

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Měření konduktivity kapalin

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2020/2021

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

Jméno a příjmení: **Bc. Matyáš ZEMAN**
Osobní číslo: **E18N0032P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a aplikovaná informatika**
Téma práce: **Měření konduktivity kapalin**
Zadávající katedra: **Katedra elektroniky a informačních technologií**

Zásady pro vypracování

Navrhněte zařízení umožňující měřit konduktivitu kapalin.

1. Prostudujte principy měření konduktivity kapalin.
2. Navrhněte řešení zařízení, umožňující měřit konduktivitu a změřený údaj vhodným způsobem vizualizovat.
3. Navržené řešení realizujte.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. A high-accuracy, calibration-free technique for measuring the electrical conductivity of liquids [online]. [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/fb0e/96d08cec5c417a5df772a42b2655ef41ef1c.pdf>

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.**
Katedra elektroniky a informačních technologií

Datum zadání diplomové práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2021**


Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 9. října 2020

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na měření parametrů akvarijní vody potřebné pro rozmnožování vysoce náročných Vrbozubicovitých ryb.

Klíčová slova

Pterophyllum altum, Symphysodon discus Heckel, Symphysodon aequifasciatus Pellegrin, Symphysodon Tarzoo, Konduktivita, Permeabilita, NO₂, STM32

Abstract

This master thesis presents the methods of measuring water parameters required to reproduce highly demanding cichlid fish.

Key words

Pterophyllum altum, *Symphysodon discus* Heckel, *Symphysodon aequifasciatus* Pellegrin, *Symphysodon Tarzoo*, Conductivity, Permeability, NO₂, STM32

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 7.6.2021

Bc. Matyáš Zeman

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 POPIS PROSTŘEDÍ	11
1.1 PTEROPHYLLUM ALTUM.....	11
1.2 RYBY Z RODU SYMPHYSODON.....	15
1.2.1 <i>Symphysodon discus</i> Heckel a <i>Symphysodon aequifasciatus</i> Pellegrin.....	15
1.2.2 <i>Symphysodon Tarzoo</i>	15
1.3 PŘEŠLECHTĚNÉ DRUHY TERČOVČŮ (SYMPHYSODON).....	16
1.4 EXPERIMENTY S CHOVEM.....	16
1.4.1 <i>Rozsahy standartního testu (JBL PROAQUATEST EASY 7in1)</i>	17
1.5 POTŘEBNÉ MĚŘÍCÍ ROZSAHY.....	17
1.5.1 <i>Konduktivita</i>	17
1.5.2 <i>NO₂</i>	18
1.5.3 <i>NO₃</i>	18
1.5.4 <i>O₂</i>	18
1.5.5 <i>pH</i>	18
1.5.6 <i>CO₂ a HCO₃</i>	19
2 OBECNĚ O METODÁCH MĚŘENÍ	19
2.1 KONDUKTIVITA.....	19
2.1.1 <i>Definice</i>	19
2.1.2 <i>Princip měření</i>	19
2.1.3 <i>Nízkofrekvenční konduktometrie</i>	21
2.2 MĚŘENÍ PERMEABILITY.....	26
2.2.1 <i>Princip měření</i>	26
2.2.2 <i>Návrh sondy</i>	27
2.3 CHEMOREZISTORY.....	31
2.4 METODY MĚŘENÍ ROZPUŠTĚNÉHO KYSLÍKU.....	31
2.4.1 <i>Optická metoda</i>	31
2.4.2 <i>Elektrochemický senzor rozpuštěného kyslíku</i>	32
2.5 METODY MĚŘENÍ NO ₂	33
2.5.1 <i>Spektrometrické měření NO₂</i>	34
2.5.2 <i>Vlastní návrh senzoru</i>	34
3 VÝROBA MĚŘÍCÍHO ZAŘÍZENÍ	35
3.1 POUŽITÝ HARDWARE.....	36
3.1.1 <i>Display Nokia 5110</i>	36
3.2 A/D PŘEVODNÍK.....	36
3.3 PROCES MĚŘENÍ.....	37
3.3.1 <i>Inicializace</i>	37
3.3.2 <i>Průběh jednotlivých testů</i>	37
3.3.3 <i>Měření permeability</i>	38
3.3.4 <i>Měření konduktivity</i>	40
3.3.5 <i>Zpracování dat</i>	42
4 SHRUTÍ	44
ZÁVĚR	45
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	46

PŘÍLOHY **1**

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na možnosti měření zásadních látek v akvariijní vodě, potřebných pro rozmnožování a správný vývoj jiker velmi náročných ryb, jakými jsou Vrbozubcovití. Zařízení je vyrobeno na vývojové desce NUCLEO-L432KC.

Text je rozdělen do tří částí. První část se zabývá vlastnostmi prostředí, ve kterém se ryby přirozeně vyskytují. Především pojednává o tom, jaké parametry jsou nutné k dosažení úspěšného rozmnožení tohoto druhu ryb. Předmětem měření je v této části hlavně obsah specifických stopových prvků. Druhá část se zabývá teorií a možnostmi využití různých metod měření, jakými jsou například metoda měření konduktivity, nebo také metoda měření relativní permeability. Třetí část pak popisuje výrobu zařízení, princip získání konečných výsledků z naměřených dat a jejich interpretaci. Prototyp zařízení byl vyroben na základě vývojového kitu NUCLEO-L432KC. Předmětem této diplomové práce je na podkladě společenské poptávky, úzce zaměřené zájmové skupiny, nalezení především obecných principů jak a jakým způsobem provádět měření konkrétních koncentrací jednotlivých prvků, nebo sloučenin za použití n-1 měřících metod, které budou za předpokladu známého počtu měřených sloučenin určovat celkové složení rozpuštěných prvků v měřené kapalině.

Seznam symbolů a zkratk

TSS	Veškeré unášené částice (Total suspended sediment)
DOC	Rozpuštěný organický uhlík (Dissolved organic carbon)
γ	Měrná vodivost
β	Tepelný koeficient vodivosti
G	Vodivost
Φ	Magnetický tok
μ_0	Permeabilita vakua ($4\pi \cdot 10^{-7}$)
μ_r	Měrná permeabilita

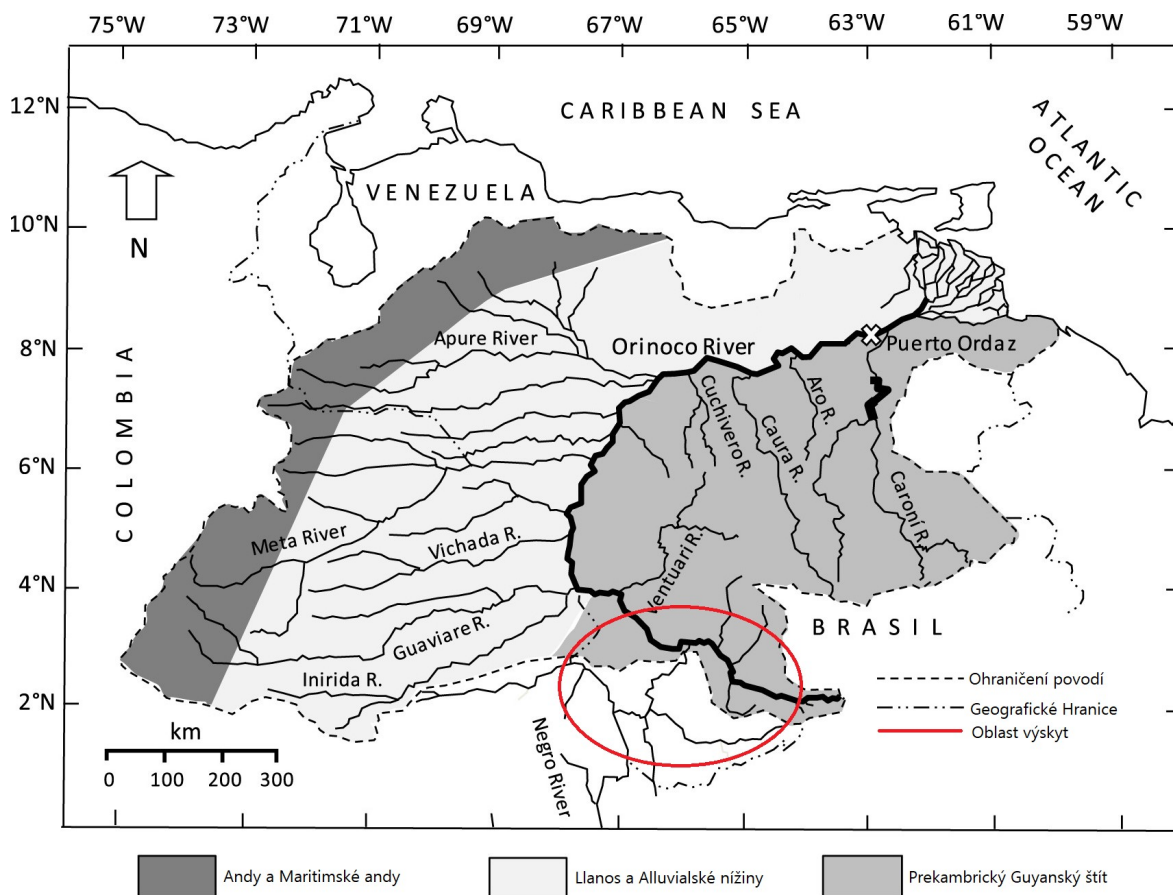
1 Popis prostředí

Základní podmínkou pro výskyt ryb druhů *Pterophyllum altum* a *Symphysodon discus* Heckel, *Symphysodon aequifasciatus* Pellegrin a *Symphysodon Tarzoo* z rodu Cichlidae, je jejich unikátní přírodní prostředí, především pak velmi specifické parametry vody, v níž žijí. Bohužel vlivem klimatických změn a nezodpovědným zásahům člověka, dochází k poškozování tohoto unikátního prostředí a záchrana takovýchto velmi citlivých živočichů na kvalitu svého prostředí bude možná v blízké budoucnosti alespoň v akváriích. V zajetí je doposud však téměř nemožné zajistit jejich rozmnožování a to právě z důvodů velmi problematické napodobitelnosti všech velmi specifických ukazatelů vody, které jsou zásadní pro přežití tohoto vzácného a překrásného druhu ryb. Právě z podnětu zapojit se do jejich záchrany vznikla i tato práce, kterou lze na základě druhu ryb rozdělit do následujících tří částí.

1.1 *Pterophyllum altum*

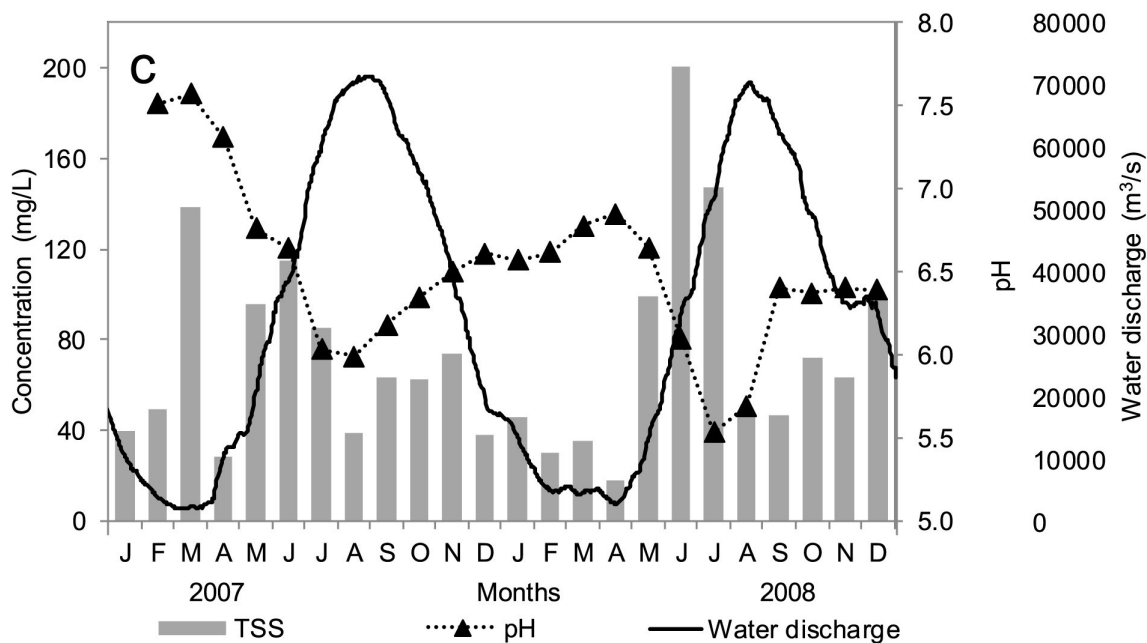
Pterophyllum altum se vyskytuje jen v tůňkách řeky Rio Orinoco a na vrchním toku řeky Rio Negro. Jedná se o oblast jižní Venezuely, jihovýchodní Kolumbie a okolo severní hranice Brazílie.

Pterophyllum altum se od podobných ryb tohoto rodu odlišuje především svou velikostí, díky své velikosti. Dospělí jedinec dorůstá do velikosti blízké 40 cm výšky. Pro porovnání *Pterophyllum scalare*, který je druhým největším v rodu *Pterophyllum* dosahuje maximálně výšky 16 cm. Mezi další jedinečné znaky *Pterophyllum altum* patří zbarvení na vrchní části hlavy, které v dospělosti získává jasně tyrkysovou barvu. Mladé jedince je ovšem možné zaměnit s ostatními příslušníky tohoto rodu.



Obrázek 1 Oblast výskytu *Pterophyllum altum*

V této oblasti se parametry vody zásadně mění v závislosti na množství srážek v oblasti Guyanského štítu, kde v období dešťů které, trvá od května do října, zde průměrně spadne 2500 mm srážek. *Pterophyllum altum* klade své jikry před tím, než období dešťů vrcholí, právě z důvodu jejich optimální rozšíření a možnosti dostat se do nebo z oblasti slepých ramen. V tomto období se mění I parametry vody a hladina řeky stoupá až o několik metrů a tím dochází k rozsáhlým záplavám okolní krajiny.



Obrázek 2 [2] Rio Orinoco v průběhu 2 let

Důležitými podmínkami pro rozmnožování jsou tedy „kvalitativní“ hodnoty dosažené v průběhu vývoje průtoku vody, teplota a pH v celém průběhu roku. Bez splnění všech velmi specifických a přesných podmínek není možný správný vývoj jiker. Zvláště v období měsíců červen až srpen, kdy se tyto ryby vytírají. Díky národním výzkumům probíhajícím v těchto zemích Latinské Ameriky máme o vyplavování vzácných kovů v oblasti Guyanského štítu poměrně velké množství dat o přesném složení vody v této oblasti v průběhu celého roku. Konkrétně díky studiím [3] *“Water and Sediment Budget of Casiquiare Channel Linking Orinoco and Amazon Catchments, Venezuela”* [2] *Hydrological control, fractionation, and fluxes of dissolved rare earth elements in the lower Orinoco River, Venezuela* a [1] *“Distribution and partition of trace metals in the Amazonbasin basin”*, ze kterých je čerpána většina zde použitých dat.

Table I. Water discharge, physicochemical parameters (conductivity, pH) and major element concentrations in the rivers of the Amazon basin

Sample river	Station	No.	Date	Discharge (m ³ s ⁻¹)	Cond. (μS cm ⁻¹)	pH	Alk. (mmol l ⁻¹)	Ca (mmol l ⁻¹)	Mg (mmol l ⁻¹)	K (mmol l ⁻¹)	Na (mmol l ⁻¹)	Cl (mmol l ⁻¹)	SO ₄ (mmol l ⁻¹)
Solimões	Tabatinga	1	26/10/95	20115	289.0	7.07	1.005	0.404	0.115	0.037	0.500	0.434	0.107
Javari	Foz do Itaquai	2	10/27/1995	1565	22.0	6.82	0.110	0.036	0.012	0.019	0.027	0.008	0.010
Itaquai	Foz do Javari	3	10/27/1995	793	26.0	6.64	0.130	0.035	0.012	0.027	0.037	0.008	0.009
Solimões	São Paulo de Olivença	4	28/10/95	24251	212.0	7.31	1.030	0.392	0.103	0.036	0.435	0.410	0.092
Iça	Ipiranga	5	10/31/1995	5354	29.0	6.67	0.190	0.034	0.017	0.020	0.055	0.027	0.009
Solimões	Santo Antonio do Iça	6	10/29/1995	32539	78.0	7.02	0.450	0.138	0.042	0.023	0.168	0.125	0.034
Jutai	Porto Antunes	7	11/3/1995	1143	27.0	6.68	0.090	0.007	0.006	0.020	0.039	0.040	0.012
Solimões	Fonte Boa	8	04/1/1995	34333	154.0	7.34	0.860	0.312	0.098	0.031	0.391	0.357	0.093
Juruá	Foz do Juruá	9	11/4/1995	1045	147.0	7.70	1.350	0.354	0.104	0.044	0.391	0.055	0.029
Japurá	Jacitara	10	11/4/1995	10264	29.0	7.07	0.220	0.044	0.017	0.015	0.056	0.033	0.007
Solimões	Itapeua	12	05/1/1995	46847	124.0	7.44	0.750	0.264	0.075	0.028	0.274	0.245	0.062
Purus	Arumá jusante	13	11/9/1995	2534	68.0	7.32	0.530	0.117	0.053	0.036	0.134	0.032	0.011
Solimões	Manacapuru	14	06/1/1995	52477	123.0	7.30	0.760	0.262	0.073	0.029	0.357	0.382	0.077
Negro	Paricatuba	15	13/1/1995	12311	15.0	5.90	0.000	0.007	0.006	0.013	0.024	0.012	0.000
Madeira	Foz	17	11/15/1995	5132	103.0	7.00	0.669	0.224	0.133	0.039	0.161	0.093	0.114
Amazonas	Itacoatiara	18	11/15/1995	75017	99.0	7.40	0.443	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Trombetas	Oriximína	19	11/16/1995	1258	17.0	5.30	0.067	0.017	0.012	0.029	0.062	0.106	0.009
Amazonas	Obidos	20	08/1/1995	81090	91.0	6.90	0.551	0.218	0.064	0.025	0.199	0.210	0.050
Tapajós	Alter do Chão	21	11/18/1995	6027	15.0	6.10	0.097	0.024	0.024	0.020	0.023	0.095	0.003
Solimões	Tabatinga	1	26/04/97	51830	156.1	6.88	0.770	0.381	0.087	0.031	0.223	0.176	0.065
Javari	Foz do Itaquai	2	26/04/97	2220	18.7	6.09	0.161	0.051	0.015	0.012	0.022	0.007	0.005
Itaquai	Foz do Javari	3	26/04/97	1660	16.6	6.13	0.147	0.043	0.015	0.015	0.025	0.009	0.005
Solimões	São Paulo de Olivença	4	28/04/97	53400	132.8	6.79	1.100	0.431	0.081	0.032	0.202	0.158	0.058
Iça	Ipiranga	5	30/04/97	7740	17.5	6.23	0.048	0.027	0.013	0.011	0.029	0.012	0.007
Jutai	Porto Antunes	7	02/05/97	4130	6.9	4.95	0.048	0.009	0.007	0.012	0.015	0.008	0.002
Solimões	Fonte Boa	8	03/05/97	71810	95.9	6.80	0.813	0.300	0.062	0.025	0.149	0.106	0.039
Juruá	Foz do Juruá	9	03/05/97	10120	40.1	6.29	0.398	0.124	0.034	0.023	0.053	0.009	0.005
Japura	Jacitara	10	04/05/97	9810	8.7	5.67	0.085	0.017	0.008	0.008	0.016	0.009	0.004
Solimões	Tefe	11	07/05/97	90800	71.5	6.56	0.592	0.223	0.049	0.021	0.113	0.075	0.025
Solimões	Itapeua	12	08/05/97	99200	72.3	6.50	0.598	0.226	0.050	0.022	0.112	0.070	0.027
Purus	Aruma Jusante	13	10/05/97	25290	21.6	5.88	0.198	0.055	0.022	0.020	0.034	0.008	0.008
Solimões	Manacapuru	14	12/05/97	133880	52.8	6.38	0.456	0.160	0.039	0.022	0.081	0.044	0.018
Negro	Paricatuba	15	18/05/97	34360	13.2	4.29	nd	0.002	0.002	0.003	0.005	0.008	0.002
Amazonas	Jaturana	16	21/05/97	147130	42.9	6.18	0.352	0.133	0.032	0.017	0.075	0.041	0.014
Madeira	Foz	17	22/05/97	49780	49	6.32	0.374	0.109	0.069	0.036	0.082	0.015	0.049
Amazonas	Itacoatiara	18	21/05/97	199950	50.9	6.34	0.415	0.148	0.046	0.024	0.089	0.041	0.023
Trombetas	Oriximína	19	26/05/97	9690	26.3	3.31	0.249	0.085	0.029	0.018	0.056	0.026	0.013
Amazonas	Obidos	20	28/05/98	204490	43.3	6.38	0.364	0.127	0.039	0.022	0.082	0.036	0.019
Tapajós	Alter do Chão	21	31/05/97	13120	15.1	6.23	0.185	0.034	0.023	0.022	0.037	0.012	0.003

nd: not determined.

Copyright © 2003 John Wiley & Sons, Ltd.

Hydrological Processes 17, 1345–1361 (2003)

TRACE METALS IN THE AMAZON BASIN

1349

Tabulka 1 [1] Tabulka měření stopových prvků v průběhu let

Proměnná	Jednotka	2007							2008							
		Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen
Průtok	[1000m ³ .s ⁻¹]	4,07	2,92	3,07	3,73	3,45	1,99	1,49	1,32	0,65	2,02	1,15	2,32	1,44	4,02	3,34
pH		6,12	5,74	5,38	5,62	6,05	6,31	6,27	5,91	6,04	5,78	6,36	6,02	5,46	5,23	5,27
Konduktivita	[μS.cm ⁻¹]	10,80	10,50	10,10	9,30	11,20	12,60	13,90	12,90	15,90	12,40	17,70	11,90	11,10	11,00	12,00
Teplota	[°C]	27,50	26,70	26,40	26,50	27,10	27,80	28,00	26,90	27,60	28,70	30,50	29,00	27,00	25,50	26,50
O ₂	[mg.l ⁻¹]	6,63	7,05	6,21	6,72	7,20	6,95	7,88	7,38	6,76	6,39	6,74	6,00	7,41	7,56	6,39
DOC	[mg.l ⁻¹]	2,66	2,74	3,10	2,77	2,18	2,31	2,08	2,34	2,72	4,44	2,54	4,01	4,71	4,93	3,81
HCO ₃	[mg.l ⁻¹]	4,80	4,12	4,12	3,80	5,78	6,58	6,53	5,11	7,31	4,23	7,90	4,70	2,76	2,74	3,79
TSS	[mg.l ⁻¹]	14,70	5,00	8,40	7,80	7,10	10,70	21,60	15,00	11,40	10,50	10,50	20,10	6,70	7,90	6,00
Si	[mg.l ⁻¹]	3,93	3,31	2,61	3,06	4,42	4,71	5,49	5,33	5,45	4,03	5,88	4,14	3,13	3,11	3,72
Na	[mg.l ⁻¹]	0,63	0,64	0,66	0,67	0,98	1,12	1,29	1,23	1,37	0,97	1,51	1,01	0,73	0,71	0,87
K	[mg.l ⁻¹]	0,95	0,88	0,77	0,64	0,69	0,75	0,75	0,70	0,88	0,70	0,91	0,85	0,67	0,66	0,67
Ca	[mg.l ⁻¹]	0,53	0,52	0,50	0,46	0,48	0,53	0,61	0,56	0,81	0,65	0,83	0,63	0,52	0,48	0,52
Al	[mg.l ⁻¹]	0,25	0,25	0,23	0,23	0,26	0,28	0,32	0,30	0,38	0,29	0,39	0,29	0,25	0,22	0,25
Fe	[mg.l ⁻¹]	0,08	0,12	0,08	0,08	0,06	0,04	0,06	0,05	0,07	0,10	0,05	0,09	0,10	0,12	0,09
Mn	[μg.l ⁻¹]	1,60	2,62	9,02	4,38	1,82	2,18	0,80	0,81	0,64	1,12	0,42	0,98	2,83	3,56	3,99
Cu	[μg.l ⁻¹]	0,62	0,45	0,39	0,46	0,47	0,40	0,36	0,23	0,36	0,44	0,42	0,54	0,72	0,41	0,36
Zn	[μg.l ⁻¹]	2,49	2,31	1,65	1,92	3,24	10,50	2,07	2,29	2,27	0,47	0,54	1,21	1,07	1,82	1,09
Cr	[μg.l ⁻¹]	0,34	0,27	0,24	0,16	0,18	0,14	0,22	0,08	0,14	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,15

Tabulka 2 [3] Výsledky měření stopových prvků v Rio Orinoco

Vzhledem k těmto datům a jejich přiřazení k období, kdy se tento druh ryb rozmnožuje, můžeme následně určit, v jakých rozmezech se musí pohybovat náš měřící rozsah a jaké rozhodující parametry (stopové množství prvků) je nutné sledovat. Pro správný výklad získaného měření je nutné použité jednotky [$\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$] převést na v akvaristice používané [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$], které jsou také často uváděny jako ppm.

1.2 Ryby z rodu *Symphysodon*

1.2.1 *Symphysodon discus* Heckel a *Symphysodon aequifasciatus* Pellegrin

Druh ryb *Symphysodon discus* Heckel a *Symphysodon aequifasciatus* Pellegrin se vyskytuje pouze v již zmíněné řece Rio Negro, nejčastěji v jejích mrtvých ramenech, kde hodnoty pH jsou nejčastěji kolem 4 – 4,5.

1.2.2 *Symphysodon Tarzoo*

Výskyt tohoto poddruhu je nejčastější v přítoku řeky Rio Tefé. Pro tuto oblast lze však nalézt jen velmi omezené množství informací. Jediným dostupným zdrojem je [4] „*Chemistry of different Amazonian water types for river classification*“, kde se v „a preliminary review“ popisuje měření i jiných prvků, které jsem pokusně ověřil a vím, že jsou pro celou výzkumnou práci velmi důležité.

Proměnná	Jednotka	Hodnota
pH		5,5
Konduktivita	[$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	7,36
HCO ₃	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	6,86
TSS	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	7,9
Si	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	0,33
Na	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	0,4
K	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	1,41
Ca	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	0,71
Mg	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	0,22
NO ₃	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	0,014

Tabulka 3[4] Hodnoty naměřených prvků v řece Rio Tefé

1.3 Přešlechtěné druhy Terčovců (Symphysodon)

Nejenom z komerčního hlediska vzniklo doposud nespočet variant Terčovců chovaných po celém světě kvůli jejich specifickému zbarvení. Některé konkrétní barevné variace byly dosaženy jen díky jejich křížení mezi rodiči a dětmi, dětmi a prarodiči, či sourozenci mezi sebou. Takový způsob by byl u většiny živočišných druhů nepřijatelný a to z mnoha důvodů. U tohoto druhu ovšem křížení došlo tak daleko, že mnoho specifických barevných variací nemůže mít potomstvo v běžném prostředí. U některých to došlo dokonce tak daleko, že je to naprosto nemožné. Nově tu tedy vzniká nutnost chovat s jedním rodičem odolnější, původní, varianty s nežádoucím zbarvením a tím odstranit potomky se zbarvením po tomto rodiči. I tak je zde ovšem nutnost držet podmínky pro vývoj jiker na specifických hodnotách vody, co nejbližších původním životním podmínkám, které si ovšem většina chovatelů velmi střeží, aby si udrželi dominanci na tomto trhu. Dospělé ryby, jak vyplývá z odstavce 1.1 musejí v zimních měsících překonat silné výkyvy hodnot pH a stopových prvků, takže jejich chov není tak náročný a můžeme je mít ve standartním akváriu. Problematické je až jejich množení, které je úspěšné jen ve vodě s parametry odpovídajícími prostředí jejich původu.

1.4 Experimenty s chovem

Já, jako jeden z chovatelů druhů *Pterophyllum altum* a Blue Diamond Discus, který je šlechtěnou varicí druhu *Symphysodon Tarzoo*, se jejich rozmnožováním zaobírám již delší dobu. Druh Blue Diamond Discus jsem úspěšně, ale více méně náhodně, rozmnožil již v roce 2013. Pro tuto variantu jsem dosáhl hodnot pH 5-6, Konduktivity $<300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a NO_3 , ale tím jsem své ovlivnění skončil, neboť jsem se dostal na hranici detekovatelnosti standartního chemického akvaristického testu a úspěšné rozmnožení bylo tedy víceméně náhodné. Výsledek dosažený tímto způsobem mne neuspokojil a proto jsem se jako technik rozhodl nadále postupovat v této věci exaktně vědeckým postupem.

Jednoduchý testr je možné získat téměř v každé akvaristice, nebo hobby marketu. Jako příklad lze uvést Esha Aqua-Quick-Test, JBL Easy PRO Aquatest 7v1, nebo PRO JBL AQUATEST. Pokud použijeme i ten nejpřesnější tj. PRO JBL AQUATEST, tak změříme sice zdánlivě všechny potřebné hodnoty, ale pokud provedeme jejich porovnání s hodnotami udávanými výrobcem, tak skutečné hodnoty získané z měření v řece Rio Negro a Rio Orinoco jsou pod rozlišovací schopností jakéhokoli prodávaného akvaristického

vybavení. Jedinou možností chovatele je tedy měřit pouze pH a pro jakékoli podrobnější výsledky posílat vzorky vody opakovaně do laboratoře. Kvalitní a na obsluhu jednoduché, přístrojové vybavení, dostupné všem akvaristům, na současném trhu však zcela doposud chybí.

1.4.1 Rozsahy standartního testu (JBL PROAQUATEST EASY 7in1)

NO₂ s rozsahem 0-10 mg.l⁻¹ s krokem 0 0,5 2 5 10

NO₃ s rozsahem 0-250 mg.l⁻¹ s krokem 0 10 25 50 100 250

GH s rozsahem 3-375 s krokem 3-53 4-70 7-125 14-250 21-375

KH s rozsahem 0-357 s krokem 0 53 107 178 268 357

pH s rozsahem 6,4-8,6 s krokem 6,4 6,8 7,2 7,6 8 8,4 8,6

Cl s rozsahem 0-3 mg.l⁻¹ s krokem 0 0,8 1,5 3

1.5 Potřebné měřící rozsahy

1.5.1 Konduktivita

Převzetím dat získaných v přirozeném prostředí těchto živočišných druhů, tak zjistíme, že se v průběhu roku hodnoty pohybují od **0,5 μS.cm⁻¹ do 250 μS.cm⁻¹**. Konduktivita je ovšem pouze všeobecný ukazatel a nemá dostatečnou vypovídací schopnost o skutečném složení jakékoliv kapaliny.

1.5.2 NO₂

V akváriích vzniká NO₂ rozpadem amoniakálního dusíku (NH₃/NH₄⁺) a následně se postupně dále rozkládá na NO₃⁻. Samotné amónium NH₄⁺ obecně pro ryby toxické není, na rozdíl od amoniaku (NH₃), který se jako plyn ve vodě rozpouští. Tento problém ovšem většinou nehrozí, protože proces, při kterém z amónia vzniká amoniak se zrychluje ve vyšším pH. Upravit se to dá dostatečným zvýšením ploch filtračního média pro nitrifikační bakterie. Stále zde však zůstává značné množství silně toxické látky jejíž koncentraci je důležité držet pod hodnotou 0,001 mg.l⁻¹, což pro přesnost měření se znamená pohybovat v rozsahu od **0.1 µg.l⁻¹ do 1000 µg.l⁻¹ ± 0.1 µg.l⁻¹**.

1.5.3 NO₃

Dusičnany sice nejsou tak toxické jako dusitany, ale pro většinu akvaristů platí pravidlo, které doporučuje držet jejich hladinu maximálně na desetinásobku hladiny dusitanů. Toto pravidlo se obecně potvrzuje jako pravdivé, především ve vztahu k hladinám naměřeným v Rio Tefe (**Tabulka 3 str. 13**). Proto navrhuji měřící rozsah od **1 µg.l⁻¹ do 1000 µg.l⁻¹ ± 0.1 µg.l⁻¹**.

1.5.4 O₂

Dalším velmi důležitým ukazatelem v každém akváriu je koncentrace kyslíku. Primárně to platí pro ryby, ale zároveň i pro ostatní organismy, jako např. pro nitrifikační bakterie, které přeměňují silně toxické dusitany (NO₂⁻) na méně toxické dusičnany (NO₃⁻). Koncentrace O₂ je v kritickém období v přirozeném prostředí v rozmezí od 5,5 mg.l⁻¹ do 8 mg.l⁻¹. Informace z měření musí tento rozsah zcela pokrýt. Ideální rozsah přístroje na měření by se měl pohybovat od **0 mg.l⁻¹ do 10 mg.l⁻¹ ± 0,1 mg.l⁻¹**.

1.5.5 pH

Měření pH by nemuselo být součástí měřícího vybavení akvaristy, protože se standardně provádí s kratší periodou a klasickými metodami, ale pro korekci některých měření se jedná o podstatný údaj a proto je zařazení měření pH pro univerzální, účelové, přístrojové vybavení pro akvaristiku také zahrnuto. Vzhledem k doposavadním zkušenostem byla do návrhu použita existující sonda pracující v rozsahu **3-10 ± 0,1**.

1.5.6 CO₂ a HCO₃

Obsah CO₂ a HCO₃ pro růst ryb a vývoj jiker není podstatný, pokud tedy nepřekročí určitou mez. Vzhledem k tomu, že v akváriích používaných zvláště jenom k množení ryb nejsou rostliny, které by hladinu těchto látek sami přirozeným způsobem regulovali, tak i tuto horní hranici musí kontrolovat akvarista - chovatel. Hodnoty HCO₃ se pohybují běžně v přírodě v rozmezí od **4 mg.l⁻¹ do 8 mg.l⁻¹ ± 0,1 mg.l⁻¹**. Vzhledem k tomu, že chov těchto druhů ryb se provádí v extrémně měkké vodě, tak se většina zde obsaženého uhlíku vyskytuje jako CO₂. Proto stačí provádět měření pouze CO₂ a z jeho objemu obsaženého ve vodě, až následně odvozovat poměrné množství HCO₃. Pro výše popsané závislosti plně postačuje měřicí rozsah od **0 mg.l⁻¹ do 20 mg.l⁻¹ ± 0,1 mg.l⁻¹**.

2 Obecně o metodách měření

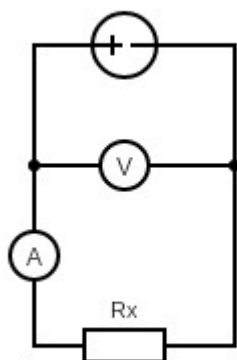
2.1 Konduktivita

2.1.1 Definice

Konduktometrie je metoda měření založená na měření elektrické vodivosti a stanovuje schopnost vést elektrický proud. Tuto vlastnost ovlivňují jednotlivé látky v roztoku obsažené a teplota vlastního roztoku. Přístroje pro měření vodivosti roztoků se nazývají konduktometry. Výhodou této metody měření je vysoká citlivost, která umožňuje tak rozlišit i nízké koncentrace stopových prvků v roztoku obsažených.

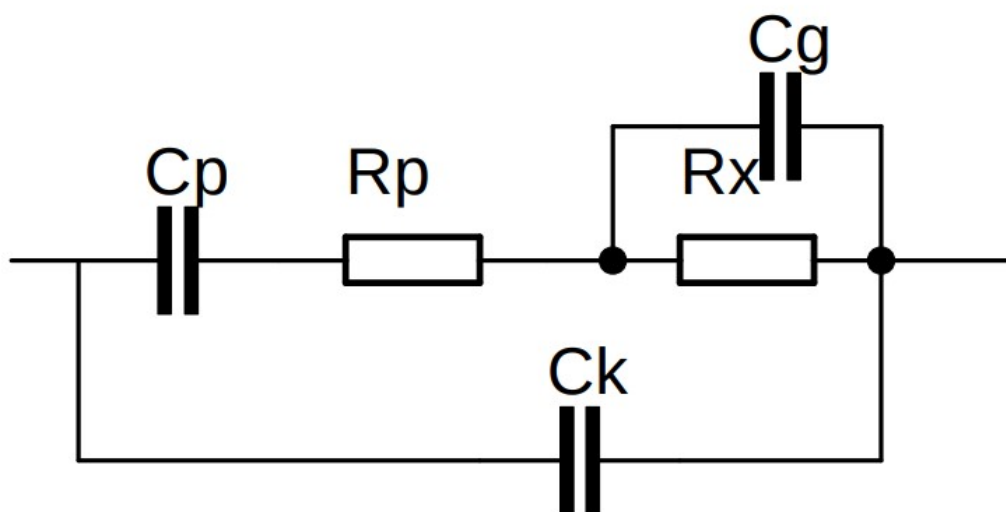
2.1.2 Princip měření

Měřicí sondu si lze, v daném případě, představit jako rezistor mezi dvěma ponořenými elektrodami v měřené kapalině. Tento způsob je ve své podstatě velmi jednoduchý a získání potřebných hodnot dosažitelné standartní Ohmovou metodou v zapojení pro velké odpory (**Obrázek 3**), kde bychom za pomoci Ohmova zákona $U = I \cdot R_x$ určili hledanou hodnotu R_x tímto jednoduchým výpočtem.



Obrázek 3 Ohmova metoda měření odporů

Tuto možnost ovšem musíme předem zavrhnout, a to z několika důvodů. Jedním z nejzásadnějších je skutečnost, že po přivedení stejnosměrného napětí dochází na elektrodách k elektrolyze.



Obrázek 4 Náhradní skutečné sondy (R_x - odpor kapaliny, R_p - polarizační odpor, C_p - polarizační kapacita, C_k - kapacita přívodů, C_g - geometrická kapacita)

Stejnosečné napětí při měření se dá však nahradit střídavým napětím, které ovšem způsobuje na elektrodách sondy tvorbu vrstev s různým nábojem. Tyto vrstvy jsou způsobeny řadou jevů, které můžeme souhrnně označit za polarizaci elektrod. Dle schématu zobrazeném na obr. 4 je možné vyjádřit tuto polarizaci jako sériovou kombinaci kapacity C_p a odporu R_p . Polarizační jev je dominantní právě při vysoké vodivosti a nízkém kmitočtu. Jedná se totiž o frekvenčně závislé složky. Jejich hodnoty se obecně pohybují do $100\mu\text{F}$ pro C_p a do 10Ω pro R_p , pokud je měřicí frekvence do 5 kHz.

Geometrická kapacita C_g má standardně hodnotu od 10pF do 100pF. Její hodnota je určena geometrií sondy, kterou je potřeba zvolit vždy podle požadovaného měřicího rozsahu. Geometrii a měřicí kmitočet zároveň volíme tak, aby měření R_x nebylo zatíženo systémovou chybou, nebo jiným omezením zvolené měřicí elektroniky.

2.1.3 Nízkofrekvenční konduktometrie

Nízkofrekvenční konduktometrie se využívá pro měření roztoků s nízkou vodivostí. U nízkých vodivostí je totiž polarizace na povrchu elektrod zanedbatelná. Proto se i často pro tuto metodu používá optimalizace volbou amplitudy.

2.1.3.1 Základní pojmy

Hodnotu odporu R_x (Ω) mezi elektrodami lze teoreticky určit ze vzdálenosti elektrod (d), jejich plochy (S) a měrného odporu (ρ) kapaliny podle vzorce:

$$R_x = \rho \frac{d}{S}$$

Rovnice 1

Proto je vhodné pro návrh sondy vyjádřit odpor jako převrácenou hodnotu vodivosti pro stanovení rozsahu tohoto odporu.

$$G = \frac{1}{R} = \gamma \frac{S}{d}$$

Rovnice 2

Kde γ je měrná vodivost ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Ta charakterizuje analyzovaný roztok, zatímco podíl S/d charakterizuje vodivostní sondu. Při správně optimalizovaném měření můžeme zjednodušit celé náhradní schéma a pro další numerické zpracování brát výstupní hodnotu ze sondy pouze jako:

$$\gamma = G \cdot K$$

Rovnice 3

Pro roztoky o malé vodivosti (od 5 do 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) jsou často elektrody velmi blízko u sebe (jednotky až desetiny mm). Naopak pro vysoké vodivosti je vhodnější využití vyšší vzdálenost elektrod (desítky až stovky mm). Není snadné jednoduše určit konstantu vodivosti sondy z geometrického uspořádání z důvodu vzniku možných okrajových jevů v rozložení elektrického pole. Tuto konstantu je proto nutné stanovit nejprve odhadem za pomoci zjednodušeného modelu a až následně upřesnit pro danou sondu v roztoku se známou měrnou vodivostí.

2.1.3.2 Teplotní závislost

Měrná elektrická vodivost γ je funkcí teploty. Tuto závislost je možné pro roztoky s nižšími koncentracemi vyjádřit touto rovnicí:

$$\gamma_t = \gamma_{t_0} [1 + \beta_1(t - t_0) + \beta_2(t - t_0)^2]$$

Rovnice 4

β_1 , β_2 jsou teplotní koeficienty vodivosti a γ_t , γ_{t_0} měrné vodivosti při teplotě t . Tyto koeficienty jsou závislé na složení jednotlivých prvků v měřené kapalině. Jelikož teplotní koeficient β_2 je vždy řádově nižší, můžeme ho pro účely měření akvarijní vody zanedbat. Díky tomu získáme zjednodušený vztah:

$$\gamma_t = \gamma_{t_0} [1 + \beta_1(t - t_0)]$$

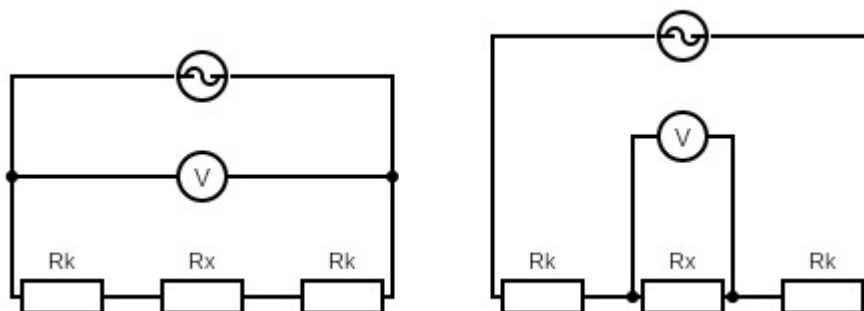
Rovnice 5

Takto zjednodušenou rovnicí můžeme z důvodu provádění jednoúčelového měření nadále zjednodušit jen na konstantu. Především díky faktu, že teplota pro všechny druhy těchto ryb by se neměla nikdy vychýlit z rozsahu 26-28°C.

2.1.3.3 Způsoby měření

Existuje několik druhů konstrukcí sond, odvozených od používaného způsobu měření. Jedná se o sondy průtokové a sondy ponorné. Průtokové sondy jsou určeny pro konstantní měření a tedy stabilní montáž. Pro vznik přenosného zařízení, jsou proto nejvíce vhodné sondy ponorné.

Materiál pro elektrody bývá z nekorozivních materiálů. Například z nerezové oceli, titan/paladia, grafitu a podobně. Pro své výborné vlastnosti by byla pro tyto účely vhodná i platina a to především z důvodu její nízké polarizace. V konstrukci sond se také velmi často využívá integrovaných teplotních čidel z důvodu jejich velké teplotní závislosti. Dále je zde také možnost využití dvou elektrodového, nebo čtyř elektrodového zapojení. Čtyř elektrodového zapojení se nejvíce využívá z důvodu eliminace vzniku povlaků na elektrodách. Tento povlak totiž může způsobovat zvýšení odporu a tak zkreslit měření.

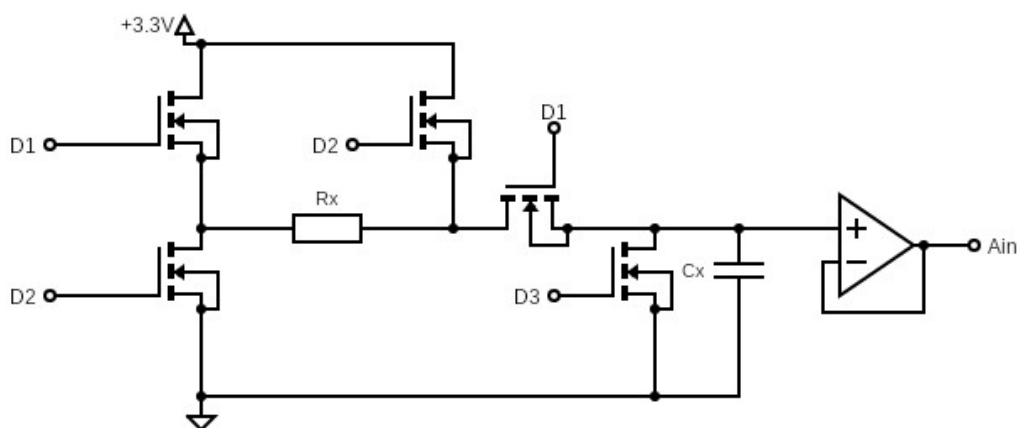


Obrázek 5 Schéma dvou elektrodové a čtyř elektrodové sondy

Ve čtyř elektrodovém zapojení totiž nezávisí měřené napětí na celkovém odporu sondy, ale pouze na odporu měřené kapaliny. Současně tak není měření zatíženo jevy na elektrodách při průchodu proudem. Zároveň se na takto zapojených měřících elektrodách využívá snímání zesilovačem s velkou vstupní impedancí. Díky tomu se snižuje elektrodami procházející proud a minimalizuje se polarizace elektrod.

2.1.3.4 Vlastní návrh konduktometru

Jedním z neopominutelných kritérií pro vznik jakéhokoliv zařízení, využitelného širokou veřejností je i poměr mezi kvalitou (přesností naměřených hodnot) a vlastní konečnou cenou výrobku. Vzhledem k této, v nemalé míře rozhodující, úměře bylo zvoleno jen dvou elektrodové zapojení s napájením přímo z 3,3V výstupu vývojové desky. Ze stejného důvodu byl použit způsob měření obvodu Sample hold, kdy je využívána metoda několika opakovaných měření jdoucích ihned po sobě, pro zvýšení celkové přesnosti získaných hodnot.



Obrázek 6 Schéma zapojení vodivostní sondy

V tomto zapojení (viz **Obrázek 6**) je měřicí frekvence nezávislá na rychlosti měření a především rychlosti převodu A/D převodníku. Když pak je ovládání D1 a D2 řízeno pomocí přerušení od časovače, nebo pomocí DMA, tak je možné dosáhnout přesného času řízení v průběhu celého měření. Díky vyladění plochy elektrod (S) a vzdálenosti elektrod (d) spolu s velikostí kapacity Cx je možné dosáhnout přesného měření za pomoci digitálních konstant při digitální korekci chyby.

Při nastavení frekvence měření na 5 kHz můžeme ze vztahu pro standartní RC článek odvodit a za dále uvedených, určitých, podmínek stanovit veškerá potřebná data. Měřený měrný odpor je tedy stanoven z požadovaného měřeného rozsahu. Parametry tohoto měrného odporu (viz kapitola 1.5.1) jsou $0,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ - $250 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

$$R = \frac{1}{\gamma}$$

Rovnice 6

Z toho můžeme stanovit měrný odpor v rozmezí $2 \text{ M}\Omega$ - $4 \text{ k}\Omega$, a z něho následně odvodit návrh RC článku tak, aby časová konstanta 5τ odpovídala 5 kHz tedy 0,2 ms.

$$\tau = RC$$

Rovnice 7

Pakliže poté dosadíme do této rovnice standartní hodnotu přesného kondenzátoru a za τ dosadíme $5 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3}$, tak můžeme snadno navrhnout plochu a vzdálenost obou elektrod.

$$G = \frac{1}{R} = \gamma \frac{S}{d}$$

Rovnice 8

Tímto způsobem došlo k návržení plochy elektrod (S) 1 cm^2 a vzdálenosti elektrod (d) 11,3mm. Vzdálenost d tak byla záměrně zvolena i v souvislosti se základními rozměry standartního konektoru pro spojování desek plošného spoje. S těmito hodnotami vychází rozmezí odporu R_x od 4520Ω do $2,26 \text{ M}\Omega$. S touto hodnotou vychází velikost kondenzátoru ze vztahu:

$$5\tau = RC$$

Pokud ho do tohoto vztahu dosadíme, tak dostaneme hodnotu kondenzátoru 220 pF.

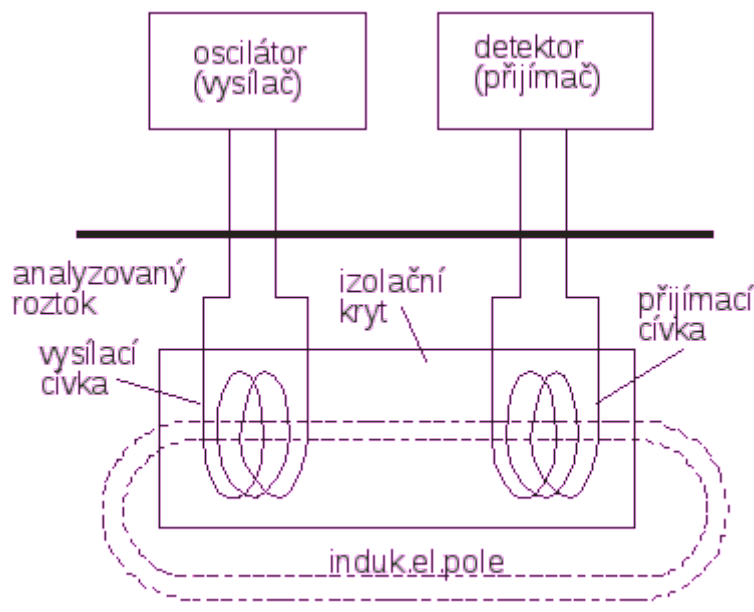
Další problematika tohoto návrhu, jakým jsou jevy na povrchu elektrod, bude vyřešena jejich jednoduchým galvanickým pozlacením. Díky tomu pak bude povrch stabilní a nebudou na něm vznikat různé nežádoucí sloučeniny ovlivňující přesnost měření. Tímto způsobem sice není možné zabránit galvanizaci, ale díky nízké frekvenci těchto měření, neměl by tento nežádoucí efekt být žádným problémem uživatelů.

2.2 Měření permeability

Měření permeability kapaliny je jedna z dalších zde využívaných nepřímých metod měření. V některých průmyslových řešeních se tato metoda využívá pod názvem bezkontaktní / bezelektrodové měření vodivosti. Toto označení není úplně přesné (z několika, pro tyto účely nepodstatných důvodů), ale pokud se v měřeném roztoku nachází známé sloučeniny, tak je v podstatě možné stupnici ukazující permeabilitu ocejchovat jako stupnici vodivosti.

2.2.1 Princip měření

Podstatou je měřicí transformátor, kde primární vinutí vysílá signál a sekundární vinutí signál přijímá. Měřený roztok je zde jádrem. Vzhledem k tomu, že cívky jsou lakované (nebo zalité v epoxidu), tak na rozdíl od přímého měření konduktivity je tato metoda použitelná i pro dlouhodobé ponoření v kapalině.

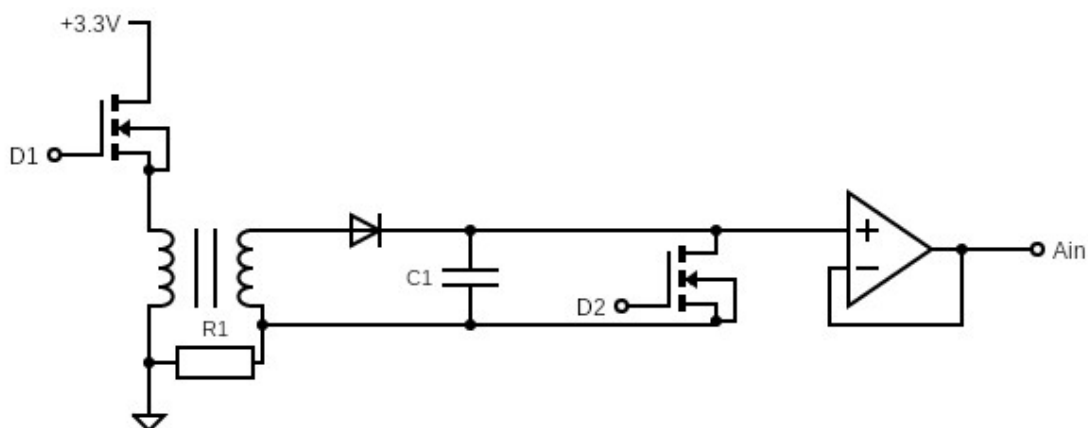


Obrázek 7 [6] Schéma bezelektrodového měření vodivosti

Z Obrázku 7 vyplívá, že se jedná o obvod transformátoru se vzduchovým (v našem případě však kapalinou tvořeným) jádrem.

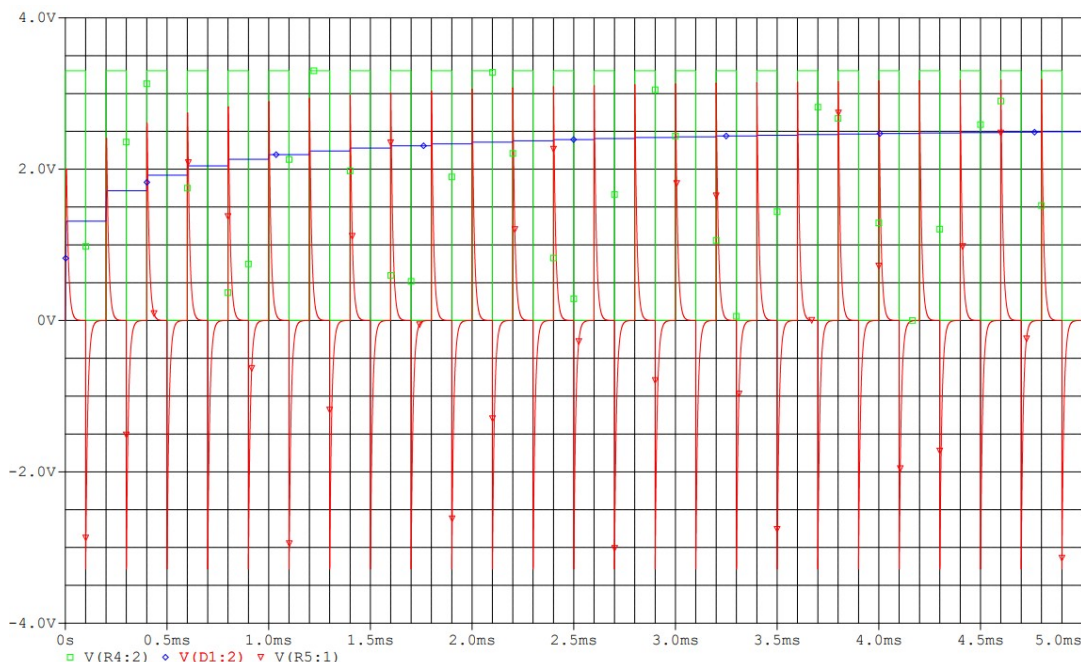
2.2.2 Návrh sondy

Pro konstrukční řešení této sondy bylo ideální navinout 2 vnutí přes sebe na tenký materiál. Tím bylo dosaženo, co nejvyšší vzájemné indukčnosti a zároveň došlo i k dosažení dostatečné mechanické odolnosti. Pro tento účel byla zvolena skleněná trubička, se zafixovanými závity v epoxidu. Na takto připraveném výrobku byla při laboratorním měření otestována citlivost.



Obrázek 8 Zapojení sondy pro měření permeability

Tento způsob zapojení uvedeném na Obr. 8 byl zvolen z důvodu zjednodušení celé konstrukce. Teoreticky by možná bylo ideální použít zapojení pro detekci maximální hodnoty, ale z důvodů, že se měřené hodnoty nemůžou změnit v rámci milisekund, tak je z ekonomického a konstrukčního hlediska lepší vyčkat proběhnutí 15-20 cyklů, aby se hodnota napětí na kondenzátoru C1 ustálila (viz graf na Obr. 9).



Obrázek 9 – graf simulace obvodu v programu PSpice (Zeleně - napětí na budící cívce, Červeně – napětí na měřící cívce, Modře – Napětí na kondenzátoru C1)

Pro měření v laboratoři byla použita 2 vinutí o délce 10 mm navinutá na skleněné trubičce o průměru 14 mm s vnitřním průměrem 12 mm. Tímto způsobem bylo navinuto 40 závitů pro primární i sekundární vinutí současně, aby bylo dosaženo maximální vzájemné indukčnosti.

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 S}{l}$$

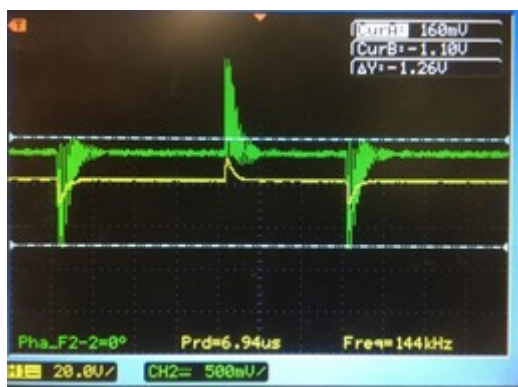
Rovnice 9

Z této rovnice je tedy možné vypočítat indukčnost takto navinutých cívek. Pro použití na vzduchu je indukčnost těchto cívek 30,95 μH . Tento vztah můžeme vyjádřit i pro vzájemnou indukčnost M_{21} vzorcem:

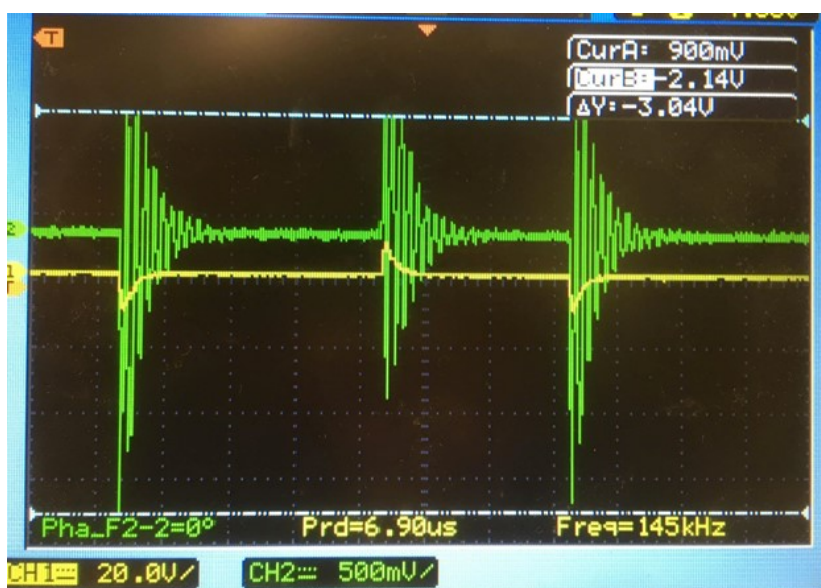
$$M_{21} = \frac{N_2 \mu_0 \mu_r \frac{N_1 S}{l} I_1}{I_1}$$

Rovnice 10

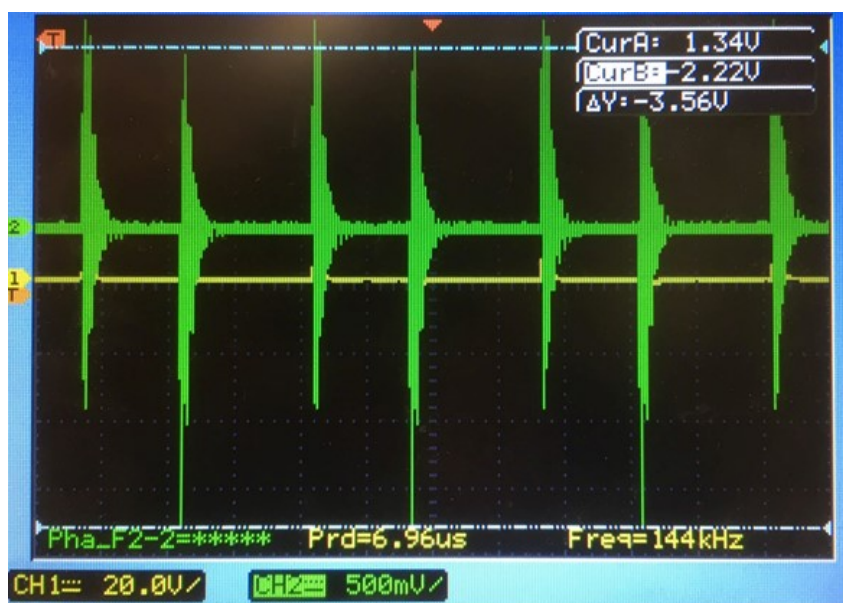
Pro reálné měření je však již obtížné další využití analytických metod a to právě z důvodu, že bylo použito pomocí obdélníkového průběhu s napětí 0-3,3 V pro buzení primárního vinutí.



Obrázek 10 Naměřené hodnoty na vzduchu



Obrázek 11 Naměřené hodnoty vody vyrobené reverzní osmózou

Obrázek 12 Naměřená hodnota s vody vyrobenou reverzní osmózou + 2,3 ppm CO₂

Z obrázků (**Obrázek 11 a Obrázek 12**) lze odečíst, že pokud rozpuštěný CO₂ o hodnotě 2,3 PPM způsobuje rozdíl v napětí na sekundárním vinutí 4,4 V ve výše uvedeném zapojení, tak se jedná o velmi citlivou metodu měření. Zároveň se tím zde i otevírá možnost v získávání dalších poznatků na základě prozkoumávání dat z těchto dvou metod hlouběji. Tím pak ověřit jejich vzájemnou závislost, či nezávislost na jednotlivých prvcích a umožnit jejich přesnější rozlišení.

2.3 Chemorezistory

Chemorezistory jsou pro tuto aplikaci jednou z nejpotentnějších technologií. Bohužel se jedná o měřicí metody, které jsou určeny spíše pro plyny a často vyžadují velice specifické podmínky pro měření. Ať se již jedná o chemorezistory na bázi Oxidu cíničitého vyvíjených na VUT v Brně, nebo senzory založené na uhlíkových nanotrubicích. Jediná přesvědčivá data lze zatím nalézt v [8] „*A chemiresistor sensor based on a cobalt (salen) metallopolymer for dissolved molecular oxygen*“. Bohužel podobné senzory není možné standardně zakoupit a tak by bylo nutné jejich výrobu reprodukovat, což převyšuje rozsah zaměření této práce. Měření rozpuštěného kyslíku ve vodě je velmi náročné a takováto metoda by byla skvělou náhradou za v současnosti používané metody, jakými jsou na příklad různé optické, nebo galvanické metody.

2.4 Metody měření rozpuštěného kyslíku

2.4.1 Optická metoda

Tato metoda patří mezi nejpoužívanější. Její princip je založen na interakci rozpuštěného kyslíku s konkrétními luminiscentními barvivy. Elektrony v těchto barvivech se stanou excitovanými a při jejich sestupu zpět do jejich normálního energetického stavu emitují světlo o vlnové délce 650 nm. Světlo o této frekvenci pak lze detekovat senzorem s odpovídajícím filtrem. Tento senzor může snímat intenzitu červeného světla, nebo dobu od vypnutí modrého světla do doby zaniknutí emise červeného světla.

Tyto metody měření vyžadují částečně propustnou membránu obsahující luminiscentní barvivo fixované v určité matici. Takovéto barvivo pak reaguje na světlo emitované

modrou led diodou. U některých senzorů se používá i červená dioda pro kalibraci a saturaci senzoru do oblastí linearitu, nebo největšího zisku. Toto červené světlo nereaguje s luminoforem, ale pouze se odráží zpět do senzoru. Volný kyslík pak reaguje s luminiscentním barvivem v matrici a snižuje emisi červeného světla.

2.4.2 Elektrochemický senzor rozpuštěného kyslíku

Tuto kategorii senzorů lze nadále rozdělit na galvanickou a polygrafickou metodu. Obě tyto metody však využívají dvou nebo více polarizovaných elektrod ponořených do elektrolytu, který je od měřené kapaliny izolován částečně propustnou membránou. Volný kyslík poté proniká skrze tuto membránu do elektrolytu, přičemž rychlost pronikání membránou závisí na tlaku kyslíku v měřeném roztoku. Tento pronikající kyslík poté reaguje s katodou a vznikající proud je pak přímo úměrný koncentraci rozpuštěného kyslíku.

2.4.2.1 Galvanická metoda

Elektrody jsou pro tuto metodu vytvořeny z různých kovů, které mají odlišné vlastnosti vzhledem k vydávání a přijímání elektronů. Když jsou tedy umístěny v elektrolytu, tak se tyto kovy sami od sebe polarizují. Tato samovolná polarizace zajišťuje, že tato metoda nevyžaduje čas mezi zapnutím a ustálením senzoru k samotnému měření. Pro redukci kyslíku na katodě je potřeba, aby napětí mezi katodou a anodou bylo alespoň 0,005 EV.

Elektrolytem může být například i roztok hydroxidu sodného nebo Chloridu vápenatého. Anoda bývá pak nejčastěji stříbrná, nebo z niklu a katoda zinková, nebo olověná. Zatímco při reakci s kyslíkem anoda oxiduje, tak katoda zůstává nepoškozená. Proto tuto metodu se vyžaduje provádění výměny anody po určitých intervalech, stejně tak jako u elektrolytu.

2.4.2.2 Polarografická metoda

Tato metoda využívá elektrod z ušlechtilých kovů. Nejčastěji se používají stříbrné zlaté a platinové katody. Jako primárního, srovnávacího, elektrolytu se využívá převážně chloridu draselného. Tato metoda potřebuje určitý čas od zapnutí do možnosti použití z důvodu polarizace elektrod. Někdy to může trvat až 60 minut. Pro polarizaci se využívá napětí v rozsahu od 0,4 V do 1,2 V, které je nutné pro redukci kyslíku na povrchu katody. Díky reakci s kyslíkem dochází postupně ke zvyšování množství proudu protékajícího vnitřním obvodem sondy, zatímco je napětí udržováno na konstantní hodnotě. Hodnota měřeného proudu, tak přímo závisí na pronikání volného kyslíku membránou.

2.5 Metody měření NO₂

Měření NO₂ vychází z galvanické a polarografické metody pro měření kyslíku. Tento druh senzoru je již popsán výše v kapitole 2.4.2.1 a 2.4.2.2. Poprvé byla chyba měření rozpuštěného kyslíku způsobená měřením přítomného NO a NO₂ popsána již Lelandem Clarkem v roce 1956. První selektivní senzor pro NO₂ byl však navržen až v roce 1990. Do dnes je ovšem výroba těchto senzorů stále problematická a to z důvodu, že konzistence dat mezi měřeními a jednotlivými senzory se může značně lišit. Bylo vyvinuto mnoho typů polopropustných membrán pro zvýšení selektivity, stejně tak jako různých kombinací elektrod. Tato metoda ovšem měří NO nepřímo. Membrána zabrání vniknutí O₂ a poté je na povrchu elektrody redukován kyslík stejně, jako při měření volného kyslíku.

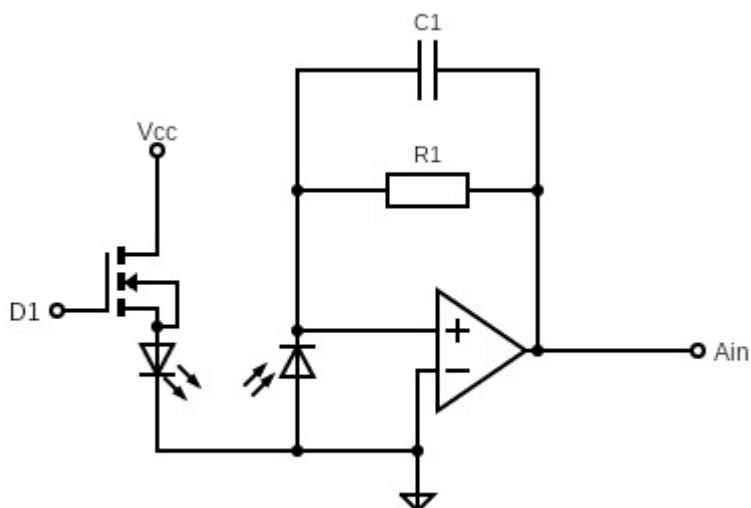
2.5.1 Spektrometrické měření NO₂

Spektroskopie je metoda založená na interakci jednotlivých prvků s elektromagnetickým zářením o různých vlnových délkách. Mezi takové interakce patří pohlcení záření, nebo naopak emise záření, které může být vyzářeno až po určité době. Základní fyzikální vlastností látek je, že se jedná vždy o záření specifických vlnových délek. Absorpce, nebo emise záření není spojitá, ale v podobě úzkých spektrálních čar, nebo pásů, specifických pro každou látku. Neexistují žádné dvě látky se shodným absorpčním spektrem. V kapalném a pevném skupenství jsou spektra pásová.

Pro NO₂ v kapalném formě se jedná o absorpci v pásu od **220 nm do 235 nm**. Jelikož se jedná o UVC spektrum je nutné dosáhnout velmi dobrého stínění, z důvodu možnosti poškození očí a kůže.

2.5.2 Vlastní návrh senzoru

Vzhledem k problematickému nalezení požadované LD diody s daným spektrem, stejně jako potřebných fotodetektorů, byla pro daný účel nakonec využitelná pouze jedna dioda a jeden fotodetektor s potřebnými rozsahy. Tímto nejvhodnějším senzorem se stala SG01S-18 (sglux) a zdrojem pak RZXLED225-235NM. Nejproblematičtější částí bylo však nakonec zvolení nejvhodnějšího zdroje záření. Především z důvodu potřeby vysokého napájecího napětí, které je potřebné pro tuto vybranou diodu 18 V. Vlastní návrh celého měřicího zařízení se tím stal výrazně složitější, jelikož až do tohoto bodu bylo uvažováno s maximálním napájecím napětím 4,5 V ze 3 AAA baterií. Původním záměrem bylo použít stabilizátor integrovaném STM NUCLEO32 a tak odstranit požadavek na nákladné externí díly. Po provedení nezbytných testů, proto nakonec došlo k nezbytné změně napájecího zdroje jen na jednu baterii s vyšším výstupním napětím 9 V, tak aby bylo možné na ni přímo zapojit vhodnější DC/DC konvertor. V průběhu vývoje zařízení byl proto zvolen nakonec DC/DC konvertor EDL02-12S24W od společnosti P-DUKE. Díky tomuto měničovi je nyní možné tento druh diody napájet již s minimálním počtem součástek.



Obrázek 13 Schéma zapojení sondy pro měření NO₂ Spektrometrickou metodou

3 Výroba měřicího zařízení

Po sumarizaci možných měřících metod a jejich požadavků byl upřednostněn vývoj a stavba tohoto měřicího zařízení na vývojové desce NUCLEO-L432KC, která pro tento účel splňuje veškeré požadavky, kterými jsou: Integrovaný stabilizátor napětí, Analogové vstupy pro měření, Digitální vstupy pro ovládání, Digitální výstupy pro řízení měření, Kompaktní rozměry pro snadné použití měřicího zařízení a SPI pro komunikaci s displejem pro zobrazení výsledků.

3.1 Použitý hardware

3.1.1 Display Nokia 5110

Jedná se o LCD display s rozlišením 48x84 pixelů, který je také vybaven podsvícením. Mezi výhody tohoto displeje patří nízká spotřeba (do 200 μ A), nízké napájecí napětí (2,7 – 3,3 V) a vyhovující kontrast. Pro ovládání displeje slouží integrovaný řadič PCD8544, který podporuje komunikaci prostřednictvím SPI sběrnice.

3.1.1.1 Komunikace s řadičem

Komunikace s řadičem displeje probíhá pomocí sběrnice SPI kde NUCLEO je Master a řadič Slave. Jelikož se jedná pouze o jednosměrnou komunikaci, tak se při komunikaci používají pouze 3 vodiče.

- Datový výstup **MOSI** (Master Out, Slave In)
- Výstup hodinového signálu **SCLK**
- Volba vybraného obvodu **SS** (Slave Select)
- Datový výstup **MISO** (Master In, Slave Out)

Pokud je Slave vstup SS v neaktivní úrovni, SPI tohoto obvodu je také neaktivní a jeho MISO je ve vysokoimpedančním stavu. Při komunikaci dochází k propojení posuvných registrů master a slave. Master pak generuje hodinový signál SCLK, který řídí oba posuvné registry.

Napěťové úrovně jednotlivých signálů rozhraní SPI, jsou dané použitou technologií. V tomto případě jsou napěťové parametry stanoveny od 0 do 0,6 V pro L a 2,7 až 3,3 pro H. Maximální frekvence hodinového signálu je pak 2 MHz.

3.2 A/D převodník

Pro převod analogového napětí z navržených měřících obvodů z kapitoly 2.1.3.4. a 2.2.2. je využit 12-bitový, 16-ti kanálový A/D převodník. Pro práci s A/D převodníkem jsou použity knihovny HAL.

3.3 Proces měření

Celý proces měření byl rozdělen do jednotlivých sekcí z důvodu vzájemné interference a nedostatečného výkonu.

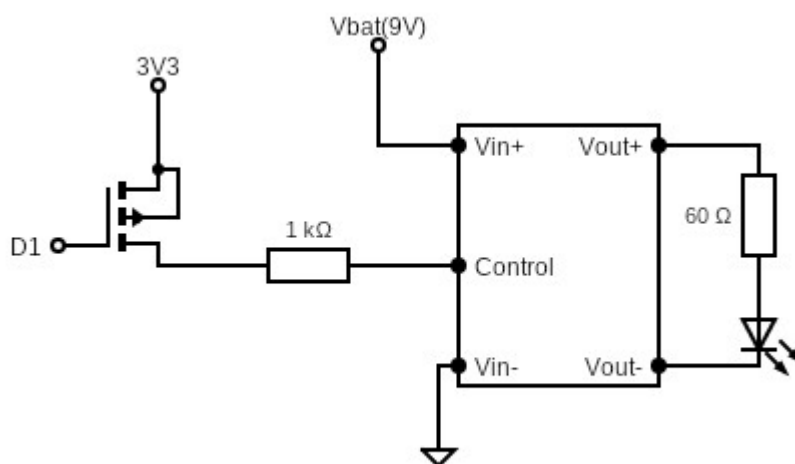
3.3.1 Inicializace

Inicializace zařízení proběhne ihned po sepnutí napájení. Nejprve je vždy nutné ověřit provozuschopnost všech periférií. Funkce SPI pro komunikaci s displejem, Funkce A/D převodníků a poté provedení všech 3 testů a porovnání hodnot se standartními hodnotami naměřenými na vzduchu.

3.3.2 Průběh jednotlivých testů

3.3.2.1 Spektrometrické měření NO₂

Začíná sepnutím EDL02-12S24W, jelikož tento obvod má potřebnou dobu pro sepnutí 20 ms. Sepnutí probíhá podle specifikací uvedených výrobcem.



Obrázek 14 Zapojení ovládání EDL02-12S24W

Tento obvod je sepnut, pokud do Control pinu neteče proud (3 mA), tak je ovládán mosfetem typu P. Jedná se o jednu ze zásad bezpečného provozu zařízení. Současně s tím je nutné aktivovat napájení pro operační zesilovač OPA2388IDGT. Tento operační zesilovač byl zvolen z důvodů Nízké spotřeby, Velkého vstupního odporu a Rail-to-Rail rozsahu. Pro tyto účely je s tímto operačním zesilovačem možné počítat jako s ideálním operačním zesilovačem, což je vyrovnáno i jeho cenou.

Poté co je DC/DC měnič sepnut, je jádro STM32 uspáno s nařízeným probuzením, od přerušení hodinového signálu vnitřního časovače, po uplynutí 20 ms. Poté je provedeno s rozsahem 10 ms 10 měření, mezi kterými je jádro opět uspáno.

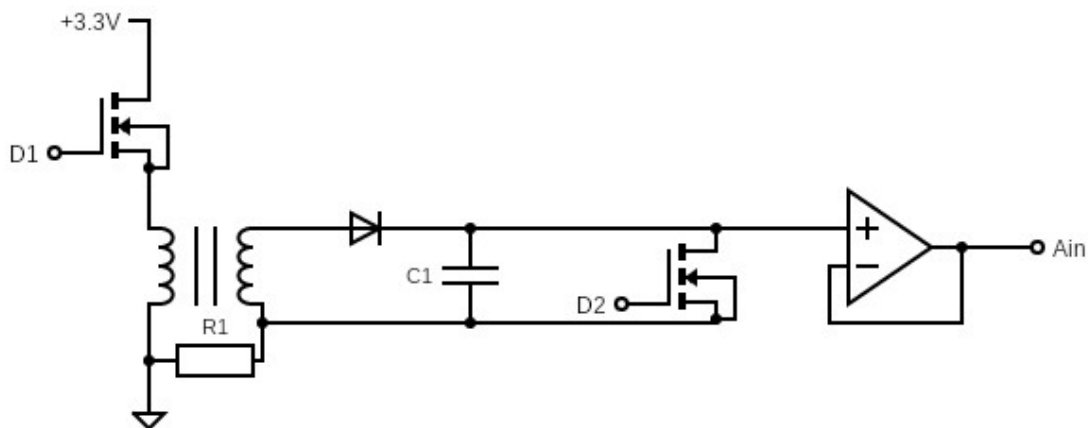
Pokud se jednalo o měření na vzduchu iniciovaném zapnutím zařízení, nebo o kalibrační měření v destilované vodě aktivované stisknutím obou tlačítek současně, tak je průměrná hodnota upravená filtrem pro odstranění extrémních hodnot porovnána s posledními 10 hodnotami, pro účely autokorekce, na základě odhadované degradace sondy.

Poté je DC/DC měnič opět deaktivován a jádro STM32 uspáno s nařízeným probuzením, (od přerušení hodinového signálu vnitřního časovače po uplynutí 20 ms) z důvodu omezení současného měření a tedy interference v napájení a EMC rušením.

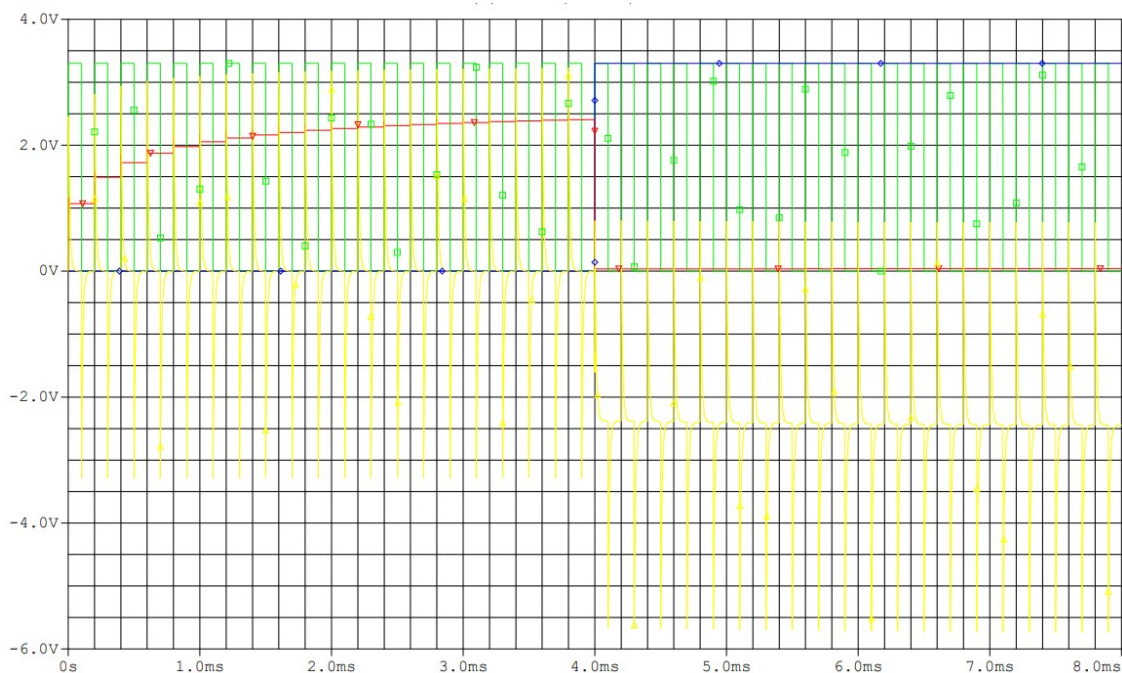
3.3.2.2 Měření permeability

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2.2, tak toto měření může zachycovat různé elektromagnetické signály, které mohou mít negativní vliv, jak na offset, tak přesnost měření jako takového. Proto je doporučeno zapínat toto zařízení až v blízkosti hladiny měřeného akvária. Právě z důvodu rušení byla zvolena velikost přídržného kondenzátoru na tuto konkrétní kapacitu a proto je také nutné čekat na ustálení asi 20 cyklů. 20 cyklů při měřicí frekvenci 5kHz odpovídá času 4 ms. Přičemž hodinový signál pro ADC 26MHz a doba převodu při nejvyšším rozlišení je maximálně 13x clock cycle, což odpovídá času 5 μ S, díky čemuž můžeme provést navíc 5 podvzorků pro každý vzorek, čímž eliminujeme rušení, díky použití pouze 3 sobě nejbližších vzorků. Takovéto pod vzorky tedy sejmeme

v průběhu $30 \mu\text{s}$ z jednoho vzorku a zbytek času do dalšího měřicího cyklu může být využit k vybití měřicího kondenzátoru. Tímto způsobem je odebráno 10 vzorků, každý s 5 pod vzorky, ze kterých vyjmeme 5 sobě nejbližších, ze kterých určíme výslednou hodnotu permeability.



Obrázek 15. Schéma pro graf (Obrázek 16)

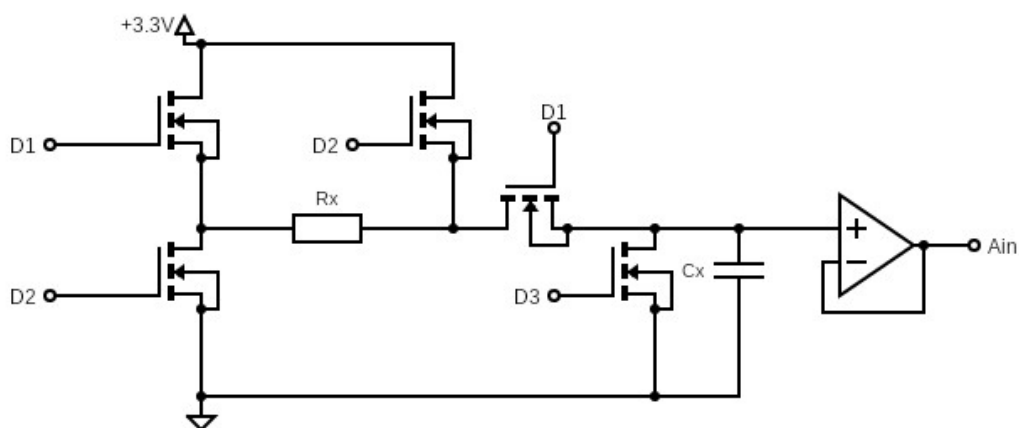


Obrázek 16 Graf Simulace průběhu měření sondy permeability (zeleně-D1, modře-D2, červeně-Uc, žlutě-ULx)

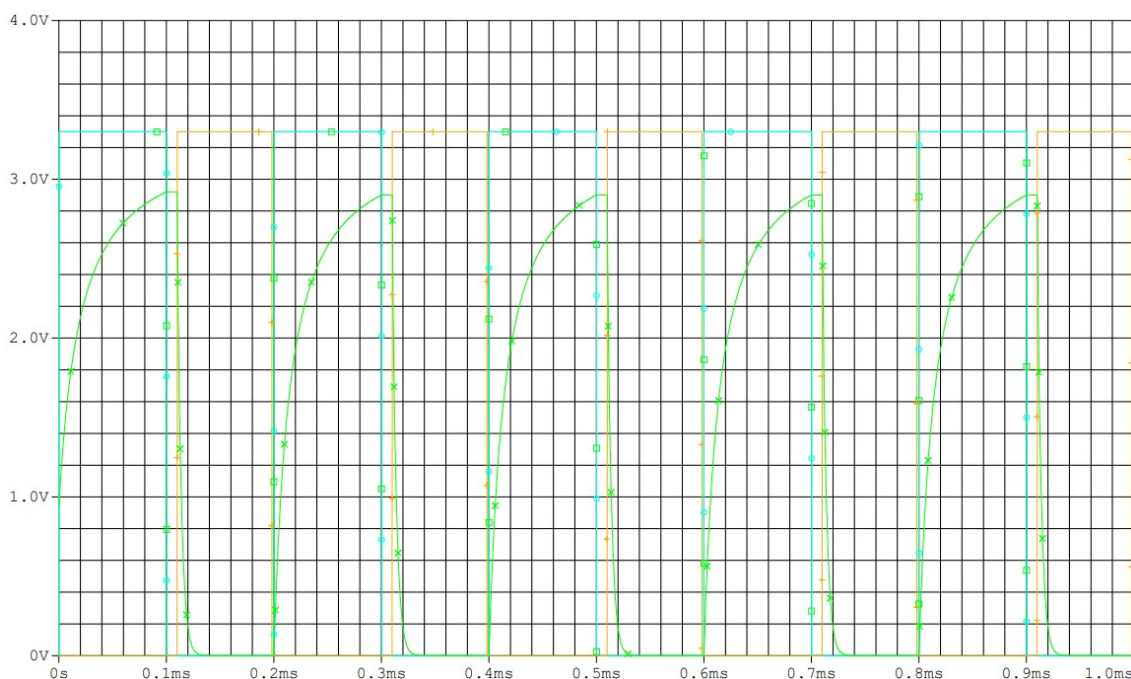
Pokud se jednalo o měření, na vzduchu, iniciovaném zapnutím zařízení, nebo o kalibrační měření v destilované vodě, aktivované stisknutím obou tlačítek současně, tak je průměrná hodnota upravená filtrem, po odstranění extrémních hodnot, porovnána s posledními 10 hodnotami, pro účely autokorekce, na základě odhadované degradace sondy.

3.3.2.3 Měření konduktivity

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.1.3.4, tak nejdůležitější částí měření vodivosti touto sondou je přesné měření času a zjištění přesně známé hodnoty kapacity při dané měřící frekvenci. Jak je patrné z **Obrázku 17**, tak právě zde je řízení ovládacích signálů ze všech sond nejsložitější.



Obrázek 17 Schéma měření konduktivity pro Obrázek 18



Obrázek 18 Řídící signály pro obsluhu vodivostní sondy (Modrá-D1, Oranžová-D2+D3, Zelená-UCx)

Jak je patrné ze simulace měření, z **Obrázku 18**, tak ideální okamžik pro zahájení převodu pomocí ADC je po sestupné hraně signálu D1. Tento signál je hlavní měřicí frekvencí této sondy. I přes skutečnost, že je signál celkově nesymetrický, tak je celkové množství energie v obou procházejících směrech touto sondou stejné. Díky tomu dochází k potlačení povrchových jevů a vzniku vysoké frekvence a rovnosti energie a tím nedochází k elektrolytickému jevu. Pro dlouhodobou stabilitu elektrod je důležité galvanické pozlacení této části desky plošného spoje, proto aby nedocházelo k chemickým reakcím, jako je na příklad oxidace na povrchu těchto elektrod a tak zůstaly základní parametry časově, co nejméně ovlivněny. Zde stejně jako ve zbývajících 2 metodách měření lze konstatovat, že nejpřesnějších výsledků se dá dosáhnout díky metodě, která vypočte průměr z 8 sobě nejbližších hodnot z celkem 10 naměřených hodnot.

Pokud se jednalo o měření, na vzduchu iniciovaném zapnutím zařízení, nebo o kalibrační měření v destilované vodě aktivované stisknutím obou tlačítek současně, tak byla průměrná hodnota, upravená filtrem pro odstranění extrémních hodnot, porovnána s posledními 10 hodnotami pro účely autokorekce až na základě odhadované degradace sondy.

3.3.3 Zpracování dat

Pro všechny naměřené hodnoty napětí je nutné další zpracování, aby bylo možné daná data vyjádřit v příslušných stupnicích. Všeobecný vzorec pro data získaná touto metodou je:

$$y = \alpha x + \beta$$

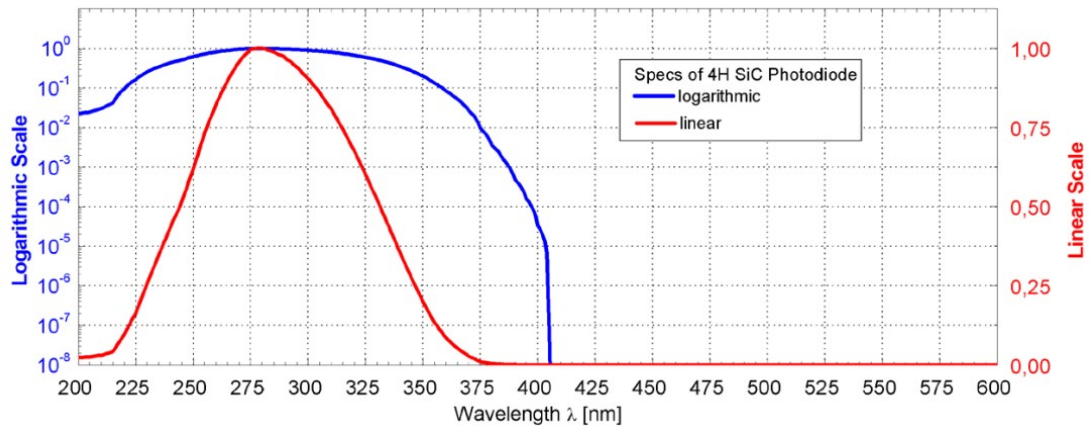
Rovnice 11

Tuto metodu je možné použít v případě, že se jedná o lineární závislost s určitým ofsetem, nebo je možné tuto křivku linearizovat po částech. Obě tyto metody jsou užitečné, ale pro tento případ nepoužitelné, ačkoliv právě tudy byl prvotně veden tento výzkum.

Ideální metodou je tabulka příslušných hodnot zjištěná za pomoci hotového zařízení a přesného laboratorního vybavení o vyšší přesnosti. V takovéto tabulce hodnota v prvním sloupci reprezentuje data jdoucí přímo z A/D převodníku a druhý sloupec odpovídá přímo hodnotě naměřené přesným laboratorním vybavením. Tato metoda má své nevýhody v podobě tepelných závislostí a jiných vychylek, které se tím odlišují od stupnice cejchované v laboratoři. V takovém případě je ovšem tato chyba zanedbatelná z důvodu, že prostředí, v němž měření vždy probíhá je o konstantní teplotě s maximální výchylkou ± 1 °C. Proto je možné provádět standardně kalibraci na teplotě 27 °C a není nutné mít tabulku vzorkovaných hodnot o rozměru X*Y kde X je počet teplot pro které jsme provedli počáteční kalibraci a Y počet měření různých hodnot pro danou teplotu.

V každém případě nebylo fyzicky možné v rozsahu této práce naměřit specifickou hodnotu pro každou výstupní hodnotu A/D převodníku a proto je tabulka omezena pouze provedený počet řešení a reálná hodnota je aproximována metodou nejmenších čtverců. Tento způsob je realizován pro dvě ze tří měřících metod, jimiž jsou měření konduktivity a měření permeability.

Problematika měření NO₂ pomocí spektroskopie závisí na dodání velmi limitovaných součástí, které i přes opakované objednávání od roku 2019 nebyly doposud doručeny. Jediné, z čeho lze tedy vycházet jsou specifikace výrobce. Což pro senzor SG01S–18 je znázorněno grafem:



Obrázek 19 [11] Závislost vlnové délky na proudu fotodiodou SG01S-18

Pro LD diodu pak lze opět jen textově specifikovat, že rozsah vlnových délek je od 225nm až do 235nm s maximem ve vlnové délce v hodnotě 230nm. Takováto specifikace je však nedostačující pro jakoukoli simulaci, jakou bylo možné provést pro zbývající měření.

Vzhledem k absenci těchto dat, proto není možné navrhnout konkrétní konfiguraci obsahující vzdálenost emitoru a detektoru a tak dokončit návrh měřicího zařízení.

3.3.4 Prototypy zkonstruovaného zařízení

Prototyp Č. 1 (Obrázek 20) byl zkonstruován pro měření konduktivity a komunikaci s uživatelem. Tento prototyp obsahoval více variant pro měření různých parametrů. Finální řešení bylo optimalizováno s ohledem na cenu. Mezi nepoužité obvody patří externí stabilizátor napětí, rozdělení měření konduktivity na 2 rozsahy pro nízké a vysoké hodnoty, měření vlastní spotřeby zařízení externím obvodem komunikujícím digitálně, referenční zdroj napětí a teplotní senzor. Zvýšení nepřesnosti měření těmito změnami způsobené, bylo kompenzováno digitálním zpracováním dat, které je popsáno v kapitole kapitola 3.3.2.

Prototypy sondy permeability Č. 1,2 a 3 (Obrázek 21) jsou jednotlivými vývojovými stádii, ve kterých bylo postupně dosaženo jak citlivosti, tak mechanicky odolného řešení.

4 Shrnutí

Tato práce vznikla na základě požadavků od akvaristů zabývajících se chovem ryb z jihoamerických řek s takzvanou „Černou“ vodou, kteří tak nejsou standartními metodami schopni určit, s dostatečnou přesností, potřebné parametry vody pro chov těchto vzácných ryb.

Po zvážení všech metod měření a všech podstatných parametrů jsem došel k závěru, že se současnými technologiemi je ekonomicky nerentabilní konstruovat měřicí přístroj, který by obsáhl více jak 3 z nejpodstatnějších hodnot. Těchto hodnot by správně však mělo být 5, pokud by 2 zbývající hodnoty nebyly zásadní pro chov jakýchkoliv ryb. 2 vynechané hodnoty jsou teplota a pH. Hlavními hodnotami, které ovlivňují vývoj jiker tohoto druhu ryb v zajetí, jsou však především koncentrace NO_2 a celková koncentrace všech ostatních prvků rozpuštěných v této, svým způsobem unikátní vodě. Okamžitá koncentrace NO_2 je rozhodující právě z důvodu, že se v přírodě jedná o látku toxickou, rychle rozkládanou a zároveň okamžitě spotřebovávanou rostlinami v okolí.

Záměrem diplomové práce bylo vytvoření tabulek pro další obdobné práce, jež by obsahovaly rozdíly v nárůstu permeability a vodivosti pro využití těchto dvou veličin a pro určení koncentrací jednotlivých prvků rozpuštěných ve vodě. Veškerá potřebná měření však nebylo možné provést z důvodu nedostupnosti vybavení nejen laboratoře, ale i obecného, fyzického přístupu k podkladovým materiálům v době limitované pandemií Covidu - 19.

Doufám, že se tímto tématem bude mít možnost někdy později zabývat se někdo jiný, kdo nebude prostorově a zdravotně limitován a zároveň bude schopen vytvořit tabulky exaktně naměřených hodnot, pro různé substance v těchto extrémně nízkých koncentracích, které jsou pro komerční využití tohoto zařízení však zcela nezbytné.

Velkou ztrátou pro tuto práci byla ztráta dat z důvodu poškození disku v okamžiku vytváření zálohy na Flash disk. Při této události byly ztraceny schémata desek plošného spoje pro prototypy 1 a 2 včetně kompletních 3D modelů a celé softwarové řešení.

Závěr

Na základě popsaného způsobu měření v nejdůležitějších 3 parametrech je možné následně určit, po kolika dnech je nutné vyměnit 50 % akvarijní vody za vodu získanou pomocí reverzní osmózy, aby nedošlo k zaplísnění jiker a ztrátě plůdku. Tato metoda, vzhledem k výše popsaným omezením, bohužel není prozatím schopná přesně určit, jaké látky jsou pro zdravý vývoj jiker tohoto druhu ryb nutné. Tato práce se tím tedy stává pouze úvodem do této složité problematiky výzkumu podmínek pro úspěšný odchov ryb v zajetí a lze ji považovat jen za hledání způsobů, jak je možné dojít k požadovanému řešení.

Každopádně už z prvotních výsledků lze odvodit, že vytvoření vhodné metodiky pro měření a tomu i odpovídajícího přístroje nebude snadným řešením a hlavně dostupným pro běžné akvaristy. Celková cena tohoto měřicího zařízení bude i při optimalizaci parametrů cena/výkon, stále příliš vysoká. Hlavně z důvodu ceny nejdůležitějších vstupních komponentů, tj. vysílače a přijímače pro měření NO₂. Jen cena těchto 2 součástí se totiž rovná polovině standardního NO₂ senzoru. Bohužel, provedená měření a experimenty ukazují, že není možné měření této chemické látky ignorovat, protože je to právě NO₂, které nejvíce způsobuje úhyn jiker. Tato závislost platí v absolutní většině případů a dokonce i v koncentracích které by byly v případě jakýchkoliv jiných látek zaznamenatelných konduktometrem, nebo měřením permeability nepodstatné.

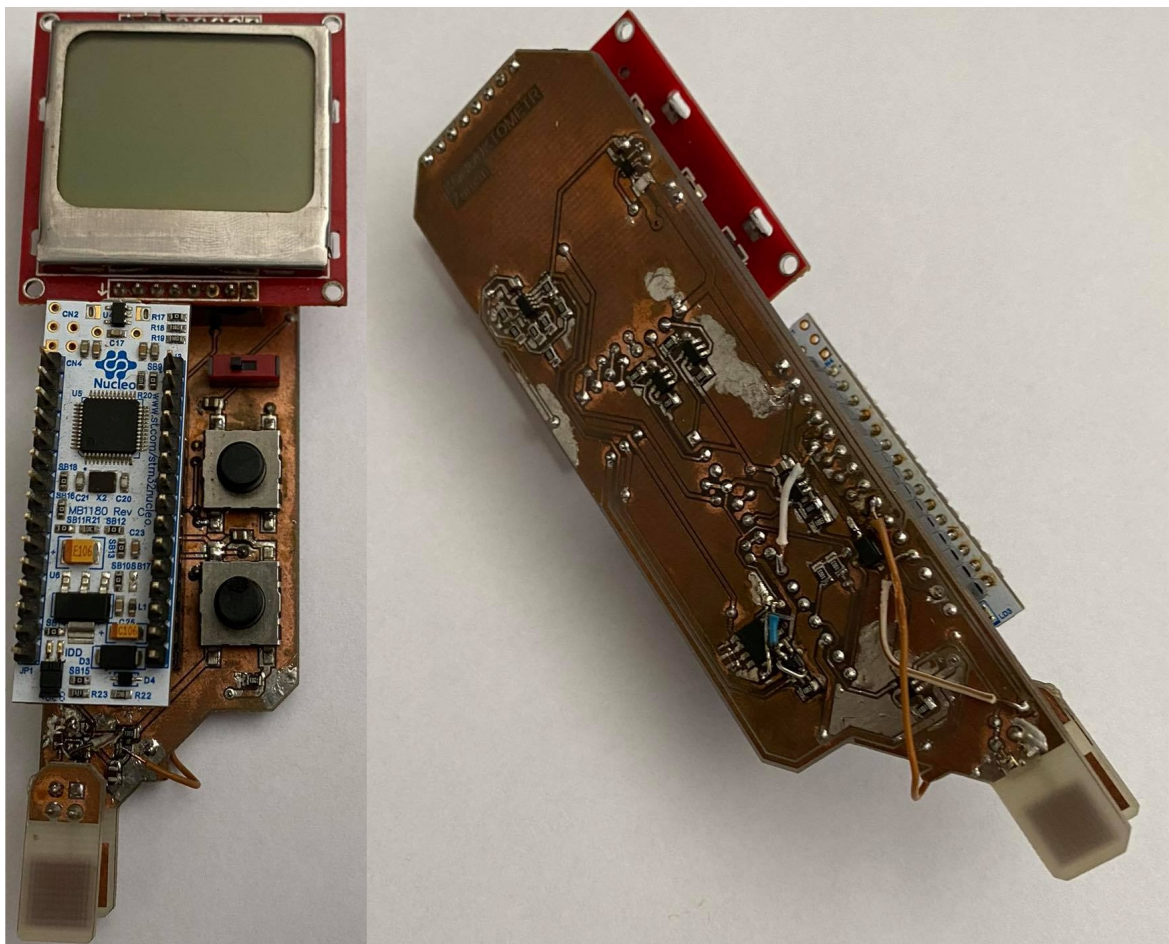
Částečným neúspěchem a chybným krokem již v počátcích konstrukce vhodného zařízení byla volba zbytečně výkonného MCU pro danou aplikaci. Finální zobrazení a zpracování dat vytěžuje STM32L432KC na méně nežli 3 %. Tento problém přesto nijak neovlivnil celkovou cenu zařízení, neboť v poměru k ostatním součástkám to bylo nepodstatné.

STM32L432KC bylo v počátcích právě zvoleno z důvodu nízké ceny a předchozích zkušeností s touto vývojovou deskou. Díky této volbě bylo možné využít po ztrátě dat částí kódů z prací vypracovaných v průběhu studia a tak poměrně rychle část této ztráty nahradit. Náhrada ovšem nebyla úplná i z důvodu postupu ve vývoji měřicího zařízení a problematické dodávce součástí pro experimentální ověření metody měření NO₂ z důvodů limitované přepravy a výroby způsobenými pandemií Covidu - 19.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Patrick T. Seyler and Geraldo R. Boaventura, *Distribution and partition of trace metals in the Amazonbasin bashin* , Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/230084164_Distribution_and_Partition_of_Trace_Metals_in_the_Amazon_Basin
- [2] ABRAHÁN MORA, CRISTINA MOREAU, MARJORIE GALLAY, ÜRGEN MAHLKNECHT. *Hydrological control, fractionation, and fluxes of dissolved rare earth elements in the lower Orinoco River, Venezuela*, Centro del Agua para America Latina y el Caribe
Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292719302689>
- [3] Alain Laraque, Jose Luis Lopez, Santiago Yopez, Paul Georgescu. *Water and Sediment Budget of Casiquiare Channel Linking Orinoco and Amazon Catchments, Venezuela* Simón Bolívar University (USB, Venezuela)
Dostupné po vyžádání z:
https://www.researchgate.net/publication/251430609_Caura_River_basin_Weathering_rates_CO2_consumption_and_chemistry_of_major_and_trace_elements_in_an_Orinoco_River_tributary_coming_from_the_Precambrian_Guayana_Shield_Venezuela
- [4] E. A. RÍOS-VILLAMIZAR, M. T. F. Piedade, J. G. Da Costa, J. M. Adeney W. J. Junk. *Chemistry of different Amazonian water types for river classification: a preliminary review*.
Dostupné z:
<https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/WS13/WS13002FU1.pdf>
- [5] MARTIN RAJM. *Pracoviště pro automatizované měření vodivosti kapalin*
Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29330
- [6] SANA HAJMI *KONDUKTOMETRIE A DIELEKTRIMETRIE*
Dostupné z: <https://kompy.info/konduktometrie--m-se-elektrick-vodivost-roztoku-migrace-iont-d.html>
- [7] Camila F. Pereira, André Olean-Oliveira, Diego N. David-Parra, Marcos F.S. Teixeira, *A chemiresistor sensor based on a cobalt(salen) metallopolymer for dissolved molecular oxygen*
Dostupné z: <http://cdmf.org.br/wp-content/uploads/2019/04/A-chemiresistor-sensor-based-on-a-cobaltsalen-metallopolymer-for-dissolved-molecular-oxygen.pdf>
- [8] Camila F. Pereira, André Olean-Oliveira, Diego N. David-Parra, Marcos F.S. Teixeira, *A chemiresistor sensor based on a cobalt(salen) metallopolymer for dissolved molecular oxygen*
Dostupné z: <http://cdmf.org.br/wp-content/uploads/2019/04/A-chemiresistor-sensor-based-on-a-cobaltsalen-metallopolymer-for-dissolved-molecular-oxygen.pdf>
- [9] STM32L432KC Datasheet
Dostupné z: <https://www.mouser.com/datasheet/2/389/stm321432kb-1851151.pdf>
- [10] Benjamin J. Privett, a Jae Ho Shin, b and Mark H. Schoenfisch, *Electrochemical Nitric Oxide Sensors for Physiological Measurements*
Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3569000/>
- [11] Datasheet SG01S-18
Dostupné z: <https://sglux.de/en/produkt/sg01s-18-en/>

Přílohy



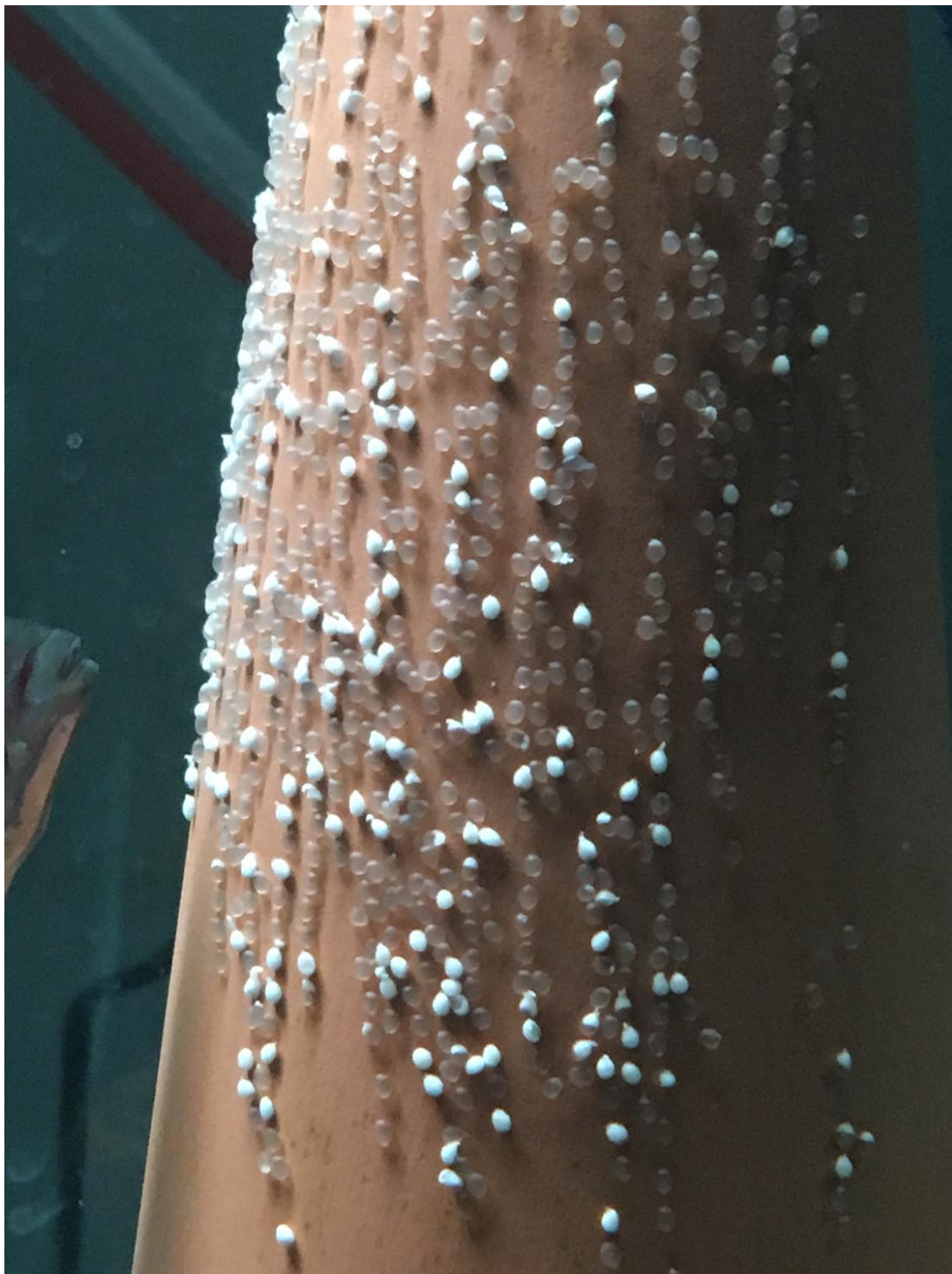
Obrázek 20 Vývojová verze Č. 1 pro měření konduktivity, ovládacích a zobrazovacích periferií



Obrázek 21 Vývojové verze sond pro měření permeability



Obrázek 22 40cm vysoký samec *altum* *Peruensis*



Obrázek 23 Částečně poškozené jikry *Pterophyllum altum* (Bílá barva jiker je znakem poškození)