



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra mikroelektroniky

**Dálkový monitoring kvality vody**

**Remote Water Quality Monitoring**

Bakalářská práce

Studijní program: Otevřená informatika

Studijní obor: Internet věci

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Janíček, Ph.D.

David Otta

Praha 2023

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Otta** Jméno: **David** Osobní číslo: **491978**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra měření**  
Studijní program: **Otevřená informatika**  
Specializace: **Internet věci**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Dálkový monitoring kvality vody**

Název bakalářské práce anglicky:

**Remote Water Quality Monitoring**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Proveďte průzkum trhu v oblasti zařízení určených k monitoringu kvality vodních zdrojů a typech prováděných analýz.
- 2) Navrhněte koncept zařízení určeného k provádění lokálních testů na vodních zdrojích s přenosem získaných dat do datového centra pomocí bezdrátových komunikačních technologií.
- 3) Zařízení bude tvořeno měřícím modulem sondy a datovým koncentrátorem, který bude sloužit pro sběr dat z lokálních sond a jejich odbavení přes datové sítě.
- 4) Vytvořte prototyp tohoto zařízení, ovládací software a příslušné aplikace pro vzdálenou zprávu.
- 5) Ověřte dosažené parametry a porovnejte s komerčními řešeními z kapitoly 1.

Seznam doporučené literatury:

- 1) KOPÁČEK J a kol. Voda na Zemi, Nakladatelství Jihočeské univerzity, 2021. ISBN 978-80-7394-834-4.
- 2) HEROUT, Pavel. Učebnice jazyka C. 4., přeprac. vyd. České Budějovice: Kopp, 2004. ISBN 80-7232-220-6.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Vladimír Janíček, Ph.D. katedra mikroelektroniky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **01.02.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce:

**do konce letního semestru 2023/2024**

Ing. Vladimír Janíček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_ podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta

## Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

Praha, 19. 5. 2023

.....

David Otta

# Abstrakt

Práce se zabývá návrhem zařízení pro měření vlastností vody. Úvodní část práce je věnována studii existujících přístrojů a řešení od renomovaných výrobců.

Následující část práce diskutuje možné vlastnosti navrhovaného zařízení a vybírá technologie pro zpracování dat, následný přenos dat, senzory pro měření vlastností vody a služby vhodné pro přenos a zobrazení měřených dat. Rovněž je navržen způsob zobrazení měřených veličin uživateli systému pro vzdálený monitoring kvality vody ve vodních zdrojích.

Závěrečná část práce zpracovává výběr vhodného hardwaru a senzorů pro navrhované zařízení dle parametrů zvolených v předchozích částech práce. Dochází zde k rozvržení dílčích funkčních i fyzických bloků celého systému pro vzdálený monitoring kvality vody ve vodních zdrojích, které participují na sledování kvality vody ve vybraném vodním zdroji.

V závěru je pak poukázáno na vybraná zjištění studie dostupných prostředků měření kvality vody ve vodních zdrojích. Rovněž jsou shrnuty části návrhu hardware, jako senzory vhodné pro navrhovanou aplikaci a výběr mikrokontroleru pro měření a správu dat, v neposlední řadě pak napájení a technologie bezdrátové komunikace.

**Klíčová slova:** ESP32, internet věcí, měření vlastností vody, průzkum trhu, LoRa, Wi-Fi, IOTPORT, MQTT, IFTTT

# Abstract

The thesis deals with the design of device for measuring water properties. Introductory part of the work is dedicated to the study of existing devices and solutions from renowned manufacturers.

The following part of the thesis discusses the possible features of the proposed device and selects technologies for data processing, subsequent transmission of the data, sensors for measuring water properties and services suitable for the transmission and display of measured data by users of the system for remote monitoring of water quality in water sources.

The final part of the thesis processes the selection of suitable hardware and sensors for the proposed device, according to the parameters chosen in the previous parts of the thesis. Functional and physical blocks of the whole system for remote monitoring of water quality in water sources, which participate in the monitoring of water quality in the selected water source, are laid out.

In the conclusion, selected findings of the study of available means of measuring water quality in water sources are pointed out. Parts of the hardware design are also summarized. Parts of the design such as sensors suitable for the proposed application and selection of a microcontroller for measurement and data management, and last but not least, power supply and wireless communication technology.

**Key words:** ESP32, internet of things (IoT), measuring water qualities, market research, LoRa, Wi-Fi, IOTPORT, MQTT, IFTTT

# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Seznam tabulek</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Seznam obrázků</b>  | <b>5</b>  |
| <b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b>                     | <b>5</b>  |
| <b>1 Úvod</b>  | <b>9</b>  |
| <b>2 Existující řešení</b>                                   | <b>11</b> |
| 2.1 Prodejci měřicích přístrojů . . . . .                    | 11        |
| 2.1.1 Conrad.cz . . . . .                                    | 11        |
| 2.1.2 Čistá voda . . . . .                                   | 12        |
| 2.2 Vybrané měřicí přístroje . . . . .                       | 12        |
| 2.2.1 Greisinger G7500 . . . . .                             | 12        |
| 2.2.2 Vodotěsný kapesní pH metr AD12 . . . . .               | 14        |
| 2.2.3 TDS metr značky Iné . . . . .                          | 15        |
| 2.3 Závěr . . . . .  | 17        |
| <b>3 Kvalita vody</b>  | <b>19</b> |
| 3.1 Ukazatele kvality vody . . . . .                         | 19        |
| 3.2 Dostupné prostředky zjišťování vlastností vody . . . . . | 20        |
| 3.2.1 TDS . . . . .  | 20        |
| 3.2.2 Teplota . . . . .                                      | 20        |
| 3.2.3 pH . . . . .   | 20        |
| 3.2.4 ORP . . . . .  | 21        |
| 3.2.5 Zákal . . . . .  | 21        |
| 3.3 Závěr . . . . .  | 22        |
| <b>4 Technologie bezdrátové komunikace</b>                   | <b>23</b> |
| 4.1 Technologie . . . . .                                    | 23        |
| 4.1.1 Bluetooth . . . . .                                    | 23        |
| 4.1.2 LoRa . . . . .   | 23        |
| 4.1.3 GSM . . . . .  | 24        |
| 4.1.4 Wi-Fi . . . . .  | 24        |
| 4.2 Typy sítí . . . . .                                      | 25        |
| 4.2.1 Peer-to-peer, P2P . . . . .                            | 25        |
| 4.2.2 Klient-server . . . . .                                | 25        |
| 4.3 Služby pro IoT . . . . .                                 | 25        |
| 4.3.1 LoRaWAN . . . . .                                      | 26        |
| 4.3.2 SigFOX . . . . .                                       | 26        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.3.3    | NB-IoT . . . . .                              | 26        |
| 4.3.4    | 1NCE . . . . .                                | 27        |
| 4.3.5    | Helium . . . . .                              | 27        |
| 4.3.6    | IoTPORT . . . . .                             | 28        |
| 4.4      | Závěr . . . . .                               | 28        |
| <b>5</b> | <b>Návrh systému</b>                          | <b>31</b> |
| <b>6</b> | <b>Modul sondy</b>                            | <b>33</b> |
| 6.1      | Realizace obvodových řešení . . . . .         | 35        |
| 6.2      | Spotřeba . . . . .                            | 35        |
| 6.3      | Napájení . . . . .                            | 36        |
| 6.3.1    | Solární panel . . . . .                       | 36        |
| 6.3.2    | Sekundární článek . . . . .                   | 36        |
| <b>7</b> | <b>Modul koncentrátoru</b>                    | <b>39</b> |
| 7.1      | Napájení . . . . .                            | 39        |
| 7.2      | Zobrazení měření uživateli . . . . .          | 40        |
| 7.2.1    | Lokální web-server . . . . .                  | 40        |
| 7.2.2    | MQTT . . . . .                                | 41        |
| 7.2.3    | IFTTT . . . . .                               | 41        |
| <b>8</b> | <b>Komunikace v systému</b>                   | <b>43</b> |
| 8.1      | Vybraná forma bezdrátové komunikace . . . . . | 43        |
| 8.2      | Komunikační rozhraní . . . . .                | 43        |
| <b>9</b> | <b>Závěr</b>                                  | <b>45</b> |
|          | <b>Literatura</b>                             | <b>47</b> |
| <b>A</b> | <b>Formátově velké obrázky</b>                | <b>51</b> |

# Seznam tabulek

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Vlastnosti přístroje Greisinger G7500 [7]              | 13 |
| 2.2 | Vlastnosti přístroje AD12 [31]                         | 14 |
| 2.3 | Vlastnosti TDS metru od Iné [27]                       | 16 |
| 6.1 | Denní spotřeba aktivních členů sondy [4, 5, 6, 22, 28] | 35 |

# Seznam obrázků

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Logo internetového obchodu Conrad ( <a href="https://www.conrad.cz/">https://www.conrad.cz/</a> ) [30] . . . . .     | 11 |
| 2.2 | Logo internetového obchodu Čistá voda ( <a href="https://www.cistavoda.cz/">https://www.cistavoda.cz/</a> ) [14] . . | 12 |
| 2.3 | Greisinger G7500 [7] . . . . .   | 14 |
| 2.4 | Adwa - AD12 [31] . . . . .   | 15 |
| 2.5 | TDS metr značky Iné [27] . . . . .   | 16 |
| 5.1 | Grafické znázornění návrhu systému. . . . .  | 31 |
| 6.1 | LilyGO TTGO LoRa32 T3 modul [12] . . . . .   | 33 |
| 6.2 | Schéma zapojení modulu sondy . . . . .   | 34 |
| 6.3 | Realizace prototypu modulu sondy . . . . .   | 34 |
| 6.4 | Solární panel 6 V 1 W [25] . . . . .   | 36 |
| 6.5 | Samsung ICR18650-22P 2200mAh - 10A [20] . . . . .  | 37 |
| 7.1 | LilyGO TTGO LoRa32 T3 modul [12] . . . . .   | 39 |
| 7.2 | Ilustrační obrázek webu. . . . .   | 41 |
| A.1 | Aktuální měření zobrazené prostřednictvím lokálního web-serveru. . . . .   | 51 |
| A.2 | Grafy dostupné přes lokální web-server. . . . .  | 51 |
| A.3 | Příklad e-mailu, který je zaslán prostřednictvím IFTTT. . . . .  | 52 |



# Seznam použitých zkratek a symbolů

| Zkratka        | Význam  |
|----------------|---|
| AAA            | Typ primárního/sekundárního článku                            |
| AD (převodník) | Analog-digital (converter)                                    |
| AP             | Access point, přístupový bod                                  |
| ESP32          | System on a chip od firmy Espressif                           |
| GSM            | Groupe Spécial Mobile, standart pro digitální mobilní síť     |
| IoT            | Internet of Things, Internet věcí                             |
| ISO            | Mezinárodní organizace pro normalizaci                        |
| LCD            | Liquid crystal display, technologie displejů                  |
| LoRa           | Technologie fyzické vrstvy ISO/OSI modelu                     |
| L1154          | Typ primárního článku   |
| microUSB       | USB se zmenšeným konektorem                                   |
| MAC            | Označení osobních počítačů od firmy Apple Inc.                |
| MQTT           | Standardizovaný protokol pro IoT                              |
| NB-IoT         | Narrowband IoT  |
| ORP            | Oxidačně redukční potenciál                                   |
| ppm            | parts per million   |
| P2P            | Peer-to-peer  |
| RS-232         | sériová linka   |
| TDS            | Total Dissolved Solids, úhrn rozpuštěných pevných látek [ppm] |
| USB            | Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice            |
| Wi-Fi          | Skupina bezdrátových síťových protokolů, viz IEEE 802.11      |
| 357A           | Typ primárního článku   |

# 1. Úvod

Čistá voda dosahující příslušných kvalit, ať už jsou dané zákonem či požadavky osob vodu užívajících, hraje klíčovou roli v naší společnosti. Již od dob prvního usazování lidstva v primitivních osadách byla snadná dostupnost dostatečného množství čisté vody jedním ze základních požadavků výběru lokality pro budování sídel všech civilizací. Vodní zdroje a kvalita vody v nich obsažená hrají významnou roli i dnes, kdy lidé mají k dispozici vodohospodářské nástroje, jakými jsou umělé zavodňovací kanály, vodovodní vedení různých parametrů, vodní nádrže, přehrady a čerpadla rozličných velikostí a vlastností, které jsou přizpůsobeny konkrétním požadavkům na užívání vodních zdrojů.

Samotná dostupnost vody však nestačí, protože oblast použití vody z daného vodního zdroje je dána čistotou a složením vody. Z těchto důvodů vzniklo mnoho metod pro určení kvality vody pomocí jejích chemických vlastností a jejího chemického složení. Metody využívající chemický rozbor jsou však ekonomicky a časově náročné. Řešením je využití elektronických přístrojů, které mohou měřit vybrané parametry kvality vody dlouhodobě a opakovaně. Elektronické senzory ke své činnosti navíc nepotřebují velkého množství chemikálií, protože měření zpravidla probíhá jen s použitím kombinace elektrických a chemických jevů.

Časté měření elektronickými senzory vede ke zvýšení míry kontroly nad kvalitou vody, a tak využití elektronických senzorů napomáhá k ochraně lidského zdraví a také k ochraně fauny a flóry, které ke svému životu potřebují přírodní vodní zdroje. Dále také přispívají k ochraně majetku fyzických a právnických osob tam, kde se takové osoby s vodou setkávají a využívají ji ke své podnikatelské, volnočasové, či jiné činnosti.

Ochrana vodních zdrojů a detekce atypických změn v kvalitě a složení vody jsou důležité jak pro společnost, tak pro přírodu. Proto je třeba hledat uživatelsky snadné metody pro měření kvality vody. Být součástí cesty za lepší kvalitou vody si bere za cíl i tato práce.

## 2. Existující řešení

Mnoho webů a výrobců nabízí elektronické měřiče vlastností vody. Mezi měřené parametry patří pH, teplota, ORP, TDS, vodivost, saturace  $O_2$  a koncentrace  $O_2$ .

### 2.1 Prodejci měřicích přístrojů

#### 2.1.1 Conrad.cz

Conrad je velkoobchod i maloobchod s elektrotechnikou a souvisejícím vybavením. Na internetovém portálu jsou nabízeny měřicí přístroje vlastností vody od deseti značek. Nejvíce přístrojů je pak nabízeno od značek VOLTcraft a PCE Instruments.

Většina nabízených přístrojů zobrazuje měřená data přes digitální či LCD display. Některé měřicí přístroje pak disponují drátovým rozhraním pro připojení k externímu zařízení, nejčastěji RS-232 a různými podobami USB.[30]



Obrázek 2.1: Logo internetového obchodu Conrad (<https://www.conrad.cz/>) [30]

#### VOLTcraft

Firma VOLTcraft nabízí přístroje zaměřené na měření jediné veličiny, např. pH, TDS, i přístroje měřící několik veličin zároveň. Cena přístrojů se pohybuje od 819 Kč do 13 383 Kč. Některé nabízené přístroje jsou kalibrovány dle ISO. [30]

Vzhledem k cenám měřicích přístrojů VOLTcraft se z ekonomického hlediska vyplatí konstruovat vlastní měřicí zařízení. Výhodou přístrojů značky VOLTcraft je dostupnost variant s certifikací pro farmacii, potravinářský průmysl a automobilový průmysl. [32]

#### PCE Instruments

Nejširší nabídku přístrojů na měření vlastností kapalin má na webu conrad.cz společnost PCE Instruments. Cena přístrojů se pohybuje od 1 790 do 93 590 Kč. Nejdražší přístroje měří viskozitu, ta však není pro určení kvality vody signifikantním faktorem, neboť přímo neukazuje na kvalitu vody.

Některé přístroje nabízí možnost připojení přes BLUETOOTH a rozhraní RS-232. Oproti značce VOLTcraft zde ale nejsou nabízeny přístroje kalibrované dle mezinárodních standardů. [30]

### 2.1.2 Čistá voda

Web Čistá voda nabízí komplexní nabídku přístrojů na měření vlastností vody. Jsou zde k dostání přístroje cenově srovnatelné s nákupem samostatné sondy, kterou je pak třeba připojit k mikrokontroleru a informace dále zpracovat pro zobrazení. Rovněž jsou na webu nabízeny přístroje za násobně vyšší ceny. Přístroje zobrazují naměřená data pouze přes digitální nebo LCD displej a nedisponují tak bezdrátovými technologiemi. [14]

Přesnost měření přístrojů dosahuje 0,01 ppt (parts-per-trillion) pro TDS a 0,01 pro pH. Udávaná výdrž baterie je pak do 300 hodin. Dražší přístroje jsou vodotěsné, mají ukazatel stavu baterie a dokáží držet naměřenou hodnotu. K TDS a pH je u většiny přístrojů přidáno měření teploty pro zpřesnění měření.



**Obrázek 2.2:** Logo internetového obchodu Čistá voda (<https://www.cistavoda.cz/>) [14]

## 2.2 Vybrané měřicí přístroje

Na trhu je nabízeno mnoho přístrojů od mnoha výrobců, jak již bylo naznačeno dříve v kapitole o měřicích přístrojích. Vyvíjený přístroj má doplnit a v některých případech rozšířit nabídku hotových řešení pro měření kvality a vlastností vody. Toho lze docílit analýzou již prodávaných přístrojů a následným navržením vhodných rozšíření pro taková zařízení, které povede až ke konstrukci vlastního měřicího přístroje. Nový přístroj tak bude nabízet nové možnosti pro měření vlastností vody.

### 2.2.1 Greisinger G7500

Výrobek je zástupcem kvalitních měřicích přístrojů od renomovaných značek, což mimo jiné dokládá cena přístroje, která činí 16 390,00 Kč.

**Tabulka 2.1:** Vlastnosti přístroje Greisinger G7500 [7]

| Funkce                          | Parametry   |
|---------------------------------|---|
| Napájení                        | 3 NiMH akumulátory typu AAA   |
| Rozsah měření                   | hodnoty pH -2.00 - 16.00 pH   |
| Rozsah měření teploty           | -10.0 do +110.0 °C  |
| Kalibrováno dle                 | Bez certifikátu   |
| Displej/odečítání dat           | LCD   |
| Rozhraní                        | USB, microUSB   |
| Měřicí funkce                   | pH hodnota , redox (ORP) , teplota, saturace O <sub>2</sub> , koncentrace O <sub>2</sub> , vodivost |
| Automatická teplotní kompenzace | Lze přepnout  |
| Teplotní rozsah                 | od -10.0 °C do +110.0 °C  |

Přístroj vyniká především rozsahem měřených hodnot, nastavitelnou teplotní kompenzací a schopností měřit téměř libovolné vlastnosti vody (v závislosti na typu připojené sondy). Ceny náhradních sond se pohybují okolo čtyř tisíc korun [7], což je cena, za kterou jiní výrobci nabízejí celé měřicí zařízení. Vysoký rozsah měřených hodnot činí přístroj vhodný pro veškeré aplikace, a tak může být použit nejen pro kontrolu kvality vody, ale i pro potřeby chemických laboratoří a jiných odvětví s vysokými nároky na přesné určení parametrů užívaných kapalin a roztoků.

Konstruovaný přístroj bude dosahovat variability shodné s variabilitou přístroje Greisinger G7500. Rozsah i přesnost použitých senzorů jsou však nižší než u diskutovaného přístroje značky Greisinger. I přes nižší rozsah měření vybraných veličin je tento rozsah dostatečný vzhledem k použití konstruovaného zařízení pro oblast pitné a případně i užitkové vody. Přesnost použitých měřicích sond pro konstrukci vyvíjeného přístroje je diskutována v následujících kapitolách.

Přístroj nabízí kromě vyčítání dat přes LCD displej ještě USB rozhraní. Konstruované zařízení bude data poskytovat na webovém serveru a tím odbourá nutnost přímého kontaktu s měřicím zařízením a usnadní tak automatické zpracování dat a ve vybraných případech zvýší komfort užívání při měření, například při zjišťování kvality pitné vody v zimním období lze data vyčítat z pohodlí domova.



Obrázek 2.3: Greisinger G7500 [7]

### 2.2.2 Vodotěsný kapesní pH metr AD12

Přístroj AD12 byl vybrán jako zástupce střední cenová kategorie přístrojů pro měření vlastností kapalin. Jeho cena se pohybuje okolo 2 000 Kč, cena sondy je pak okolo 1 000 Kč [31]. Sonda pH je součástí balení a nákup nové sondy je třeba jen v případě, že uživatel přijde o původní sondu. Přístroj vyrábí značka Adwa, které se specializuje především na specializované přístroje pro měření vlastností kapalin. Vlastnosti již zmíněného přístroje zachycuje následující tabulka.

Tabulka 2.2: Vlastnosti přístroje AD12 [31]

| Funkce                | Parametry                   |
|-----------------------|-----------------------------|
| Napájení              | 4x 1.5V AA                  |
| Rozsah měření         | pH: od -2,00 do 16,00       |
| Kalibrováno dle       | Bez certifikátu             |
| Displej/odečítání dat | LCD                         |
| Rozhraní              | bez dalších rozhraní        |
| Měřicí funkce         | pH                          |
| Teplotní kompenzace   | Plně automatická            |
| Teplotní rozsah       | od -5.0 ° C do + 60.0 ° C   |
| Přesnost (při 25 ° C) | pH ± 0,1, teplota ± 0,5 ° C |

Jako hlavní výhody přístroje jsou uváděny malé rozměry, nízká hmotnost, automatická kalibrace pH i teploty, snadná výměna elektrody, LCD display, indikátor vybití baterie a indikátor stability měření. [31]

Díky charakteru konstruovaného zařízení odpadá nutnost zaměřeni se ve vývoji na vlastnosti jakými jsou nízká hmotnost a rozměry. Nový přístroj není určen k tomu, aby s ním uživatel přicházel do přímého kontaktu. Proto jsou u konstruovaného přístroje mnohem důležitější vlastnosti jako výdrž napájecího článku, či baterie a schopnost získávat energii z okolí, nebo-li energy harvesting.

Jak již bylo zmíněno v předchozí části pojednávající o přístroji Greisinger G7500, sondy nabízené pro konstrukci vlastních zařízení nedisponují takovým rozsahem měřených hodnot pH jako násobně dražší přístroje nabízené výrobcí Adwa a Greisinger. Rozsah hodnot je však pro cílené použití konstruovaného měřicího zařízení dostatečný a přesnost měření shodná. [6, 7, 14, 30, 31]

Diskutovaný přístroj značky Adwa nedisponuje žádným rozhraním pro drátový nebo bezdrátový přenos dat. V tomto směru je mnoho potenciálu pro přidání nových funkcionalit, jako vyčítání dat přes webový server a přenos měřených dat na větší vzdálenosti. Takový přístroj by ale již nebyl ručního charakteru, jako je tomu u výrobků značky Adwa [14], a jednalo by se spíše o dedikovaný samočinný měřicí přístroj, který přináší možnost zjištění stavu vybraného vodního zdroje, či rezervoáru bezkontaktně.



**Obrázek 2.4:** Adwa - AD12 [31]

### 2.2.3 TDS metr značky Iné

TDS metr od značky Iné je příkladem levných měřicích přístrojů sloužících pro měření vlastností kapalin, a to především vody. Cena takových přístrojů se pohybuje od 200 Kč do 500 Kč a tomu odpovídají i jejich vlastnosti jakými jsou rozsah a přesnost měření, které jsou nižší než u výše uvedených přístrojů.

**Tabulka 2.3:** Vlastnosti TDS metru od Iné [27]

| Funkce                | Parametry   |
|-----------------------|---|
| Napájení              | 2x 357A, nebo 2x L1154  |
| Rozsah měření TDS     | 0-9990 ppm (mg/L)   |
| Kalibrováno dle       | Bez certifikátu,<br>kalibrováno z výroby na roztok NaCl 342 ppm |
| Displej/odečítání dat | LCD   |
| Rozhraní              | bez dalších rozhraní  |
| Měřicí funkce         | TDS, teplota  |
| Teplotní kompenzace   | Výrobce neuvádí   |
| Teplotní rozsah       | od 0.0 ° C do + 80.0 ° C  |
| Přesnost              | ± 2 %   |

Mezi výhody takových přístrojů, jakým je právě TDS metr od Iné, je jejich nízká cena. Díky nízkým nákladům na nákup je možno tyto přístroje používat pro získání orientačních měření v podmínkách, ve kterých lze očekávat poškození, zničení, či ztrátu měřicího zařízení.

Konstruované zařízení pro měření vlastností vody, nabízí větší přesnost měření, danou specifikacemi dostupných sond [4]. TDSA metr rovněž postrádá variabilitu měřených veličin; pro měření každé nové veličiny je nutno zakoupit nový přístroj.

Diskutovaný TDS metr umožňuje vyčítat data pouze přes malý display. V tomto ohledu je prostor pro vylepšení stávajícího řešení pro měření vlastností vody, které představuje, v tomto případě, TDS metr značky Iné.



**Obrázek 2.5:** TDS metr značky Iné [27]



## 2.3 Závěr

Dostupná řešení měření kvality vody jsou orientována především na ruční přístroje, které jsou ovládány přes tlačítkové rozhraní, které je součástí samotného měřicího přístroje. Pro vyčítání dat ze zařízení je u měřicích přístrojů nižší a střední cenové kategorie nutno použít zabudovaný LCD, a tak je nutný přímý kontakt uživatele s přístrojem. Zařízení, které jsou dražší, často nabízejí možnost připojení k počítači přes USB, RS-232, nebo BLUETOOTH. Mezi přidanými rozhraními pro spojení měřicího přístroje s počítačem je výrazná převaha drátových rozhraní a rozhraní bezdrátová jsou spíše výjimkou.

Vyvíjené zařízení se zaměří právě na využití bezdrátových technologií a tím zajistí rozšíření již stávající nabídky měřicích přístrojů o ve světě přístrojů pro měření vlastností vody zatím zřídka využívané technologické prostředky. Tím získá uživatel možnost dlouhodobého monitorování vlastností vody, bez nutnosti jeho fyzické přítomnosti v místě měření. Při doplnění bezkontaktního měření o vhodný způsob napájení lze snížit množství kontaktu uživatele s měřicím zařízením na úplné minimum, tedy na instalaci a deinstalaci přístroje a případné kontroly fyzického stavu měřicího přístroje.

Vyvíjený přístroj lze navrhnout jako plně samočinný. Uživatel pak bude k získání naměřených dat potřebovat jen přístup na dedikovaný webový server a zařízení, které dokáže data odeslaná serverem zobrazit. Taková zařízení, jako chytré telefony, notebooky, počítače, některé kalkulačky, chytré hodinky a jiná kapesní zařízení s Wi-Fi funkcionalitami, jsou dnes běžnou součástí každodenního života, což z nich činí ideální rozhraní pro zobrazování naměřených dat.

Studiem dostupných přístrojů pro monitoring kvality vody byla nalezena oblast možného dalšího vývoje těchto přístrojů. V rámci této práce je vyvíjen přístroj, který se právě na oblast dálkového měření kvality vody zaměří.

## 3. Kvalita vody

Chemický rozbor vody v České republice nabízí vybrané společnosti za cenu od 630 Kč do 9 900 Kč. Cena rozboru vody je závislá na typu vzorku (studniční, teplá, odpadní, povrchová voda) a na množství měřených parametrů. [11]

Jak již bylo nastíněno v kapitole „Existující řešení“, některé vlastnosti vody lze měřit pomocí specializovaných senzorů pracujících na bázi chemických a fyzikálních procesů. Rozbor získaný elektronicky, pomocí senzorů popsaných dále v této kapitole, zpravidla zahrnuje sledování více jevů v rámci jednoho ukazatele (např. TDS, ORP). Data z vhodných elektronických senzorů tak mohou sloužit jako prvotní impuls pro časově i finančně náročnější chemický rozbor. Včasnou indikací změny kvality vody mimo stanovené meze lze předejít škodám na majetku a zdraví osob nebo institucí.

### 3.1 Ukazatele kvality vody

Mezi primární ukazatele kvality vody patří zákal, pach a případně i chuť vody. Zákal vody může být způsoben poruchou filtrace, vniknutím bahna, písku nebo dokonce štěrku do vodního řádu. Zbarvení vody do žluta až červena s vysokou pravděpodobností značí přítomnost rzi, která se do vody dostala vlivem opotřebení vodního potrubí v důsledku dlouhodobého užívání. Voda se zakaluje také v důsledku oprav, renovace, poškození, údržby a jiné manipulace s vodovodním řádem a jeho dílčími částmi. Ve většině případů zakalení vody v důsledku oprav a úprav vodovodní soustavy je dostatečným řešením nechat zákal usadit a zbylou zakalenou vodu z potrubí odčerpát.

Zápach vody již je směrodatným vodítkem pro objednávku kvalifikovaného rozboru vody, který dokáže spolehlivě odhalit příčinu zápachu a navést na vhodné řešení vzniklé situace. Ať už zápach připomíná dezinfekční prostředky či shnilá vejce, je důvodem pro úplné přerušování užívání vody a zjištění příčiny aktuálního stavu vody. Ve vodě mohou být přítomny stopy úniku kapalin domácí, zemědělské či průmyslové činnosti, které mohou vodu činit nevhodnou pro konzumaci a užití v domácnosti.

I pokud voda splňuje výše uvedené požadavky na kvalitu, nemusí být vhodná pro veškeré oblasti jejího užití, jako zalévání, pití, mytí nádobí, domácí techniku, jako pračky, myčky, varné konvice a kávovary. Bezbarvou vodu, bez chuti a bez zápachu je v některých případech nutno filtrovat, aby se taková voda stala vhodnou na pití pro dospělého člověka, či kojence. U pitné vody s vysokým obsahem rozpuštěných látek, lidově tvrdé vody, dochází k usazování v domácích spotřebičích, např. pračkách, a tím k vyššímu opotřebení některých jejich částí.

Kvalitu vody může ovlivnit veškerá lidská činnost od výroby přes zemědělství až po výstavbu nových domů. Proto vzniká nutnost kvalitu vody monitorovat průběžně a bez časových prodlev, které představují chemické rozborů.

## 3.2 Dostupné prostředky zjišťování vlastností vody

Elektronické měření vybraných parametrů kvality vody poskytuje možnost opakovaného a častého měření, které vyžaduje pouze prvotní investici do nákupu senzorů, které následně mohou provádět měření i několik let.

### 3.2.1 TDS

TDS, nebo-li total dissolved solids, označuje celkové množství rozpuštěných anorganických a organických látek v molekulární, iontové, či mikro-granulární formě rozpuštěných v kapalině. Veličinu lze v mezích této práce chápat jako ukazatel tvrdosti vody a nebo množství rozpuštěných minerálů. Vysoké TDS může rovněž poukazovat na přítomnost kovů rozpuštěných v kapalině.

TDS lze měřit dvěma metodami. První z nich je gravimetrická analýza. Během měření je ze vzorku kapaliny známé váhy a objemu odpařena veškerá kapalná složka. Zbylé pevné látky jsou zváženy a váha přepočítána na ppm (parts per million), případně ppt (parts per trillion). Gravimetrická metoda platí za nejpřesnější. Mezi vlastnosti této metody patří také velká časová náročnost a vysoké nároky na měřicí techniku. [9]

Druhá metoda, která využívá měření vodivosti vody, je z hlediska času spotřebovaného na měření velmi příznivá a pro účely měření zaměřených na anorganické soli dostatečná. Měřicí sonda má obvykle dvě ponorné elektrody pro měření vodivosti. U vybraných senzorů je přítomen i ponorný teplotní senzor sloužící pro korekci měření vodivosti v závislosti na teplotě měřené kapaliny. [9]

### 3.2.2 Teplota

Teplota vody je důležitou veličinou pro přesné měření ostatních veličin, neboť přepočet naměřených hodnot dle teploty měřeného vzorku může mít výrazný pozitivní vliv na přesnost měření. Záznam o teplotě zdroje vody lze využít k optimalizaci alokace zdrojů pro ohřívání vody do domácnosti či k plánování čištění vodních zdrojů.

Teplota má rovněž vliv na množení bakterií a jiných nežádoucích organismů, které mohou mít vliv na lidské zdraví a celkovou kvalitu vody. Proto je nutno monitorovat tento parametr, pro zajištění cílené kvality vody ve vodních zdrojích, jakými jsou vodní nádrže, lapače dešťové vody a studny.

### 3.2.3 pH

pH vyjadřuje schopnost látky, v rámci této práce je látkou myšlena voda, přesouvat ionty  $H^+$  (protony) mezi látkou měřenou a látkou novou, do systému přidanou.

Veličina používá logaritmickou stupnici s hodnotami od 0 do 14. Kyseliny a kyselé látky mají pH menší než 7, látky zásadité mají pH větší než 7. pH pitné vody a většiny vody užitkové se pohybuje okolo hodnoty 7, což znamená, že voda je téměř neutrální látkou.

Veličina se měří pro kapaliny a vodné roztoky. Mezi měřicí techniky patří odečítání barvy

indikačního papírku namočeného do testované látky či roztoku, zbarvení indikačního papírku je závislé na parametrech daných výrobcem. Indikační papírky jsou jednorázové, a tak je vhodnou alternativou pro měření pH použití elektronického senzoru. Pro měření pH se využívá dvou elektrod, referenční elektrody a elektrody sloužící k měření pH. Měřicí elektroda je zhotovena ze skla nadotovaného lithiovými ionty. Uvnitř kulové měřicí elektrody je elektroda referenční, která přes buffer tvořený roztokem chloridu draselného uzavírá obvod. Na základě napětí, které vzniká mezi měřicí a referenční elektrodou, je určeno pH měřené látky.

### 3.2.4 ORP

Oxidačně-redukční potenciál, označovaný také jako Eh [9], udává míru schopnosti daného vzorku vody uvolňovat nebo přijímat elektrony po kontaktu s novou látkou, která je přidána do vzorku. Látka s nižším ORP než vzorek vody, vodě elektrony předává a tím je oxidován. V případě, že má voda nižší oxidačně-redukční potenciál než nová látka, předává elektrony vzorek vody nové látce a látka je redukována. Pomocí ORP lze určit míru intenzity oxidace, nebo redukce probíhající mezi vzorkem vody a látkou. Oxidačně-redukční potenciál však nevyjadřuje oxidačně-redukční kapacitu vzorku vody či jiné měřené látky.

### 3.2.5 Zákal

Zákal je jedním z primárních ukazatelů zhoršení kvality vody, jak bylo popsáno dříve v této práci v části „Ukazatele kvality vody“. Monitorovat zákal vody je vhodné zejména u přírodních vodních zdrojů, zvláště pak pokud jde o zdroje využívající podzemních vod. Zákal je mimo jiné ukazatelem sesuvů půdy či narušení vodních cest, a tak může být prvotním ukazatelem na přerušení podzemních řek napájejících vodní zdroje jako studny, prameny a vrty.

Míra zakalení vody je měřena pomocí optické závory, sestávající z LED diody, některé přístroje užívají i diody emitující záření mimo viditelné spektrum, například infra-červené diody, a jako protipólu diodě je použito fototranzistoru, případně fotorezistoru. Funkce zařízení je podobná funkci optické závory. Výstupem senzoru zákalu ale není binární hodnota jako u optické závory (objekt přítomen v optické závoře, objekt v závoře nepřítomen). Míra zákalu je dána napětím, které je úměrné množství záření dopadajícího z diody na fototranzistor, či fotorezistor.

Senzor zákalu je svou konstrukcí jednoduchý a minimálně poruchový. Díky těmto vlastnostem je vhodný pro použití v nepřístupných prostorech a přírodních nádržích, kde je počet lidských zásahů do chodu celého měřicího zařízení minimalizován. Jak již bylo zmíněno, může být zvýšený zákal podnětem ke kontrole a případné opravě vodovodní soustavy nebo vyčištění vodního toku. Z uvedených důvodů je vhodné senzor zákalu implementovat do vyvíjeného měřicího přístroje.

### 3.3 Závěr

Veličiny jakými jsou pH, teplota, TDS, zákal a ORP mohou udávat kvalitu vody a přímo predikují míru jejího biologického znečištění, či možný negativní vliv na osobu, která vodu užívá. Uvedené vlastnosti lze měřit přístroji, které dokáží převést chemické vlastnosti vody na elektrické napětí od 0 V do 5 V (u některých sond se horní hranice napětí může lišit, zpravidla však nepřesahuje napájecí napětí sondy). Napětí pak lze elektronicky přečíst pomocí AD převodníku a získanou informaci dále zobrazovat, ukládat, odesílat i jinak zpracovávat. Uvedené veličiny je vhodné měřit a na jejich základě vyhodnocovat kvalitu a stav vody v rámci dálkového monitoringu kvality vody.

# 4. Technologie bezdrátové komunikace

Na trhu je mnoho služeb a řešení zajišťujících bezdrátový přenos dat. Každé z existujících řešení s sebou nese výhody a nevýhody pro konkrétní aplikace.

## 4.1 Technologie

Na trhu je nabízeno mnoho technologií bezdrátové komunikace, které jsou užívány v různých prostředích a pro různé účely. Oblast použití je dána vlastnostmi jako jsou typický dosah pro vysílání a příjem dat, prostupnost signálu, závislá především na vysílacím výkonu a vlnové délce s jakou je přenášen signál, a šířce pásma v kombinaci s počtem kanálů, na kterých je vysíláno. Všechny uvedené parametry mají vliv na kvalitu, dosah, spotřebu energie a tím i oblast užití dané technologie, proto je vždy nutno zvolit konkrétní technologii pro konkrétní aplikaci.

### 4.1.1 Bluetooth

BLUETOOTH je technologie využívaná pro streamování hudby, bezdrátové připojení příslušenství k PC a přenos souborů. Všechny tyto aplikace využívají k přenosu dat point-to-point funkcionality klasického BLUETOOTH. Vysílání probíhá v pásmu 2.4 GHz přes 79 kanálů s 1MHz rozestupy [1].

BLE neboli BLUETOOTH Low Energy přidává k point-to-point možnost broadcastu a komunikace pomocí mesh. BLE stejně jako klasické BLUETOOTH vysílá v pásmu 2.4 GHz ale jen na 40 kanálech s 2MHz rozestupy pro zvýšení odolnosti proti šumu a rušení [1].

Technologie je vzhledem k relativně nižší prostupnosti vhodná pro vysílání na vzdálenosti desítek až stovek metrů, v závislosti na množství a typu překážek.

### 4.1.2 LoRa

LoRa je technologií zaměřenou na zařízení internetu věcí. Mezi hlavní výhody oproti ostatním technologiím pro bezdrátový přenos jsou nízké energetické nároky na vysílání, čímž šetří baterii, prodlužuje životnost zařízení a snižuje nároky na lidský zásah do chodu přístroje, jako nabíjení či výměna baterií.

Vysílací frekvence technologie LoRa se liší dle regionu, v Evropě se užívá vysílací frekvence 868 MHz, povolená je i frekvence 433 MHz, která se běžně užívá v Asii. Severní Amerika využívá pásma okolo 915 MHz. Zařízení tak musí být nakonfigurováno dle geografické oblasti využití.

Díky zaměření technologie LoRa na IoT existuje mnoho projektů nabízejících konektivitu a vyčítání dat na území měst (Helium), zemí (IoTPORT od Českých radiokomunikací) i kontinentů (SigFOX). Data zasláná přes zmíněné prostředníky a podobné služby jsou dostupná přes internet, nebo, po přesměrování, na vlastním úložišti typu server.

Využití technologie LoRa je vhodné nejen pro přístroje a zařízení internetu věcí ale i v jiných aplikacích s vysokými nároky na minimalizaci spotřeby a maximalizaci přenosové vzdálenosti. Tyto nároky jsou kladeny i na zařízení pro vzdálený monitoring kvality vody ve vodních zdrojích, který je vyvíjen v rámci této práce. Mezi hlavní výhody technologie LoRa pro vyvíjený přístroj patří vysoký dosah a vysoká prostupnost signálu, které jsou dané nižší vysílací frekvencí technologie LoRa než je použita u technologií Wi-Fi a BLUETOOTH, a nízká spotřeba energie při vysílání, jak na svém webu uvádí IoTPORT: „Umožňuje obousměrnou komunikaci i v pohybu a využívá se především tam, kde je potřeba často komunikovat a odesílat data při zachování minimální spotřeby baterie. Hodí se tedy hlavně na monitorování podmínek v okolí zařízení, jako je teplota, lokace, vlhkost, monitoring zdraví apod. Také tam, kde je potřeba zařízení dálkově ovládat pomocí analogových nebo digitálních výstupů.“ [13]

### 4.1.3 GSM

Technologie GSM, nebo-li technologie mobilní sítě, nabízí možnost posílání dat prostřednictvím SMS zpráv. Mezi výhody této technologie patří velmi dobré pokrytí ve všech obydlých oblastech. Pro přenos je nutno zakoupit SIM kartu s příslušným tarifem pro zasílání SMS a instalovat ji do zařízení vybaveného GSM technologií.

Vysílání pomocí technologie GSM nebylo vybráno pro přenos měřených dat. GSM se vyznačuje vysokými finančními náklady na vysílání (oproti LoRa a BLUETOOTH) způsobené nutností platit SMS tarif u mobilního operátora, který je zpravidla dražší než alternativy využívající technologie LoRa, nebo bezplatného BLUETOOTH. Jak již bylo zmíněno, GSM signál je dostupný především v obydlených oblastech a jejich okolí. Nelze tedy spoléhat na pokrytí od mobilního operátora v typicky odlehlých oblastech vodních nádrží. Dalším faktorem hovořícím proti použití GSM je vysoká spotřeba energie pro přenos dat, která činí technologii nevhodnou pro samočinná zařízení napájená z obnovitelných zdrojů či integrovaných elektrických článků a baterií, bez možnosti časté výměny a dobíjení těchto bateriových zdrojů.

### 4.1.4 Wi-Fi

Wi-Fi je označení pro řadu bezdrátových protokolů založených na standardech IEEE 802.11. Běžné způsoby užití Wi-Fi zahrnují zasíťování domácností a industriálních areálů.

Mezi hlavní výhody Wi-Fi patří nízká prostupnost, která je dána vysílací frekvencí bezdrátových AP (access point). Prostupnost byla testována na AP kombinujících router a modem pro domácí použití. Jako přijímač byl užit mobilní telefon a notebook. Prostupnost signálu byla stanovena mezi dvěma až čtyřmi 30cm zdmi pro 2,4 GHz signál a mezi dvěma a třemi zdmi uvedeného rozměru pro signál o frekvenci 5 GHz. Testování bylo prováděno za užití modemu TP-Link Archer AX20 jako vysílače sledovaného Wi-Fi signálu.

Vlastnosti týkající se prostupnosti bezdrátového signálu Wi-Fi o frekvencích 2,4 Ghz a 5 Ghz, které zabraňují vzniku příliš vysokého rušení v obydlených oblastech, činí Wi-Fi nevhodnou pro přenos dat v terénních oblastech, kde nebyla vybudována příslušná in-

infrastruktura. Kvalitu přenášeného signálu v přírodních podmínkách by také značně ovlivnil očekávaný výskyt dešťů a zvýšená vlhkost vzduchu v okolí vodních zdrojů.

Přenášení naměřených dat prostřednictvím Wi-Fi se rovněž nehodí pro okolí budov (zahrady, rybníky, okolí hygienických či vodohospodářských stanic), kam zpravidla nedosahuje v dostatečné kvalitě signál Wi-Fi z vnitřních částí budov, a které rovněž nebývají pokryty vlastním bezdrátovým signálem Wi-Fi. Natažení ethernetového kabelu může být již z podstaty typu měření, charakteru měřeného vodního zdroje, či přístupnosti vodních nádrží vyloučeno.

Wi-Fi je z důvodů uvedených v předchozích odstavcích vhodná pro domácí použití a pro oblasti, kde je možno budovat příslušnou infrastrukturu pro přenos dat ať už bezdrátově, pomocí metalického vedení nebo prostřednictvím optických kabelů. Pro realizaci této práce, kdy není možno budovat potřebnou infrastrukturu, byla vzhledem k vlastnostem Wi-Fi vybrána jiná technologie pro bezdrátový přenos komunikace dedikovaných jednotek a přenos naměřených dat v systému pro měření vlastností vody.

## 4.2 Typy sítí

### 4.2.1 Peer-to-peer, P2P

Peer-to-peer, některé zdroje uvádí zkráceně jako P2P nebo klient-klient, je režim komunikace, který využívá přímého spojení dvou komunikačních jednotek. Je proto nejméně náročný na počet účastníků komunikace a zároveň na prostředky potřebné pro uskutečnění spojení a následné komunikace komunikantů.

Mezi výhody P2P patří zejména absence serveru, který musí být dostupný všem klientům. Zde je třeba zajistit pouze možnost spojení jednotlivých síťových uzlů, případně možnost dohledání a přeposlání dat od jiného klienta.

### 4.2.2 Klient-server

Je síťovou architekturou, kde jeden server zprostředkovává spojení mnoha klientů a komunikuje s nimi. Výhodou této síťové architektury je potřeba uskutečňovat spojení pouze mezi klientem a serverem. To dovoluje v případě absence zpětné komunikace serveru směrem ke klientovi dovoluje neaktivitu klienta a tím, hlavně u zařízení s nízkou spotřebou, možnost úspory provozní energie a síťových zdrojů.

## 4.3 Služby pro IoT

Vzhledem k rostoucí popularitě zařízení a řešení internetu věcí vznikají firmy a produkty nabízející služby pro přenos a správu dat získaný pomocí zařízení internetu věcí vybavených senzory.



### 4.3.1 LoRaWAN

LoRaWAN je protokolem druhé vrstvy ISO/OSI modelu pro zařízení komunikující na fyzické vrstvě pomocí LoRa. K adresování jednotlivých paketů se využívá MAC adres komunikujících zařízení.

Výhodami LoRaWAN jsou hlavně adresování paketů (a z toho plynoucí jistota, že vyslaný paket bude zpracován cíleným příjemcem), možnost budovat sítě pokrývající rozsáhlá území, například města, státy či jiné zájmové oblasti.

Vlastností LoRaWAN hovořící proti použití tohoto komunikačního prostředku jsou náklady na zbudování takové sítě, nebo nutnost různých forem platby za přenos dat přes již zbudovanou síť.

### 4.3.2 SigFOX

Firma SigFOX (web: <https://sigfox.cz/cs>) nabízí pokrytí pro zařízení užívající LoRa v 65 zemích světa. V České republice je pokryto 96 % populace [23], jak uvádí společnost SigFOX na svých stránkách pro Českou republiku. Další výhodou této služby je i pokrytí v oblastech, kde nedosahuje signál GSM, a kde je třeba pro přenos dat použít jiných služeb než internetu či SMS zpráv, které nabízí mobilní operátoři.

Pro bezdrátovou komunikaci využívá SigFOX vysílání na frekvenci 868 MHz pro Evropu a 915 MHz pro Asii. Zařízení vysílající na těchto frekvencích jsou běžně dostupná a vysílání na frekvenci 868 MHz je v České republice povoleno bez potřeby získávat licence a platit licenční poplatky.

Proti využití služeb firmy SigFOX hovoří fakt, že se společnost nachází v insolvenčním řízení, a tak není možné prostřednictvím služeb SigFOX zaručit dlouhodobou podporu. Služby je však možné stále zakoupit a to za cenu €8,45 za 70 zpráv z 1 zařízení za den [21]. V ceně je přístup k zaslaným datům prostřednictvím webové aplikace společnosti SigFOX.

### 4.3.3 NB-IoT

V české republice nabízí NB-IoT tarif prozatím pouze telefonní operátor Vodafone Czech Republic (dále jen Vodafone), dnes se jedná o dceřinou společnost Vodafone Group plc. (web: <https://www.ioteasyconnect.cz/>).

Tarif pro internet věcí funguje na bázi prvotního zakoupení SIM karty s předplaceným tarifem a následného dobíjení předplatného. Předplatné na jednu SIM kartu obsahuje možnost poslání 1024 MB dat přes mobilní internet a 250 SMS zpráv [29]. Součástí předplatného je i Application Programming Interface interface (API) [29]. V rámci tarifu se zařízení vybavené příslušným GSM modulem a NB-IoT SIM kartou může odesílat data v 28 evropských zemích prostřednictvím sítí 2G, NB-IoT a LTE-M [18]. Služba narrow band IoT je rovněž dostupná ve spojených státech amerických, kde lze rovněž pro přenos dat využít telefonních sítí 2G, LTE-M a NB-IoT [18].

Po vyčerpání předplaceného tarifu lze tarif u operátora obnovit za poplatek 449 CZK [18] bez PDH. Prvotní investice je však značně vyšší. Jednorázové dobítí stojí 499 CZK a za

SIM čip Vodafone účtuje 519 CZK, uvedené ceny jsou bez DPH [18]. Po dobití tarifu jsou zmíněné služby k užití po dobu deseti let [18]. Součástí návrhu práce je pravidelné informování o stavu vody několikrát denně, a to jednou až dvakrát za hodinu, protože kvalita vody, především té pitné, je kritickou informací pro ochranu zdraví jednotlivců i ochranu majetku fyzických a právnických osob. Což znamená 24 až 48 zpráv za týden, tím by 120 SMS zpráv bylo vyčerpáno během pěti dní.

Tento fakt činí NB-Iot tarif od Vodafone ekonomicky nevýhodný pro použití v navrhovaném zařízení. Myšlený přístroj je konstruován s minimální spotřebou, a tak je použití GSM modulu s vysílacím odběrem elektrické energie 9uA [33] nevhodný pro danou aplikaci internetu věcí.

#### 4.3.4 1NCE

Dalším zástupcem GSM technologií jsou služby a produkty od firmy 1NCE nabízející SIM karty pro použití v zařízeních internetu věcí využívajících bezdrátový přenos dat (web: <https://1nce.com/en-eu/>).

SIM karta je nabízena s tarifem obsahujícím 250 SMS zpráv a 500 MB dat. Čerpání zakoupených zdrojů uživatelem je možné po dobu 10 let. Společností 1NCE je tak nabízena služba vhodná především pro použití v přístrojích, které hlásí pouze dosažení předdefinovaného stavu. Od navrhovaného zařízení je ale vyžadováno pravidelné hlášení stavu vodního zdroje, a tak by při hodinovém intervalu odesílání měření byly zprávy vyčerpány za necelých jedenáct dní. [34]

Navrhované zařízení má fungovat i v odlehlých oblastech, které se často nacházejí mimo dosah telefonního signálu, a tak by použití telefonních sítí nemuselo být pro přenos dat možné. Vysoká spotřeba GSM modulů, podrobněji v textu o NB-IoT, je faktorem, který činí ostatní možnosti bezdrátového přenosu dat vhodnější pro použití v IoT zařízeních konstruovaných s nízkou spotřebou a dlouhou životností.

#### 4.3.5 Helium

Helium (web: <https://www.helium.com/>) je decentralizovaný provider propojení na bázi internetu. Jako nosného média je v síti využito rádiového vysílání LoRa. Adresování jednotlivých uživatelských zařízení i síťových prvků pak zajišťuje technologie LoRaWAN, která je protokolem druhé vrstvy OSI modelu. Což znamená, že LoRaWAN poskytuje možnost adresování na úrovni MAC adres.

Uživatelé neplatí za přenos přímo penězi, protože v síti Helium je jako platidla použito krypto-měny, tokenů, Helium. Majitelé přístupových bodů pak obdrží stanovený počet tokenů za určený objem dat od uživatelů sítě.

Vzhledem k decentralizaci sítě a možnosti samostatně spravovat potřebné přístupové body, je síť Helium vhodným médiem pro přenos dat mezi zařízeními internetu věcí, na které produkt cílí. Mezi nevýhody pro monitoring kritických zdrojů, jako jsou vodní nádrže, přírodní zdroje vody a jiné vodní rezervoáry, patří decentralizovanost sítě a z toho plynoucí nemožnost

kontroly kvality přenášení dat spolu s nemožností zaručit dostupnost služby.

### 4.3.6 IoTPORT

IoTPORT (web: <https://www.iotport.cz/>) je další ze služeb využívajících technologie LoRaWAN. Službu IoTPORT však nabízí České radiokomunikace, což je výhodou pro testování a provoz zařízení na území České republiky.

V nabídce Českých radiokomunikací jsou 3 tarify: zkušební, individuální a tarif „pilot“. Zkušební tarif je platný po dobu jednoho měsíce a nabízí možnost odeslání 1000 zpráv. Uvedený počet zpráv odeslaných ze zařízení dokáže pokrýt jak testování tak i jednoměsíční provoz jednoho modulu sondy, zařízení však lze připojit až 5 [16].

Tarif pilot za 200 Kč na měsíc umožňuje připojit 10 zařízení a odeslat až 10 000 zpráv za měsíc. Nabízený počet zpráv dokáže hravě pokrýt nároky na datový provoz deseti současně měřících jednotek myšleného modulu sondy. Nevýhodou tohoto tarifu je nutnost závazku na dvanáct měsíců. Pro provoz méně než deseti zařízení by bylo vhodné sjednat tarif individuální protože by došlo k využití nízkého procenta zakoupených zpráv pro odeslání [16].

Vzhledem k cenové dostupnosti služby IoTPORT od společnosti České Radiokomunikace a.s., počtu zpráv pro odeslání, webovému rozhraní a možnosti službu zdarma po dobu jednoho měsíce testovat je IoTPORT vhodná pro vývoj a následný provoz zařízení pro vzdálený monitoring kvality vody.

## 4.4 Závěr

Zařízení je konstruované tak, aby mělo co možná nejnižší nároky na spotřebu elektrické energie. Nízká energetická náročnost pak dovolí zařízení zkonstruovat co nejmenší a s minimem sekundárních, či primárních článků, což mimo jiné snižuje i náklady na výrobu a následný dlouhodobý provoz konstruovaného přístroje. Nízké energetické náročnosti vybraného hardwaru a technologií lze vzhledem k charakteru přístroje docílit především výběrem takové technologie bezdrátového přenosu, která má nároky na odběr elektrické energie minimální. Takovou technologií bezdrátové komunikace je LoRa, která disponuje nejen nízkou energetickou náročností, ale také vysokým dosahem, v porovnání s ostatními dostupnými technologiemi.

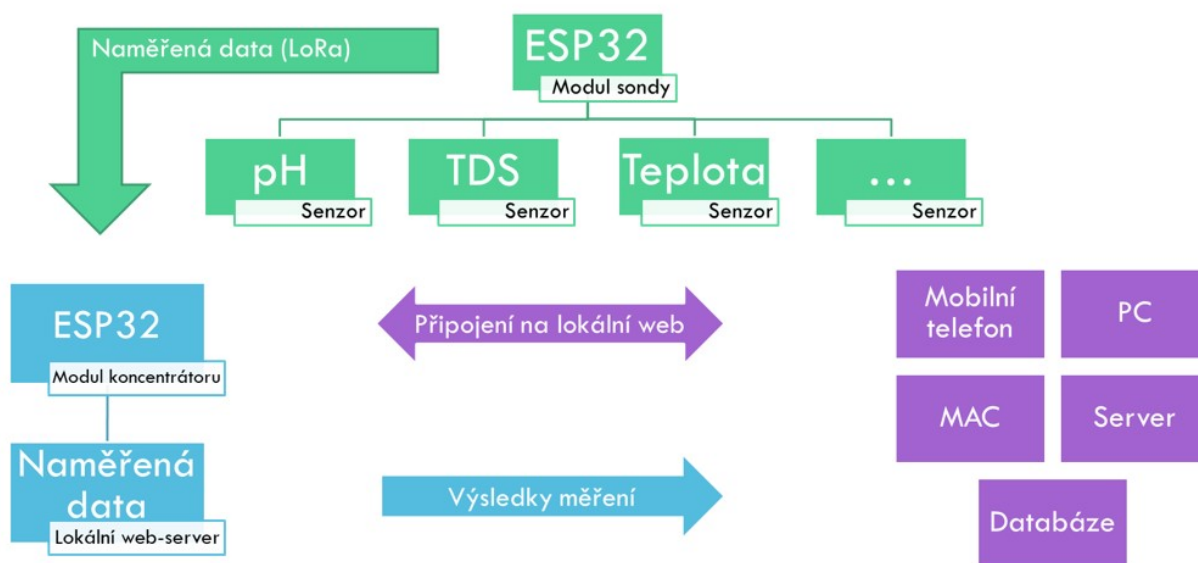
Dalším důležitým kritériem pro výběr komponent a technologií přístroje pro vzdálený monitoring kvality vody jsou ekonomické nároky na provoz. V tomto ohledu vynikají služby založené na požití technologie LoRa. Pro provoz zařízení na omezeném a předem známém území lze použít bezplatné komunikace point-to-point, nebo využít stávajících sítí LoRaWAN, případně konstruovat vlastní síť LoRaWAN, zde je ale nutno očekávat vysoké náklady na konstrukci takové sítě. Pro komunikaci na území celé České Republiky lze využít finančně příznivé (v porovnání s ostatními možnostmi) služby IoTPORT, kterou poskytují České Radiokomunikace. Služba IoTPORT navíc umožňuje vytvoření individuálního tarifu pro uspokojení potřeb větších zákazníků. Komunikaci s jednotkami v zahraničí pak zprostředkovává společnost SigFOX.

Zařízení bude využívat komunikace point-to-point s případným zasláním zpráv na server prostřednictvím IoTPORT, komunikace tímto způsobem je zdarma (point-to-point) případně za příznivé ceny (IoTPORT) a pro zamýšlené použití přístroje je postačující.

# 5. Návrh systému

System se skládá z dílčích komponent uvedených v obrázku 5.1. Klíčovými logickými komponentami systému jsou dva moduly LilyGO TTGO LoRa32 T3\_V1.6.1 založené na mikrokontroleru ESP32. První byl využit k odečítání dat ze senzorů teploty, TDS (total dissolved solids, celkové množství rozpuštěných látek), pH a zákalu. Druhý modul přijímá a distribuuje naměřená data prostřednictvím lokálního webu, MQTT a IFTTT.

## NÁVRH SYSTÉMU

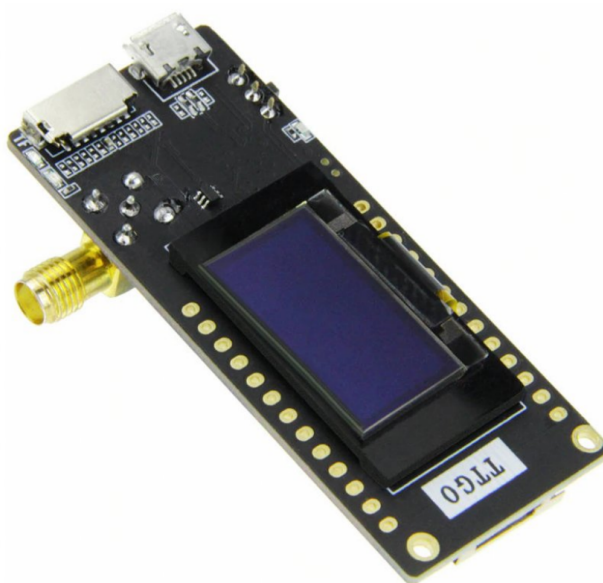


Obrázek 5.1: Grafické znázornění návrhu systému.

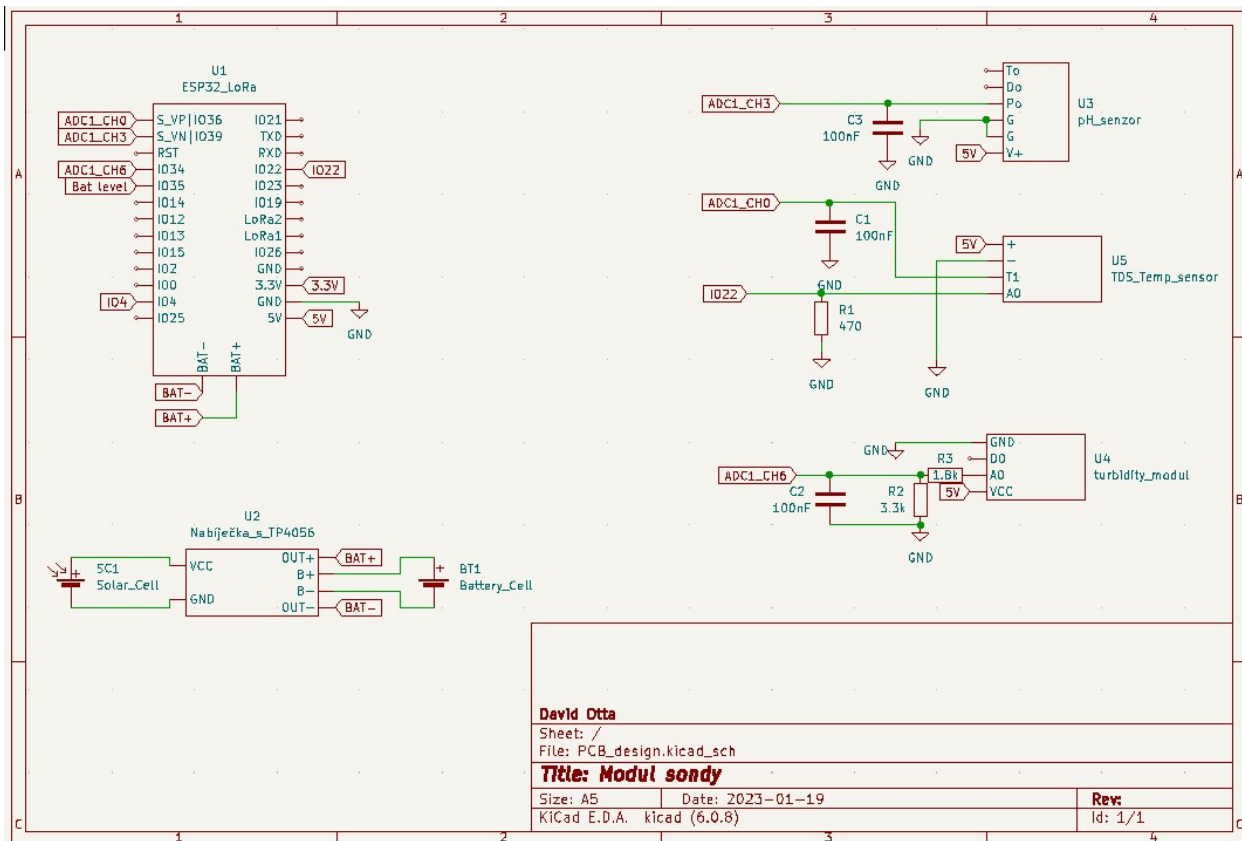
## 6. Modul sondy

Mezi hlavní vlastnosti modulu sondy patří schopnosti měřit vlastnosti vody a bezdrátová komunikace s koncentrátorem naměřených dat. Cílem návrhu je rovněž minimalizovat interakci se správcem zařízení a fungování modulu bez fyzické interakce s uživatelem.

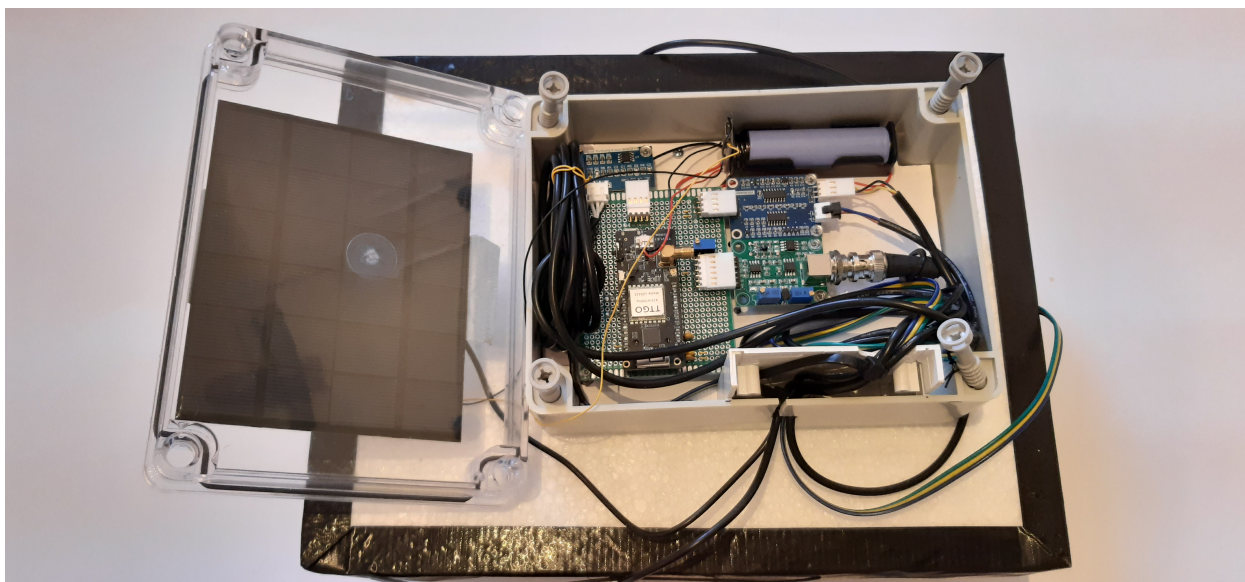
Jádrem modulu sondy je mikrokontroler ESP32 v kombinaci s přidanými moduly, které jsou spolu s mikrokontrolerem součástí modulu pro vývoj IoT aplikací: LilyGO TTGO LoRa32 T3. Modul je vybaven čtečkou paměťových karet, LoRa modulem a nabízí možnost napájení z primárních či sekundárních článků, které zprostředkovává napěťový stabilizátor.



**Obrázek 6.1:** LilyGO TTGO LoRa32 T3 modul [12]



Obrázek 6.2: Schéma zapojení modulu sondy



Obrázek 6.3: Realizace prototypu modulu sondy

## 6.1 Realizace obvodových řešení

Pro kompletaci dílčích obvodů modulu sondy byla zvolena univerzální deska plošných spojů. Ta nabízí vysokou variabilitu v oblasti integrace nových sensorických modulů do stávajícího řešení obvodového návrhu zařízení.

Variabilitě přístroje rovněž napomáhá použití vícepinových konektorů jako rozhraní pro spojení sensorových jednotek s mikrokontrolerem ESP32, který je použit pro odečítání analogových a digitálních výstupů příslušných sensorových jednotek. Jednotlivé konektory a elektronické součástky byly nejprve zapájeny do univerzální desky plošných spojů a pak byly v souladu se schématem zapojení propojeny jedno-žilovým vodičem s drátem o průměru 0,4 mm zapouzdřeném v bužírkách různých barev. Barvy spojovacích vodičů odpovídají účelu jednotlivých vodičů, napájení je vedeno červenými vodiči, GND černými vodiči a pro datové vodiče byla vyhrazena žlutá barva.

## 6.2 Spotřeba

Analýzu spotřeby modulu sondy, nároky na napájení a průměrnou spotřebu energie zachycuje tabulka 6.1.

**Tabulka 6.1:** Denní spotřeba aktivních členů sondy [4, 5, 6, 22, 28]

| akce                  | trvání [s]    | opakování/den | I [mA] | spotřeba/den [mAh/den] |
|-----------------------|---------------|---------------|--------|------------------------|
| vysílání LoRa(+20dBm) | 0,002         | 24            | 120    | 0,0017                 |
| TDS                   | $7 * 10^{-5}$ | 24            | 6      | $2,8 * 10^{-6}$        |
| pH                    | $7 * 10^{-5}$ | 24            | 10     | $4,7 * 10^{-6}$        |
| teplota               | 0,375         | 24            | 1.5    | $3,75 * 10^{-4}$       |
| zákal                 | $7 * 10^{-5}$ | 24            | 40     | $1,87 * 10^{-5}$       |
| sleep                 | 42 984        | 1             | 0,002  | 0,02                   |
| aktivita              | 2             | 24            | 0,005  | $6,7 * 10^{-5}$        |
| solární panel         | 15 503        | 1             | -330   | -1 421,19              |
| $\Sigma$              |               |               |        | -1 420,98              |

Spotřeba modulu sondy byla příkonem solárního panelu překročena, a tak je využito, v případě zkonstruovaného prototypu, 0,015 % energie, kterou panel při plné efektivitě vygeneruje v prostředí s průměrnou dobou slunečního svitu 4,3 hodin. Uvedená průměrná doba slunečního svitu je platná pro Českou republiku a během roku může fluktuovat. Přidaný výkon je využit i pro situace, kdy dojde k dočasnému překryvu solárního panelu faunou a flórou, například padajícím listím, která se přirozeně vyskytuje v okolí vodních nádrží.

Zkonstruovaný prototyp pro měření vlastností vody je modulární a stávající moduly lze obměnit či doplnit o nové technologie pro získávání informací o stavu vodních zdrojů. Pro napájení těchto sensorů je následně využít přidaný výkon solárního panelu. Příkonu může být využito při kalibraci sensorů plynů, napájení přidaných měřicích jednotek, které měří vlastnosti vody, například sensor ORP.



Pro konstruovaný prototyp lze při jeho celkové miniaturizaci využít i menšího solárního panelu. Z dostupných solárních panelů je vhodným například panel o příkonu 0,44 W s výstupním proudem 80 mA [24]. Spotřeba konstruovaného přístroje by byla uvedenou alternativou požitého solárního panelu dostatečně pokryta, pokud vyjdeme z již zmíněných statistik o průměrné denní době slunečního svitu v České Republice.

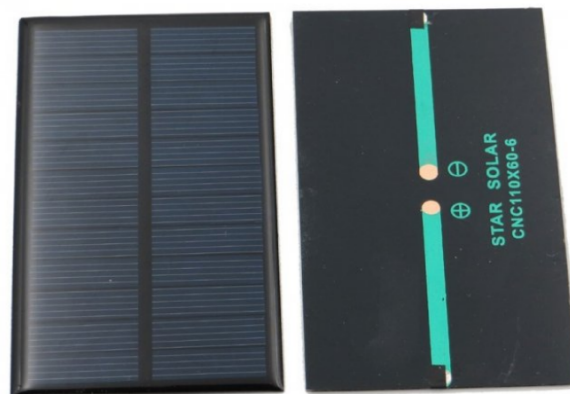
## 6.3 Napájení

Na základě analýzy spotřeby celého systému bylo pro zajištění dlouhodobé funkcionality zvoleno napájení pomocí solárního panelu v kombinaci s lithium-iontovým sekundárním článkem typu 18650. Lithiový článek je nezbytný pro napájení modulu v časech bez dostatečné intenzity slunečního záření, v noci, či během dočasného zakrytí solárního panelu, který může být zapříčiněn pohybem fauny a flóry v okolí vodního zdroje.

Pro nabíjení sekundárního článku a napájení modulu pro sběr dat slouží nabíjecí modul s integrovanými ochranami proti vybití pod 2,4 V, proti přepětí (nabití nad bezpečnou hranici 4,2 V). Modul rovněž nabízí ochranu proti zkratu a nadproudovou ochranu.

### 6.3.1 Solární panel

Na základě analýzy spotřeby v kombinaci s vyhodnocením parametrů dostupných solárních panelů byl vybrán solární panel s výstupním napětím 6 V a maximálním výkonem 2 W. Solární panel nabíjí sekundární lithiový článek, který následně napájí modul založený na ESP32.



Obrázek 6.4: Solární panel 6 V 1 W [25]

### 6.3.2 Sekundární článek

Modul sondy je napájen článkem Samsung ICR18650-22P o kapacitě 2200 mAh. Jedná se o sekundární lithium-iontový článek typu 18650. Dle informací uvedených v datasheet lze

baterii vybíjet i v teplotách  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což baterii činí vhodnou pro venkovní použití na vodních hladinách v podnebných podmínkách mírného podnebného pásu. [26]



**Obrázek 6.5:** Samsung ICR18650-22P 2200mAh - 10A [20]

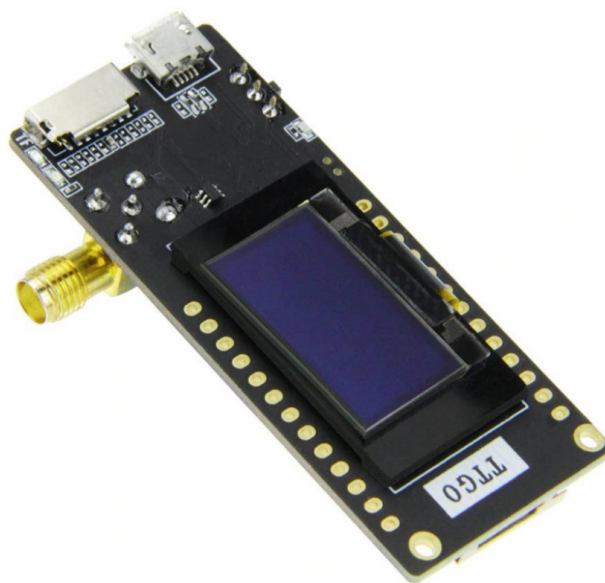
Vhodnou alternativou jsou baterie typu Li-Pol. Disponují podobnými charakteristikami jako již zmíněné baterie technologie Li-Ion, manipulace a skladování je ale z důvodu menší fyzické odolnosti náročnější.

LiFePO<sub>4</sub> baterie se vyznačují pomalejším zahříváním při velkých proudových odběrech. Tato vlastnost je vykoupena nižší energetickou hustotou. Vzhledem k očekávaným nízkým odběrům modulu jsou články založené na jiných technologiích, které byly zmíněné dříve, vhodnější.

## 7. Modul koncentrátoru

Tento modul slouží jako gateway pro modul sondy a zároveň koncentruje data získaná modulem sondy pro jejich další propagaci směrem k uživateli.

Jádrem modulu koncentrátoru je mikrokontroler ESP32 v kombinaci s moduly, které jsou spolu s mikrokontrolerem součástí LilyGO TTGO LoRa32 T3. Modul je vybaven čtečkou paměťových karet, LoRa modulem, Wi-Fi a BLUETOOTH.



Obrázek 7.1: LilyGO TTGO LoRa32 T3 modul [12]

**Listing 7.1:** Výňatek z programu pro aktualizaci dat na webové stránce

```
String answer;
if (serverData.count == UINT32_MAX) {
    answer = "";
} else {
    answer = String(serverData.m.tds);
}
request->send_P(200, "text/plain", answer.c_str());
});
```

### 7.1 Napájení

System modulu koncentrátoru bude napájen pomocí USB portu integrovaného na desce modulu. Jako napájení pak může být využito zdroje pro nabíječky mobilních telefonů, či velkého bateriového zdroje, dle konkrétních podmínek použití, uživatelských možností a umístění modulu koncentrátoru dat vypovídajících o kvalitě vody.

Zamýšleným použitím způsobem instalace modulu koncentrátoru je však instalace na zeď v domácnosti. Modul koncentrátoru se automaticky připojí na lokální síť Wi-Fi s použitím

přístupových údajů uložených na micro-SD kartě vložené v modulu. Uživatel se pak už jen připojí na lokální webovou stránku, kterou spravuje modul koncentrátoru a následně může vyčítat aktuální data.

## 7.2 Zobrazení měření uživateli

Měřená data lze nahlédnout přes webové rozhraní, které uživateli zprostředkuje měření z modulů přiřazených danému koncentrátoru.

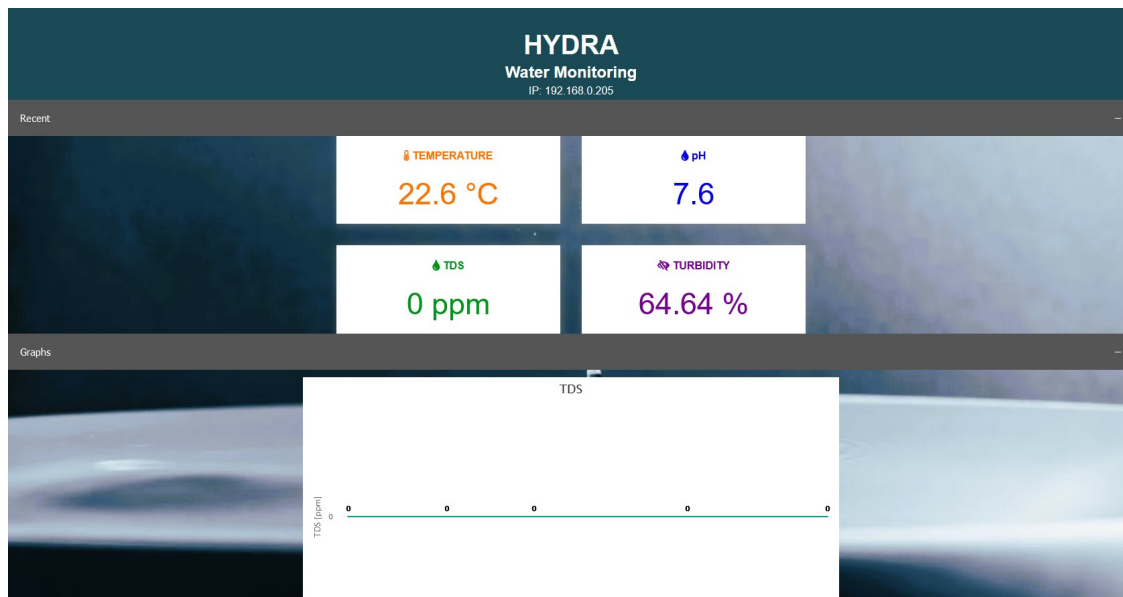
Jako webové rozhraní byl vybrán lokální web-server hostovaný na samotném modulu koncentrátoru. Web-server disponuje automatickou aktualizací naměřených hodnot, lokální webovou adresou a uživatelsky přívětivým designem.

Veškerá přijatá měření jsou ukládána na vloženou micro-SD kartu. Uživatel může data uložená na kartě využít pro hlubší analýzu naměřených dat, optimalizaci dávkování čisticích prostředků a plánování prací v okolí vodního zdroje tak, aby byla udržena cílená kvalita sledovaného vodních zdroje.

### 7.2.1 Lokální web-server

Díky tomu, že je vybraný modul ESP32 vybaven technologií Wi-Fi, lze prezentovat data z modulu koncentrátoru pomocí lokálního webového serveru, který je hostován na samotném modulu koncentrátoru. Do webu bylo zakomponováno několik funkcionalit využívaných v profesionálních webových aplikacích a díky tomu je uživateli nabízeno snadné zobrazení aktuálních měření a jednoduché použití.

Mezi hlavní domény serveru patří automatická aktualizace naměřených hodnot a lokální webová adresa. Během testování bylo zjištěno, že lokální webovou adresu lze využít na zařízeních s operačními systémy Windows, macOS, iOS a na operačních systémech založených na Linux.



**Obrázek 7.2:** Ilustrační obrázek webu.

Web byl rozdělen na tři hlavní části. První je blok obsahující název a funkci celého systému pro vzdálené měření vlastností vody spolu s IP adresou modulu koncentrátoru, která je současně i adresou webového rozhraní.

Druhou částí jsou karty obsahující poslední dostupná data, přijatá od modulu sondy. Karty jsou při načtení webu viditelné a mohou být skryty a znovu odkryty stisknutím dynamicky posuvné rolety nadepsané 'Recent'. Karty zobrazují naměřené hodnoty včetně jednotek na vhodný počet desetinných míst, který byl zvolen dle přesnosti senzorů užívaných k měření konkrétních veličin.

Níže se pak nachází roleta, rovněž dynamicky pohyblivá, obsahující grafy s historií měření. Na vertikální ose jsou zobrazeny naměřené hodnoty jednotlivých veličin. Horizontální osa uvádí čas naměření hodnot. Grafy mohou zobrazit měření až za jeden týden, detail bodů grafu lze získat přejetím kurzoru myši na vybraný bod. Grafy jsou automaticky aktualizované. Lišta s grafy je při načtení webu zabalena, tzn. grafy jsou skryty.

## 7.2.2 MQTT

Modul koncentrátoru zasílá nově přijatá data přes MQTT do domácí sítě. Díky této funkcionalitě lze užívat systém pro vzdálený monitoring vody jako součást chytré domácnosti. Zároveň mohou být pomocí naměřených dat automatizovány akce, které jsou vyvolány jako reakce na změny stavu a kvality měřeného vodního zdroje.

## 7.2.3 IFTTT

Do modulu koncentrátoru byla implementována komunikace se službou IFTTT. V případě překročení stanovených mezních hodnot některou z měřených veličin je uživateli systému pro vzdálený monitoring kvality vody, či správci vodního zdroje, zaslán e-mail, který

obsahuje informace o kritických hodnotách vybrané veličiny.

E-mail samotný byl sestaven tak, aby obsahoval čas, kdy bylo varování odesláno, název veličiny, hodnotu veličiny a stav veličiny (příliš nízká/vysoká). E-mail byl zvolen jako komunikační médium především pro dostupnost e-mailových účtů i klientů. Přijímání e-mailových zpráv je možno zautomatizovat, a tak předejít výkyvům vlastností měřeného vodního zdroje od stanovených hodnot bez přímého zásahu uživatele.

## 8. Komunikace v systému

Pro přesun dat mezi jednotlivými dílčími moduly byla zvolena technologie bezdrátové komunikace, která nejlépe vyhovuje použití v přírodních a terénních podmínkách. V takovýchto prostředích je obtížné až nemožné z důvodu ochrany přírody a vodních zdrojů pokládat metalická či optická vedení, která by musela odolávat povětrnostním, teplotním, slunečním a jiným přírodním vlivům.

### 8.1 Vybraná forma bezdrátové komunikace

Jako technologie bezdrátové komunikace pro interní systémové zprávy byla zvolena technologie LoRa. Její nízká spotřeba, v porovnání s technologiemi jako GSM, a velký dosah (uváděný dosah se liší dle zdroje informací a použité vysílací techniky). LoRa dosahem překonává známější technologie, mezi které se řadí BLUETOOTH, BLUETOOTH low energy a Wi-Fi, což činí technologii LoRa vhodnou pro bezdrátový přenos dat v navrhovaném systému.

### 8.2 Komunikační rozhraní

Jedním z hlavních cílů při návrhu modulu sondy byla minimalizace spotřeby elektrické energie. Komunikace je proto tvořena LoRa pakety a o velikosti 7 B, které obsahují naměřená data, informace o stavu baterie a informace o typu zprávy. Veškeré informace jsou komprimovány pro snížení vysílacího času a tím i spotřeby modulu sondy.

Korektnost přenášené informace je ověřována nejprve pomocí velikosti přijatého paketu a následně pomocí 8-bitového kontrolního součtu. Kontrolní součet rovněž slouží jako prevence náhodného zachycení komunikace jiných zařízení a její následné interpretaci v modulu koncentrátoru, jako dat o stavu vody.

## 9. Závěr

Práce úvodem ukazuje možnosti měření vlastností vody nabízené na evropském trhu. Studium vlastností nabízených elektronických měřidel od různých výrobců, např. VOLTCRAFT a PCE Instruments, bylo zjištěno, že oblast měření vlastností vody nabízí prostor pro tvorbu zařízení nových s přidanými funkcionalitami, jako měření více veličin zároveň a bezdrátové vyčítání dat s pomocí LoRa.

Práce diskutuje jak možnosti bezdrátového vyčítání dat, tak veličiny, které lze elektronicky měřit a jejich důležitost pro určení kvality vody. Konkrétně byly diskutovány tyto veličiny: TDS určující tvrdost vody, teplota, která je parametrem množení bakterií, pH, které je ze zákona ukazatelem kvality vody, ORP a zákal, poukazující na poruchy vodovodního vedení či pohyb zeminy v těsném okolí podzemních zdrojů vody. Pro přenos dat mezi uzly soustavy pro měření kvality vody byla zvolena technologie LoRa, která má vlastnosti vhodné pro zařízení vyvíjené v rámci této práce, zařízení pracující mimo oblasti s kvalitním mobilním pokrytím.

Druhá polovina textu je zaměřena na návrh samotného systému, výběr vhodných komponent a výpočty podkládající parametry vybraných součástí. Jako jádro jednotlivých modulů byl zvolen mikrokontroler ESP32 umístěný na desce, která nabízí periferie nezbytné pro přenos dat v soustavě komunikačních uzlů.

Prací jsou popsány využití komunikační prostředky, mezi které patří LoRa a Wi-Fi, a s nimi související algoritmy, například CRC. Předmětem návrhu modulu koncentrátoru je i vlastní webové rozhraní pro uživatelské vyčítání měřených veličin.

Cílem práce byla i kompletace prototypů navrhovaných zařízení. Úspěšným navržením, sestavením a testováním prototypů navrhovaných modulů bylo umožněno testování v jednom z cílových prostředí.

Navrhovanými moduly bylo umožněno dlouhodobé měření kvality vody bezdrátově na vzdálenost až několika kilometrů bez potřeby kontaktu s uživatelem. Možnost dálkového měření vlastností vody není nabízena žádným z výrobků prodávaných na internetových obchodech, které se uvádějí v kapitole o dostupných řešeních pro monitoring kvality vody. Bezdrátovou technologií přenosu dat, která je nabízena výrobcem zařízení pro měření kvality vody, je BLUETOOTH. Vzhledem k nízkému dosahu a nízké prostupnosti, ve srovnání s LoRa, této technologie, nebylo BLUETOOTH zařazeno mezi technologie pro vzdálený monitoring kvality vody využití v této práci. Většina dostupných řešení pro měření parametrů vody byla modulem sondy překonána počtem měřených veličin a bezdrátovým odečítáním dat přes modul koncentrátoru.



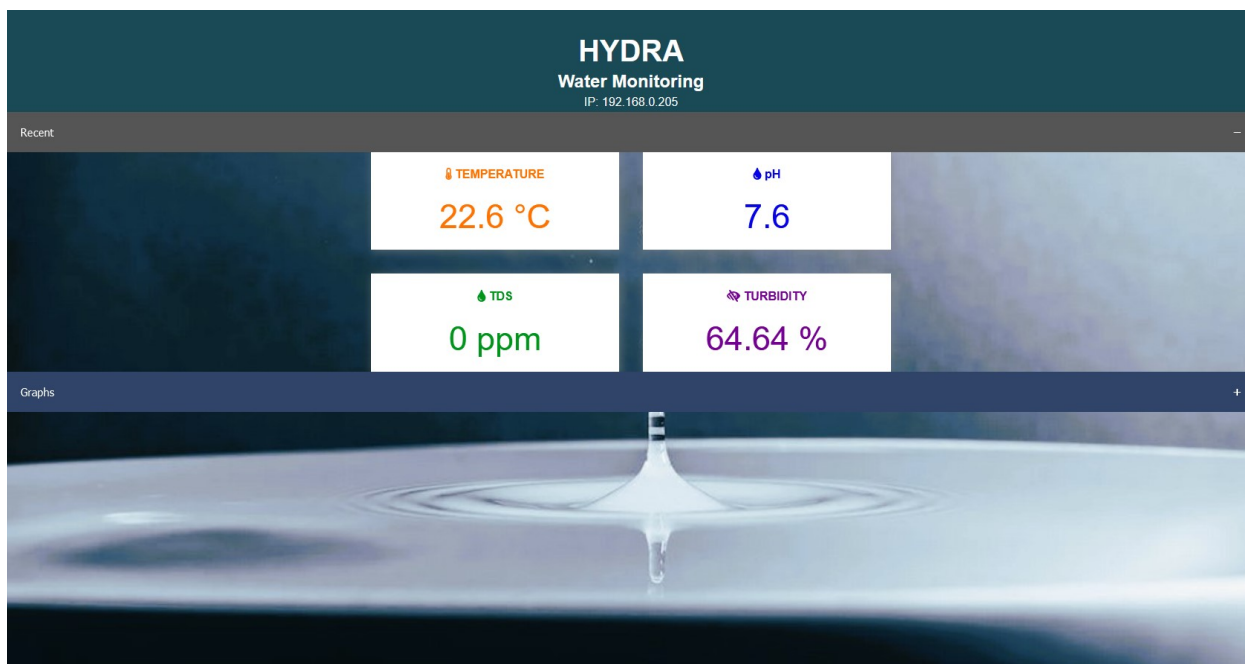
# Literatura

- [1] Bluetooth Technology Overview. Bluetooth [online]. online: Bluetooth SIG, 2022 [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>
- [2] Birge J. R., Wets R. J.-B. (1987): Computing bounds for stochastic programming problems by means of a generalized moment problem. *Mathematics of Operations Research* **12**, 149-162.
- [3] CHANTZIS, Fotios, Ioannis STAIS, Paulino CALDERON, Evangelos DEIRMENTZOGLOU a Beau WOODS. Practical IoT hacking: the definitive guide to attacking the internet of things. San Francisco: No Starch Press, 2020. ISBN 978-1718500907.
- [4] Čidlo rozpuštěných pevných látek ve vodě TDS. Laskakit [online]. Rychnov nad Kněžnou: Laskakit, 2022 [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/cidlo-rozpustenych-pevnych-latek-ve-vode-tds/>
- [5] Čidlo zákalu vody TS-300B. In: LáskaKit [online]. Rychnov nad Kněžnou: LáskaKit, 2023 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/cidlo-zakalu-vody-ts-300b/>
- [6] DIY MORE Sonda E201 pro měření PH. Laskakit [online]. Rychnov nad Kněžnou: LaskaKit, 2022 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/diymore-sada-sonda-e201-modul-ph-4502c-pro-mereni-ph/>
- [7] Greisinger G7500. In: Conrad [online]. Praha: Conrad, 2023 [cit. 2023-01-20]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/greisinger-g7500-multifunkcni-merici-pristroj-ph-hodnota-redox-orp-teplota-saturace-o2-koncentrace-o2-vodivost-1766318>
- [8] HEROUT, Pavel. Učebnice jazyka C. 4., přeprac. vyd. České Budějovice: Kopp, 2004. ISBN 80-7232-220-6.
- [9] KOPÁČEK, Jiří, Josef HEJZLAR a Martin RULÍK. Voda na Zemi. České Budějovice: Nakladatelství Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, 2020. ISBN 978-80-7394-834-4.
- [10] KURNIAWAN, Agus. Internet of Things Projects with ESP32: Build Exciting and Powerful IoT Projects Using the All-New Espressif ESP32: Build Exciting and Powerful IoT Projects Using the All-New Espressif ESP32. Birmingham: Packt Publishing, Limited, 2019. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/18V2L4MB>
- [11] Laboratorní rozbory vody. Profivoda [online]. Plasy: Profivoda, 2021 [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.profivoda.cz/uvod/rozbory-vody/>
- [12] LilyGO TTGO LoRa32 T3\_V1.6.1 433Mhz 0.96" SMA WiFi Modul. In: Laskakit [online]. Rychnov nad Kněžnou: Laskakit, 2023 [cit. 2023-01-19]. Dostupné z: [https://www.laskakit.cz/lilygo-ttgo-lora32-t3\\_v1-6-433mhz-0-96-sma-wifi-modul/](https://www.laskakit.cz/lilygo-ttgo-lora32-t3_v1-6-433mhz-0-96-sma-wifi-modul/)

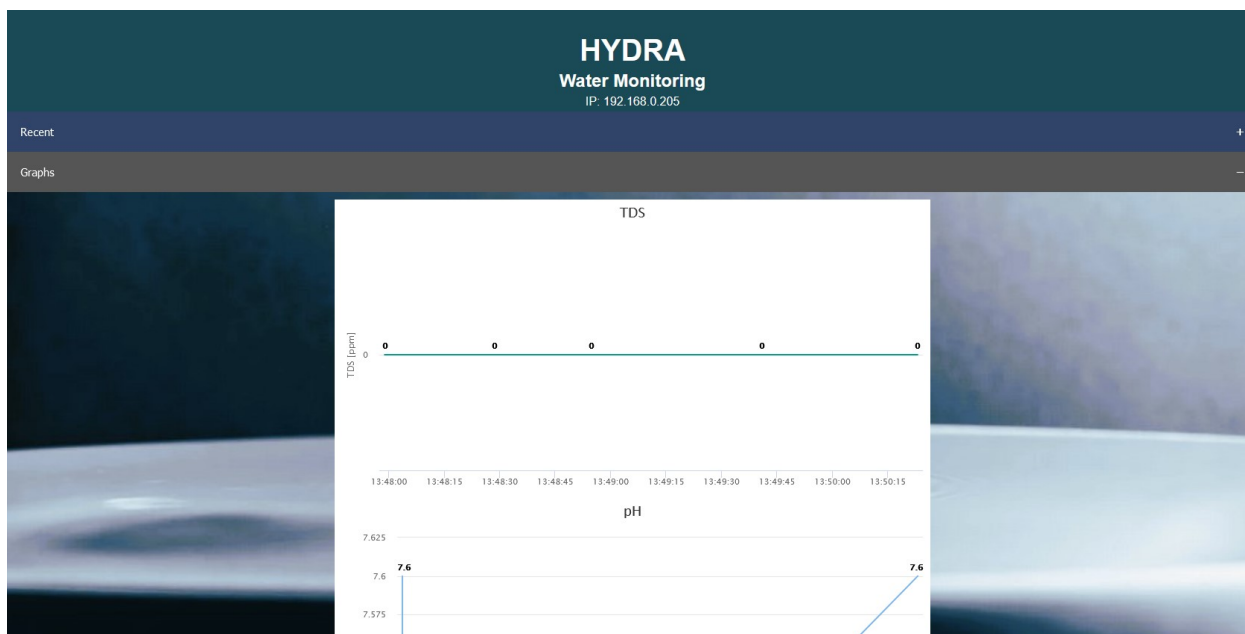
- [13] LoRaWAN, Sigfox nebo NB-IoT? Srovnání 3 významných typů IoT sítí. IoTPORT [online]. Praha: CRA, 2022 [cit. 2022-12-25]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/iot-novinky/lorawan/lorawan-sigfox-nebo-nb-iot-srovnani-3-vyznamnych-typu-iot-siti>
- [14] Měřiče a testery vody. Čistávoda [online]. Žilina: Čistávoda, 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://www.cistavoda.cz/merice-testery-vody/>
- [15] Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.: Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In: Sb.. Praha: Zákony pro lidi, 2022, ročník 2015, číslo 401. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401/>
- [16] Objednáváte připojení k IoT síti LoRa | IoTPORT. IoTPORT [online]. Praha: České Radiokomunikace, 2023 [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/objednavka-lorawan>
- [17] ORP. In: MOORE, W. J. Physical Chemistry. New York: Prentice Hall, 1972.
- [18] PIB\_IoT-Easy-Connect-Nb-IoT - iot-easy-connect-nb-iot-en.pdf. In: Vodafone IoT Easy Connect [online]. Praha: Vodafone Czech Republic, 2022, 04. listopadu 2021 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://www.ioteasyconnect.cz/assets/download/iot-easy-connect-nb-iot-en.pdf>
- [19] REITMEIER, Fabian. Základová fotografie na téma bubliny, černé a bílé pozadí, černobílý, hd tapety, kapky, kapky vody, makro fotografie, pozadí, pozadí webu, průzračná voda, stříkání, uvnitř, voda, zeď zdarma. In: Pexels [online]. Pexels.com: Pexels, 2017 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://images.pexels.com/photos/707847/pexels-photo-707847.jpeg?auto=compress&cs=tinysrgb&w=1260&h=750&dpr=1>
- [20] Samsung ICR18650-22P 2200mAh - 10A. In: Láskakit [online]. Rychnov nad Kněžnou: Láskakit, 2023 [cit. 2023-01-19]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/samsung-icr18650-22p-2200mah-10a/>
- [21] Select plan | Sigfox Buy. Sigfox [online]. Labège, Francie: Sigfox, 2022 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://buy.sigfox.com/buy/597f237bd0f4ae00015df186/discovery?numberOfDevices=&subscriptionLevel=plus>
- [22] Shenzhen Xin Yuan Electronic Technology Co., Ltd. Shenzhen Xin Yuan Electronic Technology Co., Ltd [online]. Guangdong: Shenzhen Xin Yuan Electronic Technology Co., 2020 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: [http://www.lilygo.cn/prod\\_view.aspx?TypeId=50003&Id=1270](http://www.lilygo.cn/prod_view.aspx?TypeId=50003&Id=1270)
- [23] Sigfox.cz - Connecting Things [online]. Praha, Česká republika: Sigfox, 2022 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://sigfox.cz/cs>

- [24] Solární panel 5.5V 0.44W. In: Laskakit [online]. Rychnov nad Kněžnou: Laskakit, 2023 [cit. 2023-01-19]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/solarni-panel-5-5v-0-44w/>
- [25] Solární panel 6V 1W. In: Laskakit [online]. Rychnov nad Kněžnou: Laskakit, 2023 [cit. 2023-01-19]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/solarni-panel-6v-1w/>
- [26] SPECIFICATION OF PRODUCT for Lithium-ion Rechargeable Cell Model : ICR18650-22P. In: Laskakit [online]. Rychnov nad Kněžnou: Laskakit, 2022, 1. 3. 2022 [cit. 2022-11-16]. Dostupné z: [https://www.laskakit.cz/user/related\\_files/accu-18650-2-2p-hv.pdf](https://www.laskakit.cz/user/related_files/accu-18650-2-2p-hv.pdf)
- [27] TDS metr Iné. Čistávoda [online]. Žilina: čistávoda, 2023, 2023 [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://www.cistavoda.cz/tds-metr/>
- [28] Umw\_ds18b20\_en.pdf. In: LaskaKit [online]. Rychnov nad Kněžnou: LaskaKit, 2023 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: [https://www.laskakit.cz/user/related\\_files/umw\\_ds18b20\\_en.pdf](https://www.laskakit.cz/user/related_files/umw_ds18b20_en.pdf)
- [29] Vodafone IoT Easy Connect. Vodafone IoT Easy Connect [online]. Praha, Česko: Vodafone Czech Republic, 2021 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://www.ioteasyconnect.cz/>
- [30] Vodoměry, analýza kapalin. Conrad [online]. Praha: Conrad, 2022 [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/o/vodomery-analyza-kapalin-0601108>
- [31] Vodotěsný kapesní pH metr AD12. Čistávoda [online]. Žilina: čistávoda, 2022, 2022 [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.cistavoda.cz/vodotesny-kapesni-ph-metr-ad12/>
- [32] VOLTCRAFT LWT-100 měřič vodivosti Kalibrováno dle (ISO) vodivost, salinita, uvolněné částice (TDS). Conrad [online]. Praha: Conrad, 2022 [cit. 2022-11-09]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/volcraft-lwt-100-meric-vodivosti-kalibrovano-dle-iso-vodivost-salinita-uvolnene-castice-tds-1993167>
- [33] WaveShare SIM7000E eMTC EDGE GPRS GNSS, HAT Modul pro Raspberry Pi | LaskaKit. LaskaKit [online]. Rychnov nad Kněžnou: LaskaKit, 2022 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/waveshare-sim7000e-emtc-edge-gprs-gnss-hat-modul-pro-raspberry-pi/>
- [34] 1NCE Shop | Purchase the 1NCE IoT Flat Rate | 1NCE - IoT SIM. 1NCE [online]. Cologne (Germany): 1NCE, 2023 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://shop.1nce.com/portal/shop/cart>

## A. Formátově velké obrázky



Obrázek A.1: Aktuální měření zobrazené prostřednictvím lokálního web-serveru.



Obrázek A.2: Grafy dostupné přes lokální web-server.



**Webhooks via IFTTT** <action@ifttt.com> [Odhlásit odběr](#)

komu: mně ▾

**What:** hydra\_value

**When:** May 9, 2023 at 08:44AM

**Extra Data:** turbidity is too high, the value is: 65.6 %.

**Obrázek A.3:** Příklad e-mailu, který je zasílán prostřednictvím IFTTT.