

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra informačního inženýrství**



**Bakalářská práce**

**Vytvoření bezdrátové stanice pro chytré zemědělství**

**Ladislav Herynek**

© 2021 ČZU v Praze

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ladislav Herynek

Systémové inženýrství a informatika  
Informatika

Název práce

**Vytvoření bezdrátové stanice pro chytré zemědělství**

Název anglicky

**Creating a Wireless Station for Precision Agriculture**

---

### Cíle práce

Cílem práce bude vytvořit hardwarovou a softwarovou část bezdrátové stanice se senzory pro chytré zemědělství, která bude v terénu sbírat data a za pomoci low power sítě je posílat dál ke zpracování.

### Metodika

Teoretická část práce se bude věnovat problematice senzorů v precizním zemědělství. Společně se senzory budou popsány low power sítě, které zajišťují přenos dat ze senzorů k dalšímu zpracování. Základem je literární rešerše odborné literatury.

Praktická část práce se bude věnovat vlastní stavbě stanice. Hlavním stavebním prvkem bude platforma Arduino. Stavba bude dokumentována včetně potřebných částí programového kódu.

Na základě získaných poznatků bude formulován závěr práce.

## Doporučený rozsah práce

30-40 stran

## Klíčová slova

Arduino, senzor, precizní zemědělství, low power síť, IoT

---

## Doporučené zdroje informací

BELL, C A. *Beginning sensor networks with Arduino and Raspberry Pi*. [New York, New York]: Apress, 2013. ISBN 1430258241.

KROULÍK, M. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. STAVEBNÍ FAKULTA. *Technika v technologii precizního zemědělství [rukopis] : habilitační práce*. Disertační práce. Praha: 2013.

KROULÍK, Milan a Václav BRANT. Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby [online]. České Budějovice: Kurent [cit. 2020-06-11]. ISBN 978-80-87111-81-9. Dostupné z: <https://cpz.czu.cz/cs/r-12241-aktuality/nova-publikace-implementace-principu-precizniho-zemedelstvi-.html>

SELECKÝ, Matúš. *Arduino: Uživatelská příručka*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4840-2.

VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. Bučovice: Nakladatelství Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7.

---

## Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – PEF

## Vedoucí práce

Ing. Marek Pícka, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra informačního inženýrství

---

Elektronicky schváleno dne 19. 11. 2020

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 19. 11. 2020

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 12. 03. 2021

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vytvoření bezdrátové stanice pro chytré zemědělství" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.3.2021

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Marku Píckovi, Ph.D., za rady a odborné vedení mé bakalářské práce.

# Vytvoření bezdrátové stanice pro chytré zemědělství

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá stavbou bezdrátové stacionární stanice se senzory, jejichž využití je zaměřeno na precizní zemědělství. Cílem je navrhnout a postavit hardwarovou i softwarovou část a získaná data přenášet nízkoenergetickými sítěmi do datového úložiště v internetu. Ke stavbě stanice byla použita oblíbená platforma Arduino a senzory pro sledování teploty, půdní a vzdušné vlhkosti. Klíčové vlastnosti stanice jsou nízkoenergetický bezdrátový provoz, odolnost vůči klimatickým jevům a přesnost měření. Výsledkem je funkční prototyp, jehož stavba je snadno replikovatelná. Přesnost naměřených hodnot byla potvrzena porovnáním s výstupy z dalších stanic. Výsledný prototyp lze rozšiřovat o další moduly a vytvářet tak komplexnější systém.

**Klíčová slova:** Arduino, LPWAN, Senzor, Precizní zemědělství, IoT, Bezdrátový, Vlhkost, Teplota, Půdní vlhkost, Nízká spotřeba

# Creating a Wireless Station for Precision Agriculture

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the construction of a wireless stationary station with sensors, which is focused on precision agriculture. The aim is to design and build the hardware and software part with the data transfer via low-energy network to the cloud. The prototype is built from the Arduino platform with sensors for monitoring temperature, humidity and soil moisture. The key features of the station are low energy wireless operation, resistance to climatic phenomena and measurement accuracy. The result is a functional prototype which is easily replicable. The accuracy of the measured values was confirmed with output values from the other stations. The solution can be extended with shields and some sensors to create a more complex system.

**Keywords:** Arduino, LPWAN, Sensor, Precision Agriculture, IoT, Wireless, Humidity, Temperature, Soil Moisture, Low Consumption

# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Úvod</b> .....                                  | <b>8</b>  |
| <b>2 Cíl práce a metodika</b> .....                  | <b>9</b>  |
| 2.1 Cíl práce .....                                  | 9         |
| 2.2 Metodika .....                                   | 9         |
| <b>3 Teoretická východiska</b> .....                 | <b>10</b> |
| 3.1 Internet věcí (IoT) .....                        | 10        |
| 3.1.1 Architektura .....                             | 11        |
| 3.1.2 Vrstva výměny dat (Konektivita) .....          | 12        |
| 3.1.2.1 Sigfox .....                                 | 13        |
| 3.1.2.2 LoRa .....                                   | 14        |
| 3.1.2.3 NB-IoT .....                                 | 16        |
| 3.1.2.4 Technické srovnání sítí.....                 | 16        |
| 3.2 Precizní zemědělství.....                        | 17        |
| 3.2.1 Globální družicový polohový systém .....       | 19        |
| 3.2.2 Dálkový průzkum Země (DPZ) .....               | 20        |
| 3.2.3 Senzory .....                                  | 21        |
| 3.2.3.1 Elektrické a elektromagnetické senzory ..... | 22        |
| 3.2.3.2 Optické a radiometrické senzory .....        | 23        |
| 3.2.3.3 Mechanické senzory .....                     | 24        |
| 3.2.3.4 Další typy senzorů .....                     | 25        |
| 3.2.3.5 Kritéria výběru senzoru .....                | 25        |
| 3.3 Arduino .....                                    | 26        |
| 3.3.1 Arduino MKR 1300 .....                         | 26        |
| 3.3.2 DHT22 .....                                    | 29        |
| 3.3.3 DS18B20.....                                   | 29        |
| 3.3.4 Capacitive Soil Moisture Sensor.....           | 30        |
| <b>4 Vlastní práce</b> .....                         | <b>32</b> |
| 4.1 Návrh řešení .....                               | 33        |
| 4.1.1 DHT22 .....                                    | 33        |
| 4.1.2 DS18B20.....                                   | 34        |
| 4.1.3 Capacitive Soil Moisture Sensor.....           | 35        |
| 4.2 Realizace .....                                  | 36        |
| 4.2.1 Hardware.....                                  | 36        |
| 4.2.2 Software .....                                 | 38        |



|          |                                      |           |
|----------|--------------------------------------|-----------|
| 4.2.3    | Energetická náročnost.....           | 40        |
| 4.2.3.1  | Životnost baterií.....               | 41        |
| 4.2.4    | LoRa připojení .....                 | 41        |
| 4.2.4.1  | Připojení do sítě.....               | 42        |
| 4.3      | Testování a kalibrace systému .....  | 44        |
| 4.3.1    | Capacitive Soil Moisture Sensor..... | 44        |
| 4.3.2    | DS18B20.....                         | 44        |
| 4.3.3    | DHT22 .....                          | 44        |
| 4.4      | Prezentace nasnímaných dat .....     | 45        |
| <b>5</b> | <b>Výsledky a diskuse .....</b>      | <b>47</b> |
| 5.1      | Hodnocení prototypu.....             | 47        |
| 5.1.1    | Silné stránky prototypu.....         | 47        |
| 5.1.2    | Slabé stránky prototypu .....        | 47        |
| <b>6</b> | <b>Závěr.....</b>                    | <b>48</b> |
| <b>7</b> | <b>Seznam použitých zdrojů .....</b> | <b>50</b> |
| <b>8</b> | <b>Přílohy .....</b>                 | <b>53</b> |
| 8.1      | Příloha 1 – Zdrojový kód .....       | 53        |

## Seznam obrázků

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Obr. č. 3.1  | - Architektura IoT .....                                | 11 |
| Obr. č. 3.2  | - Kategorie přenosových sítí .....                      | 12 |
| Obr. č. 3.3  | - Architektura sítě SigFox .....                        | 13 |
| Obr. č. 3.4  | - Architektura sítě LoRa .....                          | 14 |
| Obr. č. 3.5  | - Mapa pokrytí signálem LoRa od ČRa .....               | 15 |
| Obr. č. 3.6  | - Precizní zemědělství .....                            | 18 |
| Obr. č. 3.7  | - Schéma systému DPZ .....                              | 20 |
| Obr. č. 3.8  | - Příklad kontaktního elektrického senzoru .....        | 22 |
| Obr. č. 3.9  | - Příklad aplikace LIDAR .....                          | 24 |
| Obr. č. 3.10 | - Schéma desky MKR 1300 .....                           | 27 |
| Obr. č. 3.11 | - DHT22 .....   | 29 |
| Obr. č. 3.12 | - Teplotní senzor DS18B20 .....                         | 30 |
| Obr. č. 3.13 | - Analogový snímač vlhkosti půdy .....                  | 31 |
| Obr. č. 4.1  | - Schéma systému .....                                  | 33 |
| Obr. č. 4.2  | - Schéma zapojení DHT22.....                            | 34 |
| Obr. č. 4.3  | - Schéma zapojení DS18B20 .....                         | 35 |
| Obr. č. 4.4  | - Schéma zapojení půdního senzoru .....                 | 35 |
| Obr. č. 4.5  | - Realizace hlavní části a půdního senzoru .....        | 36 |
| Obr. č. 4.6  | - Spodní část agrostanice .....                         | 37 |
| Obr. č. 4.7  | - Umístění na zkušebním pozemku.....                    | 38 |
| Obr. č. 4.8  | - Schéma běhu programu .....                            | 39 |
| Obr. č. 4.9  | - IoT portál od ČRa.....                                | 42 |
| Obr. č. 4.10 | - Příklad výstupu z csv souboru (teplota a napětí)..... | 46 |

|  |    |
|--|----|
| Obr. č. 4.11 - Příklad výstupu z csv souboru (vlhkost) ..... | 46 |
|--|----|

## **Seznam tabulek**

|   |    |
|---|----|
| Tab. 3.1 - Porovnání LPWAN sítí .....                         | 16 |
| Tab. 3.2 - Rozdíly mezi prostředky DPZ .....                  | 20 |
| Tab. 4.1 - Energetická náročnost .....                        | 40 |
| Tab. 4.2 - Kalibrace senzorů, přehled naměřených hodnot ..... | 45 |

## **Seznam použitých zkratk**

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| LPWAN | Low Power Wide Area Network |
| IoT   | Internet of Things          |
| ČRa   | České Radiokomunikace       |

# 1 Úvod

Chytré zemědělství je mezioborová disciplína, která v posledních letech nabrala na intenzitě zkoumání potenciálu možného využití. Užití v praxi akceleroval pokrok v technologiích, které tento obor využívá a také environmentální změny a potřeby lidstva na efektivnější a šetrnější využití zdrojů v zemědělství. Přesné zemědělství lze považovat za systém pro podporu rozhodování, který využívá širokou škálu senzorů pro sběr dat.

Tato práce je o stavbě prototypu stanice se senzory, které budou snímat teplotu, vzdušnou a půdní vlhkost a pomocí LPWAN sítě přenášet nasnímaná data z pole do internetu, kde budou připravena k dalšímu zpracování. Význam stavby spočívá ve zkoumání její složitosti a proveditelnosti. Vše za využití běžně dostupných elektro součástek a platformy Arduino.

Arduino je populární stavebnice, která vznikla s cílem vysvětlit základy elektrotechniky studentům technických oborů a v současnosti se rozrostla do šíře, kde její aplikovatelnost je od domácího užití až po průmyslové aplikace.

Práce má dvě hlavní části, část teoretickou a praktickou. V teorii se věnuji IoT se zaměřením na vrstvu konektivity, technologiím přesného zemědělství, které tvoří pilíře tohoto oboru a platformě Arduino. Popis klíčových komponent prototypu uzavírá teoretickou část. Praktická část pojednává o samotné stavbě stanice, jako schémata zapojení jednotlivých komponent, popis stavby hardwaru, umístění prvků do klimaticky odolného řešení, kódování, připojení do LPWAN sítě a testování a kalibrace senzorů.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem práce je navrhnout a zkonstruovat prototyp stacionární stanice se senzory pro precizní zemědělství. Naměřená data jednotlivých fyzikálních jevů budou přenášena pomocí vybrané LPWAN sítě z terénu do datového úložiště v internetu. Stanice bude postavena na platformě Arduino a bude využívat senzory kompatibilní s touto platformou. Klíčové vlastnosti projektu, které lze považovat za dílčí cíle, jsou bezdrátový přenos dat, nízko energetický provoz, odolnost vůči klimatickým jevům a přesnost měření. Práce se nezabývá zpracováním a interpretací naměřených dat.

### **2.2 Metodika**

Základním stavebním prvkem práce bude rešerše odborné literatury, odborných nebo vědecky zaměřených internetových zdrojů a dokumentace k jednotlivým hardwarovým prvkům konstrukce.

Teoretická část bude vycházet ze studia odborných knih, elektronických článků a webových prezentací. Tuto část práce budu strukturovat do logických bloků, které budou psány principem od obecného k detailnějšímu. Smyslem této části je získat dostatečné teoretické znalosti pro samotnou konstrukci stanice. Oblasti, kterým se zde budu věnovat jsou IoT, precizní zemědělství a Arduino. U IoT se zaměřím na vrstvu konektivity, v precizním zemědělství se budu věnovat technologiím, které tvoří pilíře této víceoborové disciplíny a s Arduinem popíšu klíčové komponenty použité při stavbě prototypu.

Praktická část bude popisovat samotnou stavbu prototypu stanice včetně připojení do LPWAN sítě. Bude obsahovat schémata zapojení a dokumentaci realizace hardwarové i softwarové části. Celý projekt bude zakončen testováním funkčnosti stanice se zaměřením na přesnost snímání sledovaných fyzikálních jevů.

Na základě získaných poznatků bude formulován závěr práce.

## 3 Teoretická východiska

### 3.1 Internet věcí (IoT)

Internet věcí, IoT, anglicky Internet of Things. Pojem, pro který existuje mnoho různých definic. Jedna z možných příčin výskytu velkého počtu definic je přesah, jaký má. Je to oblast, která zasahuje do každého oboru lidské činnosti a každý obor má svůj pohled na definici IoT. Důkazem je studie, kterou provedl tým organizace IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Studie se jmenuje „Towards a definition of the Internet of Things (IoT)“. Jsou zde desítky definic, které nám mají pomoc objasnit co IoT je, nebo není. Níže v textu uvádím tři citace z této studie.

ITU (International Telecommunication Union) Skupina 13 pracovala na definici standardů pro sítě nových generací a pojem IoT definovala.

*„A global infrastructure for the information society, enabling advanced services by interconnecting (physical and virtual) things based on existing and evolving interoperable information and communication technologies.“<sup>1</sup>*

IoT-A Project je evropský projekt s cílem zpracovat referenční model IoT architektury. *It can be seen as an umbrella term for interconnected technologies, devices, objects and services.“<sup>2</sup>*

Cisco (Bradley, „Internet of Everything“, 2013).

*„The Internet of everything: Bringing together people, process, data and things to make networked connections more relevant and valuable than ever before, turning information into actions that create new capabilities, richer experiences and unprecedented economic opportunity for business, individuals and countries.“<sup>3</sup>*

Z výše uvedeného vyplývá, že IoT je globální síťová architektura postavená na internetu, kde internet je platformou, prostřednictvím které dochází k výměně dat a vzájemné interakci. Každý objekt, který je připojen k internetu, obvykle bezdrátově a má

---

<sup>1</sup> MINERVA, Roberto, Abyi BIRU a Domenico ROTONDI. Towards a definition of the Internet of Things (IoT).

<sup>2</sup> MINERVA, Roberto, Abyi BIRU a Domenico ROTONDI. Towards a definition of the Internet of Things (IoT).

<sup>3</sup> MINERVA, Roberto, Abyi BIRU a Domenico ROTONDI. Towards a definition of the Internet of Things (IoT).

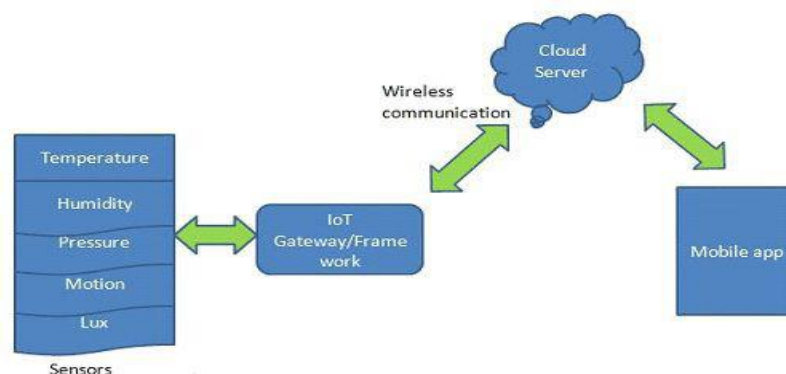
nějakou inteligenci, je považován za prvek internetu věcí (IoT). Standardní internetové protokoly HTTP nebo SMTP jsou rozšířeny o nový typ komunikace M2M (machine-to-machine). M2M je koncepce určená pro vzájemnou komunikaci mezi stroji nebo řídicími systémy.<sup>4</sup>

### 3.1.1 Architektura

Model služby vypadá tak, že objekt vybavený senzory nebo jinými aktivními prvky měří nějaké fyzikální nebo jiné jevy. Prostřednictvím síťové (obvykle bezdrátové) konektivity, předává data do cloudu. Cloud, serverová část, slouží k ukládání, filtrování a transformaci dat. Uživatel získá požadované informace z aplikace, která přistupuje k datům v cloudu (serverová část).<sup>5</sup>

Z výše uvedeného vyplývá, že se jedná o čtyřvrstvou architekturu:

1. senzory (snímací),
2. výměna dat (konektivita),
3. integrace (serverová část),
4. aplikace (koncový uživatel).



Obr. č. 3.1 - Architektura IoT<sup>6</sup>

<sup>4</sup> SALAZAR, Jordi a Santiago SILVESTRE. *Internet věcí*.

<sup>5</sup> SALAZAR, Jordi a Santiago SILVESTRE. *Internet věcí*.




<sup>6</sup> How does IoT works? - IoT Architecture explained with Examples. Dostupné z: <https://iotdunia.com/iot-architecture/>.

V následující části bakalářské práce se zaměřuji na vrstvu výměny dat, tedy zajištění konektivity mezi senzory a servery.

### 3.1.2 Vrstva výměny dat (Konektivita)

IoT využívá k přenosu dat mezi senzory a servery standardní síťové protokoly a technologie, zejména bezdrátové. Hlavními aspekty výběru konektivity v IoT jsou dosah bezdrátového spojení a energetická náročnost.

Kategorie síťového spojení v IoT jsou:

| LAN   | Cellular  | Low Power WAN   |
|---|---|---|
| short range communicating devices   | Long range Traditional M2M  | Long range & Low power Internet of objects  |
| <p>👍 Mobile Short range</p> <p>👎 Long range Battery life</p>                        | <p>👍 Long range High data rate coverage</p> <p>👎 Battery life</p>                   | <p>👍 Long range Low battery Low cost</p> <p>👎 Data rate</p>                           |
|  |  |  |
| <p>Range:</p> <p>Bluetooth: 30ft</p> <p>Wi-Fi : 100ft</p> <p>ZigBee : 1000ft</p>    | <p>FSK: 2+ Mile</p>   | <p>LoRa: 10 Mile range</p>  |

Obr. č. 3.2 - Kategorie přenosových sítí <sup>7</sup>

- LAN je nejběžněji používaná síť, velmi rozšířená zejména v segmentu domácích a osobních zařízení a senzorů.
- Cellular zahrnuje mobilní technologie. Vyniká vysokou propustností dat, ovšem za cenu vyšší energetické náročnosti. Výdrž baterií je nízká. Pro svůj provoz potřebuje mít vybudovanou hustou síť přístupových bodů.
- LPWAN, česky nízkoenergetická širokopásmová síť, má nižší datovou propustnost a nízkou energetickou náročnost. Tyto faktory předurčují tento typ sítě pro použití v aplikacích se senzory, které posílají data na velké vzdálenosti. Typ sítě vhodný pro průmyslové, zemědělské nebo městské IoT aplikace.

<sup>7</sup> Comparison of LAN, Cellular and LPWAN. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Comparative-Study-on-Variou-LPWAN-and-Cellular-Gaddam-Rai/67d9fdebe6e4811a1751f3eb99a96dcd3f2a82d1/figure/2>.

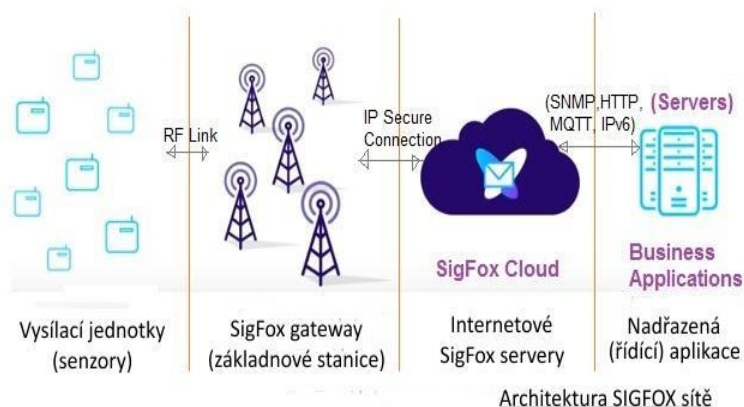
### 3.1.2.1 Sigfox

Síť s patentovanou technologií zajišťující end-to-end konektivitu. Pracuje s nenáročným komunikačním protokolem pro přenos velmi malých dat na velkou vzdálenost. Aktuální verze protokolu umožňuje obousměrnou komunikaci mezi koncovým zařízením (senzor) a řídicí jednotkou. Komunikace je omezena pouze množstvím odeslaných zpráv za 24 hodin. Ze senzoru je možné odeslat 140 zpráv za den a směrem ke koncovému zařízení je možné poslat 4 zprávy za den (potvrzovací zprávy). Operační dosah sítě záleží na kvalitě antény a zastavěnosti prostoru a pohybuje se v intervalu 10-40 km. Výhodou sítě Sigfox je, že pro vyslání zprávy potřebuje šířku pásma pouhých 100 Hz. Díky kombinaci nízké rychlosti a úzkého pásma je možné demodulovat i signály blízké hladině šumu. Mezi další výhody patří nízká spotřeba elektrické energie a jednoduchá a levná konstrukce antény.<sup>8</sup>

Síť je založena na topologii hvězda a princip fungování je:

- Sensory pošlou zprávu.
- Základnová stanice zprávu demoduluje.
- Prostřednictvím sítě operátora je zpráva odeslána do Sigfox cloudu.<sup>9</sup>

Není předem definována struktura zpráv a identifikace zařízení v síti je zajištěna unikátním identifikátorem (sériové číslo).<sup>10</sup>



Obr. č. 3.3 - Architektura sítě SigFox<sup>11</sup>

<sup>8</sup> MEKKI, Kais, Eddy BAJIC, Frederic CHAXEL a Fernand MEYER. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment.

<sup>9</sup> SIGFOX - princip, struktura, protokol, použití. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/sigfox-princip-struktura-protokol-pouziti.html>.

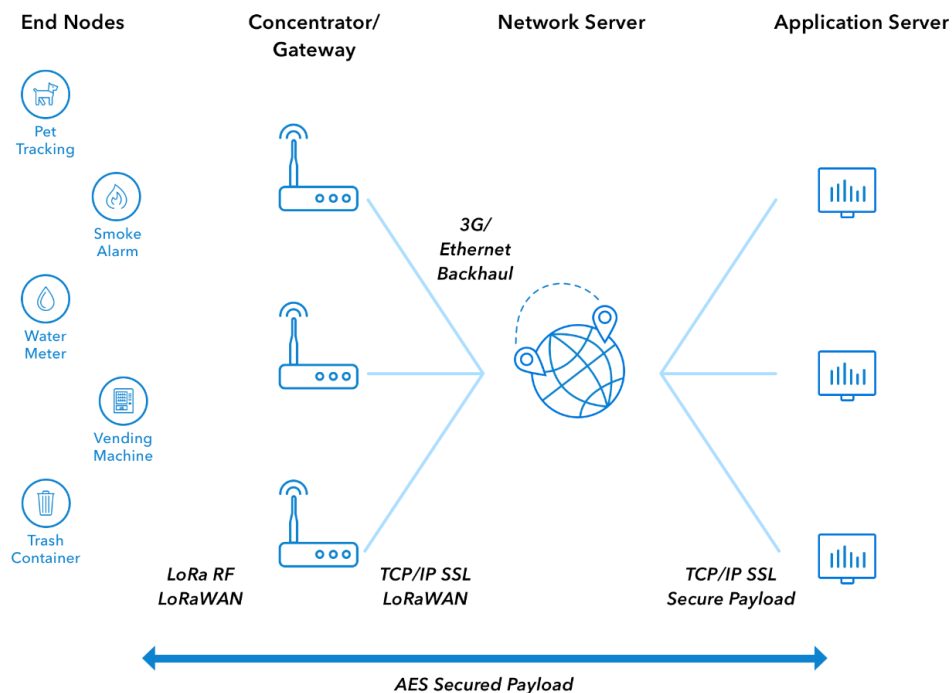
<sup>10</sup> SIGFOX - princip, struktura, protokol, použití. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/sigfox-princip-struktura-protokol-pouziti.html>.

<sup>11</sup> SIGFOX - princip, struktura, protokol, použití. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/sigfox-princip-struktura-protokol-pouziti.html>.



### 3.1.2.2 LoRa

Anglicky Long Range. Síť určená pro přenos malých dat na velké vzdálenosti. Síť tvoří koncová zařízení, základnové stanice (koncentrátory/brány) a síťový server.



Obr. č. 3.4 - Architektura sítě LoRa <sup>12</sup>

Pracuje v nelicencovaném pásmu stejně jako Sigfox. Pro Evropu je to na frekvenci 868 MHz. Obousměrná komunikace mezi koncovými zařízeními a základnovou stanicí je zajištěna modulací CSS. Vzdálenost přenosu dat je různá, je závislá na zastavěnosti prostoru. Ve volném prostranství může být uskutečněn přenos na vzdálenost až 20 km, v zastavěné oblasti je to kolem 5 km. Signál je odolný proti rušení a je těžké signál detekovat. <sup>13</sup>

LoRaWAN protokol zajišťuje zabezpečený přenos dat. Každé koncové zařízení má své jedinečné EUI (64 bitový identifikátor) a tři nezávislé 128 bitové šifrovací klíče pro kódování zpráv metodou AES (Network Session Key, Application Session Key a Application Key). Network Session Key šifruje spojení mezi koncovým zařízením a síťovým serverem a autentizuje zařízení v LoRa síti. Application Session Key šifruje

<sup>12</sup> *The Things Network* [online]. Dostupné z: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/>.

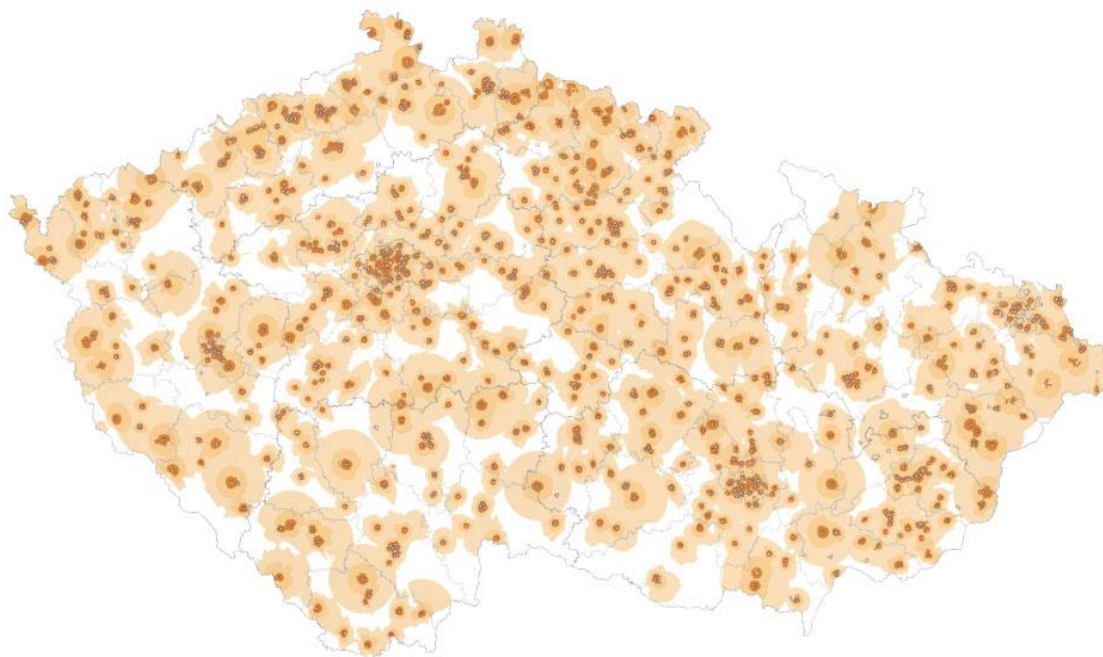
<sup>13</sup> MEKKI, Kais, Eddy BAJIC, Frederic CHAXEL a Fernand MEYER. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment.

samotná data a pouze aplikační server je umí dešifrovat. Application Key se generuje při vzniku požadavku na připojení do sítě.<sup>14</sup>

LoRa vyniká nízkou spotřebou energie. Tu lze modifikovat buď dynamickým nastavením vysílacího výkonu nebo četností odesílacích zpráv. Byly definovány tři třídy:

- Třída A: vysílání je iniciováno koncovým prvkem, na základě události nebo vnitřním časovačem.
- Třída B: vysílání je iniciováno v pravidelných intervalech.
- Třída C: vysílání je zajištěno nepřetržitě, zprávy lze přijímat kdykoliv.<sup>15</sup>

V roce 2015 byla založena LoRa Alliance, která pečuje o standard LoRa a globální šíření této technologie.<sup>16</sup> V ČR nabízí slušné pokrytí signálem LoRa České radiokomunikace. Dostupnost této sítě vychází z velké množiny vlastních vysílačů a ČRa rozsah pokrytí signálem LoRa postupně rozšiřuje včetně roamingu do zahraničí.<sup>17</sup>



Obr. č. 3.5 - Mapa pokrytí signálem LoRa od ČRa<sup>18</sup>

---

<sup>14</sup> *The Things Network* [online]. Dostupné z: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/>.

<sup>15</sup> MEKKI, Kais, Eddy BAJIC, Frederic CHAXEL a Fernand MEYER. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment.

<sup>16</sup> MEKKI, Kais, Eddy BAJIC, Frederic CHAXEL a Fernand MEYER. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment.

<sup>17</sup> Služby CRA IoT. Dostupné z: <https://www.cra.cz/sluzby-iot>.

<sup>18</sup> Služby CRA IoT. Dostupné z: <https://www.cra.cz/sluzby-iot>.

### 3.1.2.3 NB-IoT

Anglicky Narrow Band IoT. Je to nejnovější síť v oblasti LPWAN. Bezdrátová úzkopásmová technologie, která využívá infrastruktury LTE. Síť je vybudována dle standardu 3GPP. Technicky má oproti běžnému LTE o 20 dB silnější signál a omezenou sadu funkcionalit. Silnější signál umožní snazší prostupnost překážkami a zajistí lepší pokrytí signálem (např. sklepní prostory, pod vodní hladinou apod.). Bezpečnost je zajištěna na úrovni licencovaného LTE pásma pro mobilní telefony, šifrování LTE. Je umožněna obousměrná komunikace. Mezi hlavní výhody patří: aplikační jednoduchost, nízká spotřeba energie, jednoduché moduly a dobré pokrytí uvnitř budov. U nízké spotřeby energie je udávána hodnota výdrže baterie kolem 10 let při průměrném denním přenosu dat o velikosti 200 bytů.<sup>19 20</sup>

### 3.1.2.4 Technické srovnání sítí

|  | <b>Sigfox</b>                         | <b>LoRa</b>         | <b>NB-IoT</b> |
|--|---------------------------------------|---------------------|---------------|
| <b>Modulace</b>                        | BPSK                                  | CSS                 | QPSK          |
| <b>Šířka pásma</b>                     | 100 Hz                                | 250 kHz,<br>125 kHz | 200 kHz       |
| <b>Maximální přenosová rychlost</b>    | 100 bps                               | 50 kbps             | 200 kbps      |
| <b>Dosah</b>                           | 10-40 km                              | 5-20 km             | 1-10 km       |
| <b>Počet zpráv za den</b>              | 140 (upload)<br>4 (download)          | neomezeně           | neomezeně     |
| <b>Maximální objem přenesených dat</b> | 12 bytů (upload)<br>8 bytů (download) | 243 bytů            | 1600 bytů     |
| <b>Odolnost proti rušení</b>           | Velmi vysoká                          | Velmi vysoká        | Nízká         |

Tab. 3.1 - Porovnání LPWAN sítí<sup>21</sup>

<sup>19</sup> MEKKI, Kais, Eddy BAJIC, Frederic CHAXEL a Fernand MEYER. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment.

<sup>20</sup> MOŽNÝ, Radek. *Univerzální testovací zařízení pro ověření komunikačních parametrů technologie NarrowBand IoT* [online].

<sup>21</sup> MEKKI, Kais, Eddy BAJIC, Frederic CHAXEL a Fernand MEYER. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment.

## 3.2 Precizní zemědělství

Precizní zemědělství nebo také přesné zemědělství je nový způsob hospodaření s půdou, který do zemědělství zavádí velké technologické změny. Cílem je maximalizace rostlinných výnosů a jejich kvality a minimalizace negativních dopadů na životní prostředí. Precizní/přesné zemědělství v kombinaci s bezdrátovými nízko energetickými sítěmi přináší automatizaci do zemědělské výroby. Slovo přesné má v tomto pojetí klíčový význam, protože vyjadřuje podstatu precizního zemědělství. Je využíváno senzorů, informačních a navigačních technologií pro přesné dávkování agrochemie, postřiků, závlahy, znalost klimatických podmínek na pozemku nebo přesný pohyb techniky po poli. Smyslem přesného zemědělství je dát rostlině přesně to, co potřebuje, aby byla v dobré kondici.<sup>22</sup>

Využívají se informační technologie jako navigace, senzory, dálkový průzkum Země a aplikují se v celém pěstebním cyklu – od sklizně (výnosové mapy) přes zpracování půdy, hnojení, ochranu rostlin až k další sklizni.

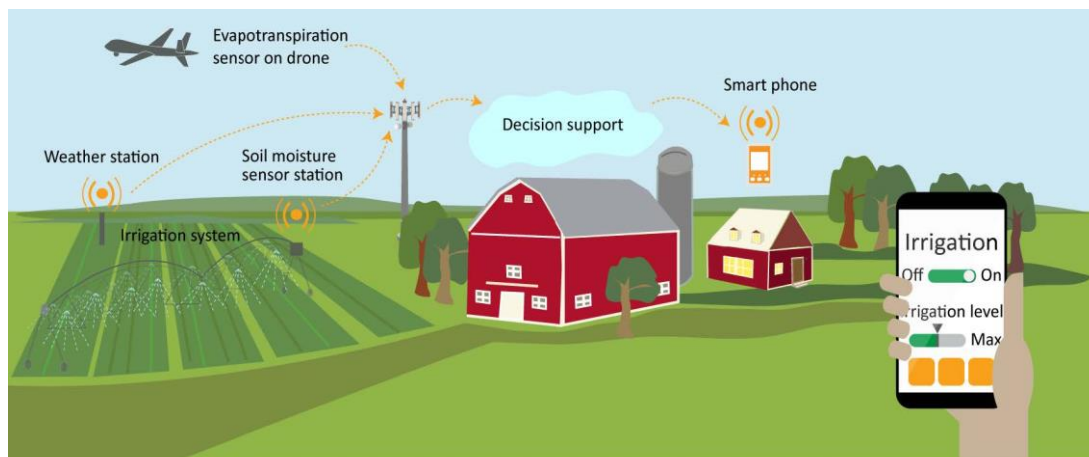
Precizní zemědělství jako informační systém, konkrétně jako systém pro podporu rozhodování zahrnuje níže uvedený cyklus:

- sběr dat (vzorkování půdy, senzory),
- diagnostika,
- analýza dat (mapování, plánování),
- provedení příslušné operace,
- zhodnocení.<sup>23</sup>

---

<sup>22</sup> YOST, M., N. KITCHEN, K. SUDDUTH, R. MASSEY, E. SADLER, S. DRUMMOND a M. VOLKMANN. A long-term precision agriculture system sustains grain profitability.

<sup>23</sup> YOST, M., N. KITCHEN, K. SUDDUTH, R. MASSEY, E. SADLER, S. DRUMMOND a M. VOLKMANN. A long-term precision agriculture system sustains grain profitability.



Source: GAO. | GAO-20-1285P

Obr. č. 3.6 - Precizní zemědělství<sup>24</sup>

Precizní zemědělství je typicky mezioborovou disciplínou. Propojujeme znalosti a nejmodernější poznatky z oblasti biologických, technických a ekonomických věd. Komplexnost systému je příčinou, že tato již více jak 20 let stará myšlenka není do praxe zavedena zdaleka tak, jak se na začátku rozvoje precizního zemědělství předpokládalo. V praxi se často jednotlivé technologie, prvky informačního systému používají izolovaně a netvoří tak ucelený komplexní informační systém pro podporu rozhodování, protože existuje mnoho problému v integraci mezi biologickou a technickou částí. Běžně se dnes používá navádění strojů přes GPS, ale systémy pro diferencované hnojení a setí už tolik rozšíření nejsou (odhad 10–20% zemědělské půdy). Celkový potenciál precizního zemědělství je tak využíván pouze částečně.<sup>25 26</sup>

V následujících kapitolách se budu věnovat popisu těch technologií, které tvoří základ každého systému inteligentního, precizního, zemědělství. Páteřními systémy jsou navigace, dálkový průzkum Země a senzory. Vzájemnou kombinací lze vytvářet komplexní systémy pro rostlinnou i živočišnou výrobu s přínosem ekonomickým i environmentálním.

<sup>24</sup> File: Figure 16 Components of a Precision Agriculture System.jpg. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Figure\\_16\\_Components\\_of\\_a\\_Precision\\_Agriculture\\_System\\_\(49132514563\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Figure_16_Components_of_a_Precision_Agriculture_System_(49132514563).jpg).

<sup>25</sup> RYBKA, Adolf a Milan ŠTASTNÝ. *Precizní zemědělství*.

<sup>26</sup> HERATH, Chaminda Shaman. *Factors influencing farmers' decision making in terms of technology adoption in agriculture of Sri Lanka and the Czech Republic*.

### 3.2.1 Globální družicový polohový systém

GNSS, Global Navigation Satellite Systems, je systém, který má za úkol prostorové určení polohy s celosvětovým pokrytím. Základem systému jsou družice na oběžné dráze Země. Každá družice vysílá rádiové vlny a uživatel systému získá za pomoci rádiového přijímače geografickou polohu s přesností na jednotky metrů a čas s přesností na jednotky nanosekund. Specializované aplikace mohou získat přesnost polohy až na několik centimetrů při využití korekčních signálů (RTK korekce). Nejpoužívanějším systémem je GPS (Global Positioning System) provozovaný americkou armádou. Zkratka GPS je v současné době vnímána jako obecné označení pro jakýkoliv systém zjišťování polohy. Existují však i jiné systémy jako ruský GLONASS, evropský Galileo a čínský BeiDou.<sup>27</sup>

Přesný určení polohy je hlavní aspekt precizního zemědělství. Do zemědělství začalo GPS pronikat na začátku 90. let 20. století. Začalo to implementací systému GPS do sklízecí mlátičky (kombajn) vybavenou zařízením pro měření okamžitého výnosu. Oba údaje jsou důležité pro tvorbu výnosových map. Různá úroveň GPS vybavení je běžnou součástí každého nového zemědělského stroje. Dalším faktorem, který vede k rozšíření použití GPS v zemědělství, je dostupnost a přesnost GPS signálu. Zemědělec může užívat bezplatný signál EGNOS, který umožňuje pracovat s přesností určení polohy kolem +/- 25 cm. S touto přesností lze například stroj použít k rozmetání minerálních hnojiv. Pokud chceme pomocí GPS provádět řádkové setí nebo zpracovávat půdu, pak je nutné využít službu s vyšší přesností jako RTK, kde pracujeme s přesností určení polohy +/- 2-4 cm. Signál RTK sebou nese náklady na vybudování nebo na pronájem a pravidelný poplatek za RTK signál.<sup>28</sup>

Přínosy použití GPS v zemědělství jsou úspora pohonných hmot, snížení přejezdů, snížení nežádoucího zhutnění půdy, snížení množství aplikovaných látek, čas strávený na pozemku, práce v noci nebo za snížené viditelnosti.

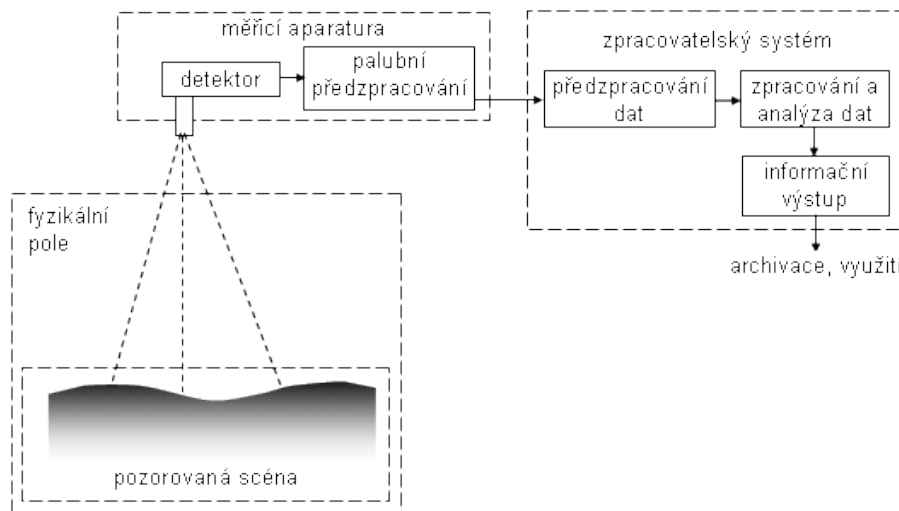
---

<sup>27</sup> BARNA, Róbert, Katalin TÓTH, Mónika NAGY a Kristóf SOLYMOŠI. Technical characteristics of global navigation satellite systems and their role in precision agriculture.

<sup>28</sup> JELÍNEK, Zdeněk. *Využití metod precizního zemědělství v zemědělském podniku* [online].

### 3.2.2 Dálkový průzkum Země (DPZ)

Sběr informací o objektech a jevech na Zemi bez nutnosti přímého fyzického kontaktu. Principem je vytváření digitálních snímků s vysokým rozlišením z družic nebo letadel.



Obr. č. 3.7 - Schéma systému DPZ<sup>29</sup>

Sběr informací může být zajištěn různými prostředky:

- družice na oběžné dráze Země (Landsat, Sentinel, NOAA),
- letecký průzkum (vrtulová letadla, helikoptéry),
- bezpilotní prostředky (např. křídlo eBee RTK).<sup>30</sup>

Volba vhodného prostředku je závislá na aspektech jako nákladovost, včasnost pořízení snímku, rozlišení snímku apod...

| Vlastnost        | Družice     | Letecký průzkum | Bezpilotní prostředky |
|------------------|-------------|-----------------|-----------------------|
| <b>Dosah</b>     | Celosvětový | Regionální      | Lokální               |
| <b>Pokrytí</b>   | 10 km       | 1 km            | 100 m                 |
| <b>Rozlišení</b> | 0.3–300 m   | 5-25 cm         | 5-10 cm               |
| <b>Opakování</b> | Dny         | hodiny          | minuty                |

Tab. 3.2 - Rozdíly mezi prostředky DPZ<sup>31</sup>

<sup>29</sup> Dálkový průzkum Země. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/geoinformatika/kap08.htm>.

<sup>30</sup> SHAFI, U., R. MUMTAZ, J. GARCÍA-NIETO, S. HASSAN, Zaidi SAR a N. IQBAL. Precision Agriculture Techniques and Practices.

<sup>31</sup> SHAFI, U., R. MUMTAZ, J. GARCÍA-NIETO, S. HASSAN, Zaidi SAR a N. IQBAL. Precision Agriculture Techniques and Practices.

Pro precizní zemědělství je nutné znát přesnou polohu, mít vytvořené aplikační mapy a sledovat stav půdy a rostlin. Dálkový průzkum lze využít pro mapování půdy, sledování rostlin, stanovení management zón, sledovat vliv sucha, škůdců a chorob nebo zhutnění půdy.

### 3.2.3 Senzory

Inteligentní, přesné, precizní, zemědělství znamená dělat variabilní zásahy při hospodaření. Rozdělit pozemek na menší, homogenní bloky, často označované jako management zóny. Variabilní zásah je přímo závislý na zjištěných parametrech půdy nebo stavu porostu. Stav půdy můžeme zjistit dvěma způsoby, a to buď vzorkováním nebo senzory. Vzorkování provedeme mechanicky v odběrové síti. Následuje analýza fyzikálních vlastností půdy, obsah organických hmot nebo živin. Senzory poskytují data o půdě nebo rostlině v reálném čase. Mohou být umístěny staticky na pozemku nebo na mechanizaci. Nabízí širokou škálu možností získávání údajů. Shromažďujeme informace o rostlině v průběhu celého jejího vývojového cyklu a kombinujeme je s informacemi o charakteristikách půdy, kde se rostlina nachází s předpovědí počasí pro danou oblast. Tedy od meteostanice až k radarům, které dokážou do určité hloubky zmapovat strukturu půdy, zásobenost vodou nebo pomocí elektrické vodivosti zjišťovat stav živin. Například existují senzory pro stanovení kvality sklizně. Přístroje pracují v infračervené oblasti. Analýzou zrna (materiálu) zjišťují obsah bílkovin. Zemědělci tak oddělí zrno s vyšším obsahem bílkovin, které pak výhodněji zobchodují.<sup>32 33</sup>

Senzory obvykle pracují na těchto principech:

- elektrické a elektromagnetické,
- optické a radiometrické,
- mechanické,
- akustické a pneumatické,
- elektrochemická čidla.<sup>34</sup>

---

<sup>32</sup> KROULÍK, Milan a Václav BRANT. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby* [online].

<sup>33</sup> KROULÍK, Milan a Jiří KŘEPELKA. Senzory pro měření půdních vlastností.

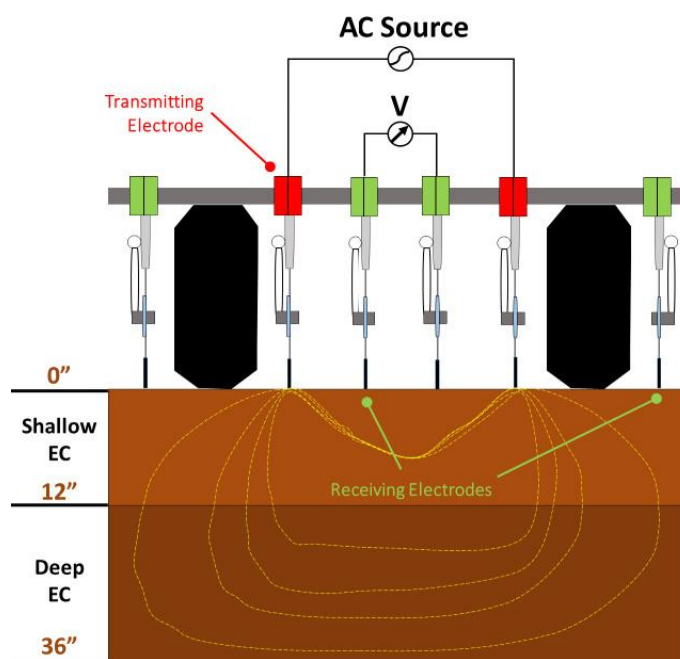
<sup>34</sup> KROULÍK, Milan a Jiří KŘEPELKA. Senzory pro měření půdních vlastností.



### 3.2.3.1 Elektrické a elektromagnetické senzory

Princip spočívá ve schopnosti půdy vést elektrický proud. Půda se stává součástí elektrického obvodu a signál je ovlivněn lokálními vlastnostmi půdy. Z pohledu geofyzikálního průzkumu půdy nás zajímá elektromagnetická indukce a elektrický odpor. Všeobecně je elektromagnetická indukce chápána jako neinvazivní metoda, protože se jedná o bezkontaktní senzor, který vytváří elektromagnetické pole a měří půdní vodivost. Oproti tomu některé senzory pracující na bázi měření elektrického odporu vyžadují zavedení elektrody do půdního profilu. Z toho vyplývá, že senzory dělíme na elektrické, nebo elektromagnetické a pak na vyžadující nebo nevyžadující kontakt s půdou.<sup>35</sup>

Na níže uvedeném obrázku je elektrický senzor součástí zemědělského stroje. Senzory jsou například součástí secích strojů nebo kypřičů.



Obr. č. 3.8 - Příklad kontaktního elektrického senzoru<sup>36</sup>

Elektrické nebo elektromagnetické senzory jsou nejčastěji používaným typem čidla v precizním zemědělství pro mapování půdní variability. Zemědělci získají rychle přesnou charakteristiku půdního prostředí. Těmito senzory lze zjistit organické složení půdy, pH,

<sup>35</sup> KROULÍK, Milan a Václav BRANT. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby* [online].

<sup>36</sup> HAWKINS, Elizabeth, John FULTON a Kaylee PORT. Using Soil Electrical Conductivity (EC) to Delineate Field Variation.

zásobenost vodou, obsah jílu, teplotu a další parametry. V této oblasti jsou běžně dostupné komerční řešení a z výrobců lze jmenovat Veris Technologies, Geonics Limited, CMD nebo Geocarta.<sup>37</sup>

### 3.2.3.2 Optické a radiometrické senzory

Optické a radiometrické senzory využívají odrazivost světla, případně další signály elektromagnetických vln k charakteristice půdních vlastností a rostlinného porostu. Zastoupení v této kategorii mají optické senzory, radary, gamaspektrometry nebo LIDAR.<sup>38</sup>

Optické senzory pracují s různými spektry elektromagnetického záření (obvykle s oblastí viditelného a infračerveného spektra). Optickými senzory můžeme sledovat organické složení půdy, vlhkost, obsah jílovitých částic či chemické vlastnosti půdy jako pH, fosfor a dusík. Jsou využívány v dálkovém průzkumu, kdy snímání je prováděno družicí, leteckým snímáním, bezpilotním prostředkem nebo umístěním na zemědělské technice. S jejich pomocí sledujeme hustotu nebo výšku rostlinného porostu, jeho zbarvení, množství slunečního svitu, upravujeme dávkování hnojiva nebo vytváříme výnosové mapy, kde můžeme kategorizovat pozemky na oblasti s vysokým, středním a nízkým výnosem.<sup>39</sup>

Gamaspektrometry jsou založeny na principu měření prvků s přirozenou radioaktivitou v půdě. Překážkou těchto senzorů je cena, jde o vysoce nákladnou technologii. Půdní radary najdou uplatnění hlavně v geofyzice. Pracují na principu sledování pohybu vln v půdě.<sup>40</sup>

LIDAR (Light Detection And Ranging) je technologie pro měření vzdálenosti využívající laserového paprsku. Osvětluje prostor laserovým paprskem (světlem) a měří odražené světlo optickým snímačem. Výhodou této technologie je schopnost provádět přesná měření přes den i v noci a nejsme limitováni atmosférickými vlivy. Z časového rozdílu mezi vysláním signálu a příjmem signálu je určena vzdálenost od nasvětleného objektu. Relativní poloha objektu je měřena v pěti rozměrech (tři polohové koordináty, čas

---

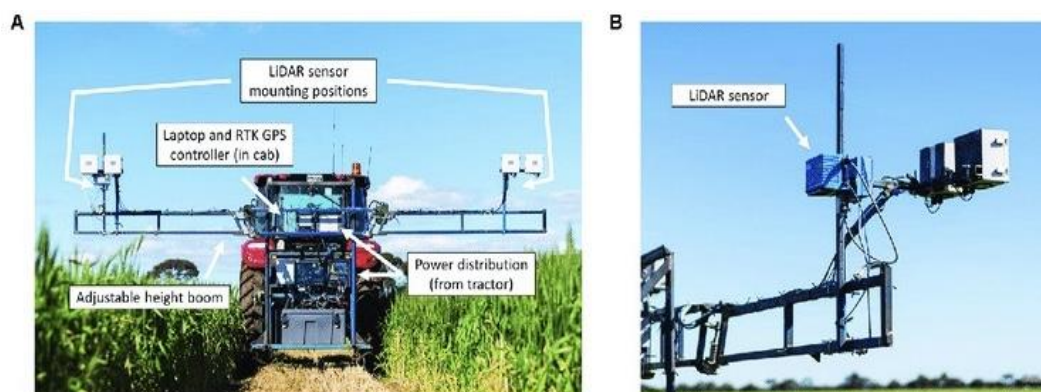
<sup>37</sup> KROULÍK, Milan a Václav BRANT. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby* [online].

<sup>38</sup> KROULÍK, Milan a Václav BRANT. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby* [online].

<sup>39</sup> KROULÍK, Milan a Václav BRANT. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby* [online].

<sup>40</sup> KROULÍK, Milan a Václav BRANT. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby* [online].

a intenzita světla) a této schopnosti je využíváno pro 3D modelování objektů a prostoru (3D scanner, topografické mapy polí) a je významnou technologií k automatizaci v zemědělství (autonomní stroje).<sup>41</sup>



Obr. č. 3.9 - Příklad aplikace LIDAR<sup>42</sup>

### 3.2.3.3 Mechanické senzory

Senzory využívají konstrukci, která proniká do půdy a tahová síla, která je potřebná pro tuto činnost, se zaznamenává. Měříme půdní mechanický odpor. Využívá se to zejména po přejezdech těžké techniky, k zjištění stupně zhutnění/utužení půdy. Měří se vynaložená tahová síla při práci se stroji na pozemku. Typickým zástupcem je penetrometr. Je to zařízení, které měří vertikální nebo horizontální zhutnění půdy. Vertikální měření nelze provádět za pohybu. Naopak horizontální penetrometry jsou dnes součástí zemědělské mechanizace (traktoru) a za jízdy měří tahový odpor. Měření pomocí penetrometru jsou ovlivněna mnoha faktory, které jsou zdrojem chyb při mapování tahové síly. Mezi faktory patří půdní nerovnost, rozdíly v rychlosti jízdy, pracovní hloubce, vlhkosti půdy (významný faktor), nastavení stroje, variabilita pozemku a další. Mapování tahové síly znamená, že k naměřeným hodnotám půdního odporu přidáme prostorové informace a čas měření. Znalost tahové síly je dobrá pro optimalizaci a kalibraci zemědělských strojů, ověření technických změn na strojích a volbu optimálního zpracování půdy. Zhutnění půdy má přímý vliv na úrodnost daného pozemku.<sup>43</sup>

<sup>41</sup> FAHEY, Thomas, Hai PHAM, Alessandro GARDI, Roberto SABATINI, Dario STEFANELLI, Ian GOODWIN a David LAMB. Active and Passive Electro-Optical Sensors for Health Assessment in Food Crops.

<sup>42</sup> WALTER, James, James EDWARDS, Glenn MCDONALD a Haydn KUCHEL. Estimating Biomass and Canopy Height With LiDAR for Field Crop Breeding.

<sup>43</sup> KROULÍK, Milan a Václav BRANT. Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby [online].

#### 3.2.3.4 Další typy senzorů

Alternativa k mechanickým senzorům jsou pneumatická čidla, která měří propustnost půdy pro vzduch. Určitý objem vzduchu je vtlačen do půdy a porovnává se tlak potřebný pro vtlačení tohoto vzduchu do určité hloubky. Akustické senzory se používají pro měření změny hladiny hluku při používání nástroje s půdou. Oba uvedené typy senzorů potřebují ještě další výzkum, protože je velmi málo objasněn vztah mezi výstupy senzorů a půdními vlastnostmi. Posledním zástupcem jsou elektrochemické senzory. Senzory zde představují elektrody, které rozpoznají aktivitu specifických iontů (dusík, draslík, vodík). Elektrochemická čidla jsou umístěna na pohyblivém rámu a odebrání vzorku a jeho analýza zabere řádově několik minut. Tato metoda vykazuje vyšší chybovost než manuální vzorkování a vyšetření v laboratoři, ale zvýšením množstvím vzorků lze tuto chybovost snížit.<sup>44</sup>

#### 3.2.3.5 Kritéria výběru senzoru

Volbu vhodného senzoru ovlivňuje několik aspektů a patří sem:

- prostor,
- náklady,
- přesnost,
- komplexnost řešení,
- zpracování dat (real-time, následné zpracování).

---

<sup>44</sup> KROULÍK, Milan a Václav BRANT. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby* [online].

### 3.3 Arduino

Jednodeskový počítač využívající mikroprocesory ATmega. Vznikl v Itálii jako školní pomůcka. S rozvojem IoT se rozšířil jeho rozsah využitelnosti i do dalších oborů. Arduino je šířeno pod licencí Open source a tak existuje mnoho klonů většinou pocházejících z Číny. V současnosti výrobce Arduina nabízí na tři desítky typů desek lišící se svou velikostí, použitelností a rozšiřitelností moduly zvanými Shield. Kromě rozšiřujících modulů lze k Arduinu připojovat i externí komponenty jako LCD displeje, servomotory a různá další čidla. S těmito prvky lze budovat řešení od chytré domácnosti až po implementace v průmyslových nebo zemědělských odvětvích.

Deska je programovatelná pomocí jazyka Wiring přes sériový port. Sériový port dnes není typickým vybavením osobních počítačů a z toho plyne, že je téměř každá deska vybavena USB portem a převodníkem USB na sériovou linku. Desky, které USB port nemají, můžeme tímto portem vybavit pomocí rozšiřujícího modulu. Příčinou obvykle bývá velikost desky, příkladem může být typ Lillypad. Velikost desky určuje nejen přítomnost USB portu, ale i počet pinů na desce, velikost EEPROM paměti, velikost čipu. Mezi populární desky patří typy Uno, Mega a Nano.<sup>45</sup>

Pro své řešení jsem vybral řadu MKR. MKR je řada vyvinutá se zaměřením na IoT oblast. Desky jsou menších rozměrů, s podporou LPWAN sítí a nízkou spotřebou elektrické energie.

#### 3.3.1 Arduino MKR 1300

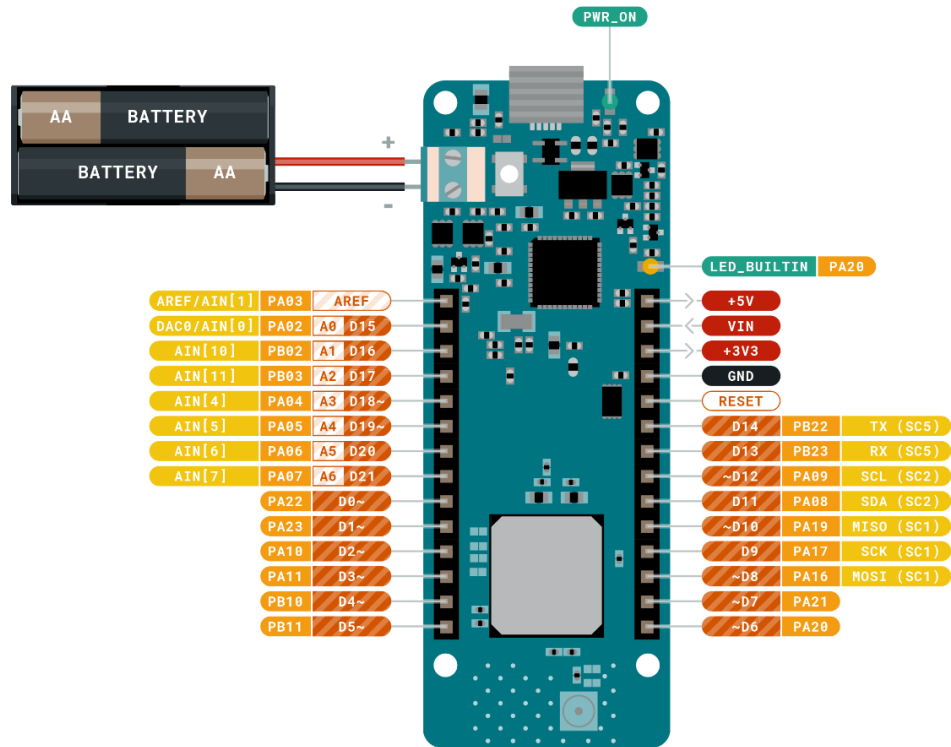
Deska z rodiny MKR. Vyznačuje se nízkou spotřebou elektrické energie, malým rozměrem má a podporou LoRa protokolu. Desku je možné připojit k LoRa síti bez hlubokých znalostí počítačových sítí. Je osazena čipem Atmel SAMD21 a LoRa modulem Murata.<sup>46</sup>

Na následující stránce je schéma rozložení prvků na desce a přehled pinů. Pod obrázkem uvádím výčet vybraných prvků ze schématu včetně krátkého popisu.

---

<sup>45</sup> SELECKÝ, Matuš. *Arduino*.

<sup>46</sup> ARDUINO MKR WAN 1300 (LORA CONNECTIVITY). Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-mkr-wan-1300-lora-connectivity-1414>.



|        |              |             |                        |
|--------|--------------|-------------|------------------------|
| Ground | Internal Pin | Digital Pin | Microcontroller's Port |
| Power  | SWD Pin      | Analog Pin  |                        |
| LED    | Other Pin    | Default     |                        |

ARDUINO.CC  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1886, Mountain View, CA 94042, USA.

Obr. č. 3.10 - Schéma desky MKR 1300<sup>47</sup>

### Popis vybraných prvků:

- USB port s převodníkem na sériovou linku. USB port napájí desku, prostřednictvím USB portu nahráváme program do paměti desky a umožňuje i výstup po sériové lince, který je zobrazován prostřednictvím serial monitoru ve vývojovém prostředí Arduino.
- Resetovací tlačítko se nachází hned vedle konektoru pro připojení baterie. Resetuje Atmel čip, tedy vymaže obsah proměnných a spustí program znovu.

<sup>47</sup> ARDUINO MKR WAN 1300 (LORA CONNECTIVITY). Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-mkr-wan-1300-lora-connectivity-1414>.

- Anténa je připojena přes UFL konektor na desce. Může být připojena standardní GSM anténa, která vyhovuje námi požadované LoRa frekvenci.
- LED\_BuiltIn je jediný aktivní prvek na desce, který může poskytnout zpětnou vazbou programátorovi, je tedy velmi vhodný pro debugging.
- LED\_PWR\_ON indikuje napájení přes USB port nebo externí zdroj připojený na VIN pin. Svítí zeleně. Pokud je deska napájena z baterie je tato LED dioda odpojena. Důvodem je úspora energie.
- Desku lze provozovat na externí napájecí zdroj nebo na baterie typu AA nebo AAA. Lze mít zapojené baterie současně s externím napájecím zdrojem a při přerušení napájení z externího napájecího zdroje se automaticky přepne napájení desky na baterie.
- Vin pin připojuje externí napájení k desce. Pin pracuje pouze v módu INPUT a maximální napětí je od 5V do 6V. Je-li pro napájení využit tento pin, pak dojde automaticky k odpojení USB napájení.
- 5V, VCC jsou piny pracující v módu OUTPUT (výstupní) a slouží jako zdroj elektrické energie do námi budovaného elektrického obvodu. Můžeme k těmto pinům připojit například napájecí pole. Rozdíl mezi 5V a VCC je, že VCC má na výstupu 3.3V, protože napětí emuluje napěťový regulátor.
- GND je pin, kterým uzavíráme námi budovaný obvod, připojujeme ho k zemi.
- Digitální piny mohou pracovat ve dvou módech: OUTPUT (výstup), nebo INPUT (vstup) s dvěma stavy HIGH (1), nebo LOW (0). HIGH reprezentuje přítomnost napětí v pinu, LOW znamená, že pin je bez napětí. Obě hodnoty nastavujeme pomocí metod, přičemž volba metody je závislá na módu, ve kterém pin pracuje. Jsou to metody digitalWrite() a digitalRead().
- Několik pinů kromě digitálního signálu, umí zpracovávat i analogový signál. Jsou to piny A0 až A6. Analogové piny umí pracovat pouze v módu INPUT (vstup) s rozsahem hodnot od 0 do 1023. Pro čtení vstupu z tohoto pinu je připravena metoda analogRead().<sup>48 49</sup>

---

<sup>48</sup> ARDUINO MKR WAN 1300 (LORA CONNECTIVITY). Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-mkr-wan-1300-lora-connectivity-1414>.

<sup>49</sup> SELECKÝ, Matuš. *Arduino*.

### 3.3.2 DHT22

Senzor teploty a vlhkosti. Na výstupu nabízí kalibrovaný digitální signál. Není vodotěsný. Vyniká nízkou spotřebou, malou velikostí a dlouhým dosahem (20m). K snímání využívá kapacitní čidlo a teplotu měří v rozsahu od -40 do 80 °C s přesností 0,5 °C a vlhkost od 0 do 100% s přesností 2-5%. Nejmenší perioda snímání je po dvou sekundách.<sup>50</sup>



Obr. č. 3.11 - DHT22<sup>51</sup>

Elektrické vlastnosti:

- Napájení minimálně na 3.3V, typicky 5V a maximálně 6V.
- Spotřeba při měření 1–1.5mA.
- Spotřeba v režimu Stand-by 40–50uA.<sup>52</sup>

### 3.3.3 DS18B20

Teplotní digitální senzor vhodný do venkovních prostor, vodotěsný. Čidlo komunikuje s jednodeskovým počítačem pomocí jednoho datového vodiče (1 datový pin) a je možné zapojit přes jeden datový pin více těchto teplotních čidel najednou. Umožňuje to vlastnost, kdy každé čidlo má svůj unikátní 64bitový kód. Sensor snímá teplotu v rozsahu -55–125°C s přesností 0.5°C v rozsahu -10–85°C.<sup>53</sup>

---

<sup>50</sup> LIU, Thomas. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302).

<sup>51</sup> Arduino DHT22 teploměr a vlhkoměr digitální. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1188-dht22-teploměr-a-vlhkoměr-digitalní.html>.

<sup>52</sup> LIU, Thomas. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302).

<sup>53</sup> Datasheets DS18B20. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.





Obr. č. 3.12 - Teplotní senzor DS18B20<sup>54</sup>

Elektrické vlastnosti:

- Napájení 3–5.5V.
- Spotřeba při měření 1–1.5mA.
- Spotřeba v režimu Stand-by 750–1000nA.<sup>55</sup>

### 3.3.4 Capacitive Soil Moisture Sensor

Analogový kapacitní snímač vlhkosti půdy. Oproti sondám pracujícím na principu elektrod nabízí významně delší životnost, protože nedochází k brzké degradaci sondy elektrolyzou. Elektronika sondy nemá ochranu proti vlivům okolí, je potřeba ji izolovat například pryskyřicí nebo jiným krytem, který zabrání kontaktu s vodou.<sup>56</sup>

---

<sup>54</sup> Teploměr vodotěsný - sonda 2m DS18B20. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/2029-teplomer-vodotesny-sonda-2m-ds18b20.html>.

<sup>55</sup> Datasheets DS18B20. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.

<sup>56</sup> Půdní analogový vlhkoměr s antikorozi sondou. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/654/1531824339.pdf>.



Obr. č. 3.13 - Analogový snímač vlhkosti půdy<sup>57</sup>

Elektrické vlastnosti:

- Napájení 3.3–5.5V.
- Spotřeba kolem 6mA.<sup>58</sup>

---

<sup>57</sup> Analogový snímač vlhkosti půdy V1.2. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/4875-pudni-vlhkomer-analogovy-s-antikorozni-sondou-v1.2.html>.

<sup>58</sup> Půdní analogový vlhkoměr s antikorozií sondou. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/654/1531824339.pdf>.

## 4 Vlastní práce

Cílem práce je sestavit prototyp bezdrátové stanice se senzory pro precizní zemědělství a pomocí nízkoenergetických sítí přenášet data ze senzorů k dalšímu zpracování. Klíčové vlastnosti projektu jsou nízká energetická náročnost, bezdrátový provoz, přenos dat využitím LPWAN sítě, přesnost měření a odolnost konstrukce proti klimatickým jevům.

Funkční požadavky:

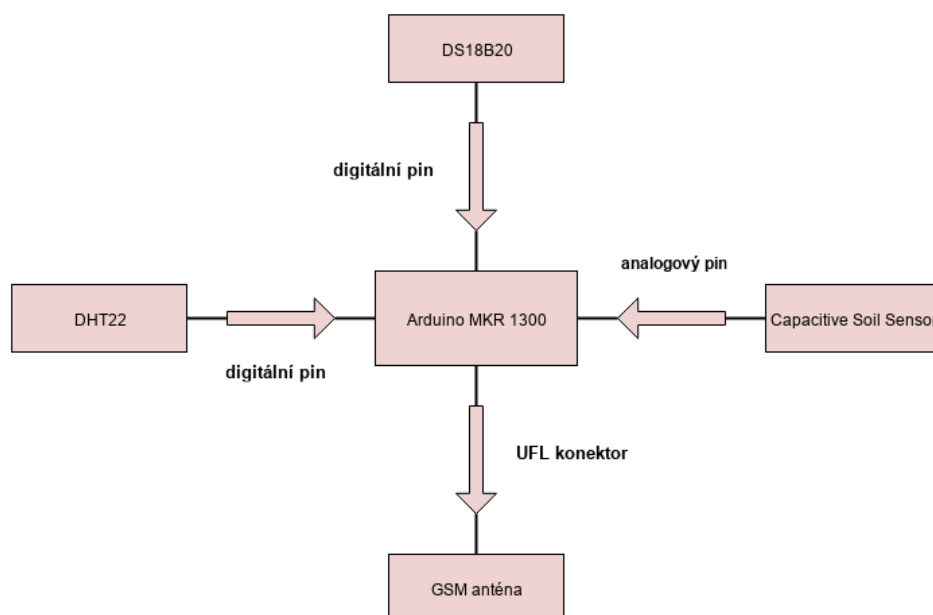
- bezdrátové řešení,
- jednoduchá instalace,
- nízká energetická náročnost,
- klimaticky odolné řešení,
- přesnost měření,
- záznam naměřených hodnot.

Omezení:

- je stavěn prototyp,
- platforma Arduino,
- přenos dat využitím sítě LPWAN.

## 4.1 Návrh řešení

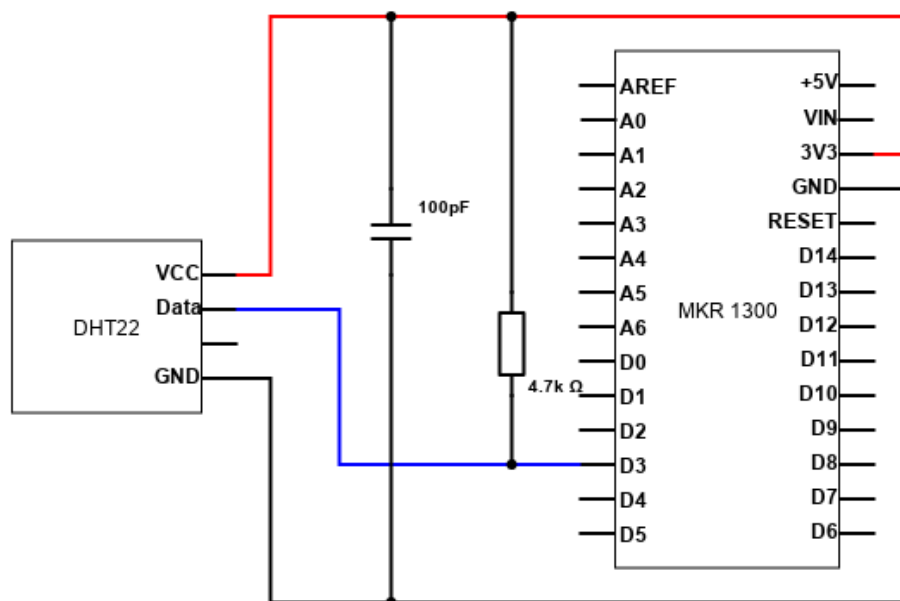
Na obrázku níže naleznete základní schéma propojení jednotlivých komponent s jednodeskovým počítačem Arduino MKR 1300. Schéma jsem kreslil v programu Schemat. Schéma znázorňuje datové propojení s jednodeskovým počítačem. Zapojení zdroje a uzemnění není v tomto nákresu znázorněno. Senzor pro měření vlhkosti (DHT22) a senzor pro měření teploty jsou propojeny s Arduinem přes digitální pin. Senzor pro sledování zásobenosti půdy vodou (Capacitive Soil Moisture Sensor) je připojen k Arduinu jedním vodičem do analogového pinu. Digitální pin pracuje s dvěma hodnotami (HIGH, LOW). Analogový pin pracují s hodnotami v rozsahu 0-1023.



Obr. č. 4.1 - Schéma systému

### 4.1.1 DHT22

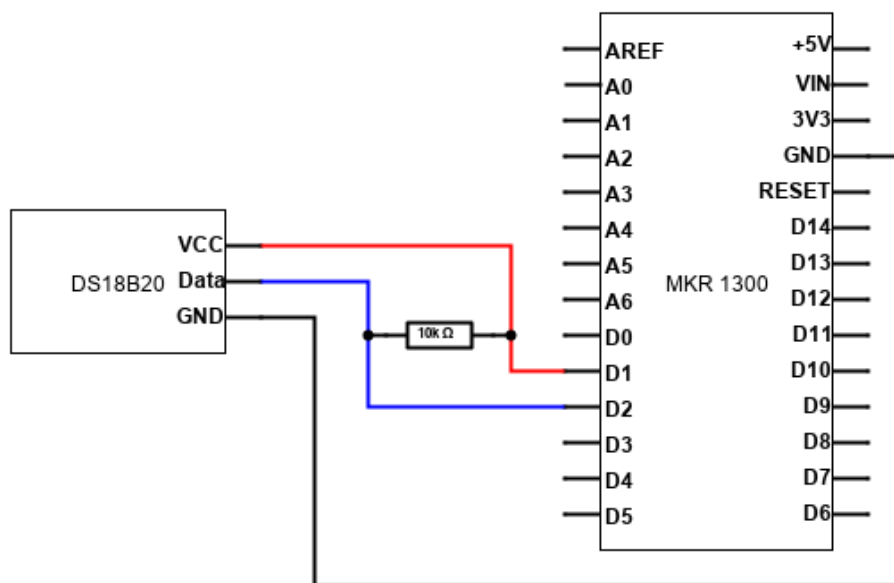
Senzor DHT22 má čtyři výstupy. Pro zapojení v prototypu využijí tři piny. Oba krajní výstupy jsou určeny pro zapojení do elektrického obvodu, jedná se tedy o zdroj (+) a zem (-). Pin vedle zdroje použijí pro propojení s Arduinem, bude to vodič pro přenos dat a pin vedle země zůstane neobsazen. V obvodu využijeme jeden 4,7k  $\Omega$  odpor, který bude sloužit jako pull-up rezistor a jeden 100 pF kondenzátor. Odpor volíme nižší, než je pro takovéto zapojení obvyklé, protože parazitní vlastností kondenzátoru je odpor. Kondenzátor odstraňuje elektrický šum a jeho zapojení je výsledkem testů a kalibrace senzoru. Více v kapitole Testování a kalibrace. Zapojení je znázorněno na následujícím schématu.



Obr. č. 4.2 - Schéma zapojení DHT22

#### 4.1.2 DS18B20

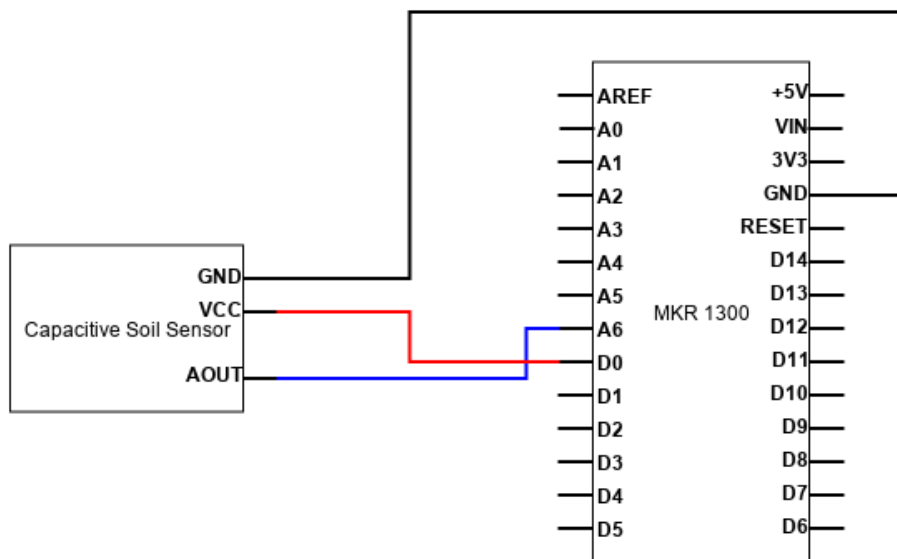
DHT22 umožňuje kromě vlhkosti měřit i teplotu, ale jeho nevýhodou je, že není vodotěsné. Proto jsem pro měření teploty zvolil vodotěsné čidlo od firmy Maxim DS18B20, jehož senzor je zataven v nerezové tyčce. Další výhodou čidla od Maximu je, že je možné přes jeden datový kabel propojit více teplotních čidel najednou. Pro stavbu prototypu stanice nám postačí právě jedno teplotní čidlo, které připojíme k Arduino pomocí tří kabelů a jednoho pull-up rezistoru o velikosti 10k  $\Omega$ . Schéma zapojení je viz níže.



Obr. č. 4.3 - Schéma zapojení DS18B20

### 4.1.3 Capacitive Soil Moisture Sensor

Senzor pro detekci zásobenosti půdy vodou. Senzor je připojen k Arduino pomocí tří vodičů. Dva tvoří elektrický obvod a třetí vodič přenáší výstupní informaci v podobě analogového signálu.

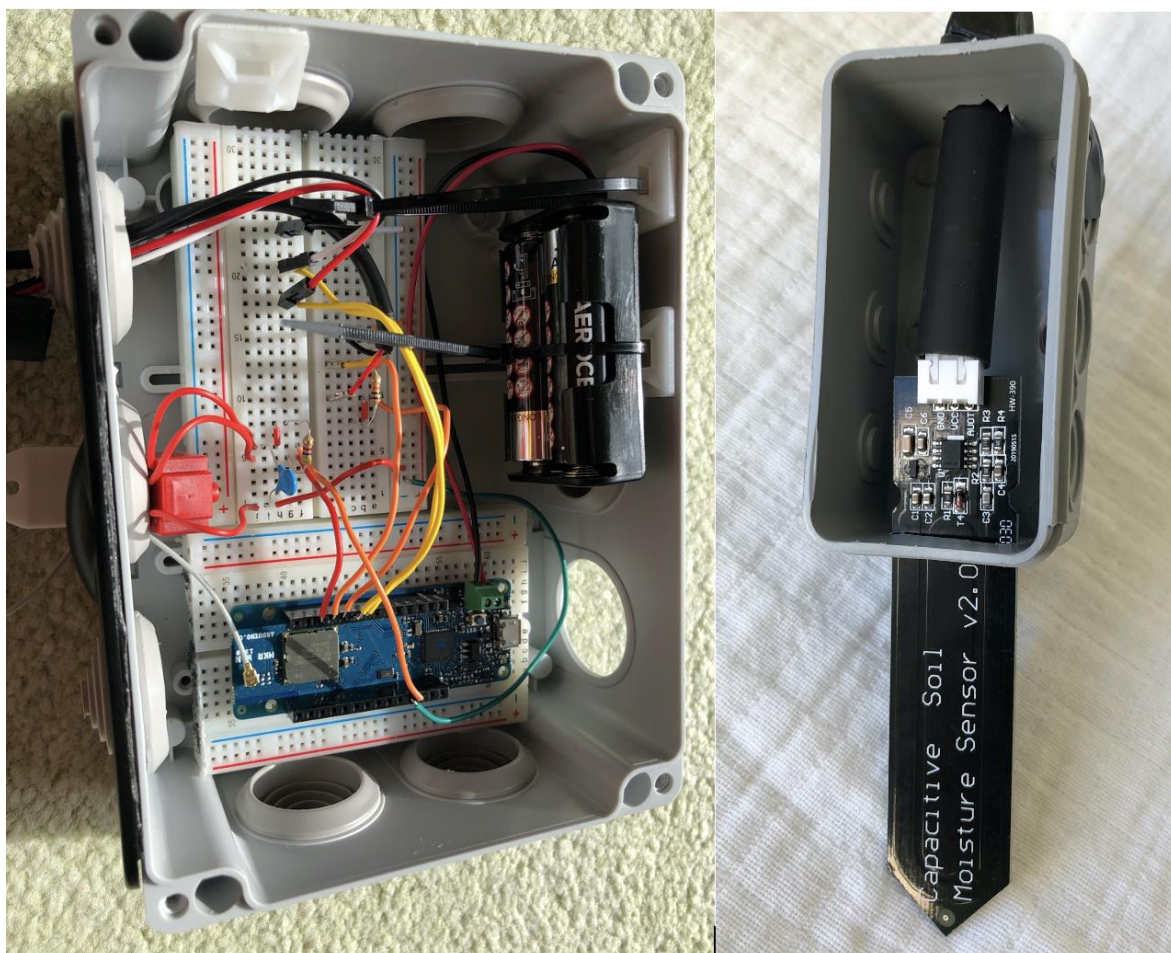


Obr. č. 4.4 - Schéma zapojení půdního senzoru

## 4.2 Realizace

### 4.2.1 Hardware

Cílem práce je sestavit prototyp senzorové stanice pro venkovní prostředí, který bude odolný vůči klimatickým jevům a bude měřit požadované veličiny a data posílat dál ke zpracování. Zabezpečení proti vnějším vlivům jsem vyřešil instalačními krabičkami se stupněm ochrany IP55, která zaručuje ochranu proti prachu a vodě. Podobnou krabičku jen menších rozměrů jsem použil jako kryt pro elektroniku půdního senzoru. Provedení instalace je dokumentováno na následujících fotografiích.



Obr. č. 4.5 - Realizace hlavní části a půdního senzoru

K vytvoření elektrického obvodu a zapojení senzorů jsem využil nepájivé pole, které je napevno přilepeno ke krabičce. USB port je přístupný jedním z otvorů, který je uzavřen gumovou krytkou. Napájení je zajištěno dvěma AA bateriemi s kapacitou 2500 mAh, které jsou připojeny přímo k desce MKR 1300. Deska umí automaticky přepínat mezi napájením

z baterie nebo z USB. Anténa GSM pro příjem LoRa signálu je nalepena přímo na plastové krabičce. U antény je důležité se vyhnout kontaktu s kovem, který má vliv na kvalitu a sílu signálu. Senzor pro měření vlhkosti má svou senzorkou část umístěnou vně krabičku skrze proříznutou gumovou krytku. Je umístěn na spodní části krabičky, viz obrázek níže. Důvodem je minimalizace kontaktu s dešťovou vodou.



Obr. č. 4.6 - Spodní část agrostanice

Volba řešení, výběr instalačních krabiček, zajištění ochrany proti vnějším vlivům a použití nepájivého pole považuji za dostatečné, protože vyrábím prototyp, kde není funkčním požadavkem dlouhodobá životnost a maximální ochrana proti klimatickým jevům.





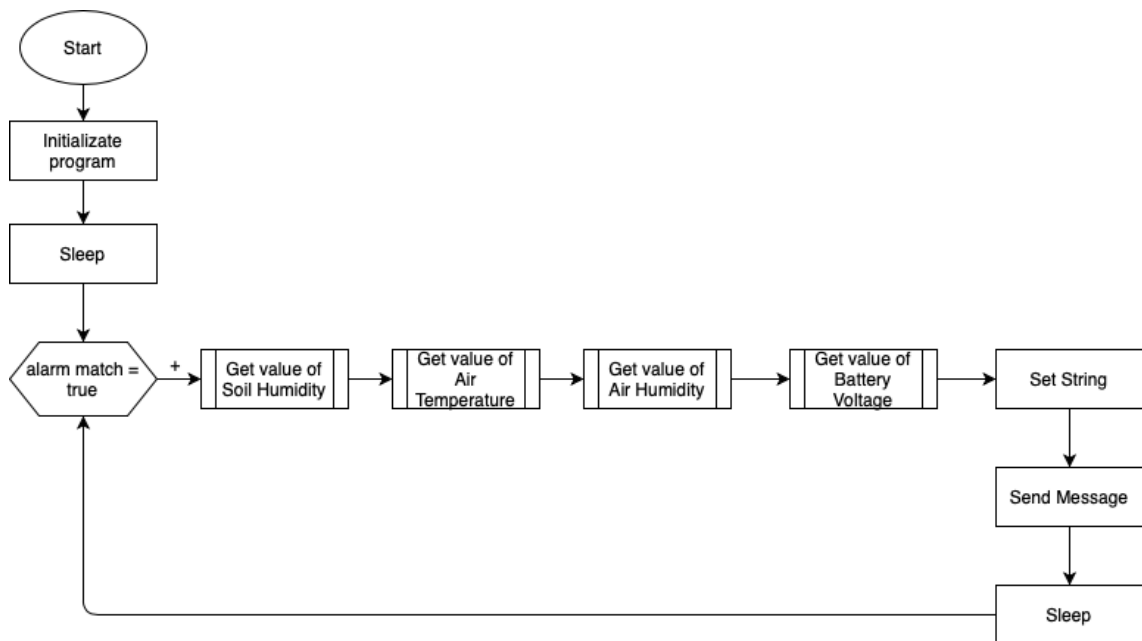
Obr. č. 4.7 - Umístění na zkušebním pozemku

#### 4.2.2 Software

Kód programu jsem psal v IDE Arduino. **Celý kód je k bakalářské práci přiložen v Příloze 1.** Všechny vlastnosti, důležité bloky kódu a funkce jsou v kódu okomentovány. Arduino MKR 1300 je programovatelné přes USB port. USB port je přístupný skrze otvor v instalační krabici, který je uzavřen gumovou krytkou. Skrze stejný otvor je přístupné RESET tlačítko, které jsem používal při aktualizaci programu.

Dvojitě rychlé stisknutí tlačítka RESET zruší stand-by režim, aktivuje bootloader desky a LED dioda začne pulsovat – Arduino je připraveno k nahrání nové verze programu. Jedno stisknutí tlačítka RESET spustí program opět od začátku včetně sekce void setup() a inicializuje proměnné na výchozí hodnoty programu.

Běh programu je znázorněn na následujícím vývojovém diagramu.



Obr. č. 4.8 - Schéma běhu programu

Kód programu je strukturován do těchto bloků:

- Knihovny připojené k programu.
- Pojmenování pinů.
- Vytvoření instancí z knihoven.
- Definice proměnných a konstant.
- void setup() – kód, který je spuštěn pouze jednou, ihned po startu programu.
- void loop() – kód, jehož provádění se neustále opakuje.
- void alarmMatch() – funkce, která se provede, když se spustí alarm nastavený na hodinách RTC.
- Dále následují funkce, které vzešli z dekompozice zadání. Jsou to načtení hodnot ze senzorů, načtení hodnoty napětí z baterií a aktualizace alarmu v RTC hodinách.

### 4.2.3 Energetická náročnost

| Komponenta             | Spotřeba při měření | Spotřeba ve stand-by |
|------------------------|---------------------|----------------------|
| DHT22                  | 1-1,5 mA            | 40-50 $\mu$ A        |
| DS18B20                | 1-1,5 mA            | 750-1000 nA          |
| Capacitive Soil Sensor | 6 mA                | -                    |

Tab. 4.1 - Energetická náročnost

V technické specifikaci k desce MKR 1300 nejsou uvedeny informace o provozní spotřebě elektrického proudu ani o spotřebě v stand-by režimu.

Jednou z vlastností stanice je nízká energetická náročnost. V průběhu stavby jsem prováděl měření pomocí multimetru s cílem optimalizovat jak zapojení, tak i kód programu.

Začal jsem se senzory připojenými přímo ke zdroji na nepájivém poli vyjma půdního čidla. Nepájivé pole bylo spojené s deskou MKR prostřednictvím pinů VCC a GND. Napájení půdního senzoru bylo řízeno přes digitální pin (je proud/není proud, LOW/HIGH). Spotřeba proudu byla:

- stand-by režim 6,3 mA,
- plný provoz 15-19 mA.

Upravil jsem zapojení senzorů. U teplotního čidla jsem napájení přepojil na digitální pin. Napětí v digitálních pinech je přítomné pouze během měření a krátký čas před měřením pro stabilizaci napětí. Výsledkem je, že plný provoz vrací stejné hodnoty. Úspory jsem dosáhl v stand-by režimu, kde spotřeba klesla na 2,2 mA.

Optimální spotřeby elektrické energie jsem dosáhl, když se ke změně zapojení ještě přidala úprava programu. Upravil jsem nastavení pro stand-by režim, kdy jsem softwarově odpojil USB port a všechny digitální piny jsem nastavil do módu INPUT s aktivovaným vnitřním pull-up rezistorem. Dosáhl jsem nejnižší možné spotřeby a to **1,2 mA**.

Deska MKR 1300 obsahuje hardwarovou chybu, která neumožňuje nižší spotřebu než výše deklarovaných 1,2 mA. Výrobce hardwarovou chybu odstranil a vydal druhou verzi

desky pod označením MKR 1310. S deskou MKR 1310 se můžeme v stand-by režimu dostat na hodnoty  $\mu\text{A}$ .<sup>59</sup>

#### 4.2.3.1 Životnost baterií

Odhadovaná životnost baterií v mém prototypu je 71 dní. Odhadovaná hodnota vychází z těchto vstupů:

- kapacita baterie 2500 mAh,
- spotřeba v stand-by režimu 1,2 mAh,
- odhadovaná nejčastěji se vyskytující hodnota spotřeby v plném provozu je 16 mAh,
- odhadovaná doba plného provozu je půl minuta.

Životnost baterie je softwarově sledována. Společně s daty ze senzorů je odesílán do cloudu údaj o napětí baterií, které pohání Arduino. Ke sledování napětí využívám vlastností Arduina MKR 1300, viz zdrojový kód v Příloze 1.

#### 4.2.4 LoRa připojení

Pro přenos dat do datového úložiště na internetu jsem využil LoRa síť od Českých radiokomunikací. Volbu ČRa ovlivnilo několik důležitých kritérií jako:

- rozsah a dostupnost sítě,
- cena,
- jednoduchost implementace,
- vlastnosti LoRa protokolu,
- API.

---

<sup>59</sup> High sleep current - Issue #30. Dostupné z: <https://github.com/arduino-libraries/MKRWAN/issues/30#issuecomment-421970738>.

#### 4.2.4.1 Připojení do sítě

K provozu prototypu a jeho testování jsem využil od ČRa balíček „NA ZKOUŠKU“, který je k dispozici na jeden měsíc zdarma a má následující omezení:

- Počet zařízení připojených v jeden okamžik: až 5.
- Měsíční limit příchozích zpráv: 1000.
- Měsíční limit odchozích zpráv: 100.
- Měsíční limit pro počet API requestů: 1000000.
- Bez závazku.
- Cena na měsíc: zdarma.<sup>60</sup>

Po registraci do „CRA IoT Portál“ jsem získal možnost přidávat vlastní zařízení do LoRa sítě a aktivovat ho tak v této síti – sekce „Import zařízení“. Aktivaci jsem provedl prostřednictvím volby OTAA (Over-The-Air-Activation), kde je zapotřebí vyplnit tři informace:

- Device EUi (DevEUI): jedinečný identifikátor koncového zařízení,
- Application EUi (AppEUI): identifikátor aplikace,
- Application Key (AppKey): AES128 root klíč.

The screenshot displays the CRA IoT Portal interface. On the left is a dark sidebar with navigation items: Účty, Skupiny zařízení, Endpointy, Služby, Import zařízení (highlighted), Zařízení, and Ověření pokrytí. The main content area shows a user profile for Ladislav Herynek and a customer selection dropdown set to 'Na zkoušku CRA IoT'. Below this, there are tabs for 'ABP' and 'OTAA', with 'OTAA' selected. The form contains five input fields: 'Název zařízení\*', 'Identifikátor zařízení (DevEUI)\*', 'Device application EUi (AppEUI)\*', 'Aplicační klíč (AppKey)\*', and 'Služba\*' (a dropdown menu). A 'HROMADNÝ IMPORT' button is visible above the form. At the bottom, there is a 'Volitelné parametry' section and an 'IMPORTOVAT ZAŘÍZENÍ' button.

Obr. č. 4.9 - IoT portál od ČRa

<sup>60</sup> IoT Port. Dostupné z: <https://www.iotport.cz>.

Zařízení na základě výše uvedených údajů pošle žádost na přidání do sítě a až po akceptaci žádosti si koncové zařízení samo vygeneruje DevAddr, NwkSKey a AppSKey. Hodnoty DevEUI, AppEUI a AppKey jsou shodné s hodnotami uvedenými v zařízení MKR 1300. Hodnotu DevEUI získáme z instance modemu voláním funkce „deviceEUI()“. Výsledkem je aktivní zařízení v síti LoRa.

### 4.3 Testování a kalibrace systému

Senzory byly kalibrovány a stanice byla testována v průběhu stavby. Za hlavní testování považuji čtyřdenní nepřetržitý provoz od finálního dokončení výrobku. Stanice byla umístěna v Liberci. Pro kontrolu nasnímaných hodnot vzdušné vlhkosti a teploty jsem používal dva vstupy. Prvním byly data ze stanice ČHMÚ umístěné cca 600 m vzdušnou čarou na letišti Liberec. Druhým vstupem byly data ze zakoupené domácí meteorostanice, kterou jsem umístil hned vedle prototypu.

#### 4.3.1 Capacitive Soil Moisture Sensor

Senzor jsem kalibroval při výrobě stanice. Ke kalibraci jsem použil sklenici čisté kohoutkové vody. Získal jsem hraniční hodnoty, které vrací metoda `analogRead` z analogového pinu. Rozsah možných hodnot je 0-1023 a prahové hodnoty mého senzoru jsou pro uvedené a okomentované v kódu. Výsledkem jsou hodnoty, kdy 100% je půdní vlhkost ekvivalentní vodě, 0% je hodnota ekvivalentní vzduchu.

#### 4.3.2 DS18B20

Senzor, který nebylo třeba kalibrovat. Ihned po zapojení dle výše uvedeného schématu vracel hodnoty odpovídající jak hodnotám ze stanice ČHMÚ, tak i z domácí meteorostanice.

#### 4.3.3 DHT22

Senzor, který po zapojení dle obvyklého postupu, tedy bez kondenzátoru a s pull-up rezistorem vyšší hodnoty, vracel hodnoty rozdílené v desítkách procent oproti kontrolním senzorům. Příčinou je, že sensor má doporučené napájení mezi 3.3-6V a pro správný chod se doporučuje napájení vyšší než 3.3 V. Senzor navíc patří mezi pomalejší čidla. Postupným testováním změn v zapojení HW nebo v kódu programu jsem objevil, že optimálním řešením je doplnit obvod o kondenzátor velikosti 100 nF. V mém obvodu je 100 pF, protože jsem neměl možnost kondenzátor větší kapacity včas sehnat. Instalace 100 pF kondenzátoru nepřesnost měření snížila na jednotky procent. Smyčka, která opakuje měření vlhkosti čtyřikrát a pak předá měřenou hodnotu na výstup je opatřením, které vyplynulo

z pozorování, kdy při napájení přes USB a opakovaném snímání veličiny po jedné vteřině, jsem zjistil, že se hodnota ustálila až po několika opakováních.

Následující tabulka obsahuje údaje o teplotě a vzdušné vlhkosti naměřené prototypem, stanicí ČHMÚ a zakoupenou domácí meteostanicí. Teploměr prototypu byl umístěn výše než domácí meteostanice a stanice ČHMÚ je vzdálena 600 metrů vzdušnou čarou. Výraznější odchylky hodnot u vzdušné vlhkosti jsou způsobené pravděpodobně dvěma faktory. Je to nedostatečné napětí v obvodu nebo menší kapacita kondenzátoru.

| Datum                  | Teplota  |              |      | Vzdušná vlhkost |              |      |
|------------------------|----------|--------------|------|-----------------|--------------|------|
|                        | Prototyp | Domácí meteo | ČHMÚ | Prototyp        | Domácí meteo | ČHMÚ |
| <b>9.3.2021 15:49</b>  | 2,62     | 2,8          | 2,3  | 43,3            | 36           | 37   |
| <b>9.3.2021 16:50</b>  | 1,69     | 0,6          | 1,8  | 45,4            | 39           | 39   |
| <b>10.3.2021 16:37</b> | 3,81     | 3            | 3,3  | 52,8            | 43           | 40   |

Tab. 4.2 - Kalibrace senzorů, přehled naměřených hodnot

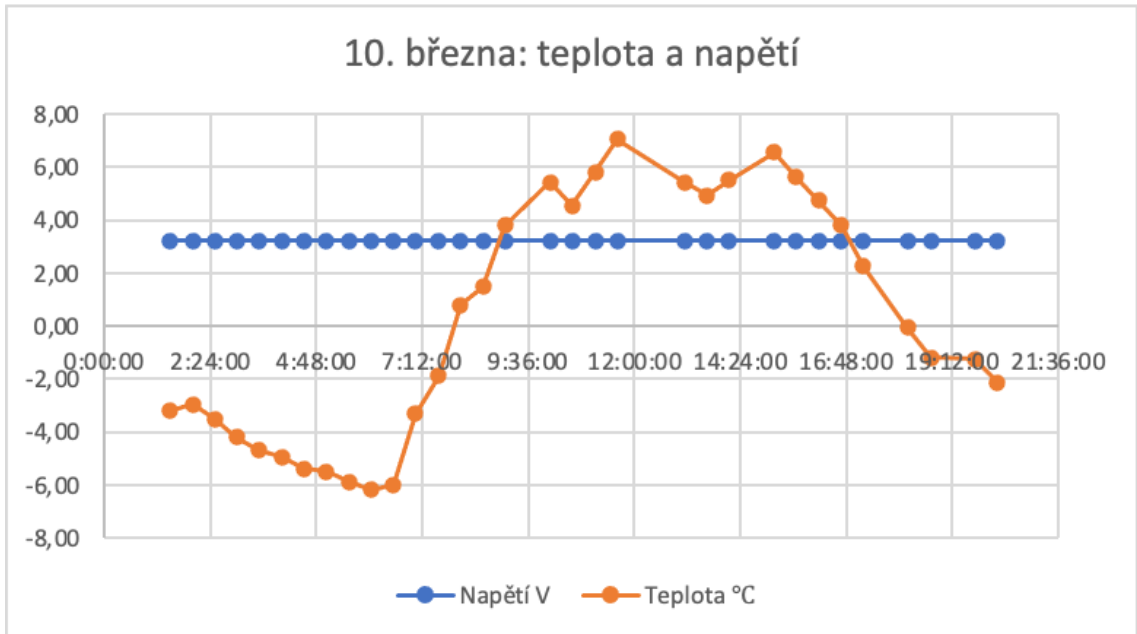
#### 4.4 Prezentace nasnímaných dat

Zprávy přijaté ze senzorů se ukládají v IoT portále ČRa a pro další zpracování můžeme využít tyto možnosti:

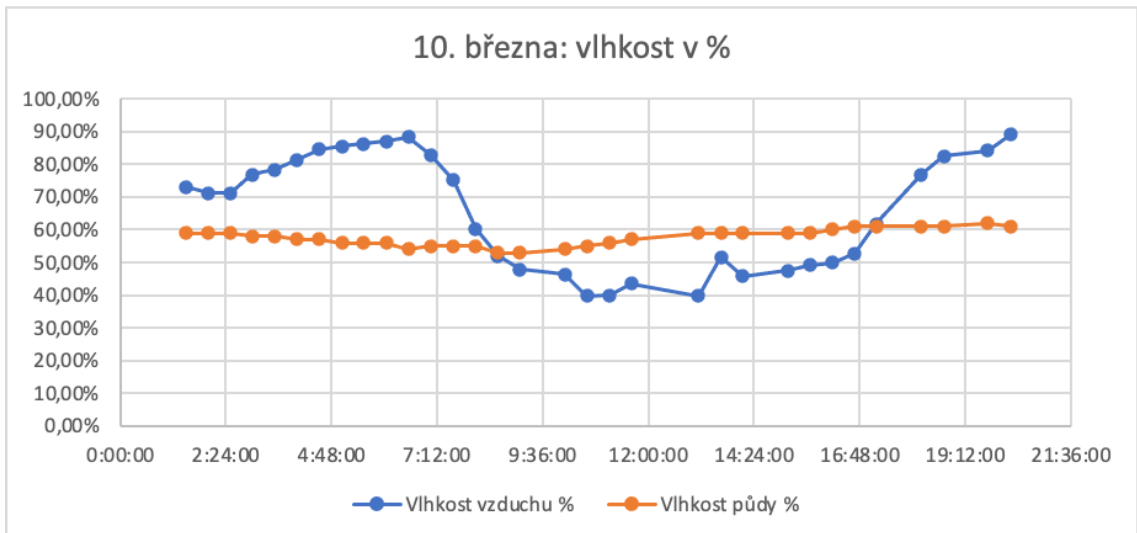
- API metoda: zprávy jsou uloženy v databázi a skrze API je lze vyčíst. Dokumentace k API je dostupná na SwaggerHub.
- PUSH metoda: zprávy se přeposílají na konkrétní Endpoint (HTTP nebo MQTT protokol).
- Export do souboru: typicky csv. Volba vhodná pro testování.



Předmětem této práce není výroba software pro prezentaci dat. Pro přístup k datům využívám export do csv souboru. Příklad výstupu v podobě grafu nad daty z csv je přiložen níže.



Obr. č. 4.10 - Příklad výstupu z csv souboru (teplota a napětí)



Obr. č. 4.11 - Příklad výstupu z csv souboru (vlhkost)

## 5 Výsledky a diskuse

### 5.1 Hodnocení prototypu

Pro stavbu prototypu jsem si vybral platformu Arduino a LPWAN síť LoRa od ČRa. Bezdrátový prototyp je napájen ze dvou baterií AA, data jsou přenášena sítí LoRa do cloudového úložiště a senzory snímají vzdušnou vlhkost, teplotu a vlhkost půdy, což jsou fyzikální veličiny, jejichž informační hodnota se dá v precizním zemědělství využít k automatizaci nebo ke snížení výjezdů agronomů na pozemek. Prototyp je rozšiřitelný o další senzory nebo vlastnosti jako například GPS, tlak vzduchu, nadmořská výška nebo srážkoměr.

#### 5.1.1 Silné stránky prototypu

Síť LoRa od ČRa. Tři vlastnosti sítě, které oceňuji. Jsou to pokrytí signálem, jednoduchost portálu a s tím související jednoduchost aktivace zařízení v síti.

Dalším kladem jsou vybrané senzory, které vrací přesné hodnoty fyzikálních veličin při správném zapojení.

Celé řešení je pojato tak, aby bylo jednoduché, snadno replikovatelné a sloužilo jako podklad pro tvorbu pokročilejších stanic.

#### 5.1.2 Slabé stránky prototypu

Za hlavní slabou stránku prototypu považuji samotnou desku Arduino MKR 1300. Obsahuje hardwarovou chybu, díky které je spotřeba elektrického proudu vysoká i v stand-by režimu.<sup>61</sup> Tento problém řeší nová verze desky MKR 1310. Dalším problémem je napájení desky bateriemi 2x AA nebo AAA, jejichž napětí nemusí stačit pro bezproblémový chod všech senzorů. Řešení se nabízí ve využití silnějšího zdroje společně se stabilizátorem napětí.

---

<sup>61</sup> High sleep current - Issue #30. Dostupné z: <https://github.com/arduino-libraries/MKRWAN/issues/30#issuecomment-421970738>.

## 6 Závěr

Cílem práce bylo vytvořit hardwarovou i softwarovou část bezdrátové stanice se senzory pro chytré zemědělství a za pomoci LPWAN sítě posílat data dál ke zpracování. Důraz byl kladen na spotřebu elektrického proudu, na schopnost stanice odolávat klimatickým jevům, bezdrátový přenos dat a na přesnost měření.

V průběhu studia a přípravy stavby jsem se zaměřil na studium tří oblastí. Jsou to IoT se zaměřením na vrstvu konektivity, precizní zemědělství a platformu Arduino. Všechny tři oblasti jsem popsal v teoretické části. Ke studiu jsem využíval knihy zmíněné v zadání a odborné elektronické publikace vyhledávané zejména pomocí akademického vyhledávače EBSCO. Kapitulu jsem zakončil popisem klíčových komponent použitých v mém projektu.

Praktickou část jsem začal návrhem obvodů s využitím webové aplikace Scheme-it. Stavba stanice probíhala iterativně, protože jsem po každé dokončené verzi zapojení hardware nebo změně kódu programu, prováděl testování se zaměřením na spotřebu elektrického proudu a přesnost měření. K měření spotřeby jsem využíval multimetr. Přesnost měření fyzikálních veličin jsem porovnával s dvěma výstupy z jiných zdrojů, a to stanice ČHMÚ na nedalekém letišti a vlastní zakoupená domácí meteostanice.

Schopnost stanice odolávat klimatickým jevům jsem prověřil zkušebním provozem v exteriéru, kde se vystřídalo mnoho různých typů počasí, jako sníh nebo déšť, bez negativního dopadu na provoz stanice.

Výsledkem mého poznání je, že díky pokroku v LPWAN sítích a v širší nabídce elektrotechnických součástí je stavba jakéhokoliv podobného prototypu stanice v domácích podmínkách realizovatelná. S nízkými náklady lze postavit stacionární stanici, prostřednictvím, které můžeme měřit základní fyzikální jevy na pozemku a například tak snížit počet výjezdů agronomů na parcelu. Další možné využití stacionárních senzorů může být v monitorování uskladněné úrody nebo v automatizaci zavlažování.

Mnou postavená stanice splňuje zadání. Snímá data o vlhkosti půdy, vlhkosti vzduchu a teplotě vzduchu a posílá tyto údaje prostřednictvím LPWAN sítě do cloudu k dalšímu zpracování. Rád bych navázal na tuto bakalářskou práci a pokračoval v zdokonalení

postavené stanice, zejména v naprogramování aplikace, která by nasnímaná data zpracovávala a reprezentovala.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- Analogový snímač vlhkosti půdy V1.2. In: *Dratek.cz* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/4875-pudni-vlhkomer-analogovy-s-antikorozni-sondou-v1.2.html>
- Arduino DHT22 teploměr a vlhkoměr digitální. In: *Dratek.cz* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1188-dht22-teplomer-a-vlhkomer-digitalni.html>
- ARDUINO MKR WAN 1300 (LORA CONNECTIVITY). *Arduino* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-mkr-wan-1300-lora-connectivity-1414>
- BARNA, Róbert, Katalin TÓTH, Mónika NAGY a Kristóf SOLYMOSI. Technical characteristics of global navigation satellite systems and their role in precision agriculture. *Journal of Agricultural Informatics / Agrárinformatika Folyóirat* [online]. 2020, **11**(1), 52-66 [cit. 2021-01-30]. ISSN 2061862X. Dostupné z: doi:10.17700/jai.2020.11.1.573
- Comparison of LAN, Cellular and LPWAN. In: *Www.semanticscholar.org* [online]. -: [www.semanticscholar.org](http://www.semanticscholar.org), 2018 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Comparative-Study-on-Variou-LPWAN-and-Cellular-Gaddam-Rai/67d9fdebe6e4811a1751f3eb99a96dcd3f2a82d1/figure/2>
- Dálkový průzkum Země: Vymezení dálkového průzkumu Země. In: *Geologie.vsb.cz* [online]. Ostrava: vsb.cz, - [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/geoinformatika/kap08.htm>
- Datasheets DS18B20. *Maxim Integrated - Analog, Linear, and Mixed-Signal Devices* [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- FAHEY, Thomas, Hai PHAM, Alessandro GARDI, Roberto SABATINI, Dario STEFANELLI, Ian GOODWIN a David LAMB. Active and Passive Electro-Optical Sensors for Health Assessment in Food Crops. *Sensors (14248220)* [online]. 2021, **21**(1), 171-171 [cit. 2021-01-31]. ISSN 14248220. Dostupné z: doi:10.3390/s21010171
- File: Figure 16 Components of a Precision Agriculture System.jpg. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Figure\\_16\\_Components\\_of\\_a\\_Precision\\_Agriculture\\_System\\_\(49132514563\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Figure_16_Components_of_a_Precision_Agriculture_System_(49132514563).jpg)
- HAWKINS, Elizabeth, John FULTON a Kaylee PORT. Using Soil Electrical Conductivity (EC) to Delineate Field Variation. *Ohioline: Ohio State University Extension* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/fabe-565>
- HERATH, Chaminda Shaman. *Factors influencing farmers' decision making in terms of technology adoption in agriculture of Sri Lanka and the Czech Republic: Faktory ovlivňující rozhodování farmářů při uplatňování technologie v zemědělství na Srí Lance a v České republice : doctoral thesis summary*. -. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011. ISBN 978-80-7454-080-6.
- High sleep current - Issue #30. *GitHub* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://github.com/arduino-libraries/MKRWAN/issues/30#issuecomment-421970738>
- How does IoT works? - IoT Architecture explained with Examples. In: *Iotdunia.com* [online]. -: [iotdunia.com](http://iotdunia.com), 2016 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://iotdunia.com/iot-architecture/>
- IoT Port. *IoT Port* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz>
- JELÍNEK, Zdeněk. *Využití metod precizního zemědělství v zemědělském podniku* [online]. Praha, 2018 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: [https://is.czu.cz/zp/index.pl?podrobnosti\\_zp=215340;zpet=;prehled=vyhledavani;vzorek\\_z](https://is.czu.cz/zp/index.pl?podrobnosti_zp=215340;zpet=;prehled=vyhledavani;vzorek_z)

p=Využit%C3%AD%20metod%20precizn%C3%ADho%20zemědělstv%C3%AD;dohleda  
t=Dohledat;kde=nazev;kde=autor;kde=klic\_slova;stav\_filtr=bez;typ=1;typ=2;typ=3;typ=1  
01;typ=8;typ=7;fakulta=20;fakulta=41;fakulta=40;fakulta=71;fakulta=50;fakulta=73;fakult  
a=72;fakulta=10;fakulta=30;obhajoba=2020;obhajoba=2019;obhajoba=2018;jazyk=1;jazy  
k=3;jazyk=2;jazyk=-1. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita. Vedoucí práce  
Prof. Ing. Josef Hůla, CSc.

KROULÍK, Milan a Václav BRANT. *Implementace principů precizního zemědělství do  
rostlinné výroby* [online]. České Budějovice: Kurent, s.r.o. [cit. 2020-06-11]. ISBN 978-  
80-87111-81-9. Dostupné z: [https://cpz.czu.cz/cs/r-12241-aktuality/nova-publikace-  
implementace-principu-precizniho-zemedelstvi-.html](https://cpz.czu.cz/cs/r-12241-aktuality/nova-publikace-<br/>implementace-principu-precizniho-zemedelstvi-.html)

KROULÍK, Milan a Jiří KŘEPELKA. Senzory pro měření půdních vlastností.  
*Www.zemedelec.cz* [online]. Praha: Profi Press s.r.o., 2012 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z:  
<https://www.zemedelec.cz/senzory-pro-mereni-pudnich-vlastnosti/>

LIU, Thomas. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22  
(DHT22 also named as AM2302). <https://www.sparkfun.com> [online]. [cit. 2021-03-03].  
Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>

MEKKI, Kais, Eddy BAJIC, Frederic CHAXEL a Fernand MEYER. A comparative study  
of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express* [online]. 2019, **5**(1),  
1-7 [cit. 2021-01-31]. ISSN 24059595. Dostupné z: doi:10.1016/j.ict.2017.12.005

MINERVA, Roberto, Abyi BIRU a Domenico ROTONDI. Towards a definition of the  
Internet of Things (IoT). In: *Iot.ieee.org* [online]. Itálie: iot.ieee.org, 2015 [cit. 2020-05-  
04]. Dostupné z: <https://iot.ieee.org/definition.html>

MOŽNÝ, Radek. *Univerzální testovací zařízení pro ověření komunikačních parametrů  
technologie NarrowBand IoT* [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z:  
[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=190732](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=190732).  
Diplomová práce. Vysoké učení technické.

Půdní analogový vlhkoměr s antikorozi sondou. *Dratek.cz* [online]. [cit. 2021-03-03].  
Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/654/1531824339.pdf>

RYBKA, Adolf a Milan ŠTASTNÝ. *Precizní zemědělství: (studijní zpráva)*. -. Praha:  
Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1998. Studijní informace. ISBN 80-  
7271-038-9.

SALAZAR, Jordi a Santiago SILVESTRE. *Internet věcí*. 1. vyd. Praha: České vysoké  
učení technické, 2017. ISBN 978-80-01-06231-9.

SELECKÝ, Matuš. *Arduino: Uživatelská příručka*. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2016.  
ISBN 978-80-251-4840-2.

SHAFI, U., R. MUMTAZ, J. GARCÍA-NIETO, S. HASSAN, Zaidi SAR a N. IQBAL.  
Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications.  
*Sensors (Basel, Switzerland)* [online]. 2019, **19**(17) [cit. 2021-01-30]. ISSN 14248220.  
Dostupné z: doi:10.3390/s19173796

SIGFOX - princip, struktura, protokol, použití. *Vyvoj.hw.cz* [online]. -: vyvoj.hw.cz, 2017  
[cit. 2020-05-05]. Dostupné z: [https://vyvoj.hw.cz/sigfox-princip-struktura-protokol-  
pouziti.html](https://vyvoj.hw.cz/sigfox-princip-struktura-protokol-<br/>pouziti.html)

Služby CRA IoT. In: *Www.cra.cz* [online]. Praha: -, - [cit. 2020-05-05]. Dostupné z:  
<https://www.cra.cz/sluzby-iot>

Teploměr vodotěsný - sonda 2m DS18B20. In: *Dratek.cz* [online]. [cit. 2021-03-03].  
Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/2029-teplomer-vodotesny-sonda-2m-ds18b20.html>

*The Things Network: LoRaWAN* [online]. -: The Things Network, 2020 [cit. 2020-05-05].  
Dostupné z: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/>

WALTER, James, James EDWARDS, Glenn MCDONALD a Haydn KUCHEL. Estimating Biomass and Canopy Height With LiDAR for Field Crop Breeding. In: *ResearchGate* [online]. 2019 [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/The-tractor-mounted-LiDAR-system-used-in-the-current-study-showing-the-boom-system-and\\_fig1\\_336060153](https://www.researchgate.net/figure/The-tractor-mounted-LiDAR-system-used-in-the-current-study-showing-the-boom-system-and_fig1_336060153)

YOST, M., N. KITCHEN, K. SUDDUTH, R. MASSEY, E. SADLER, S. DRUMMOND a M. VOLKMANN. A long-term precision agriculture system sustains grain profitability. *Precision Agriculture* [online]. 2019, **20**(6), 1177-1198 [cit. 2021-01-30]. ISSN 13852256. Dostupné z: doi:10.1007/s11119-019-09649-7

## 8 Přílohy

### 8.1 Příloha 1 – Zdrojový kód

```
//Libraries
//Temperature Sensor DS18B20
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
//DHT22
#include <DHT.h>
//Modem
#include <MKRWAN.h>
//Keys for LoRa connection
#include "LoraSecrets.h"
//RTClock
#include <RTCZero.h>

//Pin names
//Pins of Capacitive Soil Sensor
#define vccSoilPin 0
#define aSoilPin A6
//Pins of Temperature Sensor DS18B20
#define tempPin 2
#define vccTempPin 1
//Pin and Type of DHT
#define DHTPin 3
#define DHTTYPE DHT22

//Creating instances
//Instance from OneWire library - DS18B20
OneWire oneWire(tempPin);
//Instance from Dallas library - DS18B20
DallasTemperature tempSensor(&oneWire);
//Instance from DHT library - DHT22
DHT dht(DHTPin, DHTTYPE);
//Instance from MKRWAN library
LoRaModem modem;
//Instance from RTCZero
RTCZero rtc;

//Definitions constants and variables
//LoRa Connection variables
String appEui = SECRET_APP_EUI;
String appKey = SECRET_APP_KEY;

//Humidity threshold of Capacitive Soil Sensor
const int air = 720;
const int water = 270;

//Variables and constants for RTC clock
//Variables for initialize time and date
const byte seconds = 0;
const byte minutes = 00;
const byte hours = 11;
const byte day = 8;
const byte month = 3;
const byte year = 21;
//Variables for RTC alarm
```



```

byte alarmHours = 0;
byte alarmMinutes = 0;
boolean matched = false;

//Enter sum battery voltage in battery pack connect to MKR
float batteryPackV = 3.23;

void setup()
{
  tempSensor.begin();
  dht.begin();
  modem.begin(EU868);
  rtc.begin();

  //Power management feature: current consumption is lower around 0.5 mA
  for (int i=0; i<15; i++)
  {
    pinMode(i, INPUT_PULLUP);
  }

  //Disable built-in LED on board
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);

  //Set analog pin for Capacitive Soil Sensor
  pinMode(aSoilPin, INPUT);

  //Set modem connection
  modem.joinOTAA(appEui, appKey);
  modem.minPollInterval(60);

  //Set Real-Time clock and Alarm
  rtc.setTime(hours, minutes, seconds);
  rtc.setDate(day, month, year);
  rtc.setAlarmTime(11, 1, 0);
  rtc.enableAlarm(rtc.MATCH_HHMMSS);
  rtc.attachInterrupt(alarmMatch);

  //Enable Stand-by mode
  USBDevice.detach();
  rtc.standbyMode();
}

void loop()
{
  if (matched)
  {
    matched = false;
    //Get data from sensors
    int soilHumidity = getSoilHumidity();
    float airTemperature = getAirTemperature();
    float airHumidity = getAirHumidity();
    float batteryVoltage = getBatteryVoltage();

    String msg = ("SoilHum " + String(soilHumidity) + " AirTemp " +
String(airTemperature) + " AirHum " + String(airHumidity) + " V " +
String(batteryVoltage));

    modem.beginPacket();
    modem.print(msg);
    modem.endPacket();
  }
}

```

```

    //Power management feature: current consumption is lower around 0.5 mA
    for (int i=0; i<4; i++)
    {
        pinMode(i, INPUT_PULLUP);
    }
    //30 minutes interval between sleepmode and working time, enable Stand-
by mode
    alarmRepeater(30);
    USBDevice.detach();
    rtc.standbyMode();
}

//Start if alarm matched. First step after wake up from standby.
void alarmMatch()
{
    matched = true;
    USBDevice.attach();
    for (int i=0; i<4; i++)
    {
        pinMode(i, OUTPUT);
    }
}

//Fce for getting soil humidity in %
int getSoilHumidity()
{
    digitalWrite(vccSoilPin, HIGH);
    delay(7000);
    int sensorVal = (analogRead(aSoilPin));
    digitalWrite(vccSoilPin, LOW);
    return map(sensorVal, water, air, 100, 0);
}

//Fce for getting air temperature in C
float getAirTemperature()
{
    digitalWrite(vccTempPin, HIGH);
    delay(4000);
    tempSensor.requestTemperatures();
    float _tempAir = tempSensor.getTempCByIndex(0);
    digitalWrite(vccTempPin, LOW);
    return _tempAir;
}

//Fce for getting air humidity in %
float getAirHumidity()
{
    float _humAir = 0;
    //Loop for getting more accurate data
    for (int i=0; i<4; i++)
    {
        _humAir = dht.readHumidity();
        delay(3000);
    }
    return _humAir;
}

//Fce for getting battery voltage

```

```

float getBatteryVoltage()
{
    //Change reference voltage only for this function
    analogReference(AR_INTERNAL1V0);
    int _batValue = analogRead(ADC_BATTERY);
    analogReference(AR_DEFAULT);
    float _batVolt = _batValue * (batteryPackV/1023);
    return _batVolt;
}

//Fce for override setAlarmTime
void alarmRepeater(byte minut)
{
    alarmMinutes = rtc.getMinutes();
    alarmHours = rtc.getHours();
    alarmMinutes += minut;
    if (alarmMinutes > 59)
    {
        alarmMinutes -= 60;
        alarmHours += 1;
        if (alarmHours > 23)
        {
            alarmHours -= 24;
        }
    }
    rtc.setAlarmTime(alarmHours, alarmMinutes, rtc.getSeconds());
}

```