

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra technologických zařízení staveb**



## **Bakalářská práce**

**Analýza a návrh automatizovaného systému  
pro evidenci vlhkosti v půdě**

**Štěpánka Tesárková**

© 2022 ČZU v Praze

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Štěpánka Tesárková

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

**Analýza a návrh automatizovaného systému pro evidenci vlhkosti v půdě**

Název anglicky

**Analysis and design of an automated system for recording moisture in the soil**

---

### Cíle práce

Cílem práce je provést analýzu vstupů, řídicích signálů a navrhnout ostrovní systém pro autonomní snímačvlhkosti, osvit, srážek a případně dalších parametrů ovlivňující růst rostlin (např. živin). Navržený systém bude postaven na platformě Arduino s přenosem dat na centrální úložiště (cloud) s následným předzpracováním získaných dat.

### Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Faktory ovlivňující růst rostlin, výběr faktorů
4. Výběr platformy, napájení
5. Snímače a přenos dat
6. Předzpracování (NodeRed)
7. Vyhodnocení, doporučení, závěr

## Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

## Klíčová slova

arduino, snímače, vlhkost, osvit, srážky, cloud, programování

---

## Doporučené zdroje informací

Arduino – Průvodce světem Arduina 2.vydání, Arduino.cz, nakladatelství Martin Stříž, ISBN: 978-80-87106-93-8

internetové zdroje, např. <https://www.laskarduino.cz/>

SELECKÝ, M. Arduino: Uživatelská příručka, Computer Press, 2017, ISBN: 978-80-251-4840-2

---

## Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – TF

## Vedoucí práce

Ing. Zdeněk Votruba, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2021

**doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 01. 11. 2021

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Analýza a návrh automatizovaného systému pro evidenci vlhkosti v půdě" jsem vypracovala 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 autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Štěpánka Tesárková

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu práce Ing. Zdeňku Votrubovi, Ph.D. za pomoc s výběrem tématu a podporu po celou dobu tvorby této práce.

## **Analýza a návrh automatizovaného systému pro evidenci vlhkosti v půdě**

**Abstrakt:** Práce posuzuje způsoby automatizace získávání a posílání dat o faktorech ovlivňující růst rostlin na základě literární rešerše. Začátek práce se zabývá přehledem jednotlivých faktorů a jejich přínosu pro život rostlin. Tyto faktory jsou porovnány mezi sebou a jsou vybrány ty nejvhodnější pro přípravu k automatizaci. Dále je vybrána vhodná platforma s moduly sloužící k realizaci návrhu automatizovaného systému pro evidenci vlhkosti v půdě. Návrh bere v úvahu i životnost zařízení běžícího na bateriích. Dále je řešeno zapojení jednotlivých částí hardwaru a jejich implementace. Na závěr je ještě ukázáno, jak by taková data mohla být prezentována uživateli skrz webovou aplikaci.

**Klíčová slova:** arduino; snímače; vlhkost; osvit; srážky; cloud; programování

## **Analysis and design of an automated system for recording moisture in the soil**

**Abstract:** The work assesses ways to automate the acquisition and sending of data on factors affecting plant growth based on a literature search. The beginning of the work deals with an overview of individual factors and their contribution to plant life. These factors are compared with each other and the most suitable ones are selected for the planning of automation. Furthermore, a suitable platform with modules is selected to implement the design of an automated system for acquiring soil moisture value. The design also takes into account the life of the device running on batteries. Furthermore, a plan of the connection of individual parts of the hardware and their implementation is prepared. Finally, it is shown how could such data be presented to the user through a web application.

**Keywords:** Arduino; sensors; humidity; exposure; precipitation; cloud; programming

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Cíl práce.....	2
2.1 Metodika .....	2
3. Faktory ovlivňující růst rostlin .....	3
3.1 Sluneční energie .....	3
3.2 Voda .....	5
3.2.1 Srážky, vlhkost půdy .....	6
3.2.2 Dostupnost vody .....	7
3.2.3 Vodní potenciál .....	7
3.3 Teplota .....	8
3.4 Minerální látky .....	9
3.5 Organismy .....	10
3.5.1 Patogeny.....	10
3.5.2 Býložraví živočichové.....	11
3.5.3 Konkuruující rostliny a parazitismus .....	11
3.6 Výběr faktorů .....	11
4. Technické řešení.....	13
4.1 Výběr platformy .....	13
4.1.1 Arduino Mini a Nano .....	14
4.1.2 Arduino Uno .....	14
4.1.3 Arduino Mega2560.....	15
4.1.4 Arduino Due .....	16
4.1.5 Porovnání typů desek.....	17
4.2 Snímače .....	18
4.2.1 Snímač vlhkosti půdy.....	18
4.2.2 Snímač teploty.....	19
4.2.3 Snímač srážek .....	20
4.2.4 Snímač osvitů .....	21
4.3 Přenos dat .....	21
4.3.1 Wi-Fi .....	21
4.3.2 GSM .....	22
4.3.3 SigFox.....	22
4.3.4 LoRa.....	23
4.4 Napájení .....	24

5.	Zpracování návrhu.....	27
5.1	Zapojení.....	27
5.2	Program.....	28
5.3	Webové rozhraní.....	29
5.4	Finanční zhodnocení.....	33
6.	Závěr.....	35
7.	Seznam použitých zdrojů .....	36
8.	Přílohy .....	i



## Seznam obrázků

Obr. 1 absorpce záření a deexcitace [1] .....	4
Obr. 2 elektromagnetické spektrum [2] .....	5
Obr. 3 stresová reakce [1] .....	9
Obr. 4 Arduino Mini [7] .....	14
Obr. 5 Arduino Nano [8] .....	14
Obr. 6 Arduino Uno [10] .....	15
Obr. 7 Arduino Mega2560 [12] .....	16
Obr. 8 Arduino Due [14] .....	16
Obr. 9 kapacitní snímač [17] .....	19
Obr. 10 odporový snímač [18] .....	19
Obr. 11 Snímač DS18B20 [20] .....	20
Obr. 12 Odporová deska na snímání srážek [21] .....	20
Obr. 13 měřič srážek přes hmotnost vody [22] .....	20
Obr. 14 odběr proudu při SigFox komunikaci [25] .....	23
Obr. 15 architektura sítě LoRa [28] .....	24
Obr. 16 Zapojení návrhu [vlastní] .....	28
Obr. 17 Vzhled stránky na záložce dnes [vlastní] .....	31
Obr. 18 vzhled stránky na záložce týden [vlastní] .....	31
Obr. 19 vzhled stránky na záložce měsíc [vlastní] .....	32
Obr. 20 vzhled stránky na záložce statistika [vlastní] .....	32
Obr. 21 vzhled stránky při nepřítomnosti dat [vlastní] .....	33

## Seznam tabulek

Tab. 1 Porovnání faktorů ovlivňující rostliny [vlastní].....	12
Tab. 2 Porovnání parametrů desek Arduino [6, 9, 11, 13] .....	17
Tab. 3 Porovnání teplotních snímačů [20] .....	19
Tab. 4 ceny jednotlivých komponent [37, 45–51].....	33
Tab. 5 ceny poplatků a licencí [52, 53].....	34

## Seznam zkratek

CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
EEPROM	electrically erasable programmable read-only memory
GPRS	general packet radio service
GSM	group special mobile
IoT	internet of things
ISM	industrial, scientific and medical
LED	light-emitting diode
Li-ion	lithium-iont
LoRa	long range
PC	personal computer
PIN	personal identification number
PWM	pulse width modulation
RF	radiofrequency
RTC	real-time clock
SD	secure digital
SMS	short message service
SRAM	static random access memory
SSID	service set identifier
UART	universal asynchronous receiver-transmitter
USB	universal Serial Bus
WAN	wide area network
Wi-Fi	wireless fidelity

## 1. Úvod

Před dvanácti tisíci lety v době neolitické revoluce se lidé zastavili na svých nekonečných cestách za potravou a poprvé zaseli semínka do půdy tam, kde se usadili. Měli to zpočátku velice těžké vzhledem k tomu, že neměli žádné zkušenosti a museli je získat formou pokus omyl. Museli začít obdělávat tvrdé a nepoddajné hroudy zeminy svými primitivními nástroji, překonávat nepřízně počasí bez možnosti předpovídat jeho náladové chování a bojovat o úrodu s divokou zvěří. Museli se naučit hospodařit s vodou nejen pro sebe, ale i pro své nově získané rostliny. Usazovali se proto poblíž povodí říčních toků a jezer.

Způsoby získávání větší sklizně se v historii lišily. Nejdříve se jednalo o využívání více orné půdy, poté střídání zasetých plodin, využívání preparátů proti škůdcům a samozřejmě zlepšování nástrojů využívaných ke zpracování půdy samotné.

Od používání pouhých seker pro mýcení půdy, přes motyky a kosy na sklizení úrody, rydla zapojena za domácí zvířata až po moderní stroje poháněné spalovacími motory se lidé nikdy nezastavili v závodu o zvyšování efektivity obdělávání půdy a získávání co největšího výnosu při snižování energie do tohoto procesu vložené. Za pár tisíc let jsme dospěli do bodu, kdy se zemědělstvím zabývá pouhý zlomek obyvatelstva. Populace ale roste, a tak je požadavek na efektivitu stále větší a větší při téměř stejné rozloze obdělávatelné půdy.

Důležitou součástí celého procesu pěstování rostlin je orba půdy. Dnes se již nepoužívají ruční nástroje ani zvířaty tažené stroje. Dnes se využívají stroje poháněné spalovacími motory, u kterých stačí jen připojit pluh za traktor a může se vyrazit. Samozřejmě i přes moderní technologie je mnoho faktorů, které zpomalují a zhoršují orbu. Mezi ně patří například vlhkost a pevnost půdy. Tyto 2 faktory se ovlivňují navzájem a je důležité je zohlednit při plánování orby, která by měla správně proběhnout jen při správné vlhkosti pro danou pevnost půdy, aby se co nejvíce snížila spotřeba energie a času.

Správnou vlhkost půdy, jak pro zpracování, tak pro správný růst rostlin, v minulosti lidé odhadovali díky svým zkušenostem. S modernizací přišly i nové způsoby získávání informací o různých faktorech půdy a zároveň i možnost tyto informace posílat na vzdálená místa, aby mohly být porovnávány a vyhodnocovány na různých místech. Je stále důležitější získávat informace co nejrychleji a nej přesněji pro další možnosti zlepšování se v oblasti pěstování rostlin a práce okolo nich.

## 2. Cíl práce

Cílem práce je nalézt faktory ovlivňující růst rostlin, analyzovat je a zhodnotit, u kterých faktorů se dá snadno získat informace pomocí snímačů. Po porovnání faktorů a k nim příslušných snímačů se vybere vhodná Arduino platforma a příslušný modul podle vybraného způsobu přenosu dat. Zvolí se vhodný způsob napájení po výpočtu spotřeby energie. Dále se vytvoří návrh ostrovního systému pro autonomní snímač vlhkosti a případných dalších parametrů ovlivňující růst rostlin. Vytvoří se návrh pro předzpracování získaných dat, ke kterým se uživatel dostane pomocí webové aplikace. Nakonec se shrnou poznatky z práce a jejich přínos.

### 2.1 Metodika

Samotnému zpracování návrhu předchází analýza problematiky. Jedná se o popis všech faktorů ovlivňující růst rostlin a jejich přežití ve volné přírodě. Z těchto faktorů se vyberou ty, které je snadné zaznamenat pomocí snímačů a dále je zpracovávat. Musí být lehce ovlivnitelné člověkem a zároveň je potřeba je regulovat často a pravidelně. Pro vybrané faktory je potřeba zvolit příslušné snímače odečítající správné veličiny, které jsou vhodné do venkovních podmínek a nezkrátí se jim životnost po pobytu ve venkovním prostředí. K těmto snímačům se vybere vhodná Arduino platforma a další přídatné moduly, které zařídí chod zařízení. Dále se zvolí vhodný způsob přenosu dat získaných ze snímačů a vypočítá životnost baterie. Podle výsledků se zvolí vhodný typ a počet baterií a solární panel, pokud bude potřebný. Po zvolení všech potřebných komponent na sestavení zařízení se vytvoří návrh zapojení obvodu s jeho programem. Navrhne se i uživatelské rozhraní s předzpracovanými daty a jeho lehkému přístupu z pohledu uživatele. Na závěr jsou shrnuty poznatky z práce a jejich přínos.

### 3. Faktory ovlivňující růst rostlin

Rostliny potřebují neustále přeměňovat energii, látky a informace v rámci svého organismu nebo s okolím pro zajištění jejich přežití. Rostliny klíčí, rostou a rozmnožují se v určitém komplexu faktorů, které přímo ovlivňují jejich vývoj. Aktivně reagují na každou příchozí změnu, a to jak pozitivní, tak negativní. Hlavními faktory, které mají na rostliny dopad, jsou sluneční energie, vlhkost půdy, teplota, minerální látky a živé organismy. Každý z těchto faktorů je ovlivnitelný zásahem člověka. [1]

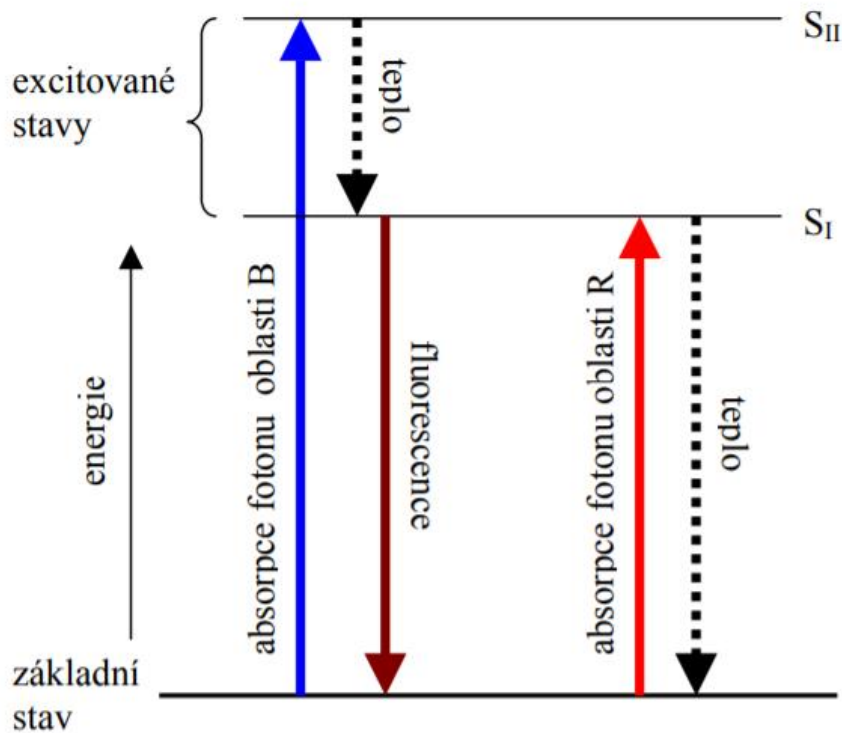
Každý faktor ovlivňující život rostlin má svůj ideální rozsah hodnot specifický pro každou rostlinu. Rostlina prosperuje pouze v případě, že požadované hodnoty jsou v limitu stanoveného rostlinou. Při přílišných výkyvech dochází u rostlin k negativním stresovým reakcím, které zatěžují organismus. Při dlouhodobému vystavování negativním podmínkám rostlina zahyne. [1]

#### 3.1 Sluneční energie

Slunce je univerzálním zdrojem energie pro celou planetu. I rostliny využívají energii ze slunce pro svůj život. Světelnou energii rostliny získávají pomocí fotosyntézy. Energie chemických vazeb se nazývá respirace a je využívána v navazujících životních dějích. Fotosyntéza je základním fyziologickým procesem, který rozhoduje o množství vytvořených organických látek, které rostlina potřebuje ke svému vývinu. Pro vznik tohoto procesu je zapotřebí energie slunečního záření a molekul  $\text{CO}_2$  nacházejících se v okolní atmosféře. Fotony jsou pohlcovány převážně pigmenty chlorofylů a karotenoidy. Rychlost fotosyntézy určuje nárůst zelené hmoty a lze ji vyjádřit jako schopnost vstřebávat množství molekul  $\text{CO}_2$  na plochu listu za sekundu. Základní princip je založen na přeměně energie ze slunečního záření na energii chemických vazeb. Dalším důležitým faktorem pro proces fotosyntézy je voda potřebná na chemickou reakci. [1]

Denní světlo je omezeno roční dobou a místem růstu rostliny. Lze ho nahradit umělým osvětlením, a to především v menším rozsahu pěstování rostlin, kde jsou potřebné zdroje a podmínky pro toto rozšíření. Umělé osvětlení využívané k prodloužení přirozeného světla se nazývá asimilační. Pokud je umělé světlo využíváno jako úplná náhrada světla přirozeného, nazývá se kultivační. [1]

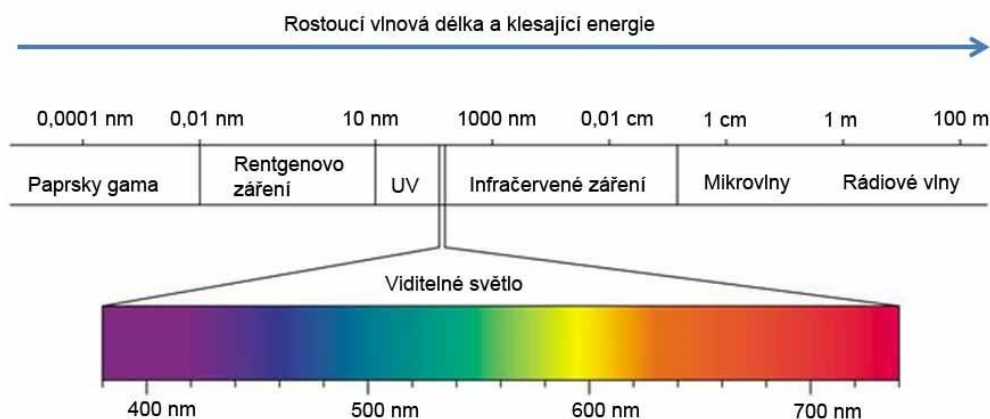
Do kontaktu se slunečním zářením se dostane jen nadzemní část rostliny a nejdůležitějším kontaktem je plocha listů. Záření může být absorbováno, odráženo nebo propouštěno. Absorbovaná energie je při deexcitaci vyzařována jako infračervené záření, ve viditelné oblasti jako fluorescence nebo jako teplo, které mění vodu ve vodní páry, a uvolňuje se do okolí (Obr. 1). [1]



Obr. 1 absorpce záření a deexcitace [1]

Spektrum optického záření dopadající na povrch země obsahuje infračervené záření (vlnová délka 780 až 3000 nm), ultrafialové záření (vlnová délka 300 až 380 nm) a viditelné záření (vlnová délka 380 až 780 nm). Nejvíce fotonů dopadá při vlnové délce 620 nm a největší energie slunečního záření je vydávána při vlnové délce 500 nm. Fotosynteticky aktivní radiací (FAR) spektra je oblast vlnové délky 400 až 700 nm. Průměrná velikost sluneční energie, která dopadá na zemský povrch je  $500 \text{ Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Rostliny využijí jen necelé 1 % z energie dopadající na celý povrch planety. Možnost vstřebávat energii ovlivňují hlavně zeměpisná poloha, roční období, nadmořská výška a výskyt dalších rostlin v okolí. Fotosynteticky aktivní záření tvoří 45 % globálního záření, což je označení pro veškeré záření ze slunce dopadající na zemský povrch. Ve skleníku toto číslo klesne na pouhých 65-80 % záření dopadající na rostliny mimo něj. Toto způsobuje odraz a absorpce konstrukce skleníku. [1]

Hodnota intenzity záření slunce se měří pyranometry, které mají rozsah 300–3000 nm. Rostliny jsou velice citlivé na konkrétní oblast spektra záření na ně dopadající. V oblasti vlnové délky 420–470 nm (tzv. „modré“ oblasti) je podporováno odnožování a množení listů. Rostlina neroste příliš do výšky. Jedná se o kvalitativní růst rostliny. V oblasti vlnové délky 625–660 nm (tzv. „červené“ oblasti) je fotosyntéza účinnější a jedná se o kvantitativní růst (Obr. 2). [1]



Obr. 2 elektromagnetické spektrum [2]

### 3.2 Voda

Voda je nedílnou součástí života organismů na planetě. Rostliny se musely po přesunu na souš přizpůsobit nepravidelné dostupnosti vody. Vyvinuly si metabolické a strukturní mechanismy umožňující udržovat hydratované prostředí a přežívat tak období nedostatku vody. Voda zároveň slouží pro příjem minerálních látek a jejich distribuci skrz celý systém. Podle způsobu adaptace a strategie využívání zdroje vody se rostliny rozdělují na poikilohydrické a homoiohydrické. [1]

Poikilohydrické rostliny potřebují stálé prostředí s dostatkem vláh, protože nejsou schopny regulovat vodní hladinu. Jejich buňky neobsahují velkou centrální vakuolu. Když dostupná voda klesne pod požadovanou hodnotu. Životní procesy pomalu ustávají. Buňky při vysychání nejsou porušeny, a tak se při opětovném dostatku hydratace se metabolismus obnovuje do původního stavu. [1]

Homoiohydrické rostliny jsou schopny regulovat hladinu v celém systému díky centrální vakuole, která zadržuje velkou zásobu vody, kořenovému systému a vodivými pletivy.



Kořenový systém je navržen tak, aby z okolí získal co největší množství vody pomocí postranních kořenů a neukončeného růstu. Na povrchu rostliny je ochranná vrstva zabraňující přílišnému odpařování. [1]

Voda zajišťuje prostředí vhodné pro pohyb anorganických i organických látek, hydratuje a ovlivňuje strukturu molekul. Probíhá v ní většina biochemických reakcí a slouží jako reakční prvek při hydrolýze a fotosyntéze. Hydrostatický tlak v rostlině udržuje její tvar a vyrovnává teplotu v rostlině. Schopnost přijímat vodu závisí na obsahu vody v půdě, její dostupnosti a typu půdy, vodním potenciálem a buňkami kořenu. [1]

### 3.2.1 Srážky, vlhkost půdy

Hlavním zdrojem vody v půdě jsou vodní a sněhové srážky. Zahrnují 55–65 % výnosové variability. Závislost na srážkách se zvyšuje v závislosti na podmínkách půdy, klimatu a pravidelnosti srážek. Nejvhodnější pro rostliny jsou srážky dlouhodobé v podobě mrholení za správných teplot. Takto vznikají nejmenší ztráty odtoku. Negativní dopad mají naopak příválové deště projevující se zničením vegetace, dlouhodobé snížení úrodnosti půdy a zvýšená eroze půdy. Sněhové srážky jsou příznivé v období vegetačního klidu. Zabraňují vymrzání, vysoušení a odvátí půdy. Při opožděném roztávání sněhu se opoždují i začátek jarních prací. Pokud sníh taje prudce, vznikají záplavy. Pokud se objeví sněhové srážky v průběhu vegetačního období, rostliny se mrazem lámou a na konci období je menší sklizeň. [1, 3]

Schopnost zadržet vodu se liší podle typu půdy. Půdní částice se dělí podle velikosti na kamení, štěrky, hrubý písek, jemný písek prach, jílnaté částice a jíl. Množství jednotlivých typů částic podle kategorie určuje druh půdy. Pórovitost půdy je kritériem, které charakterizuje poměr pórů mezi pevnými částicemi v celkovém objemu půdy a průměrně se hodnoty pohybují mezi 40-50 %. Velikost pórů se částečně mění usycháním nebo mrznutím půdy a tlakem. Póry se rozdělují dle velikosti na hrubé (nekapilární, vyplněné vzduchem a voda z nich vytéká), střední (semikapilární, vyplněnost vodou závisí na momentálních podmínkách v okolí) a jemné (kapilární, drží se v nich voda díky adhezi). Při příjmu vody rostlinou tlak v okolí kořenů klesá a okolní voda se pohybuje do míst s nižším tlakem. Voda se zároveň pohybuje k povrchu půdy při jejím povrchovém odpařování. [1]

### 3.2.2 Dostupnost vody

Rostliny se rozdělují podle průměrné dostupnosti vody po celý rok:

- hydrofyta – vodní rostliny
- hygropyta – rostliny vyskytující se ve velmi vlhkých prostředí
- mezofyta – rostliny mající střídavé nároky na dostupnost vody
- xerofyta – rostliny vyskytující se v suchém prostředí s nedostatkem vody

Důležité je, aby rostlina měla příjem vody v rozsahu vhodném pro její typ, protože jak nadbytek, tak nedostatek vody může rostlině způsobit stres. [1]

Pokud obsah vody v půdě klesne pod určitou hladinu a stane se tak pro rostlinu nedostupnou, nazývá se tento jev bodem vadnutí. Projevuje se i zastavením růstu. Jeho hodnota závisí na druhu půdy a rostliny. Růst je ovlivněn i sníženou asimilací CO<sub>2</sub> a nedostatkem stavebních látek. Při nedostatku vody mnohem snadněji způsobuje stres také vysoká teplota. Nedostupnost vody může být způsobena obdobím sucha, dlouhodobě nízkými srážkami nebo jejich úplnou absencí. Dalším důvodem může být zasolení půdy, které snižuje vodní potenciál vedoucí k nemožnosti přijímat vodu. Počasí také může zapříčinit nedostatek vody v rostlině, pokud je například velké horko a větrno a rostlina není schopná stíhat doplňovat vodu pomocí kořenů. [1]

Stres rostliny je vyvolán i když obsah vody v půdě přesáhne určitou hladinu a způsobuje zastavení růstu kořenů, což vede k zastavení růstu nadzemní části a ke zdánlivému vadnutí. K takové situaci dochází při záplavách v okolí vodních toků, při tání sněhu nebo dlouhém období nadměrných srážek. Hlavní příčinou stresu je v tomto případě nepřístupnost kyslíku v zaplavených částech rostliny. [1]

### 3.2.3 Vodní potenciál

Vodní potenciál označuje veličinu charakterizující stav vody v rostlině nebo okolní půdě a atmosféře. Hodnota vodního potenciálu je rozdíl mezi chemickým potenciálem vody a vody čisté. Chemický potenciál je poměr volné energie určité složky (např. vody) v dané soustavě. Vztažený chemický potenciál na objem 1 molu vody se nazývá vodní potenciál. Vodní potenciál se udává v jednotkách tlaku. [1]

Voda při vysychání mizí z centrálních oblastí největších prostorů a nahrazuje ji vzduch. Vodní a plynná styčná plocha se zvětšuje a tlakový a vodní potenciál se zmenšuje. Voda se pohybuje z míst s vyšším vodním potenciálem do míst s nižším. Z velikosti vodního potenciálu lze vyvodit přibližný obsah vody v určitém místě a při porovnávání hodnot dvou míst lze určit směr a sílu pohybu vody. [1]

### 3.3 Teplota

Teplota se liší v závislosti na geografické poloze a mění se v rámci roku. Nejvyšší průměrná teplota je okolo rovníku. Na severní polokouli je vyšší než na jižní díky větší rozloze souše. Dalšími ovlivňujícími faktory jsou nadmořská výška, expozice k dopadajícímu světlu, přímořské klima a vulkanická činnost. Optimální teplota pomáhá dosáhnout rostlině nejrychlejšího vegetativního růstu. [1]

Rozmezí vhodné teploty se liší napříč druhy rostlin, v průběhu vývoje rostliny i během roku. Nejvíce odolné jsou semena a dormantní orgány. Důležitým faktorem pro změnu teploty je rychlost poklesu o určitou hodnotu. Pokud je pokles pozvolný, rostlina se stačí aklimatizovat a získává rezistenci vůči velice nízkým teplotám. Pokud je pokles nebo nárůst teploty prudký vyvolá stresovou reakci a rostlina se snaží změně přizpůsobit (Obr. 3). Při vysokých teplotách se nejdříve naruší primární fáze fotosyntézy a při následném zvyšování teploty se sníží stabilita enzymů Calvinova cyklu. Při nízkých teplotách těsně nad bodem mrazu se postupně poškozují buňky a pokud je vystavení nízkým teplotám dostatečně dlouhé (hodiny až dny), buňky se poškodí nenávratně. Při teplotách pod bodem mrazu se snižuje vodní potenciál a dochází k dehydrataci rostliny. Zároveň mrzne voda ve vakuolách, které se mohou roztrhnout, a tak zničit buňku. Pokud je pokles teplot pod bod mrazu dostatečně pozvolný, voda je schopná zůstat v kapalném stavu až do teplot  $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ . K zamezení tvorby velkých krystalů ledu pomáhají sacharidy. [1]



Obr. 3 stresová reakce [1]

Rostlina může regulovat svou teplotu výdejem vody ve formě vodní páry. Energie vydaná tímto způsobem napomáhá transportu vody a látek v ní rozpuštěných. Další způsob ochlazení je přímé předávání tepla vedením. Zvýšení teploty je možné skrz alternativní oxidaci, která je ale využívána pouze ve výjimečných situacích. Rostliny se brání proti zvýšení teploty ozářeností pokryvem trichomy, žlázkami a vosky nadzemních částí, které zvyšují schopnost záření odrážet. Dále se dá docílit snížení energie růstem listů do vertikální polohy nebo jejich svinováním. [1]

### 3.4 Minerální látky

Rostliny obsahují spoustu prvků tvořící anorganické sloučeniny a nazývají se látky minerální. Mají účel vytváření funkčních struktur nebo pomáhají při metabolických procesech. Jsou rozděleny do skupin podle míry potřeby k životu. [1]

- Esenciální prvky jsou nenahraditelné a pro život rostliny nezbytné. Pokud je těchto látek nedostatek, projevuje se to na rostlině změnami tvaru a barev některých orgánů, zpomalení nebo zastavení růstu a usycháním pletiv. Pokud je nedostatek dlouhodobý, rostlina zahyne. Naopak při přebytku látek v rostlině mohou prvky působit toxicky. [1]
- Benefiční prvky mohou být nezbytné jen pro některé rostliny nebo pouze za určitých podmínek. V takovém případě má rostlina velmi specifické požadavky na obsažené množství. Rostliny mohou obsahovat i jiné prvky, které nejsou nezbytně nutné pro jejich existenci. [1]

Všechny minerální látky jsou získávány z okolí rostliny. Poznatky o potřebných prvcích za určitých podmínek se nazývá minerální výživa. Rostlina přijímá látky celým svým povrchem, ale převažuje příjem skrz kořenový systém. V půdě jsou prvky rozpuštěny ve vodě. Čím větší

povrch kořenů, tím více minerálních látek je rostlina schopná získat. Nejvíce efektivní jsou kořenové vlásky, které nejvíce zvětšují kontaktní plochu s půdou. [1]

- Dusík – Je nejdůležitější prvek pro rostlinu. Slouží k asimilaci CO<sub>2</sub>, podporuje správný růst rostliny a při jeho nedostatku se na rostlině objevují světlé skvrny způsobené úbytkem chlorofylu. [1]
- Draslík – Je v rostlině důležitý zejména pro příjem vody a kořenový tlak. Při nedostatku draslíku se objevují světlé skvrny na starších částech rostliny, kroucením listů a tenkostí stonků. Rostlina má sklon polehávat. [1]
- Vápník – Je důležitý hlavně v mladých částech rostliny. Pomáhá při výstavbě listů a drží plody rostliny do zralého stavu. [1]
- Hořčík – Je důležitý pro syntézu proteinů a rozmístění chlorofylu, na který je navázán. Pomáhá při správném prostorovém uspořádání komponent. Nedostatek hořčíku se projevuje skvrnami na starších listech. [1]
- Fosfor – Uvnitř rostliny je vázán na látky s vysokým obsahem energie a přispívá tak energeticky k vzniku dalších metabolických procesů. Nedostatek fosforu se projevuje zakrslostí rostlin, tmavnoucími listy a jejich deformací. [1]
- Síra – Nedostatek síry se projevuje skvrnami na mladých listech a zakrslostí. Pokud má dlouhodobě zvýšenou koncentraci v atmosféře, dochází k poškození listů. [1]

### 3.5 Organismy

Organismy mohou žít s rostlinami ve vzájemné symbióze a navzájem se podporovat nebo organismy, které rostlinu ovlivňují nepříznivě a navozují stres. Rostliny ohrožují parazité, konkuruující rostliny a býložraví živočichové. [1]

#### 3.5.1 Patogeny

Organismy, které využijí část nebo celou ontogenezi k využívání a poškozování rostliny. Reakce vyvolaná působením patogenů se nazývá choroba. Patogeneze probíhá postupně a prochází několika fázemi. Nejdřív se patogen dostane do rostliny, následuje využívání rostliny k vlastní existenci a poté se reprodukuje a šíří. Patogeny mohou být viry, bakterie a houby. Vůči některým patogenům je rostlina rezistentní a může se efektivně bránit. [1]

Průběh choroby výrazně ovlivňuje prostředí. Na straně rostliny to jsou teplota a ozáření a schopnosti patogenu jsou ovlivňovány teplotou, vlhkostí a podmínkami v půdě. Choroba se

šíří buď přímo z rostliny na rostlinu nebo je přenášena hmyzem. Ochrana rostlin proti patogenům usiluje o posílení mechanických bariér rostliny nebo naopak pro ztížení existence patogenu. [1]

### 3.5.2 Býložraví živočichové

Živočichové poškozující rostliny jsou jak bezobratlí, tak i obratlovci. Rostliny jim slouží jako potrava a jsou na nich zcela závislí. Poškození vzniká okusem nebo sáním. Sáním nejsou rostliny mechanicky poškozené, ale čerpají z nich důležité látky a rostlina kvůli nedostatku strádá. Okus způsobuje mechanické poškození na rostlině, která přichází o důležité látky a zároveň na ní vznikají rány umožňující vniknutí patogenů. [1]

Rostliny se časem vyvinuly tak, aby získaly ochranu proti poškození živočichy. Vznikají buď různé derivace (např. ostny nebo trny) nebo si vytváří toxické látky pro živočichy nestravitelné. [1]

### 3.5.3 Konkuruující rostliny a parazitismus

Rostliny si navzájem mohou škodit pomocí chemických látek vyloučených do okolí, které mají zamezovat prosperování dalších rostlin. Látky se přenáší vodou nebo vzduchem. Rostlina je schopna vylučovat inhibiční látky i po odumření jejích částí, a to za pomoci mikroorganismů při tlení. Působí negativně na klíčení semen, růst kořenů a schopnost přijímat minerální látky. Sama rostlina je vůči látkám imunní. [1]

Parazitické rostliny jsou závislé na svém hostiteli. Míra závislosti se může lišit mezi druhy. Téměř 1 % druhů semenných rostlin jsou parazité. Úplní parazité získávají ze svého hostitele všechny potřebné látky k životu. Poloparazité si umí některé látky sami vytvořit a z hostitele získávají hlavně vodu a minerální látky. Vyskytují se převážně v půdách chudých na dusík. Parazité mají přeměněné kořeny tak, aby se mohly přichytit na hostitelskou rostlinu a přímo se na ní napojit. Nejdůležitějším obdobím je období klíčení, kdy se parazit potřebuje napojit na svého hostitele. Hostitel aktivuje obranný mechanismus v případě rozeznání přítomnosti parazita a tvoří toxické látky pro dosažení rezistence. [1]

### 3.6 Výběr faktorů

Při výběru faktorů pro realizování automatického systému je důležité zvážit, zda je daný faktor zjistitelný senzorem nebo je vhodnější pozorovat ho člověkem. Pro případ živých organismů škodících rostlinám je vhodnější zvolit lidské oko a pravidelně rostliny pozorovat. U teploty je

důležité, aby nebyly příliš prudké změny. Je sice měřitelná celou řadou senzorů, ale mimo skleník nebo jiný uzavřený prostor je těžké ji ovlivnit. Pro náš případ je nejvhodnější zaměřit se na vlhkost v půdě a s ní související srážky a sluneční svit. Srážky jsou výborný faktor v tom ohledu, že jdou lehce ovlivnit člověkem při využití zavlažování. Sluneční svit v kombinaci s vlhkostí půdy lze využít k odhadu doby vysychání půdy. V případě přesnějšího výsledku by bylo potřeba využít i senzor pro měření síly větru, který pomáhá k rychlejšímu odpařování vody. (Tab. 1) [1]

*Tab. 1 Porovnání faktorů ovlivňující rostliny [vlastní]*

	Pozorovatelnost automatickým systémem	Ovlivnitelnost mimo uzavřené prostory	Častá potřeba zásahu
Osvit	++	-	+
Teplota	++	--	-
Srážky	+	++	++
Vlhkost půdy	++	++	++
Minerální látky	+	++	--
Organismy	--	++	--

Poznámka: ++ = určitě ano, + = spíše ano, - = spíše ne, -- = určitě ne

## 4. Technické řešení

Technické zpracování automatizovaného systému pro evidenci vlhkosti v půdě se bude týkat výběru platformy společně s moduly, napájením a návrhem zapojení celého obvodu. Dále se vybere způsob posílání dat a jejich přehledné zpracování pro uživatele. V návrhu bude obsažena i možnost vylepšení systému pro budoucí využití.

### 4.1 Výběr platformy

Arduino vzniklo za účelem levné platformy pro studenty, která měla být zároveň lehce programovatelná a vhodná pro studijní účely. Arduino využívá již známé komponenty i způsoby implementace jako ve spoustě jiných zařízení. Patří mezi ně manuály, hardware, knihovny a jiné. Jedná se o open source projekt, který získal velkou komunitu lidí, kteří dále přispívají svými nápady. Veškeré informace, návody a manuály jsou tedy volně přístupné všem. Programová část je založena na knihovně jazyku Java Processing<sup>3</sup>. Byl přidán i vlastní editor pro jednodušší programování. Na světě existuje spousta různých typů vytvořené pro různé účely. Zároveň vznikla spousta neoficiálních typů (klonů) díky možnostem open source. Poznáme je tak, že nenesou celé jméno Arduino, které je chráněno autorskými právy, ale obsahují jeho části např. -duino. [4, 5]

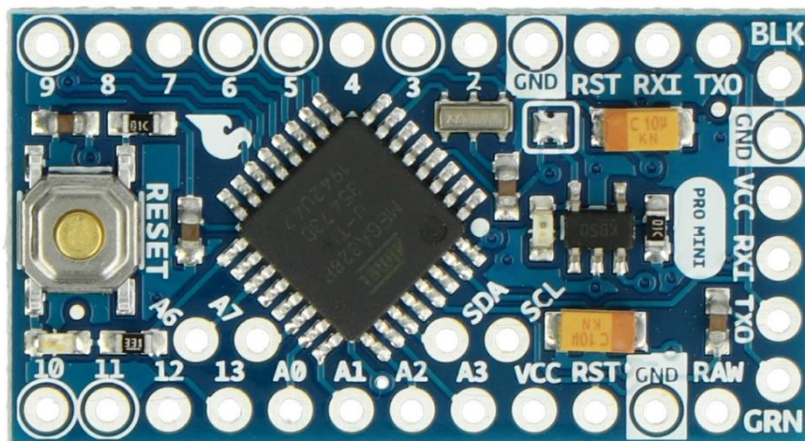
Většina desek používá procesor od firmy Atmel a má jednotné grafické zpracování s typicky modrým designem. Jednotlivé typy desek mají i rozličné verze označované RevX nebo RX. Změny mezi jednotlivými verzemi bývají pouze v rozdílném rozložení součástek nebo v samotném designu. Spousta desek obsahuje převodník umožňující komunikaci mezi čipem a PC. Zbytek desek buď nemají převodník a je potřeba použít externí nebo je převodník zabudovaný přímo v čipu. [4, 5]

Ne všechna Arduina jsou vyrobena tak, aby splňovala všechny naše požadavky již v základním provedení. Důležité je vybrat si takové, které splňuje co nejvíce požadavků a vyhledat si, zda jde na něj připojit potřebný shield nebo modul. Shield je nástavba, která doplňuje funkce Arduina a jedná se o přidání možnosti využívat ethernet, wifi, display a další. Jsou vyráběny tak, aby seděli na piny desky, pro kterou jsou určeny, takže na ni jdou velice snadno připojit. [5]

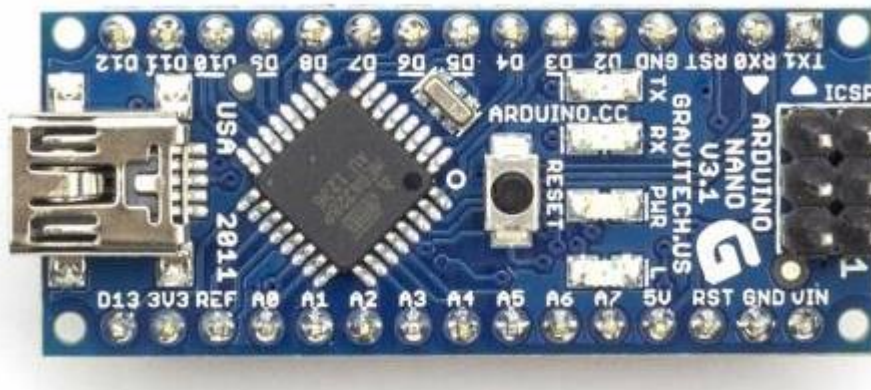


#### 4.1.1 Arduino Mini a Nano

Arduina Mini (Obr. 4) a Nano (Obr. 5) patří k nejmenším vyráběným deskám na trhu. Jsou navrženy tak, aby byla co největší úspora místa na úkor přítomnosti USB portu u Arduina Mini. Nano má jak USB port, tak převodník a je jen o něco málo větší než Mini. Díky svým rozměrům jsou vhodné k využití například v dálkových ovladačích nebo zařízeních připojených k IoT. Nano měří pouhých 45 mm na délku a 18 mm na šířku. Obě desky běží na procesoru ATmega328 s taktem 16 MHz a 32 KB flash paměti. [5, 6]



Obr. 4 Arduino Mini [7]

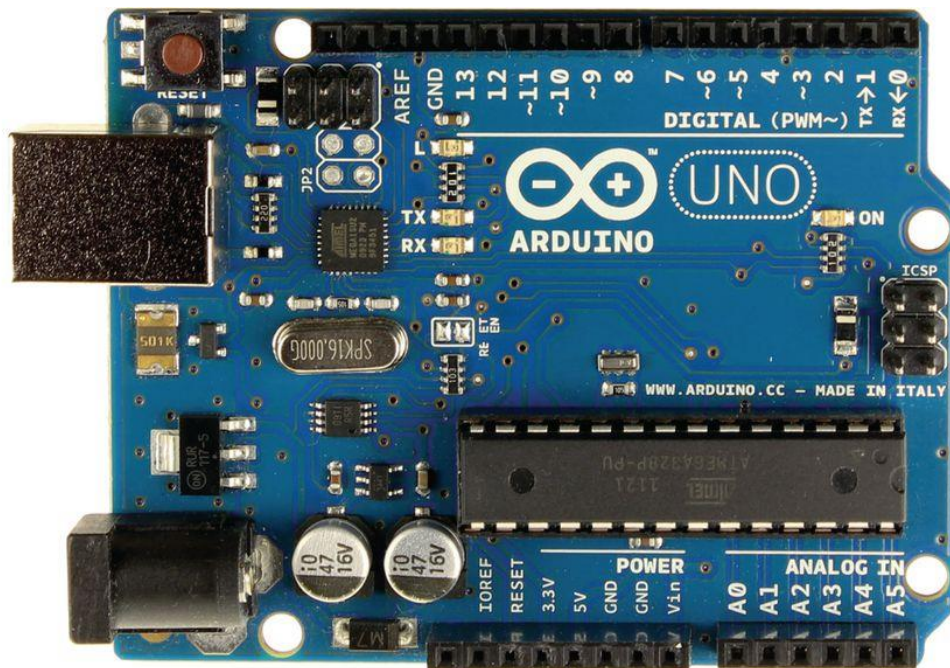


Obr. 5 Arduino Nano [8]

#### 4.1.2 Arduino Uno

Nejčastěji používaným typem desky je v dnešní době Arduino Uno (Obr. 6). Navazuje na Arduina hlavní vývojové linie po Arduino Extreme, NG, Diecimila a Dumilanove. Procesorem na desce je ATmega328P a takt má 16 MHz. Velikou výhodou je, že není připájen k desce a v případě poškození ho lze snadno vyměnit. ATmega328P má také 1 kb EEPROM paměti, která se po vypnutí nevymaže. Deska obsahuje USB port, napájení přes jack konektor a resetovací tlačítko. Má 14 digitálních pinů a 6 analogových vstupů. Derivací tohoto typu vznikly desky

Arduino Ethernet, Arduino Bluetooth a Arduino Pro. Arduino Ethernet je totožná s jedinou změnou a tou je výměna USB portu za ethernet port. Arduino Bluetooth obsahuje místo USB portu Bluetooth modul pro bezdrátovou komunikaci. U Arduino Pro je odstraněn USB port a vyžaduje externí převodník. [5, 9]

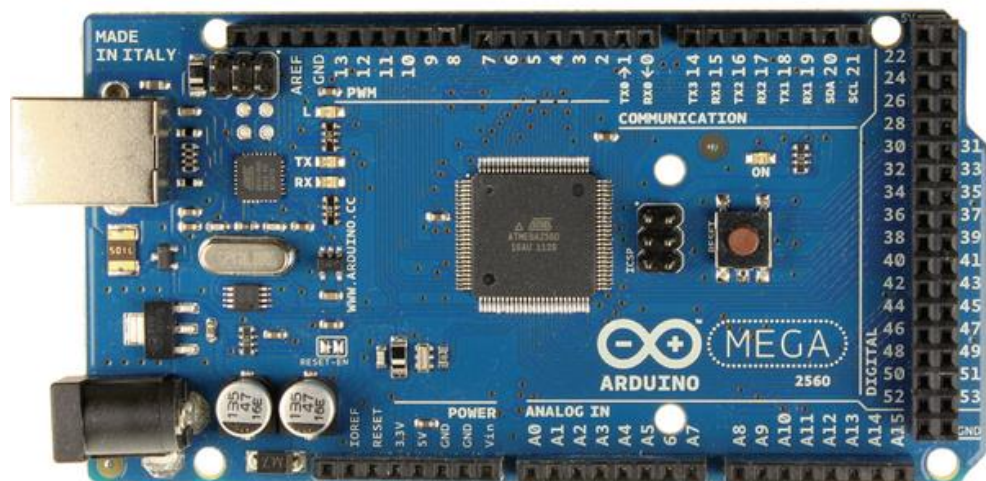


Obr. 6 Arduino Uno [10]

#### 4.1.3 Arduino Mega2560

Arduino Mega2560 (Obr. 7) vzniklo prodloužením designu Arduina Uno. Díky zvětšeným rozměrům může být na desce větší a výkonnější čipy a více pinů. Je vhodný v případě potřeby náročnějších výpočtů a tím většího výkonu. Procesorem na desce je ATmega2560 a takt má 16 MHz. Jedná se o vysoce výkonný 8bitový mikrokontrolér AVR s nízkou spotřebou. Na desce je 54 vstupně výstupních digitálních pinů, 16 analogových vstupních pinů a 4 sériové porty. Díky 4 sériovým portům je deska schopná se připojit k několika zařízením zároveň. 15 z 54 digitálních pinů lze použít jako PWM výstupy. Jedná se o desku s nejvíce piny bez nutnosti přidaného shieldu. Deska obsahuje USB port, napájení přes jack konektor a resetovací tlačítko. ATmega2560 má také 4 kb EEPROM paměti, která se při vypnutí nevymaže. [5, 11]

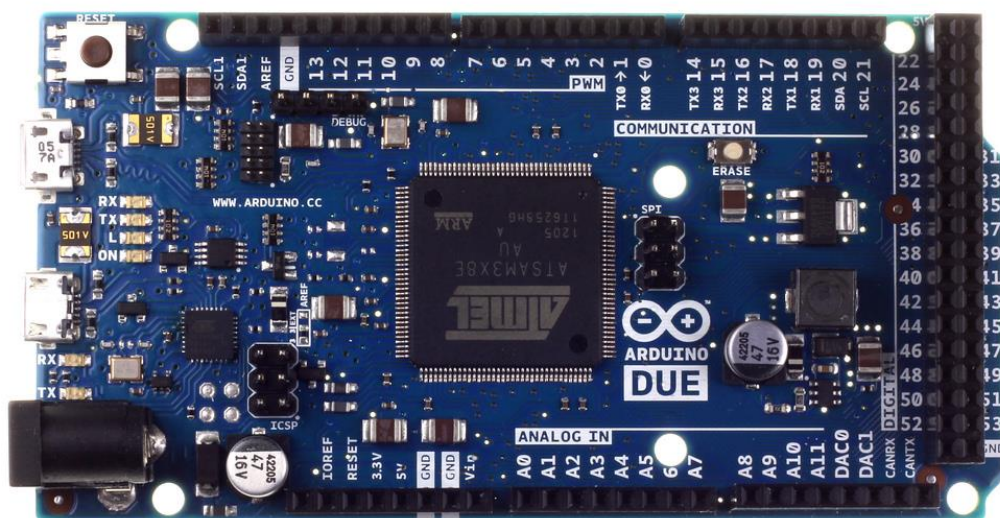




Obr. 7 Arduino Mega2560 [12]

#### 4.1.4 Arduino Due

Následníkem Arduina Mega je Arduino Due (Obr. 8). Liší se od něj tím, že běží na mnohem výkonnějším čipu. Je jím Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 s 32bitovým jádrem, který tiká na taktovací frekvenci 84 MHz a má 96 kb SRAM. Na desce jsou upevněny dva micro USB porty. Jeden slouží pro programování a druhý pro připojení zařízení jako např. myši a klávesnice. Na desce je 54 vstupně výstupních digitálních pinů, 12 analogových vstupních pinů, 2 výstupní analogové piny s převodníkem, 4 hardwarové sériové porty a 2 sběrnice. 12 z 54 digitálních pinů lze použít jako PWM výstupy. Deska obsahuje USB OTG port, napájení přes jack konektor, resetovací tlačítko a tlačítko pro smazání. Válcový konektor skvěle funguje se standardní 9 V baterií. [5, 13]



Obr. 8 Arduino Due [14]

#### 4.1.5 Porovnání typů desek

Z nabízených Arduino desek bylo vybráno Arduino Uno, protože je nejpoužívanější a díky tomu existuje spousta návodů na zapojení mnoha modulů. Splňuje všechny požadavky a má i dostatečný počet pinů a zároveň jich je dost navíc pro případné rozšíření (Tab. 2). Na fórech se nejvíce vyskytují doporučení na použití Arduino Uno, pokud se nejedná o ojediněle specifické projekty, což není tento případ. Arduino Mega2560 by také šlo použít, ale pro tento případ je zbytečně předimenzované.

Tab. 2 Porovnání parametrů desek Arduino [6, 9, 11, 13]

	Arduino Nano	Arduino Uno	Arduino Mega2560	Arduino Due
Procesor	ATmega328	ATmega328P	ATmega2560	AT91SAM3X8E
Frekvence [MHz]	16	16	16	84
SRAM paměť [kB]	2	2	8	96
Flash paměť [kB]	32	32	256	512
EEPROM paměť [kB]	1	1	4	ne
Připojení k počítači	Mini-B USB	USB-B	USB-B	Micro USB
zabudované LED Piny	13	13	13	13
Digitální vstupní/výstupní piny	14	14	54	54
Vstupní analogové piny	8	6	16	12
Výstupní analogové piny	ne	ne	ne	2
Výstupní pwm piny	6	6	15	12
Vstupní/výstupní napětí [V]	5	5	5	3.3
Nominální napětí [V]	7-12	7-12	7-12	7-12
Vhodná baterie [V]	3.7	9	9	9
Stejnoseměrný proud na 1 pin [mA]	20	20	20	9 (první skupina) 3 (druhá skupina)
Velikost [mm]	18 x 45	53.4 x 68.6	53.3 x 101.5	53.3 x 101.5
Komunikace přes UART	ano	ano	ano	ano

	Arduino Nano	Arduino Uno	Arduino Mega2560	Arduino Due
Komunikace přes I2C	ano	ano	ano	ano
Komunikace přes SPI	ano	ano	ano	ano
CAN sběrnice	ne	ne	ne	ano

## 4.2 Snímače

Snímače (senzory) snímají fyzikální stav svého okolí. Hodnoty sledovaných veličin jsou převáděné do formy signálů, které se dále přenáší a zpracovávají. Snímače umožňují rozšíření desek, které jimi nedisponují. Existuje nespočet druhů senzorů a je důležité dopředu vědět v jakých podmínkách a pro jaké účely budou využity. V tomto projektu se využijí snímače související s počasím a jelikož bude zařízení umístěno venku, bude potřeba zajistit, aby snímače pracovaly i ve ztížených podmínkách spojenými se změnami teplot a dalšími faktory. Nejvíce zajímavé pro tento projekt jsou snímače teploty, vlhkosti, srážek a osvitů. [15]

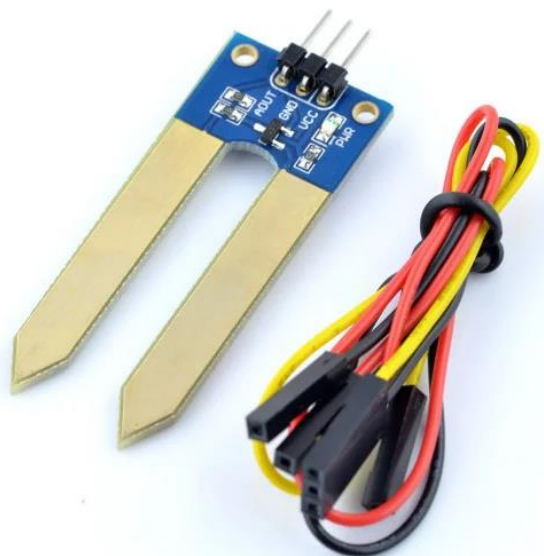
### 4.2.1 Snímač vlhkosti půdy

Snímač půdní vlhkosti měří množství vody obsažené v půdě a substrátech. Používají se primárně dva typy snímačů podle způsobu měření. Těmito dvěma typy jsou senzory kapacitní a odporové sloužící ke snímání relativní vlhkosti. [16]

- Odporový snímač (Obr. 10) – Využívá změnu měrného odporu naměřeného mezi dvěma elektrodami a stanoví z ní hodnotu relativní vlhkosti. Jsou to relativně nízkonákladová zařízení malých rozměrů a lehce se vyměňují. Oproti kapacitním snímačům mají výhodu, že fungují i při větších vzdálenostech mezi snímačem a přijímačem signálu. Oproti tomu je nevýhodou probíhající elektrolyza způsobující degradaci a v agresivním prostředí dochází k znehodnocování. [16]
- Kapacitní snímač (Obr. 9) – Využívá kondenzátor složený ze dvou elektrodových vrstev. Materiál mezi nimi je dielektrický a zároveň musí mít schopnost absorbovat vlhkost. Změna dielektrické hodnoty je přímo úměrná hodnotě relativní vlhkosti. Poskytují téměř linearitu při měření vlhkosti s amplitudou signálu v rozsahu vlhkosti. Jsou omezeny vzdáleností mezi snímačem a signalizačním obvodem. Deska je obvykle pokryta antikoročním lakem ochraňujícím před degradací. [16]



Obr. 9 kapacitní snímač [17]



Obr. 10 odporový snímač [18]

#### 4.2.2 Snímač teploty

Teplotní snímače měří teplotu z různých prostředí, kterými mohou být např. vzduch, kapalina nebo pevné látky. Existují různé typy teplotních snímačů využívající rozdílných technologií a principů. Při výběru snímače je zapotřebí zvážit, zda vyhovuje parametry podmínkám, ve kterých se teplota měří. Nejdůležitější je teplotní rozsah a linearita měřené křivky v našem požadovaném rozsahu pro přesnější přepočty. Dalším parametrem je přesnost měření a jeho stabilita. Posledním velice důležitým faktorem je v tomto případě voděodolnost. Při porovnání všech parametrů (Tab. 3) vyjde, že nejvíce se hodí pro venkovní použití Snímač DS18B20 s voděodolnou úpravou. (Obr. 11) [19]

Tab. 3 Porovnání teplotních snímačů [20]

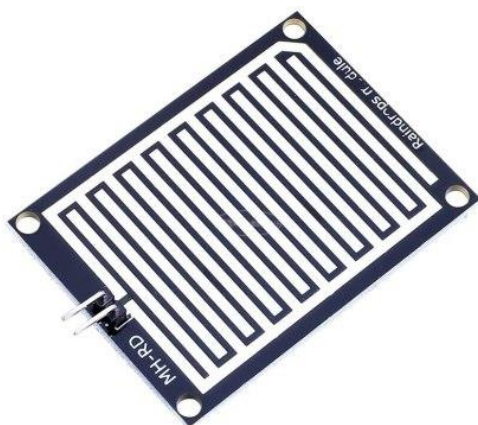
	DHT11	DHT22	LM35DZ	BMP180	TM1P36	BME280	DS18B20
Napětí [V]	3–5.5	3–6	4–30	3.3–5	2.7–5.5	3.3–5	3–5.5
Rozsah teploty [°C]	0–50	-40–80	-55–150	0–65	-40–125	-40–85	-55–125
Přesnost [°C]	+/- 2	+/- 0.5	+/- 0.5	+/- 0.5	+/- 1	+/- 0.5	+/- 0.5
kombinované	vlhkost	vlhkost	ne	tlak	ne	tlak, vlhkost	ne
voděodolnost	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano



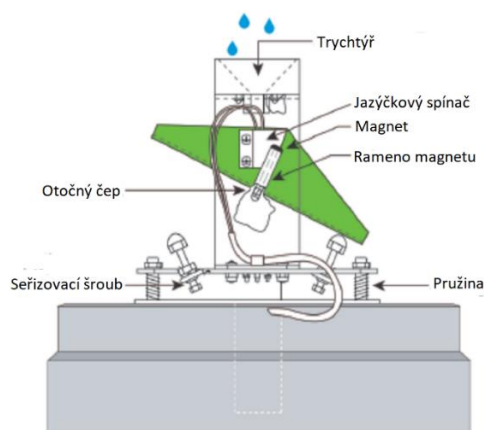
Obr. 11 Snímač DS18B20 [20]

#### 4.2.3 Snímač srážek

Pro měření srážek lze využít způsoby dva. Prvním je měření přes desku, která pro snímání dešťových kapek využívá změnu odporu vodiči přilepeném na desce a zabírajícím co největší plochu. Změna nastane vždy při dopadu kapky kapaliny, která propojí cestu na mřížce a odpor se tím sníží. (Obr. 12) K senzoru musí být přidán převodník na převod z odporu na napětí. Modul dešťového senzoru umožňuje měřit vlhkost pomocí analogových výstupních kolíků a poskytuje digitální výstup při překročení prahové hodnoty vlhkosti. Výhodou jsou malé rozměry, ale menší přesnost při měření objemu vody na desku dopadající. Druhý způsob využívá hmotnost kapek a funguje na bázi kolébky, která je nastavena na určitou hmotnost, při jejíž dosažení se kolébka vždy vylíje a počítač připočítá objem vody za čas. (Obr. 13) Nevýhodou je větší konstrukce, ale jako samotný senzor je přesnější. [21, 22]



Obr. 12 Odporová deska na snímání srážek [21]



Obr. 13 měřič srážek přes hmotnost vody [22]

#### 4.2.4 Snímač osvitů

Snímač osvitů je fotoelektrické zařízení přeměňující dopadající světelnou energii na energii elektrickou. Vyhodnocují intenzitu světla v rozmezí dané vlnové délky podle typu snímače. Pokud by bylo zapotřebí zjistit intenzitu světla v užším spektru, muselo by se použít interferenční filtry propouštějící jen určitou vlnovou délku. Tím by se dala zjistit intenzita světla jen ve fotosynteticky aktivním spektru nebo konkrétně „modré“ a „červené“ spektrum, které ovlivňuje růst rostliny jiným způsobem. [23]

- Fotorezistor je nejběžnějším typem využívaným k jednoduché detekci úrovně intenzity světla závislé na změně velikosti odporu na rezistorech. Je vysoce citlivý na viditelné světlo a část infračerveného světla blízka viditelnému. [23]
- Fotodiody nepoužívají odpor na rezistorech, ale využívají optických filtrů a čoček. Pracuje na principu fotoelektrického jevu. Proud generovaný fotodiódou je přímo úměrný intenzitě světla, tudíž je vhodný v obvodech, kde je potřebná rychlá odezva. Díky snímání i infračerveného světla mají více využití. [23]
- Fototranzistorový senzor lze popsat jako fotodiody plus zesilovač. Má mnohem větší citlivost při snímání, ale při detekci nízké úrovně osvětlení jsou stejně citlivé jako fotodiody. [23]

#### 4.3 Přenos dat

Arduino platforma má mnoho způsobů, jak komunikovat se servery nebo mezi samotnými deskami. Nezákladnější a nejspolehlivější je drátové připojení. Tento způsob se ale vždy nehodí, a tak se dá využít bezdrátová komunikace. Samotné Arduino může využít hned několik způsobů bezdrátové komunikace. Na kratší vzdálenosti se hodí Bluetooth modul, XBee shield nebo RF modul. Pro naše využití se bohužel přenos na krátkou vzdálenost nehodí a nelze ho použít. Mezi hlavní způsoby přenosu na větší vzdálenosti patří Wi-Fi, GSM, SigFox a LoRa. [4, 5]

##### 4.3.1 Wi-Fi

Jedná se o bezdrátovou komunikaci v ISM pásmu. Na pásmech s vysokou frekvencí komunikace může dojít k zahlcení. Může se připojit k sítím jak zabezpečeným, tak k těm bez hesla. Jedinou podmínkou je, aby síť vysílala své SSID a byla tak pro Arduino zjistitelná. Zařízení nedokáže zároveň vysílat a přijímat na jedné anténě, a proto spoléhají na potvrzovací packet. Pokud packet neobdrží, počítá se s tím, že došlo při přenosu ke kolizi. [4, 5]



Na desce shieldu je i SD slot pro microSD kartu, který ale nelze použít současně s Wi-Fi. Výhodou je, že shield je pevný a má piny rozložené přesně pro Arduino, na které je určený, a jde nasadit jednoduše přímo na základní desku. Zároveň má na sobě další rozšiřující piny. Nevýhodou použití Wi-Fi shieldu je krátká vzdálenost dosahu potřebná pro přístupový bod, která činí jen něco málo pod 50 m. Pro projekt realizovaný na poli nebo zahradě je tedy nevhodný bez přístupového bodu v dosahu. [4, 5]

#### 4.3.2 GSM

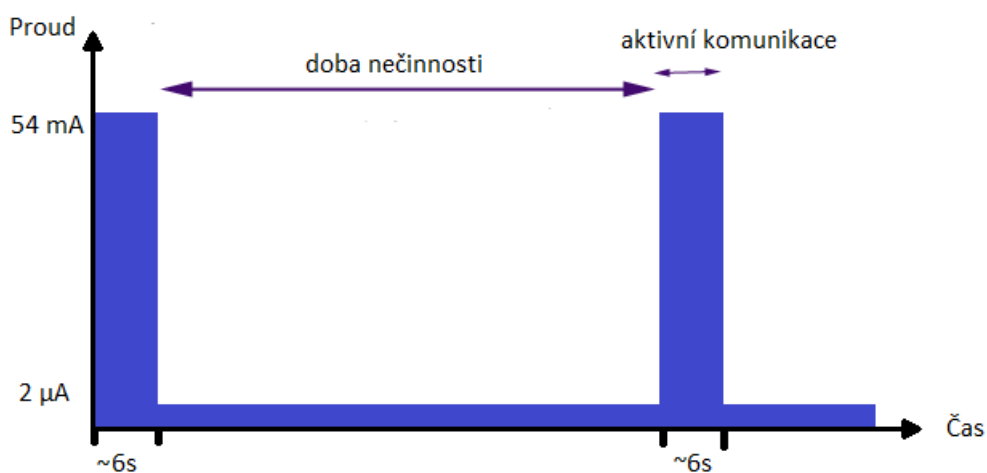
Global System for Mobile Communications je mezinárodní standart pro mobilní telefony. Umožňuje jak přístup k internetu přes GPRS, tak zároveň posílání SMS a hlasových zpráv. Posílání SMS zpráv je velice výhodné, pokud je potřeba zaslat akutní informaci, protože stále je častější sledování telefonu než sledování serverů. Z pohledu operátora se Arduino chová jako mobilní telefon. Nevýhodou je vysoká spotřeba energie při samotném GPRS přenosu a je důležité mít zdroj, který zvládne dodávat nárazově až 2 A, jinak bude celý systém pravidelně padat. [24]

GPRS je technologie posílání packetů, která se realizuje s rychlostí 56–114 kbit s<sup>-1</sup>. Pro možnost použití GPRS pro přístup k internetu je potřeba získat přístupový bod a uživatelské jméno/heslo od provozovatele sítě. U operátora je nutné si zaplatit předplatné a získat SIM kartu, která přijde do GSM shieldu a je schopná uložit kontakty a SMS zprávy. Shield přijímá SIM kartu ve formátu mini-SIM, která je 25 mm dlouhá a 15 mm široká. Pokud je nastaven čtyřmístný PIN kód, stává se tak důležitou součástí připojení SIM karty k síti. Prodejce SIM karty musí poskytovat i pokrytí GSM tam, kde je ho potřeba nebo mít smlouvu s další společností o roamingu, aby se potřebná lokalita pokryla. [24]

#### 4.3.3 SigFox

Komunikace přes SigFox má velice dlouhý dosah a zároveň nízkou spotřebu energie. Díky nízké spotřebě je zajištěna dlouhodobá životnost vzdálených zařízení s minimální nutností nabíjení. Díky komunikaci na dlouhé vzdálenosti není potřeba velké množství základních stanic a umožňuje velké pokrytí plochy (94 % pro Českou republiku). Stanice fungují na hvězdicové topologii a zařízení se může připojit ke kterékoli, která je zrovna nejvýhodnější na použití. Vzdálenosti přenosu až 50 km je dosaženo ve venkovských oblastech oproti městským částem, kde je dosah maximálně 10 km. [25, 26]

Díky úzkému pásmu, na kterém probíhá přenos dat, je veliká odolnost proti rušení. Komunikace se uskutečňuje v ISM pásmu. SigFox má vestavěný firewall, který omezuje objekty IoT pro neoprávněnou komunikaci pomocí internetového protokolu a každé samotné zařízení má vlastní klíč k prokázání přístupu k datům. Hardware je vyroben z polovodičů, které umožňují přenášet data s proudem v rozmezí 10 mA – 50 mA a při nečinnosti je to jen pár  $\mu\text{A}$ , což je zanedbatelná velikost (Obr. 14). Před samotným přenosem dat není potřeba párování zařízení, protože SigFox architektura neprovádí synchronizaci a tím je získáno další snížení spotřeby energie baterií. Nevýhodou se může zdát omezení velikosti zasílaných zpráv na 12 B a počtu zpráv na 140 denně, ale pro tento projekt je to dostatečná kapacita. [25]



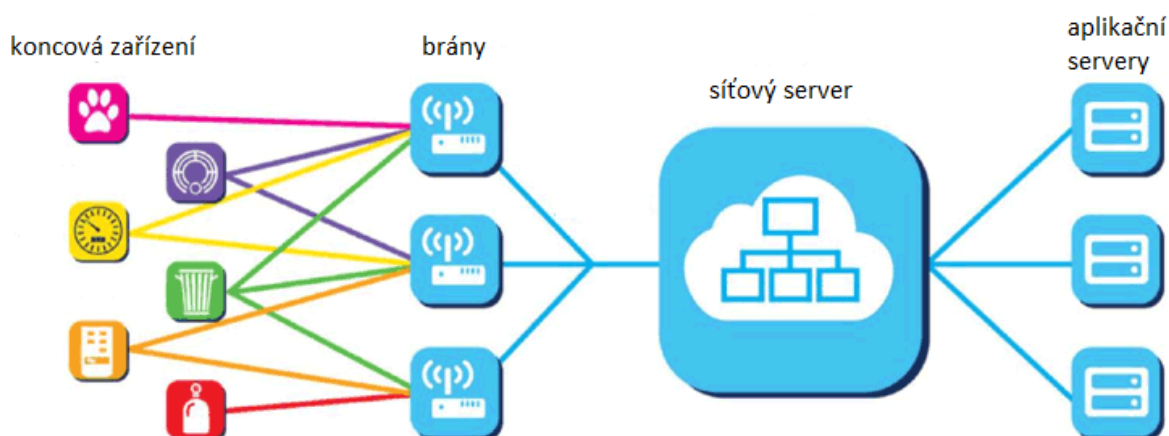
Obr. 14 odběr proudu při SigFox komunikaci [25]

#### 4.3.4 LoRa

LoRa je patentovaná bezdrátová komunikační technologie umožňující spojení na velké vzdálenosti jen s nepatrným využitím energie. Tuto velkou výhodu kompenzuje to, že pracuje jen na malé šířce pásma a je tedy možné posílat jen malé množství dat. Pro posílání informací ze senzorů je velikost obsahu poslaného packetu úplně ideální. Použitá pásma pro komunikaci jsou nelicencovaná a dostupná po celém světě. Pro Evropu je typické pásmo 868 MHz. Nelicencovaná pásma jsou sice uživatelná bez poplatku, ale je zde větší pravděpodobnost zahlcení a v důsledku toho přerušování komunikace. Posílaná data jsou šifrována pomocí dvou klíčů. První se používá pro ověření dat koncového uzlu mezi zařízeními a uzlem a druhý slouží k zajištění soukromí dat samotného zařízení mezi aplikací a koncovým uzlem. [27, 28]

LoRa byla navržena tak, aby komunikovala mezi uzly přes LoRa bránu, která dál pošle data na internet, a tak se dostanou ke koncovému uživateli (Obr. 15). Jde o hvězdicovou architekturu, takže zařízení je uspané, dokud nepotřebuje komunikovat s bránou a nepotřebují být připravené na komunikaci s dalšími zařízeními jako je tomu u topologie mesh. [27, 28]

K napájení se obvykle používá baterie. LoRaWAN je upravená forma LPWAN, která specifikuje protokol o tom, jak by měla být LoRa ve fyzické vrstvě použita k odesílání a přijímání dat mezi uzly, bránami a koncovým uživatelem. Maximální teoretická vzdálenost, přes kterou by měla LoRa být schopná dopravit informace do uzlu a zpět, je 715 km při přímé viditelnosti. Na zemi se průměrný dosah pohybuje okolo 13–15 km. Nejdelší dosažená vzdálenost je 212 km. [28, 29]



Obr. 15 architektura sítě LoRa [28]

#### 4.4 Napájení

U projektů, které využívají Arduino desky s moduly je nejdůležitější dlouhá doba mezi výměnou nebo dobitím baterie a zároveň stačí využití jen malých proudů. Proto je vhodné zvolit vysokokapacitní baterii, které nemusí dodávat příliš vysoký proud. Je důležité mít na paměti, že kapacita baterie časem klesá a je proto lepší zvolit takovou, aby měla rezervu oproti potřebám projektu. Pro tento projekt se nejvíce hodí nabíjecí lithiová baterie 18650 s nominálním napětím 3.6 V, nabíjecí proudem 2.5 A, vybíjecím proudem 25 A a kapacitou 2600 mAh. Pro Arduino potřebujeme zdroj dodávající alespoň 5 V. Po zapojení do série budou mít napětí 7.2 V a kapacitu 2600 mAh. [29, 30]

Informace získané ze snímačů se budou odesílat 1x denně. SigFox modul potřebuje 6 sekund pro probuzení se ze spánku, poslání informací a opětovného usnutí. Po zbytek času nespotřebuje téměř žádnou energii. Dodávaný proud při aktivním stavu je 54 mA a 2  $\mu$ A při spánku. Abychom získali průměrnou spotřebu za hodinu, rozložíme si aktivní dobu do 24 hodin a vyjde nám 0.25 s na hodinu. [31]

Výpočet pro spotřebu v aktivním stavu:

$$\frac{0.25}{3600} = 0.0000694 \text{ h}$$

$$0.0000694 \times 54 = 0.00375 \text{ mAh}$$

Výpočet pro spotřebu ve stavu spánku:

$$\frac{3600 - 0.25}{3600} = 0.9999 \text{ h}$$

$$2 \mu\text{A} = 0.002 \text{ mA}$$

$$0.9999 \times 0.002 = 0.0019 \text{ mAh}$$

Při třech zapojených snímačích vlhkosti půdy budou odebírat proud ze tří pinů po dobu, kdy se Arduino probudí a dostane do aktivního stavu. Na přesné odečtení veličiny potřebuje být v aktivním stavu alespoň 10 s. V takovém stavu odebírají 20 mA. Abychom získali průměrnou spotřebu za hodinu, rozložíme si aktivní dobu do 24 hodin a vyjde nám 0.417 s na hodinu. Po dobu spánkového stavu Arduina neodebírají proud žádný. [32]

Výpočet pro spotřebu v aktivním stavu:

$$\frac{0.417}{3600} = 0.000116 \text{ h}$$

$$20 \times 3 = 60 \text{ mA}$$

$$0.000116 \times 60 = 0.006945 \text{ mAh}$$

Samotná Arduino deska odebírá proud 24 mA. Spánkové režimy u Arduino nejsou příliš podporovány a snížení odběru proudu je velmi malé. [33, 34]

$$24 \times 1 = 24 \text{ mAh}$$

Výpočet celkové spotřeby:

$$0.00375 + 0.0019 + 0.006945 + 24 = 24.0126 \text{ mAh}$$

Výpočet doby výdrže baterie:

$$\frac{2600}{24.0126} = 108.276 \text{ h}$$

Po sečtení všech odebíraných proudů vyjde, že soustava bude odebírat 24.0126 mAh, což vydrží 108.276 h při použití baterie s kapacitou 2600 mAh. Tato doba platí pouze v případě, že baterie je nová a má plnou kapacitu. Životnost baterií se časem snižuje a Li-ion baterie vydrží 300–500 nabití, než ztratí svou životaschopnost. [29, 30]

Protože baterie zvládne napájet zařízení jen 4.5 dní a určitě ji nikdo nechce měnit tak často, použije se tedy solární panel, který ji bude dobíjet. Zařízení bude využíváno pouze od jara do podzimu a nejkratší doba mezi východem a západem slunce je 10 h. Zataženo po celý den nebývá déle než 2-3 dny v kuse, takže baterie vydrží dobu mezi nabíjením. Zařízení potřebuje průměrně 24.0126 mAh, což dělá 576.3 mA za den. Pokud je pouhých 10 hodin slunečního svitu denně, musí se dobít 57.63 mA za hodinu. Vybere se solární panel o 6 V, 1 W a 200 mAh. Důležité je připojit na obvod kontrolér dobíjení jako ochranu proti podpětí a přebití baterie. [35–38]

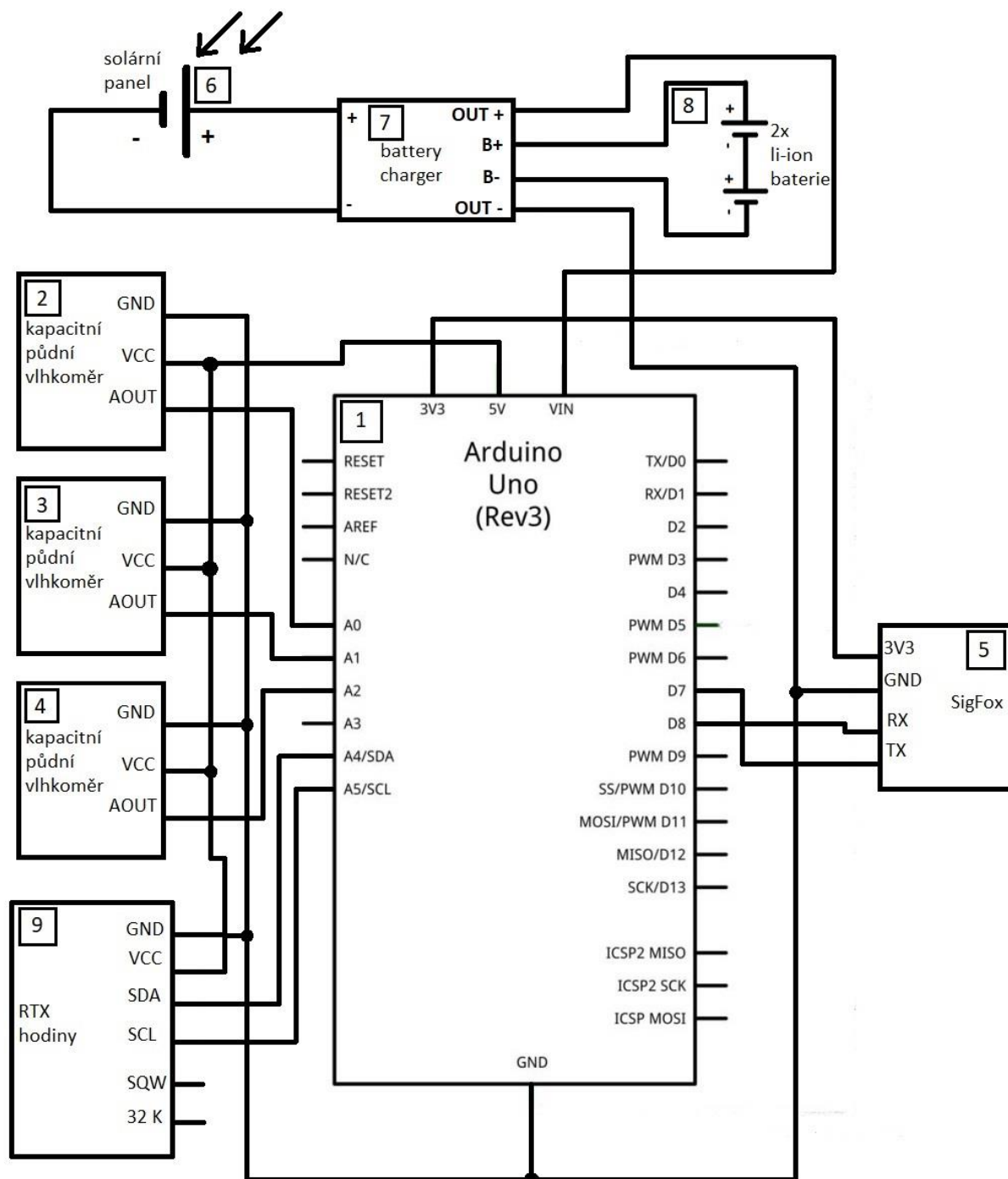
## 5. Zpracování návrhu

Pro zpracování návrhu automatizovaného systému pro evidenci vlhkosti v půdě bylo vybráno Arduino Uno Rev3 jako základní deska, SigFox modul s anténou pro komunikaci se serverem, solární panel s nabíjecím modulem pro nabíjení baterií, 2 li-ion baterie pro napájení s pouzdem na baterie, RTC hodiny pro vnější probuzení a 3 snímače půdní vlhkosti pro snímání v různých hloubkách. [36, 39, 40]

### 5.1 Zapojení

Obvod se zapojí podle schéma na Obr. 16. Pro první zapojení obvodu se může využít nepájivé pole a celý program vyzkoušet nanečisto a zjistit, jestli bylo vše zapojeno správně. Po ujištění, že vše funguje, jak má, zapojí se obvod napevno pájením všech součástí k sobě pomocí kabelů. [36, 39, 40]

- Solární panel (6) se zapojí na nabíjecí modul (7) z jedné strany na piny + a -. Jedná se o solární panel s napájením 6 V, 1 W a 200 mA. Při potřebě výkonnějšího panelu se buď vybere výkonnější nebo se přidá druhý a zapojí se paralelně. V tomto výběru záleží hlavně na prostoru vyhrazeném pro solární panely. [36]
- Baterie (8) se umístí do držáku na baterie, který je sériově zapojen. Ten se zapojí také na nabíjecí modul (7) z druhé strany na piny B+ a B-. Nabíjecí modul má v sobě čip proti přebití a podpětí baterie, aby zajistil její životnost. [36]
- Na stejné straně nabíjecího modulu (7) jsou zároveň piny OUT+ a OUT-, které se zapojí na desku Arduina (1) do VIN a GND pinů. Pokud by se jednalo o Arduino s nižším maximem napájení, je potřeba přidat mezi ně redukcí napětí. [36]
- Kapacitní půdní vlhkoměry (2-4) se paralelně připojí na 5 V pin a GND pin. Výstup jejich měření se bude posílat na piny A0, A1 a A2 na Arduino desce (1). Jedná se o analogové vstupní piny. [40]
- SigFox modul se zapojí na 3V3 a GND piny. Pro přijímání signálu se zapojí na pin D8 a pro posílání dat se zapojí na D7 na Arduino desce (1). D8 a D7 jsou digitální piny. Na desku modulu se připevní anténa. [39]
- RTX hodinový modul DS3231 (9) je zapojený na 5 V pro napájení a GND pin. Dále jsou zapojeny analogové piny SDA a SCL na Arduino desce (1). [41]



Obr. 16 Zapojení návrhu [vlastní]

## 5.2 Program

Před napsáním samotného programu je podstatné zaregistrovat uživatele přes oficiální LPWAN stránky [42]. Na této adrese se vyplní všechny důležité informace. Poté se může přidat SigFox modul přes tlačítko „přidat zařízení“. Na balení je vytištěné ID a PAC identifikační čísla, která se využijí pro přiřazení modulu k uživateli. Po přidání zařízení a změně hesla se stránky

přesměrují na SigFox portál. Zde se dá zjistit i pokrytí sítě SigFox a síla signálu. Jediné, co chybí pro plné využití je inicializovat modul v setupu v kódu. [39]

Hlavní program návrhu provede inicializaci všech potřebných částí. Přes SigFox modul se získají data o UTC času a nastaví se s nimi RTX modul tak, aby poté vzbudil Arduino desku ve správný čas. Toto je důležitá část, protože připojené hodiny se mohou nepatrně zpožďovat/předbíhat a vytvořit tak problém do budoucna s nesprávným odesíláním dat. Není potřeba odesílat informace na setinu sekundy přesně, ale je důležité, aby byla vždy odeslána ve stejnou část dne. Když je Arduino v aktivním stavu, 3 vlhkoměrné snímače odečtou vlhkost ze země. Po probuzení ze spánku potřebují nějakou dobu na ustálení hodnot. Tato doba by měla být alespoň 10 s. Po načtení se data pošlou přes SigFox modul na server a deska se uspí. Arduino je probuzeno zvenčí pomocí RTX hodin po stanovené době a cyklus se opakuje. (Příloha 1) [39]

Hodnoty na analogovém výstupu jsou v rozmezí od 0 do 1023. Po otestování snímače se nastaví hodnota 221 jako maximální možná vlhkost (modul je ponořen do čisté vody) a 611 jako minimální možná vlhkost (modul byl vytažen na vzduch a dosáhl minimální měřitelné hodnoty vlhkosti). Tento rozsah je potřeba namapovat na rozmezí od 0 do 100 %. (Příloha 2) [43]

### 5.3 Webové rozhraní

Po dokončení všech předchozích kroků chybí jen dodání informací uživateli ve vhodné formě. Takovou vhodnou formou je například webová aplikace. Webové aplikace se obvykle dělí do 3 vrstev a to prezenční, aplikační a datové. [44]

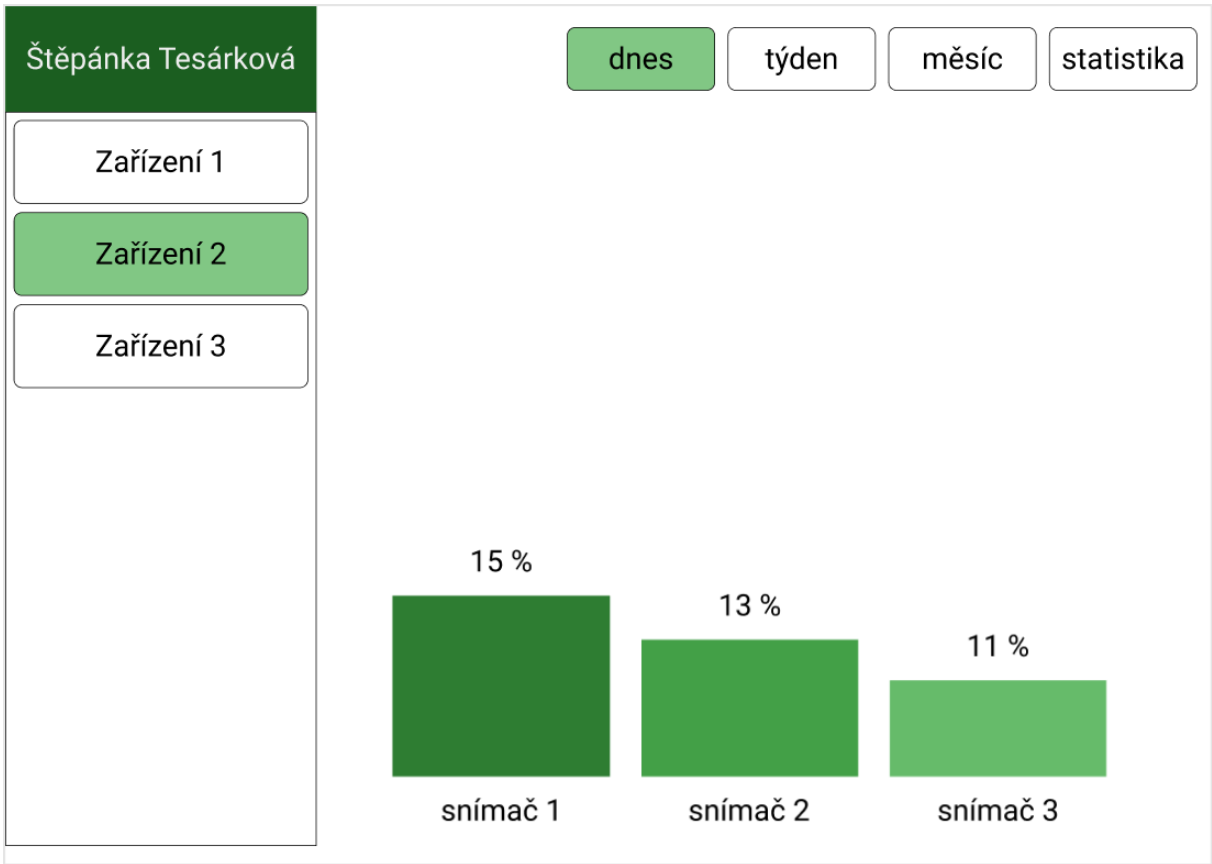
- Datová vrstva má za úkol uchovávat data. Je realizována databázovým systémem běžícím na datovém serveru. Důležité je dopředu si rozvrhnout, jak by data měla být uskupena a rozdělena i s myšlenkou budoucího rozšíření. Tato vrstva bude přijímat informace odeslané ze SigFox modulu a bude je ukládat do databáze. Pomocí dotazů zaslaných z aplikační vrstvy vybere správná data a pošle je zpět. Nastavení promazání starších dat by mělo být uděláno s rozvahou velikosti paměti datového serveru a využitelnosti starých dat. [44]
- Aplikační vrstva je vrstva logická. Správně by měla provádět všechny logické operace kromě načítání a ukládání dat. Hlavním úkolem je přeposílání dat mezi vrstvami datovou a prezenční. Prezenční vrstva pošle dotaz a na ten může aplikační vrstva



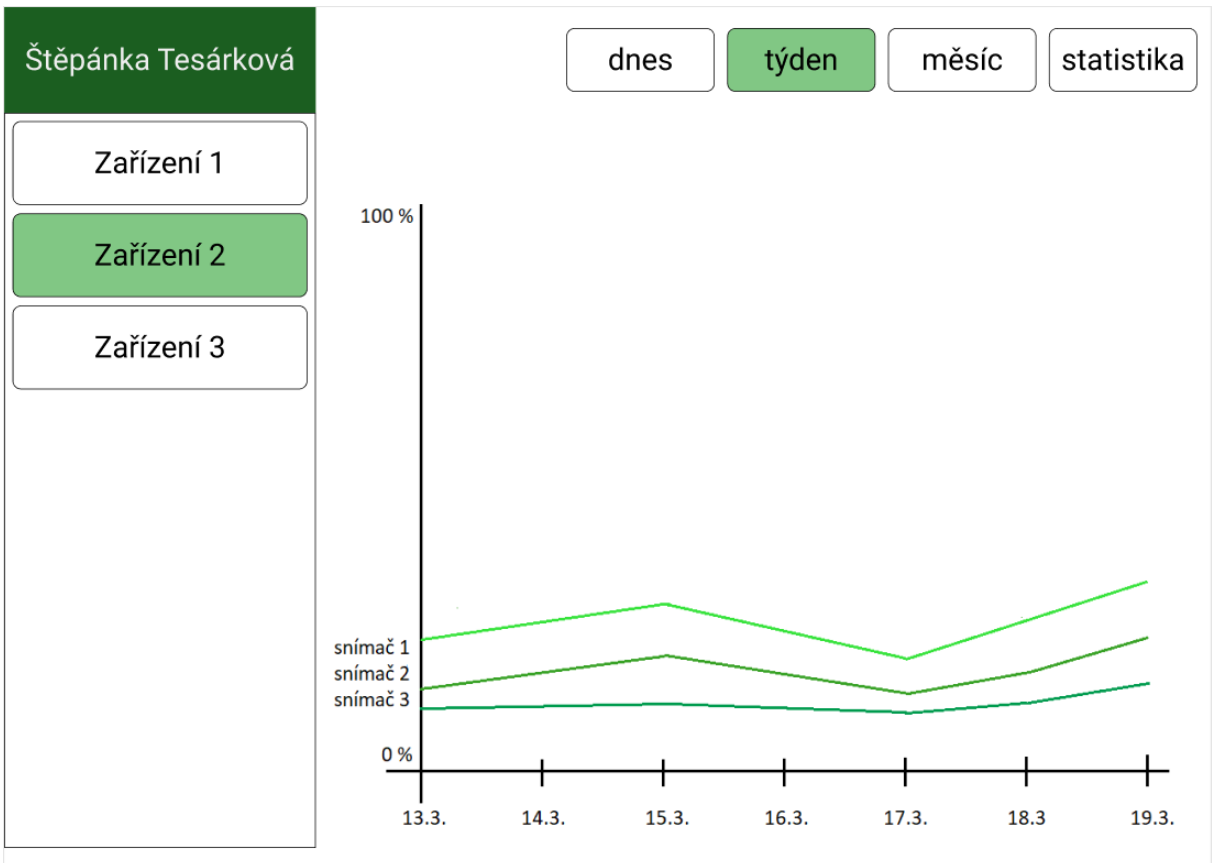
odpovědět. Při zpracování dat bude vytvářet listy dat a z nich jejich průměrné hodnoty, hledat maxima a minima nebo řešit případné chybné hlášky a posílat je na prezenční vrstvu. [44]

- Prezenční vrstva představuje zobrazení dat uživateli v grafické podobě. Je důležité, aby přednesená data byla zobrazena srozumitelně a jasně. Navigace skrz celou aplikaci by měla být intuitivní a základní prvky umístěné na podobných místech jako je to u většiny aplikací běžné, aby vše bylo pro uživatele jednodušší. Základními prvky jsou menu, hlavní obrazovka a záhlaví se zápatím. Menu by mělo být hlavní způsob navigování. Hlavní obrazovka obsahuje všechny potřebné informace pro danou záložku v menu a případného dalšího nastavení. Záhlaví je často používáno pro zobrazení statusu přihlášení uživatele, pokud to aplikace vyžaduje a případného nastavení. Zápatí obsahuje informace o majiteli či provozovateli dané aplikace nebo jejích produktů a je nejčastěji používáno u prodejců. Písmo by mělo být dostatečně velké a kontrastní s pozadím. [44]

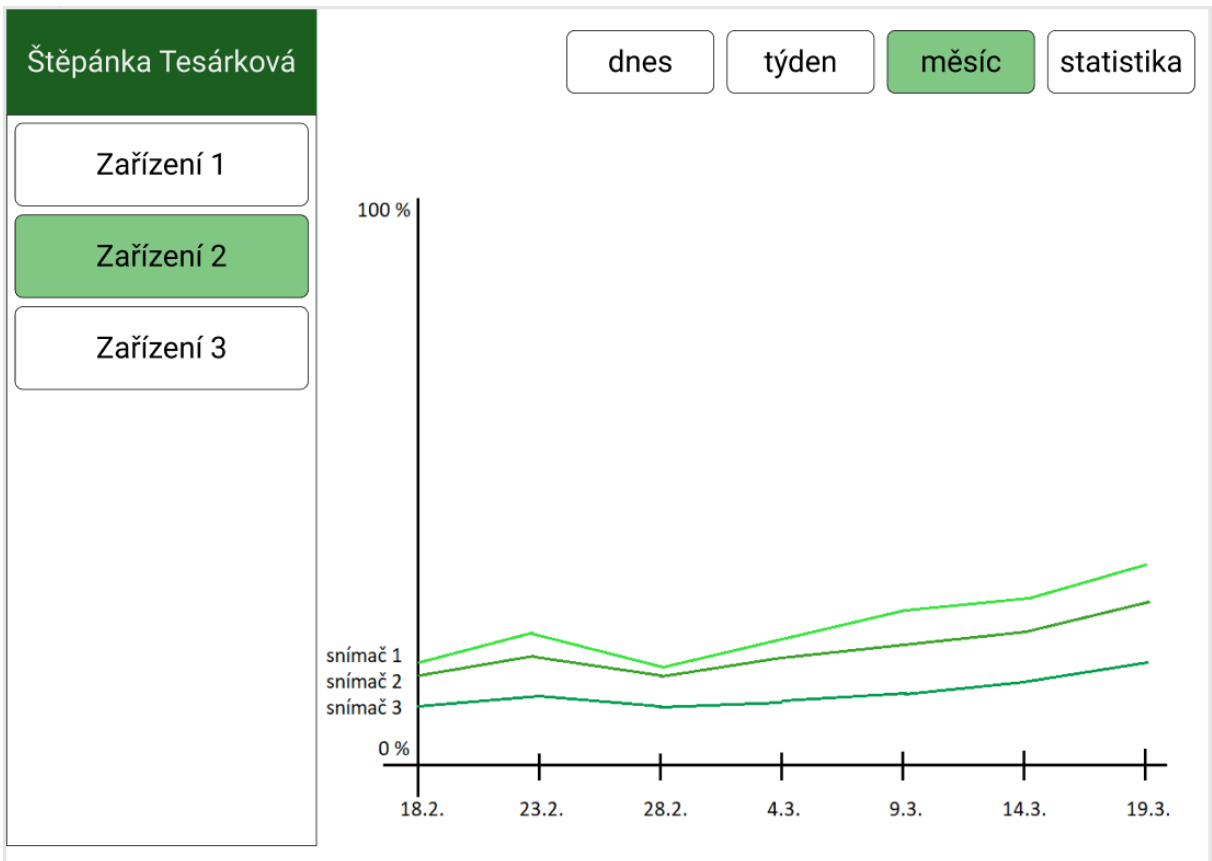
V uživatelském rozhraní na obrázcích 17-21 je hlavní navigovací částí menu obsahující výčet jednotlivých zařízení posílající data o vlhkosti. Po kliknutí na jedno z nich se tlačítko obarví, aby šlo vidět vybrané zařízení. Jakmile je zvolené zařízení, v další navigovací zóně v záhlaví jde nastavit volba časového úseku pro vybraní dat. V záložce dnes (Obr. 17) jde vidět poslední naměřená hodnota na každém z vlhkoměrů. V druhé záložce týden (Obr. 18) je vytvořen graf z posledních 7 měřených dní pro každý vlhkoměr. Další záložkou měsíc (Obr. 19) akorát prodloužíme časový úsek vybraných dat. Jinak funguje stejně jako záložka týden. Poslední záložkou je statistika (Obr. 20), kde jsou vidět průměrné hodnoty za tento rok. Průměr se objeví, i když nebyl ještě rok uzavřen a vezmou se pouze zapsaná data. Tyto záložky fungují stejně pro všechna zařízení. Pokud by se stalo, že zařízení nebylo nějakou dobu používáno a uživatel by chtěl vidět data na některé ze záložek, místo dat se objeví omluvná zpráva o nepřítomnosti dat. (Obr. 21) [vlastní]



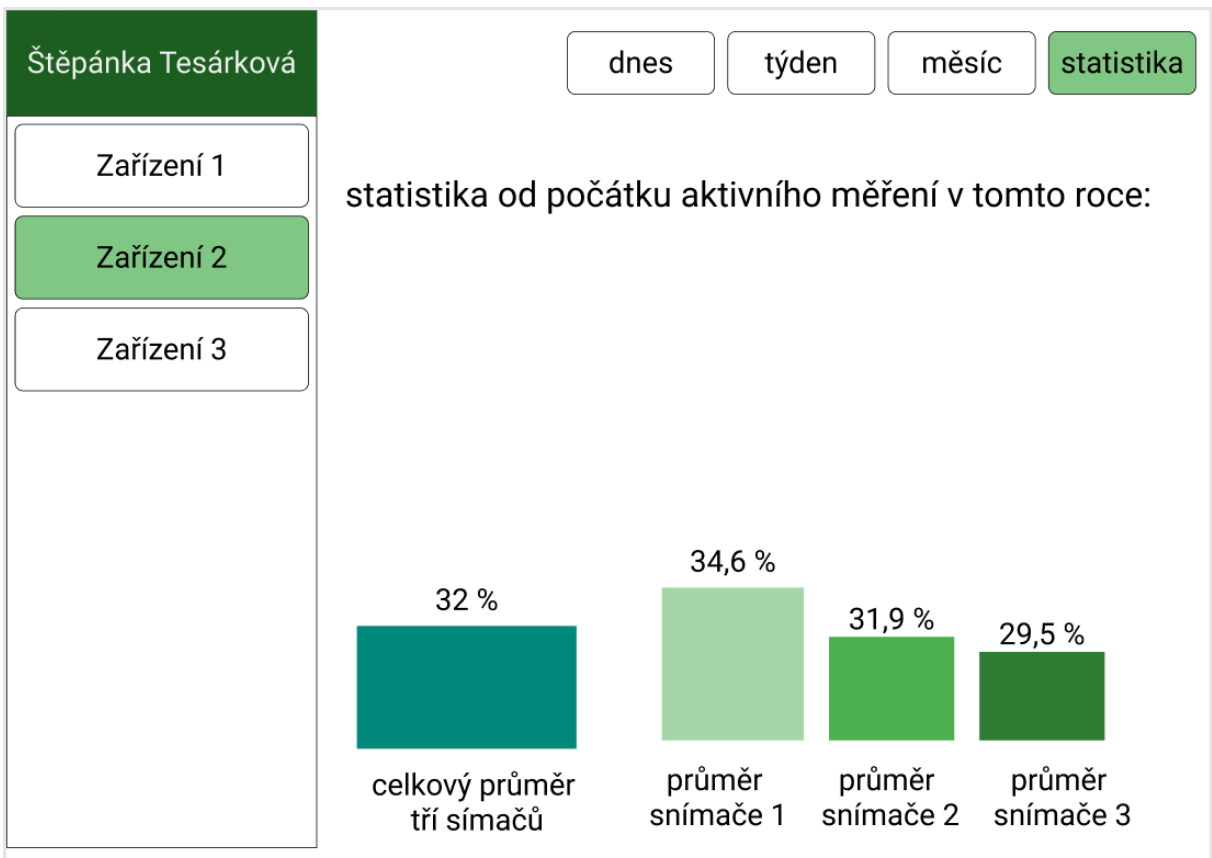
Obr. 17 Vzhled stránky na záložce dnes [vlastní]



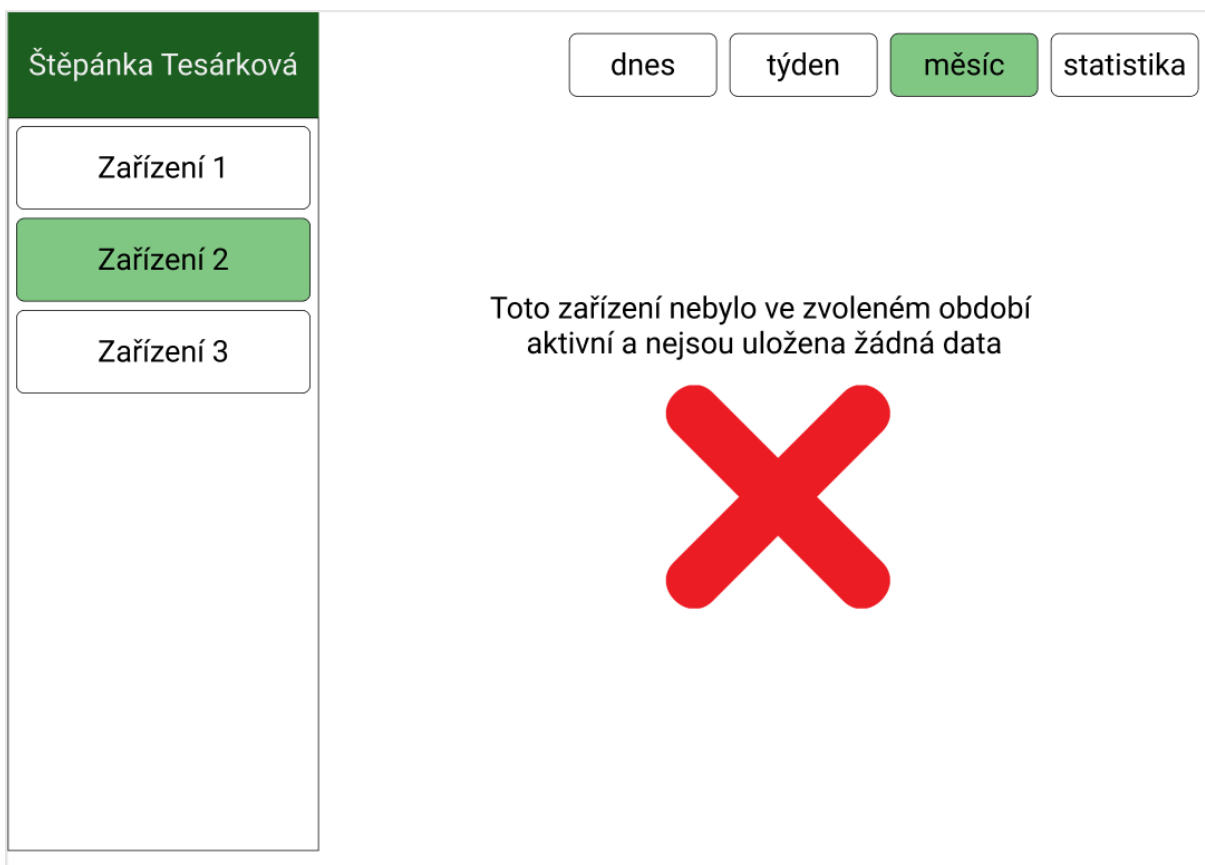
Obr. 18 vzhled stránky na záložce týden [vlastní]



Obr. 19 vzhled stránky na záložce měsíc [vlastní]



Obr. 20 vzhled stránky na záložce statistika [vlastní]



Obr. 21 vzhled stránky při nepřítomnosti dat [vlastní]

#### 5.4 Finanční zhodnocení

Pro sestavení celého obvodu je zapotřebí nejdříve nakoupit příslušné komponenty. Jsou lehce sehnatelné jak na internetu, tak v kamenných obchodech. Arduino projekty jsou určeny hlavně pro kutily a díky tomu je pořizovací cena pro desky i příslušenství nízká. Je zapotřebí koupit osm komponent různého počtu kusů. Celková cena zakoupených komponent je 2014 Kč. (Tab. 4) [37, 45–51]

Tab. 4 ceny jednotlivých komponent [37, 45–51]

Název komponenty	Počet [ks]	Cena [kč]
Arduino Uno Rev3	1x	749
Půdní vlhkoměr	3x	185
SigFox modem	1x	193
RTC hodiny	1x	107
Solární panel	1x	125
Nabíjecí modul	1x	19
Pouzdro na baterie	1x	20
baterie	2x	123
Celkem		2014

Další potřebné výdaje se týkají registračních poplatků a licencí, které se ročně opakují. Pro LPWAN SigFox modul je potřeba zaplatit jednorázový registrační poplatek a k němu předplatné pro roční licenci. Poplatky jsou rozděleny do několika skupin podle počtu poslaných a přijatých zpráv denně. Zde bude stačit skupina pro padesát odeslaných zpráv denně a jednu přijatou na zařízení. Pro provozování webové aplikace se musí platit licenční roční poplatek, který se od druhého roku používání zvyšuje. (Tab. 5) První rok tak vyjde cena těchto služeb na 740 Kč a následující roky je to už jen 603 Kč. Celkem i s hardwarem vyjde pořízení tohoto systému na 2754 Kč. [52, 53]

*Tab. 5 ceny poplatků a licencí [52, 53]*

Název poplatku	Cena [Kč]
Aktivační poplatek pro LPWAN SigFox	222
Předplatné LPWAN SigFox na 1 rok	278
Registrace domény + 1. rok používání	240
Licence domény od 2. roku používání	325
Celkem za první rok používání	740
Celkem za druhý rok používání	603

## 6. Závěr

Na trhu existuje mnoho různých plnohodnotných zařízení na měření vlhkosti půdy. Většina z nich ale data získaná ze snímačů zobrazuje pouze na display, který je součástí daného zařízení, což je vhodné pouze pro místa často frekventovaná, kde není zapotřebí žádná automatizace či přehled dat posílaných na dálku. Automatizovaná zařízení sice data přeposílají, ale používají pouze Bluetooth nebo jiný přenos na malou vzdálenost vhodné k automatickému zavlažování, ne však na velké otevřené prostory jako je například pole.

Cílem této práce bylo navrhnout automatizovaný systém pro evidenci vlhkosti v půdě, který by byl schopný data posílat i na velké vzdálenosti a tím tak informovat uživatele o stavu vlhkosti půdy kolem místa umístění daného zařízení. Takovéto zařízení by mělo posílat data o stavu půdy jednou denně na webový server, odkud si je může uživatel v pohodlí přečíst.

V kapitole věnované analýze faktorů ovlivňující růst rostlin byly vyčteny všechny podstatné faktory a jejich míra ovlivnění rostlin. Z porovnání jejich možnosti zahrnutí do automatizovaného systému vyšlo, že nejvhodnější je půdní vlhkoměr zjišťující vlhkost půdy, která je závislá na srážkách, slunečním osvit, větru a typu půdy. Tím tak opadla potřeba implementace více senzorů a stačil jeden typ ve třech různých hloubkách pro zajištění dostatku informací.

Při výpočtu životnosti baterie bylo ukázáno, že zařízení je plně soběstačné a je potřeba zasahovat až při degradaci baterií na stav, ve kterém již nejsou schopné nabít a je potřeba je zcela vyměnit. Takový to případ by měl nastat nejdříve po 300 dnech při aktivním nabíjení každý den této doby. Zařízení má fungovat pouze sezónně, proto tedy tato skutečnost nijak chod zařízení neomezuje.

Vzhledem k nedostatku plnohodnotných zařízení tohoto typu na trhu by zařízení mohlo přispět k dalšímu vývoji jak v zemědělství, tak pro vášnivé zahrádkáře i v otevřených prostorách daleko od zdroje elektřiny nebo sítě.

Pro další vývoj tohoto projektu doporučuji naprogramovat webové rozhraní, komunikaci SigFoxu a v další etapě by bylo vhodné navrhnout obal pomocí modelování a 3D tisku.

## 7. Seznam použitých zdrojů

- [1] PAVLOVÁ LIBUŠE. *Fyziologie rostlin*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2005. ISBN 80-246-0985-1.
- [2] *ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM | LabGuide.cz* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://labguide.cz/fluorochromy/elektromagneticke-spektrum/>
- [3] Vliv klimatu na zemědělství [online]. nedatováno [vid. 2022-02-07]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/sci/podzim2019/Z0047/Gzemedelstvi\\_4\\_vliv\\_klimatu.pdf](https://is.muni.cz/el/sci/podzim2019/Z0047/Gzemedelstvi_4_vliv_klimatu.pdf)
- [4] MATÚŠ, Selecký. *Arduino: Uživatelská příručka*. B.m.: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4840-2.
- [5] ZBYŠEK VODA, HW kitchen. *Průvodce světem Arduina*. B.m.: Martin Stříž, 2018. ISBN 978-80-87106-93-8.
- [6] *Nano | Arduino Documentation | Arduino Documentation* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>
- [7] *Arduino Pro Mini 328 - 5V / 16MHz - SparkFun DEV-11113* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://botland.cz/arduino-hlavni-moduly/1595-arduino-pro-mini-328-5v-16mhz-sparkfun-dev-11113-5903351240673.html>
- [8] *Originální Vývojový kit Arduino Nano | dratek.cz* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: [https://dratek.cz/arduino/1474-originalni-vyvojovy-kit-arduino-nano.html?gclid=Cj0KCQiA3-yQBhD3ARIsAHuHT66m1J3Nlxypcno8SbG1q7byViDcS2ut\\_myO7M4I-Ga7R-Dg\\_J1SDZgaAujBEALw\\_wcB](https://dratek.cz/arduino/1474-originalni-vyvojovy-kit-arduino-nano.html?gclid=Cj0KCQiA3-yQBhD3ARIsAHuHT66m1J3Nlxypcno8SbG1q7byViDcS2ut_myO7M4I-Ga7R-Dg_J1SDZgaAujBEALw_wcB)
- [9] *UNO R3 | Arduino Documentation | Arduino Documentation* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
- [10] *A000066 | Arduino Deska mikrovladače, Uno | Distrelec Česká republika* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.distrelec.cz/cs/deska-mikrovladace-uno-arduino-a000066/p/11038919>
- [11] *Mega 2560 Rev3 | Arduino Documentation | Arduino Documentation* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>
- [12] *A000067 | Arduino Deska mikrovladače, Mega2560, R3 | Distrelec Česká republika* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.distrelec.cz/cs/deska-mikrovladace-mega2560-r3-arduino-a000067/p/11038920>
- [13] *Due | Arduino Documentation | Arduino Documentation* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/hardware/duo>
- [14] *Programovatelná deska Arduino DUE (323481) | T.S.BOHEMIA* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: [https://www.tsbohemia.cz/programovatelná-deska-arduino-due\\_d207812.html](https://www.tsbohemia.cz/programovatelná-deska-arduino-due_d207812.html)
- [15] *Senzory pro Arduino, skvělá kombinace pro začínající uživatele | Hardware zdarma* [online]. [vid. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://www.hwlibre.com/cs/sensores-para-arduino/>
- [16] *All About Humidity Sensors* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/all-about-humidity-sensors/>
- [17] *Analogový snímač vlhkosti půdy V1.2 | dratek.cz* [online]. [vid. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/4875-pudni-vlhkomer-analogovy-s-antikorozni-sondou-v1.2.html>

- [18] *Senzor / sonda půdní vlhkosti - analogový - Waveshare 9527* [online]. [vid. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://botland.cz/senzory-vlhkosti/4504-senzor-sonda-pudni-vlhkosti-analogovy-waveshare-9527-5904422371173.html>
- [19] *What is a Temperature Sensor? | Variohm* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.variohm.com/news-media/technical-blog-archive/what-is-a-temperature-sensor->
- [20] *9 Arduino Compatible Temperature Sensors | Random Nerd Tutorials* [online]. [vid. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://randomnerdtutorials.com/9-arduino-compatible-temperature-sensors-for-your-electronics-projects/>
- [21] *Rain Drop Sensor with Arduino, Rain Detector Arduino code & Circuit* [online]. [vid. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.electronicclinic.com/rain-drop-sensor-with-arduino-rain-detector-arduino-code-circuit/>
- [22] *chiptron.cz - Novinky: Jak měřit množství srážek - vyrobte si vlastní srážkoměr* [online]. [vid. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://chiptron.cz/news.php?readmore=1037>
- [23] *What is a light sensor? Types, Uses, Arduino Guide - Latest Open Tech From Seeed* [online]. [vid. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/blog/2020/01/08/what-is-a-light-sensor-types-uses-arduino-guide/>
- [24] *Getting Started with the Arduino GSM Shield | Arduino Documentation | Arduino Documentation* [online]. [vid. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/retired/getting-started-guides/ArduinoGSMShield>
- [25] *What is Sigfox – Basics, Architecture and Security Features* [online]. [vid. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/article/what-is-sigfox-basics-architecture-and-security-features>
- [26] *sigfox.cz - Connecting Things* [online]. [vid. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://sigfox.cz/cs>
- [27] *Arduino LoRa Tutorial: Interfacing SX1278 (Ra-02) LoRa Module with Arduino* [online]. [vid. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-lora-sx1278-interfacing-tutorial>
- [28] *Introduction to LoRa and LoRaWAN: What is LoRa and How Does It Work?* [online]. [vid. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/article/introduction-to-lora-and-lorawan-what-is-lora-and-how-does-it-work>
- [29] *Jak vybírat baterie 18650 | Vaprio* [online]. [vid. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.vaprio.cz/clanek-jak-vybirat-baterie-18650.html>
- [30] *Sony VTC5A - baterie 18650 - 35A, 2600mAh - Sony | Vaprio* [online]. [vid. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.vaprio.cz/produkt-sony-vtc5a-baterie-18650-35a-2600mah-4052.html>
- [31] *LPWAN SigFox node* [online]. 2017 [vid. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1584-iot-lpwan-sigfox-node-uart-modem-868mhz-vcetne-anteny-a-programatoru.html>
- [32] *Soil Moisture Hygrometer Detection Sensor Module W/ Corrosion Resistance Probe DC 3.3-12V for Arduino.* nedatováno.
- [33] *Arduino Playground - ArduinoSleepCode* [online]. [vid. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://playground.arduino.cc/Learning/ArduinoSleepCode/>



- [34] *Arduino Sleep Mode for Power Savings | Arrow.com | Arrow.com* [online]. [vid. 2022-03-19]. Dostupné z: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/arduino-sleep-mode-for-power-savings>
- [35] *Časy východu a západu slunce* [online]. [vid. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.meteogram.cz/vychod-zapad-slunce/>
- [36] *How to Use Solar Panels to Power the Arduino - Circuit Basics* [online]. [vid. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.circuitbasics.com/how-to-use-solar-panels-to-power-the-arduino/>
- [37] *Solární panel 6V 1W až 200mA | dratek.cz* [online]. [vid. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1589-solarni-panel-6v-1w-az-200ma.html>
- [38] *Solar Charged Battery Powered Arduino Uno - Arduino Project Hub* [online]. [vid. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://create.arduino.cc/projecthub/igorF2/solar-charged-battery-powered-arduino-uno-645d89>
- [39] *IOT LPWAN SigFox Node UART Modem 868MHz | Návod Drátek* [online]. [vid. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/iot-lpwan-sigfox-node-uart-modem-868mhz.html>
- [40] *Půdní kapacitní vlhkoměr | Návod Drátek* [online]. [vid. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/pudni-kapacitni-vlhkomer.html>
- [41] *RTC Hodiny reálného času DS3231 + AT24C32 paměťový modul | Návod Drátek* [online]. [vid. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/rtc-hodiny-realneho-casu-ds3231-at24c32-pametovy-modul.html>
- [42] *Sigfox Buy* [online]. [vid. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://buy.sigfox.com/activate>
- [43] Půdní analogový vlhkoměr s antikorozi sondou. 2021.
- [44] SUK, Bc Luboš a Ing Roman ŠPÁNEK. Moderní uživatelská rozhraní ve webových aplikacích Diplomová práce 1802T007-Informační technologie. 2017.
- [45] *Modul půdního vlhkoměru s antikorozi sondou | GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [vid. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/modul-pudniho-vlhkomeru-s-antikorozi-sondou>
- [46] *Originál Arduino Uno Rev3 | dratek.cz* [online]. [vid. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1511-original-arduino-uno-rev3.html>
- [47] *LPWAN SigFox node | dratek.cz* [online]. [vid. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1584-iot-lpwan-sigfox-node-uart-modem-868mhz-vcetne-anteny-a-programatoru.html>
- [48] *Li-ion akumulátor INR18650P 3,7 V 2600 mAh | dratek.cz* [online]. [vid. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/5127-baterie-18650-3-7v-2600-mah-inr18650.html>
- [49] *Bateriový box 2x18650 s vodiči | dratek.cz* [online]. [vid. 2022-03-24]. Dostupné z: [https://dratek.cz/arduino/7501-bateriovy-box-2x18650-s-vodici.html?gclid=CjwKCAjwrfCRBhAXEiwAnkmKmXCvawZxaG1kYSTVuWQh548S0nArTr37Kzy5-ER0jtJP39I1HfOB4RoCT04QAvD\\_BwE](https://dratek.cz/arduino/7501-bateriovy-box-2x18650-s-vodici.html?gclid=CjwKCAjwrfCRBhAXEiwAnkmKmXCvawZxaG1kYSTVuWQh548S0nArTr37Kzy5-ER0jtJP39I1HfOB4RoCT04QAvD_BwE)
- [50] *TP4056 Micro USB nabíječka baterií s ochranou | dratek.cz* [online]. [vid. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/971-micro-usb-nabijicka-baterii.html>
- [51] *RTC Hodiny reálného času DS3231 AT24C32 IIC paměťový modul pro Arduino | dratek.cz* [online]. [vid. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1261-rtc-hodiny-realneho-casu-ds3231-at24c32-iic-pametovy-modul-pro-arduino.html>

casu-ds3231-at24c32-iic-pametovy-modul-pro-arduino.html

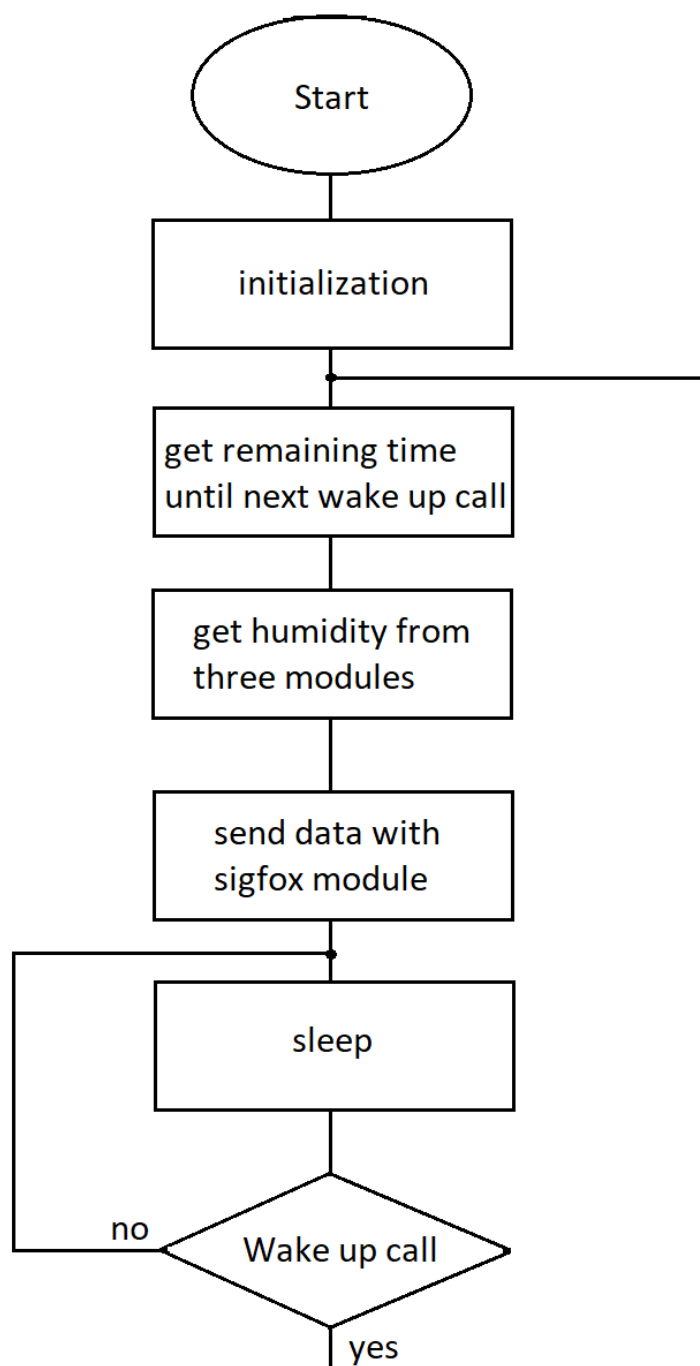
- [52] *Vyvíjíte vlastní IoT zařízení? Připojte ho na Sigfox a získejte přístup do aplikace | Blog ZOOCO* [online]. [vid. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://www.zooco.io/blog/vyvijite-vlastni-iot-zarizeni-pripojte-ho-na-sigfox-a-ziskejte-pristup-do-aplikace/>
- [53] *Cena domény - .CZ, mezinárodní, evropská :: Domény.cz* [online]. [vid. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://domeny.cz/cenik-domen/>

## Seznam Příloh

- Příloha 1:** Vývojový diagram programu automatizovaného systému pro evidenci vlhkosti v půdě .....i  
**Příloha 2:** Návrh programu pro snímání dat a zobrazení na sériový monitor .....ii

## 8. Přílohy

**Příloha 1:** Vývojový diagram programu automatizovaného systému pro evidenci vlhkosti v půdě



## **Příloha 2: Návrh programu pro snímání a dat a zobrazení na sériový monitor**

```
// set pins
#define pinA0 A0
#define pinA1 A1
#define pinA2 A2

// variable for saving sensor values
int data[] = {0,0,0};

//tested data from soil humidity sensor
int humidity100 = 221;
int humidity0 = 611;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  getHumidity(data);

  //print all mapped values to serial monitor
  Serial.println("humidity of soil");
  Serial.print("first device: ");
  Serial.print(data[0]);
  Serial.print("%, second device: ");
  Serial.print(data[1]);
  Serial.print("%, third device: ");
  Serial.print(data[2]);
  Serial.println("%");

  //delay for one minute
  delay(60000);
}

//get values from sensors and map it to percentage values
void getHumidity (int * data){
  int dataA0 = analogRead(pinA0);
  int dataA1 = analogRead(pinA1);
  int dataA2 = analogRead(pinA2);

  data[0] = map(dataA0, humidity100, humidity0, 100, 0);
```

```
data[1] = map(dataA1, humidity100, humidity0, 100, 0);  
data[2] = map(dataA2, humidity100, humidity0, 100, 0);  
}
```