celočíselnou numerickou hodnotu, nebo v případě zadání desetinné tečky na proměnnou s plovoucí desetinnou čárkou. Podle celkové šířky řetězce a počtu desetinných míst je pak číslo upraveno do vhodného formátu pro zobrazení na displeji. Následuje sepnutí příslušného *tranzistoru* ovládajícího *dávkovací čerpadlo*. Doba zpoždění, tedy provozu čerpadla se odvíjí od zadané dávky. Pracovní bod tranzistoru je nastaven tak, aby 1 sekunda zpoždění odpovídala dávce 1 ml hnojiva. Jedná se o dvoustavové řízení s umělým zpožděním. Vývojový diagram na obrázku 64 vpravo ukazuje automatický režim hnojení. Z hlediska ovládání a tím související změny *akčního zásahu* se jedná opět o dvoustavové řízení, kterému předchází časová podmínka. Automatické hnojení bude probíhat při splnění této podmínky v nastaveném čase.

8.3 Řízení procesu elektrolýzy

Jak bylo zmíněno v [předchozích kapitolách](#), má elektrolýza pozitivní vliv na růst rostlin a naopak inhibuje růst některých druhů řas. Akčním prvkem procesu elektrolýzy je dostatečně dimenzovaný spínací tranzistor. Velikost stejnosměrných proudů v řádech jednotek amper tekoucích elektrolyzační elektrodou se odvíjí od aktivní plochy elektrody, vzdálenosti sít a v neposlední řadě konduktivitou média, do kterého je elektroda ponořena. Stejně jako u procesu hnojení využívá systém pro ovládání elektrolyzačního děje *periodické spínání*, s tím rozdílem, že spínání probíhá každou 15. a 45. minutu v hodině.

9 CENOVÁ ANALÝZA

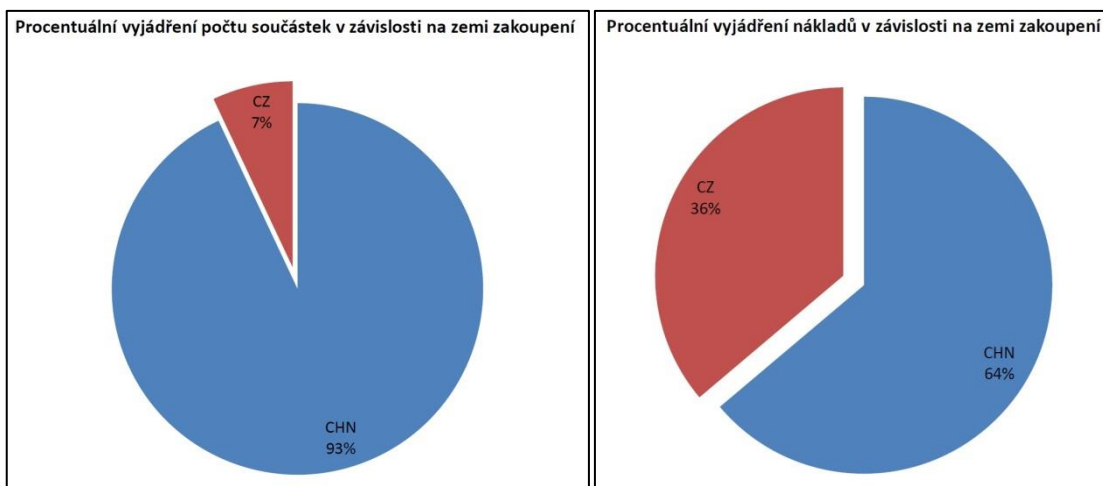
Tato kapitola je věnovaná *cenové kalkulaci* systému a nákladům za materiál. Tabulka 5 ukazuje materiálové náklady pro jednotlivé moduly systému. *Modul rozhraní-uživatel* je složený z plastové krabičky vytištěné na 3D tiskárně, LCD displeje, klávesnice a konektorem pro připojení kabelu. Podle cenové soupisky byla vypočítána cena 230 Kč. Pro součástky zakoupené v zahraničí kalkulace předpokládá kurz 25 Kč za 1 USD. Modul řízení obsahuje majoritní většinu součástek, kde některé součástky byly zakoupeny ve větším množství, ale uvedená cena je přepočítaná za 1 kus.

Tabulka 5. Cenová rozpiska jednotlivých částí systému

Modul rozhraní-uživatel				
množství	položka	cena	poznámka	země původu
[-]	[-]	[Kč]	[-]	[-]
1	krabička	90	materiál struna pro 3D tisk	CZ
1	LCD displej	100		CHN
1	klávesnice	20		CHN
1	rozhraní RJ45	20	výroba	CZ
		Σ	230	

Modul řízení				
množství	položka	cena	poznámka	země původu
[-]	[-]	[Kč]	[-]	[-]
1	mikroprocesor	225		CHN
1	LAN modul	125		CHN
1	DPS řízení	60	10 ks / 5 \$ + doprava	CHN
1	součástky	450		CHN
1	konektory	50		CHN
5	zásuvka 230V	300	osobní odběr	CZ
1	instalační krabice	300	osobní odběr	CZ
1	kabeláž	100	osobní odběr	CZ
1	zdroj	150		CHN
2	čerpadla	250		CHN
		Σ	2010	
		Σ	2240 CZK	

Za zmínku stojí *deska plošného spoje* řízení, která byla vyrobena na zakázku v počtu 10 kusů. Motiv desky je uveden v příloze č.5 a č.6. Jedná se o dvouvrstvou prokovenou desku s nepájivou maskou v ceně 13 Kč za kus. Výroba desky plošného spoje se stejnými rozměry a parametry by vyšla v tuzemské firmě podle online kalkulace na alespoň 289 Kč za kus. Podle cenové soupisky byla vypočítaná cena *modulu řízení* na 2010 Kč.



Obrázek 65. Procentuální vyjádření počtu součástek Obrázek 66. Procentuální vyjádření nákladů

Celkové *materiální náklady* automatizovaného systému jsou 2240 Kč. Graf na obr.65 ukazuje, že z celkového počtu použitých součástek tvoří 93 procent dovoz ze zahraničí. V grafu na obr.66 můžeme vidět, že více než jednu třetinu materiálových nákladů tvoří součástky pořízené v tuzemsku, i přes to že tvoří jen 7 procent z celkového počtu použitých dílů.

10 ZÁVĚR

První část semestrální práce je věnována komerčním zařízením vhodným k automatickému řízení akvária. Výhodou těchto zařízení je obstarávání nejběžnějších procesů potřebných pro udržení vhodných podmínek v akváriu a tím velká časová úspora pro uživatele. Dalším kladem je možnost použití velkého množství rozšiřujících modulů a aktualizací softwaru. Pro majoritní skupinu akvaristů jsou však tyto systémy nedostupné díky vysoké pořizovací ceně a dostupnosti pouze v zahraničí.

Druhá část práce je věnována periferiím vhodným k automatickému řízení akvária. Řízení a regulace pomocí periferií je nejčastěji používanou technikou mezi akvaristy. Jedná se o jednoduchou, z finančního hlediska přijatelnější variantu řízení.

Pro měření *teploty* v akvaristice jsou vhodné jak číslicové, tak neelektrické skleněné teploměry. Z hlediska přesnosti měření jsou vhodnější skleněné lihové teploměry, na úkor vlastní křehkosti. Pořizovací náklady jsou řádově u obou těchto druhů měření teploty stejné. Měření *pH* souvisí s chemickými vlastnostmi vody. V karbonátovém systému vody je také *pH* mírou rozpuštěného oxidu uhličitého, jenž je podstatnou složkou pro růst rostlin. Vzhledem k tomu, že životnost měřicí elektrody je časově limitována (při vhodném skladování přibližně 1 rok) a nutnost měření *pH* je převážně jen v „záběhu“ akvária se jako nejvhodnější a nejrentabilnější komerční řešení jeví použití přenosného *pH* metru. *Chlazení vody* lze u komerčních systémů realizovat buď pomocí ventilátorů, nebo pomocí chladicí stanice. *Chladicí stanice* pracují s vyšší efektivitou, mají implementované automatické řízení, ale jsou cenově méně dostupné (kapitola 3.4). Každé rostlinné akvárium se neobejde bez umělého *hnojení*, nejčastěji ve formě roztoků. *Dávkování* lze provádět ručně např. pomocí injekční stříkačky, nebo automaticky pomocí programovatelného dávkovacího čerpadla. Tyto systémy jsou velice přínosné, bohužel jsou to poměrně nákladná zařízení (kapitola 3.5). Dalším dostupným zařízením je *TWINSTAR*. Jedná se o zařízení, které pravidelně provádí elektrolýzu vody, spojenou se vznikem mikrobublin kyslíku, které mají pozitivní účinek na kvalitu vody a boj proti řasám. Jedná se o poměrně nové, ale drahé zařízení, které je dostupné i na tuzemském trhu. Posledním zástupcem komerčních periferií je programovatelná *spínací zásuvka*. Zřejmě nejhojněji používaný řídicí člen, který je levný, jednoduchý a dostupný. Lze ji použít k řízení osvětlení, dávkování CO_2 a hnojiva, topení a mnoho dalších periodycky se opakujících procesů.

Další část práce je věnována návrhu *komplexního automatizovaného systému* fungujícímu na platformě mikroprocesoru Arduino. Výběr vhodných procesů pro automatizace je vidět na obr.16. Tyto procesy mají uplatnění jak v rostlinných, tak ve společenských akváriích. Základem celého systému je 8 bitový mikroprocesor, který obstarává veškeré řídicí funkce. Rozhraní mezi uživatelem a systémem je řešeno klávesnicí a LCD displejem. Klávesnice byla zvolena z důvodu jednoduchosti zadávání číselných údajů a čtyřřádkový LCD displej poskytuje dostatečný prostor pro zobrazení všech důležitých parametrů (čas, den, teplota, pH, indikace osvětlení, topení, filtrace, dávkování hnojiv, apod.). Další důležitý parametr, kterým se řídí většina funkcí, je *čas*. Jeho měření obstarává *obvod reálných hodin* DS1307. Při výpadku napájení udržuje časovou stopu malá lithiová baterie s dlouhou životností. Další možná varianta aktualizace času je využití *LAN modulu* a získání časového údaje z některého serveru. Samotný modul LAN nelze simulovat, proto není uvedený v simulačním schématu (příloha č.1). Kromě času, lze pomocí připojení k internetu celé zařízení sledovat na dálku například prostřednictvím chytrého telefonu nebo osobního počítače. Komunikace LAN modulu a platformy Arduino byla ověřena naprogramováním jednoduchého serveru (příloha č.3). Měření *pH* je v komerčních případech limitováno cenou a životností elektrod. Řízení osvětlení předpokládá použití elektronického předřadníku a zářivkových trubíc. Mnou navrhovaný obvod umožňuje řízení intenzity osvětlení a tím poměrně věrné napodobení přírodních podmínek. Mikroprocesor dále ovládá přívod plynného CO_2 a s tím související *difuzi plynu* do vody, tedy ovlivnění chemických vlastností vody. Řízení typu *on/off*, kdy se plyn dávkuje jen při rozsvíceném osvětlení (probíhá fotosyntéza a rostliny potřebují oxid uhličitý) nebo manuální ovládání dávkování plynu. Dalším nástrojem pro chemické ovlivnění vody je *elektrolýza*, jak bylo popsáno (kapitola 3.6 a 4.9). Tento návrh používá jako akční člen spínání tranzistoru, který uzavírá elektrický obvod mezi stejnosměrným zdrojem a elektrodovým systémem. Poslední možností ovlivnění chemismu vody je použití *hnojiv*. Z hlediska řízení jde opět o periodické spínání dávkovacích čerpadel ve zvolený čas na určitou dobu (dávka) pomocí tranzistorů (obr.33).

Praktická část práce obsahuje popis hardwarového zapojení jednotlivých modulů, vstupně výstupního rozhraní, postupy nutné k nastavení tohoto řídicího systému, vysvětlení mechanismu těchto metod, problematice chlazení, zkouškám spolehlivosti, regulačním procesům a také ekonomickým aspektům práce.

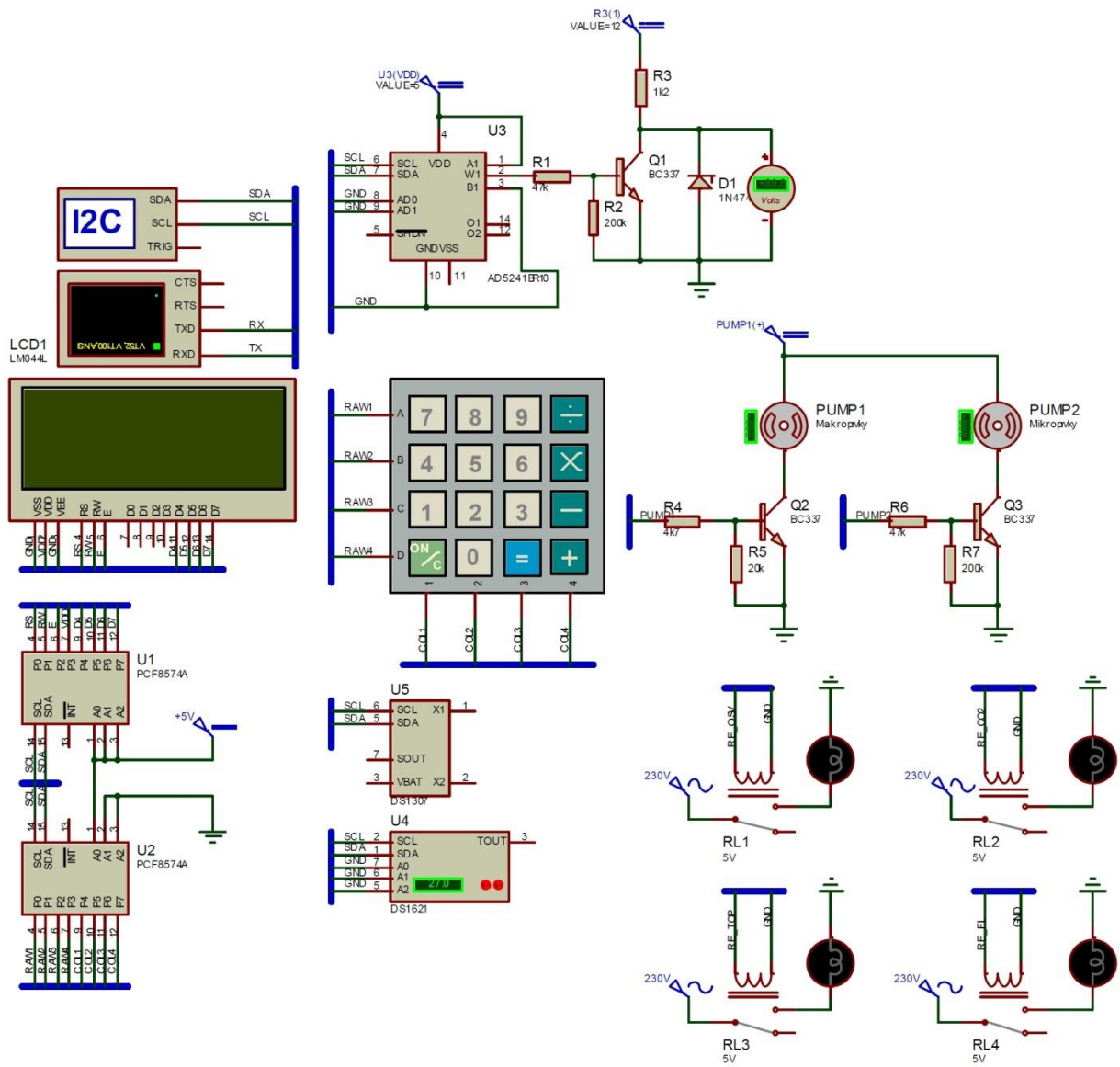
Systém se skládá ze dvou modulů, které mezi sebou komunikují. Cílem bylo oddělit řídicí část systému od uživatelské části, ve které dochází k interakci s uživatelem. Z tohoto důvodu byla navržena a vytištěna malá krabička obsahující LCD displej a klávesnici, která vytváří rozhraní systém-uživatel. Druhá větší instalační krabice obsahuje veškeré potřebné komponenty a řízení (Příloha č.). Blokové schéma (obr.37) detailně popisuje zapojení modulů včetně nároků na kabeláž. Jako rozhraní uživatel-systém byla zvolena maticová klávesnice a LCD displej. LCD displej o velikosti 20x4 znaků zobrazuje uživateli veškeré potřebné údaje bez nutnosti použití funkce posunu znaků. Uspořádání zobrazovaných informací bylo kategorizováno a logicky setříděno. Měřené fyzikální veličiny mají kvůli lepší přehlednosti vyhrazený

poslední řádek displeje. Veškeré zásahy do systému uživatel vykonává pomocí klávesnice, která byla zvolena jako komfortní varianta pro jednoduché zadávání. Komerční systémy většinou využívají jako vstup soustavu tlačítek, ale tento druh ovládání nebyl použit kvůli potřebě zadávání numerických hodnot s desetinnou čárkou. Použití tlačítek by bylo možné, ale pro uživatele komplikované. Samotné menu systému je tvořeno 15 položkami a jejich funkce jsou detailně popsány v [kapitole 5.3](#). Pro maximální usnadnění při pohybu v menu a zadávání žádaných hodnot jsou vždy na displeji zobrazovány údaje a postupy nutné k jejich nastavení. Kompletní struktura menu je zobrazena v příloze č.4 a každá funkce menu je popsána blokovým schématem s možnými variantami nastavení. Chladicí aparát byl sestaven podle návrhu a proběhly dvě série měření. První měření proběhlo v izolované nádobě o objemu 1 litr bez rušivých vlivů tepla vyzařovaného osvětlením a sloužilo k orientačnímu zjištění výkonu chlazení. Následně byla vypočítána účinnost aparátu pro pracovní oblast P.Č, ve které by chlazení probíhalo na reálném akváriu. Už z tohoto měření, díky vypočítané účinnosti 14 % lze odhadnout, že pro řádově vyšší objemy akvárií nebude chladicí efekt velký. Další měření bylo provedeno na reálném akváriu, kde bylo osvětlení utlumeno na 50 % maximální hodnoty, a byla zaznamenávána teplota v čase. Po téměř 12 hodinách provozu teplota klesla jen o 2°C a vzhledem k nízké teplotě okolního vzduchu a snížené intenzitě osvětlení lze očekávat jen minimální efekt ochlazení s velkou spotřebou elektrické energie. Nejlepším řešením v problematice přehřívání akvária je odstranění příčiny. [Klimatizace místnosti](#) je řešením problému s přehříváním akvária a uživateli také přináší další benefity. Z hlediska dlouhodobé provozuschopnosti byl systém 8 měsíců pozorován a během této doby se nevyskytly žádné problémy, které by vyžadovaly zásah uživatele. U obvodu reálných hodin byla zjištěna časová diference proti reálnému času (internetový čas) v manuálním režimu. Tato chyba (-7 min za 3 měsíce) byla způsobena kolísáním okolní teploty a s tím související změnou frekvence oscilátoru obvodu reálných hodin. Tento problém odstraňuje pravidelné automatické stahování časové stopy z internetu. Byla ověřena funkce převodníku nastavujícího napětí pro elektronický předřadník. Průběh výstupního napětí převodníku má žádaný lineární charakter. Proběhlo měření doby života pH elektrody na základě sledování změny parametru strmosti napětí při kalibraci. Životnost zkoumané elektrody při nepřetržitém provozu byla stanovena na 9 týdnů. Mechanismus ovlivnění chemismu vody souvisí s měřením pH pro řízení procesu dávkování oxidu uhličitého, dávkováním tekutých hnojiv a účinky elektrolyzy. Všechny tyto metody byly testovány na reálném akváriu a vyhovují zadaným požadavkům. Náklady za materiál na výrobu tohoto systému byly vypočítány na základě cenové soupisky jednotlivých dílů. Celková cena materiálních položek tohoto systému je 2240 Kč.

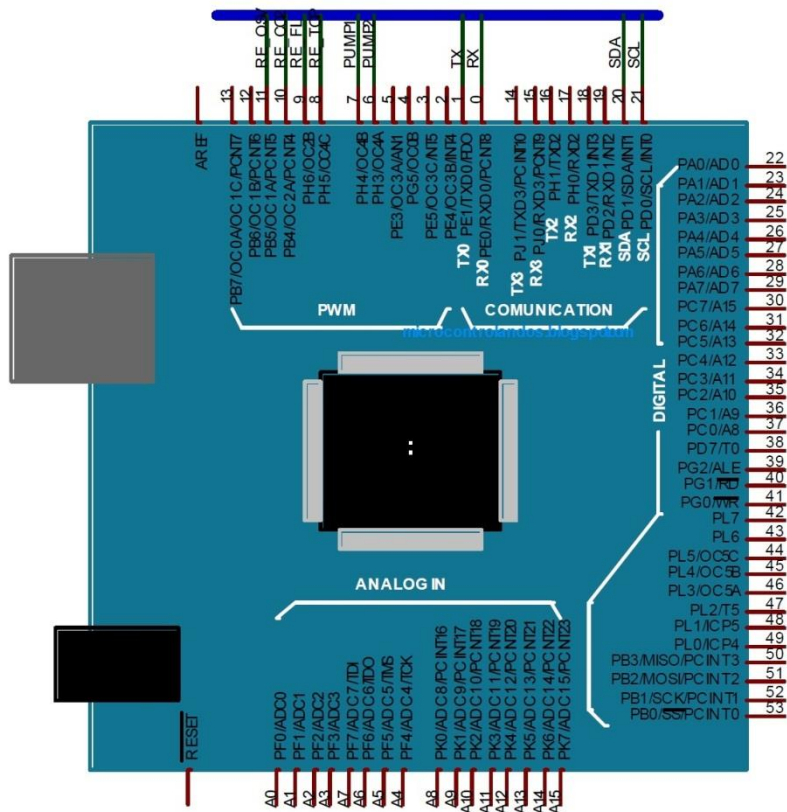
11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DIGITAL AQUATICS AQUARIUM SUPPLIES. *Marine Depot* [online]. [cit. 1.12.2016]. WWW: [http://www.marinedepot.com/Digital_Aquatics_ReefKeeper_Elite_\(Plus\)_Controller_Multi_Item_Monitors_Controllers_for_Saltwater_Aquariums-Digital_Aquatics-DA1115-FITEMOMI-vi.html](http://www.marinedepot.com/Digital_Aquatics_ReefKeeper_Elite_(Plus)_Controller_Multi_Item_Monitors_Controllers_for_Saltwater_Aquariums-Digital_Aquatics-DA1115-FITEMOMI-vi.html)
- [2] AQUATRONICA. *Aquariumonderdelen.nl* [online]. [cit. 1.12.2016]. Dostupný na WWW: <https://aquariumonderdelen.nl/acq110-controller-evolution>
- [3] TEPLOMĚR SKLENĚNÝ. *Akva Exo* [online]. [cit. 1.12.2016]. Dostupný na WWW: <https://www.akva-exo.cz/detail/akvaristika/potreby/teplomery/sklenene/2884/>
- [4] TEPLOMĚR TETRA TH. *Levnaakvaristika* [online]. [cit. 1.12.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.levnaakvaristika.cz/p/teplomer-tetra-th-digital-bateriovy>
- [5] VINŠOVÁ, H, P ZACHAŘ a K ZÁRUBA. *Potenciometrické měření pH* [online]. [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: https://uanlch.vscht.cz/files/uzel/0012437/3_Pot-pH.pdf?redirected
- [6] CERAMIC PH CONTROLLER. *Raj akvaristiky* [online]. [cit. 1.12.2016]. Dostupný na WWW: [http://www.raj-akvaristiky.cz/co2-hnojeni/seramic-ph-controller-\(ridici-jednotka\)-komplet.html](http://www.raj-akvaristiky.cz/co2-hnojeni/seramic-ph-controller-(ridici-jednotka)-komplet.html)
- [7] ADWA AD11. *Reverzni-osmozy* [online]. [cit. 1.12.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.reverzni-osmozy.cz/ph-metr-adwa-ad11-digitalni-vodotesny-meric-ph-a-teplomer-p54>
- [8] MAYLAND, Hans J. *Sladkovodní akvárium*. Praha: Knižní klub, 1998. ISBN 80-7176-704-2.
- [9] ĎAĎO, Stanislav a František MAZÁNEK. *Měřicí technika*. 1. Praha: SPN, 1983.
- [10] JUWEL. *Levnaakvaristika* [online]. [cit. 1.12.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.levnaakvaristika.cz/p/automaticke-krmitko-juwel>
- [11] EHEIM. *Levnaakvaristika* [online]. [cit. 1.12.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.levnaakvaristika.cz/p/eheim-digitalni-krmitko>
- [12] HOBBY AQUA COOLER V2. *Juwelakvarium* [online]. [cit. 1.12.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.juwelakvarium.cz/Chlazení/HOBBY-Aqua-Cooler-V2-chladici-jednotka.html>
- [13] TECO TK150. *Juwelakvarium* [online]. [cit. 5.12.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.juwelakvarium.cz/Chlazení/Chladici-jednotka-Teco-TK150.html>
- [14] DIGITALNI SPÍNACÍ ZÁSUVKA. *TS Bohemia* [online]. [cit. 5.12.2016]. Dostupný na WWW: https://www.tsbohemia.cz/digitalni-spinaci-zasuvka-ts-ef1-_d94919.html?gclid=CKE7tMDk3NACFQmdGwod_3YMMw
- [15] RUWAL PD2001. *Rataj* [online]. [cit. 5.12.2016]. Dostupný na WWW: <https://www.rataj-spok.cz/automatizace/378-ruwal-pd-2001-davkovaci-cerpadlo>
- [16] GROTECH TEC 3 NG. *Rataj* [online]. [cit. 5.12.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.profiplants.cz/produkt/grotech-tec-iii-ng-3-davkovaci-cerpadla>
- [17] TWINSTAR NANO. *TWINSTAR* [online]. [cit. 25.12.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.twinstar-europe.com>
- [18] KLAVESNICE 4X4. *Santy.cz* [online]. [cit. 5.12.2016]. Dostupný na WWW: http://www.santy.cz/data/product/58_276.jpg
- [19] *Atmel 2560* [online]. *Atmel Corporation*, 2014 [cit. 2016-12-25]. Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf

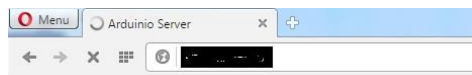
12 PŘÍLOHY



Příloha 1. Modelové schéma navrhovaného systému



Příloha 2. Modelové schéma mikroprocesoru



Ahoj, tady server Arduino :-)

21:31:50

Teplota vody v akvriu je 24.62C

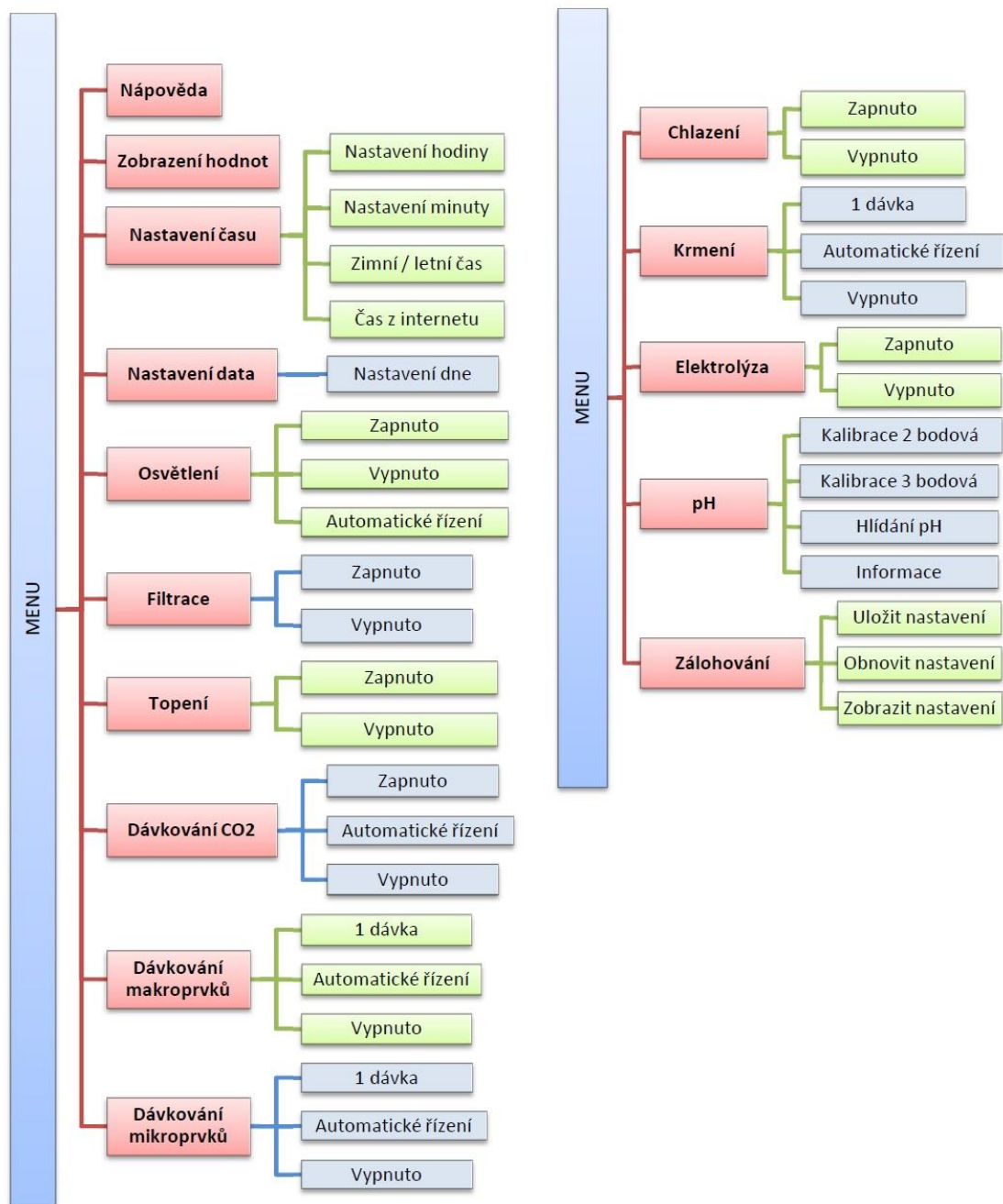
Osvetleni bezi na 50%

Filtr je zapnuty

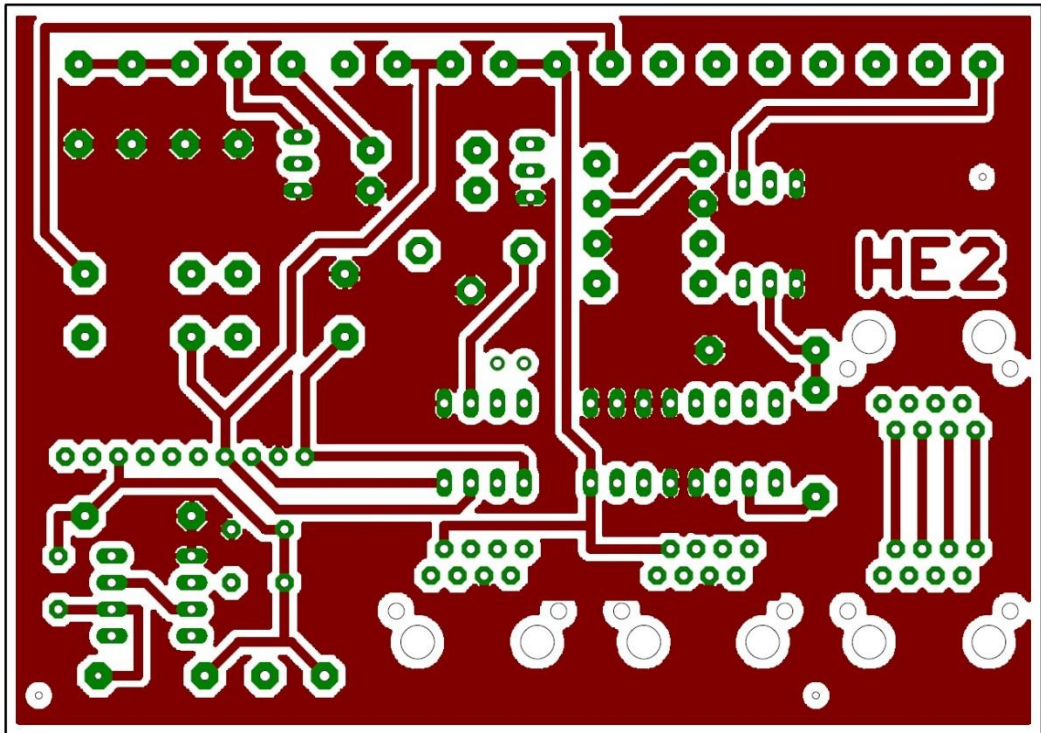
Topitko je pripojeno

Hnojeni CO2 je zapnute

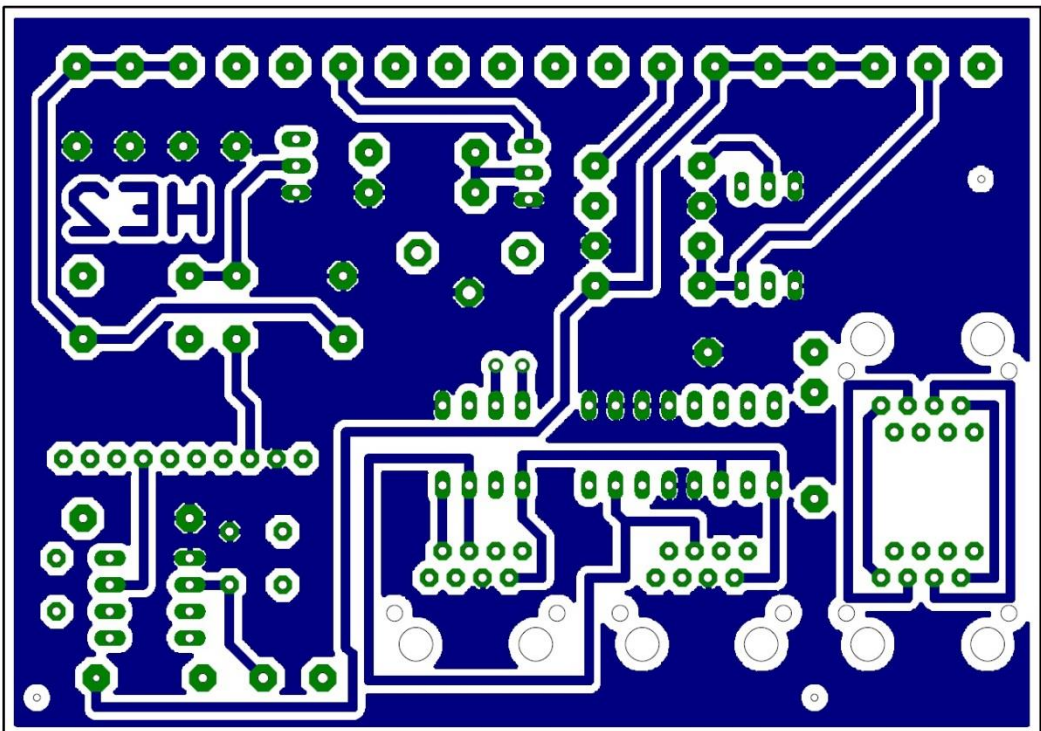
Příloha 3. Server Arduino (TEST LAN)



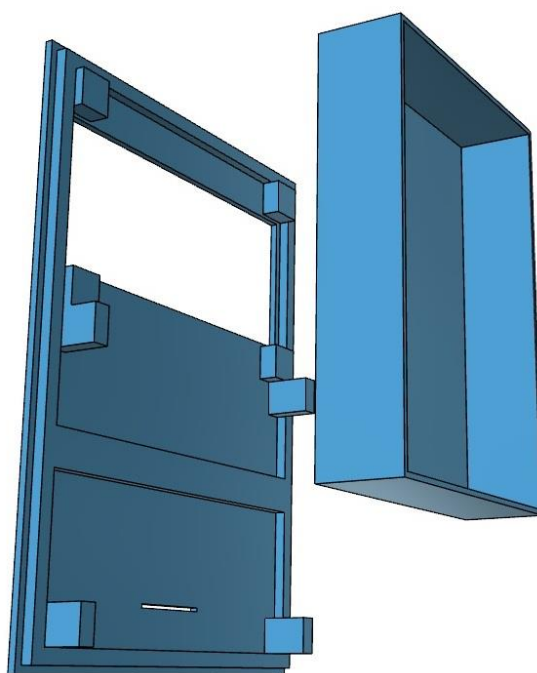
Příloha 4. Struktura menu



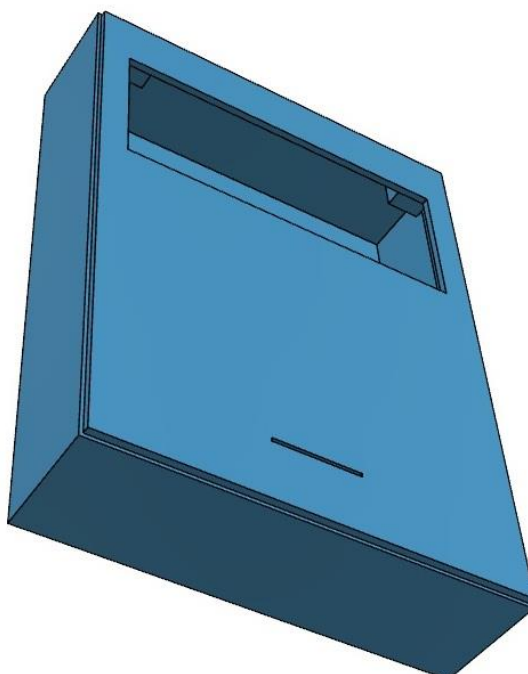
Příloha 5. DPS strana TOP



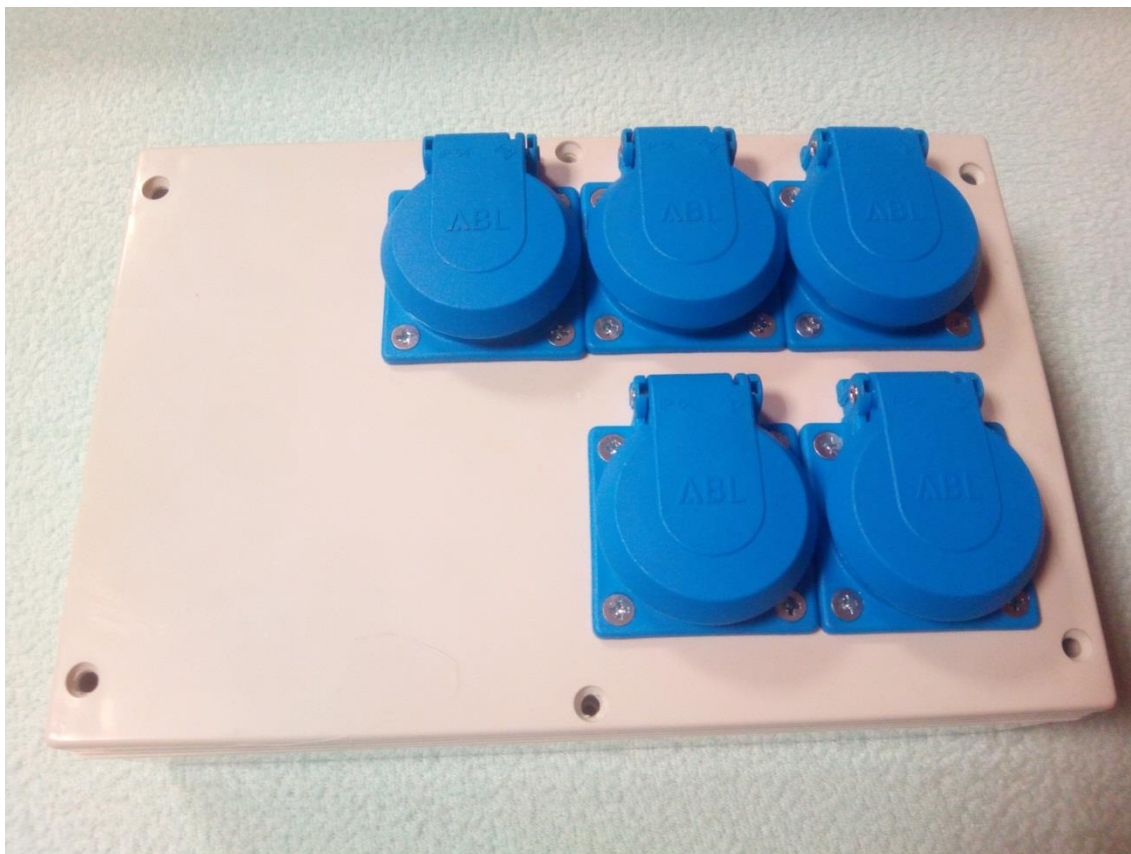
Příloha 6. DPS strana BOT



Příloha 7. 3D model krabičky 1#



Příloha 8. 3D model krabičky 2#



Příloha 9. Modul řízení



Příloha 10. Akvárium, na kterém byl systém testován