

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ZÁZNAMNÍK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

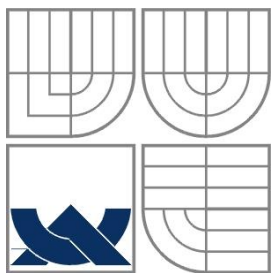
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

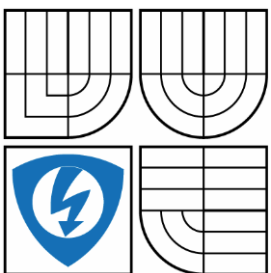
AUTHOR

BRANISLAV ŠTUPÁK

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY  
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ZÁZNAMNÍK  
DATALOGGER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

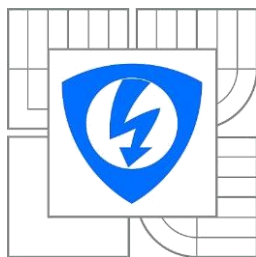
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

BRANISLAV ŠTUPÁK

doc. Ing. PETR BENEŠ, Ph.D.

BRNO 2015



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav automatizace a měřicí techniky**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Automatizační a měřicí technika**

**Student:** Branislav Štupák  
**Ročník:** 3

**ID:** 158248  
**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

### Záznamník

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je návrh a realizace záznamníku pro monitorování prostředí střešních konstrukcí historických staveb.

1. Zpracujte rešerši týkající se komerčně dostupných záznamníků umožňujících monitorování vlhkosti vzduchu a vlhkosti dřeva, osvětlení, teploty a proudění vzduchu.
2. Na základě průzkumu trhu navrhnete vlastní řešení záznamníku pro požadované veličiny. Využijte, pokud to bude vhodné, běžně dostupné mikroprocesorové platformy (např. Arduino, LaunchPad) včetně již hotových SW a HW modulů s cílem minimalizovat náklady a čas potřebný na vývoj záznamníku.
3. Záznamník musí umožňovat dlouhodobou funkci na baterie, ukládání měřených dat na SD kartu s případnou signalizací detekce překročení limitních hodnot měřených veličin.
4. Předpokládejte několik měřicích míst. Diskutujte požadavky na vzorkovací frekvenci, koncepci záznamníku z pohledu možného rozšíření počtu měřicích bodů a měřených veličin, možnosti komunikace s uživatelem, způsob parametrizace systému.
5. Záznamník realizujte a ověřte jeho parametry.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

www stránky projektu Arduino, LaunchPad, ...

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 25.5.2015

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc**  
*Předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Táto práca sa zaoberá vývojom dataloggera pre monitorovanie prostredí strešných konštrukcií historických stavieb. Zariadenie je realizované pomocou mikrokontroléra ATmega328P a využitia jednoduchých princípov pre snímanie prostredia. Zariadenie ukladá namerané údaje na SD kartu zo snímačov teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, intenzity osvetlenia, vlhkosti dreva a prietoku vzduchu. V závere práce sú následne úspešne overené vlastnosti snímačov navrhnutého dataloggera.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

datalogger, monitorovanie prostredia, strešná konštrukcia, Arduino, snímač, teplota vzduchu, vlhkosť vzduchu, intenzita osvetlenia, vlhkosť dreva, prietok vzduchu, RS-485, Modbus, ATmega328P.

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with the datalogger development for monitoring roof constructions ambients of historical buildings. The device is made of microcontroller ATmega328P and is using simple principles of environment monitoring. The device saves measured data to SD card from air temperature, air humidity, light intensity, wood moisture and air flow sensors. In conclusion of the thesis are then succesfully tested and summarized the properties of designed datalogger's sensors.

## **KEYWORDS**

datalogger, environment monitoring, roof construction, Arduino, sensor, air temperature, air humidity, light intensity, wood moisture, air flow, RS-485, Modbus, ATmega328P.

ŠTUPÁK, Branislav *Záznamník*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 61s. Vedúci bakalárskej práce bol doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

## **Prehlásenie**

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému „Záznamník“ som vypracovával samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....  
(podpis autora)

## **Pod'akovanie**

Rád by som sa poďakoval vedúcemu bakalárskej práce pánovi doc. Ing. Petrovi Benešovi, Ph.D., za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k vypracovaniu bakalárskej práce. Tiež za poskytnutie laboratórií, kde som mohol zariadenie vyvíjať a testovať.

Brno .....

.....  
(podpis autora)

# OBSAH

Úvod .....	8
<b>1 Teoretická časť</b> .....	9
1.1 Prieskum trhu .....	9
1.2 Požiadavky na datalogger .....	9
1.3 Predstava realizácie zariadenia .....	11
1.4 Voľba platformy .....	12
1.4.1 Raspberry Pi .....	12
1.4.2 Arduino UNO .....	13
1.4.3 LaunchPad by Texas Instruments .....	14
1.4.4 Výber vhodnej platformy .....	15
1.5 Voľba snímačov .....	17
1.5.1 Snímač teploty a vlhkosti vzduchu .....	17
1.5.2 Snímač intenzity osvetlenia .....	18
1.5.3 Snímač vlhkosti dreva .....	19
1.5.4 Snímač prúdenia vzduchu .....	21
1.6 Modul reálneho času .....	23
1.7 Čítačka SD kariet .....	23
1.8 Komunikácia medzi stanicami .....	24
1.9 Bezdrôtová komunikácia medzi stanicami .....	27
1.10 Voľba konektorov a kábla pre komunikáciu .....	27
1.11 Voľba batérie .....	28
1.12 Prevádzka na batérii .....	30
1.13 Upozornenie používateľa na kritické hodnoty .....	31
<b>2 Praktická časť</b> .....	33
2.1 Koncepcia vývoja zariadenia .....	33
2.2 Hlavná stanica .....	34
2.2.1 Stabilizácia napätia .....	34
2.2.2 Vypínanie modulov .....	35
2.2.3 Mikrokontrolér .....	36
2.2.4 Úpravy zakúpených modulov .....	37
2.3 Meracia stanica .....	38
2.3.1 Snímač teploty a vlhkosti vzduchu .....	38
2.3.2 Snímač intenzity osvetlenia .....	38
2.3.3 Snímač vlhkosti dreva .....	39
2.3.4 Snímač prúdenia vzduchu .....	41
2.4 Návrh DPS .....	41

2.5	Komunikácia .....	43
2.6	Algoritmus.....	45
2.7	Výstup nameraných údajov.....	48
<b>3</b>	<b>Overenie vlastností.....</b>	<b>49</b>
3.1	Meranie teploty vzduchu .....	49
3.2	Meranie vlhkosti vzduchu .....	50
3.3	Meranie osvetlenia .....	51
3.4	Meranie prietoku vzduchu.....	52
3.5	Meranie vlhkosti dreva.....	56
3.6	Spotreba zariadenia .....	57
<b>4</b>	<b>Záver .....</b>	<b>59</b>
	<b>Literatúra .....</b>	<b>60</b>
	<b>Zoznam príloh .....</b>	<b>62</b>



# ÚVOD

Monitorovanie historických stavieb je neoddeliteľnou súčasťou snahy udržiavať tieto pamiatky v dobrom stave aj pre ďalšie generácie. Podobne, ako je dôležité sledovať statiku a stav stavby je dôležité sa venovať aj strechám a strešným konštrukciám týchto stavieb, nakoľko práve ony ochraňujú stavbu pred zamakaním počas dažďov a pred ďalšími nepriaznivými vplyvmi počasia. V dnešnej dobe sa veľmi rozširuje trend o zachovanie historických pamiatok a sú na to vynakladané nemalé finančné prostriedky. Práca človeka je aj v tomto odvetví drahá a preto sa aj tu presadzuje automatizácia procesov. Na trhu je niekoľko firiem zaoberajúcich sa výrobou dataloggerov pre monitorovanie rôznych veličín. Často sú ale tieto zariadenia tak veľmi drahé, že si ich nemôžu dovoliť nasadzovať ani veľké mestá vo svojich historických budovách.

Úlohou tejto práce je navrhnúť datalogger pre monitorovanie prostredí strešných konštrukcií, s ohľadom na nízku cenu a jednoduchosť, ale zároveň aj konkurencie schopnosť voči komerčne dostupným zariadeniam. Budem sa snažiť nájsť a využiť čo najjednoduchšie princípy pre monitorovanie veličín, ktoré ovplyvňujú stav strešných konštrukcií, pretože sú často aj najlacnejšie.

V prvej časti práce je popísaná analýza požiadavkou a samotný teoretický návrh zariadenia. V ďalšej časti je popísaný praktický vývoj zariadenia, problémy na ktoré som narazil a musel vyriešiť počas realizácie a zostrojenie zariadenia. V poslednej časti sa budem venovať overeniu vlastností snímačov, ktoré som použil pre meranie daných veličín.

# 1 TEORETICKÁ ČASŤ

V tejto časti je popísaný teoretický návrh zariadenia. Budem sa snažiť zanalyzovať trh a komerčne dostupné dataloggre, ktoré by mohli spĺňať požiadavky. Rozoberiem nároky na tvorbu dataloggera a aké veličiny by malo zariadenie vedieť merať. Ďalej sa zameriam na návrh vlastného dataloggera, výber vhodných snímačov a jeho ďalších súčastí. Pri analýze tiež navrhнем možné vylepšenia, ktoré by mali byť implementované do zariadenia.

## 1.1 Prieskum trhu

Naše požiadavky na voľbu dataloggera sú, aby zariadenie dokázalo monitorovať viacero bodov prostredia naraz, pričom každý merací bod má merať týchto päť veličín: teplota a vlhkosť vzduchu, intenzitu osvetlenia, vlhkosť dreva a prietok vzduchu. Na našom trhu je viacero výrobcov dataloggerov, ktoré sa dajú rozdeliť podľa profesionálnosti vyhotovenia. V cenách do 500€ môžeme nájsť jednoduché neprofesionálne dataloggre, ktoré umožňujú merať iba teplotu a vlhkosť vzduchu, výnimočne majú aj viacero meracích staníc a umožňujú tak meranie vo viacerých miestach priestoru naraz. V tejto cenovej kategórii nenájdeme dataloggre, ktoré by umožňovali meranie všetkých piatich požadovaných veličín. Zakúpiť hotové zariadenie, ktoré by dokázalo merať všetky zadané veličiny nie je v tejto cenovej kategórii možné. Výrobcovia sa marketingovo sústreďia na výrobu klasických záznamníkov, ktoré snímajú iba základné vlastnosti vzduchu. Práve v tejto oblasti majú výrobcovia trh a dopyt najväčší, nakoľko sú to základné veličiny, ktoré zákazníci požadujú merať najčastejšie a aj výroba takýchto jednoduchých zariadení je lacná.

Na trhu sú dataloggre, ktoré by mohli spĺňať určené požiadavky. Sú to dataloggre ktoré nemajú osadené vstupné porty, a používateľ sa môže sám rozhodnúť aké snímače k nim pripojí. Ceny takýchto profesionálnych dataloggerov ale sú rádovo v desiatkach tisícov € aj s perifériami pre snímanie. To jednak niekoľko násobne prevyšuje rozpočet, nakoľko sa snažíme vybrať datalogger do ceny asi len 200€ a stále nemáme zaručené, že dokážeme merať všetkých päť veličín prostredia. Po dlhom pátraní som nenašiel žiadny komerčne dostupný datalogger, ktorý by plne vyhovoval naším požiadavkám na snímanie všetkých zadaných veličín prostredia. Takisto som nenašiel všetky rozšírenia pre profesionálne záznamníky, tak aby bolo možné merať zadané veličiny. Záznamník, ktorý by vyhovoval pre naše použitie by bolo možné vyrobiť asi len na zákazku.

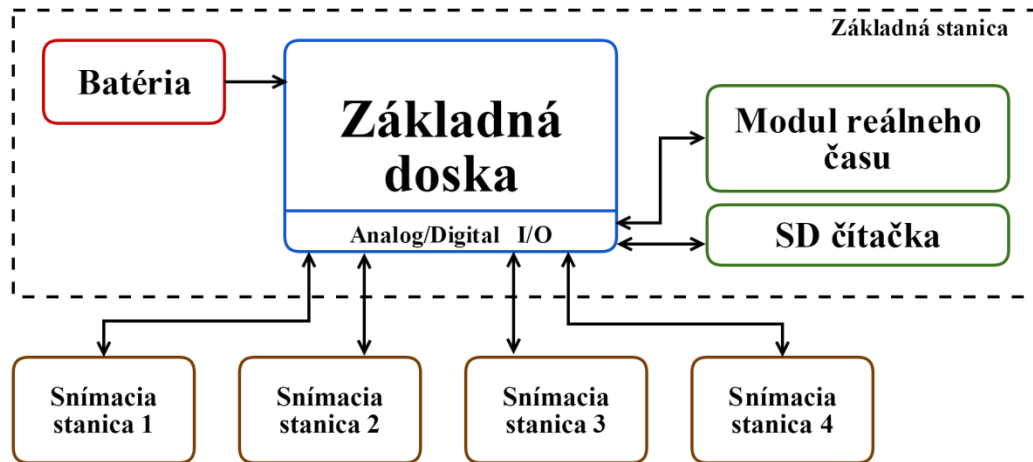
## 1.2 Požiadavky na datalogger

Zariadenie bude umiestnené v podkroví historických budov, kde bude monitorovať vlastnosti vzduchu a krovia kvôli udržaniu dobrého stavu historickej pamiatky resp. budovy. Samozrejme je možné zariadenie využívať aj pre novostavby a iné rôzne

stavby, tam sa merané veličiny nijak nelíšia. Celkovo môžeme mať až 5 meracích bodov, každý z nich bude monitorovať 5 veličín. Teplotu vzduchu, vlhkosť ovzdušia, vlhkosť dreva, prúdenie vzduchu a úroveň svetla. Pri vývoji zariadenia musíme klásť dôraz na nasledujúce požiadavky:

- Do podkrovia je ťažká dostupnosť človekom, preto nie je možné často vymieňať batériu. Hlavnou požiadavkou je teda veľmi nízka spotreba zariadenia. Zariadenie by malo fungovať nepretržite na batérii po dobu 2 až 5 mesiacov. Ak by aj bola možnosť pripojiť systém do siete, požiadavka na nízku spotrebu stále platí. Je potrebné zaistiť nízke prevádzkové náklady. Nízka spotreba nie je potrebná, len kvôli šetreniu energie, ale takisto aby nebolo potrebné navštevovať merané podkrovie často, lebo tým sa náklady enormne zvýšia, keďže by sme museli zaplatiť človeka, ktorý správu zariadenia vykoná.
- Zariadenie musí znášať všetky vplyvy počasia, teploty vo všetkých ročných obdobiach, takisto vplyv vlhkosti ovzdušia. Preto by malo byť umiestnené vo vhodnom ochrannom kryte.
- Zariadenie musí obsahovať čítačku SD kariet, kde budeme ukladať namerané dáta, alebo musí byť zabezpečený iný spôsob záznamu a následného prenosu zaznamenaných údajov do počítača, kde budeme môcť následne namerané dáta ďalej analyzovať.
- Datalogger musí obsahovať modul reálneho času, aby sme vedeli namerané hodnoty pripísať k určitému presnému času. Jeho veľká presnosť nie je dôležitá.
- Bolo by vhodné, aby zariadenie obsahovalo prepínač pre nastavovanie časového intervalu, alebo iný mechanizmus, ako určiť čas ako často má k meraniu dochádzať. Príklad: raz za 4hod, raz za 8hod. Takto bude jednoduché obsluhujúcemu personálu nastaviť periódu merania bez nutnosti zásahu do algoritmu.
- Meracie body môžu byť od základnej stanice vzdialené aj viac ako 30 metrov, preto musím vyriešiť spôsob, akým budú namerané údaje prenášané. Mohlo by sa jednať o prenos dát káblom, alebo ak by to vyžadovala výnimočná situácia, tak aj bezdrôtovo. Zadávatel' by chcel, aby nemusel meniť viacero batérii, ale aby zariadenie obsahovalo len jednu batériu, teda aby bola obsluha zariadenia čo najjednoduchšia. Preto odhadujem, že bude zariadenie využívať "wire" komunikáciu po kábli.

### 1.3 Predstava realizácie zariadenia



Obr. 1 Predpokladaná bloková schéma zariadenia

Z vyššie spomenutých požiadaviek na datalogger som navrhol možnú blokovú schému usporiadania zariadenia. Po dlhšom zvažovaní rôznych možných zapojení si myslím, že myšlienka realizácie zariadenia, tak ako je vyobrazená na blokovej schéme je najvhodnejšia. Jedná sa o rozdelenie systému na stanice. Pričom by sme mali jednu master – hlavnú stanicu a na ňu by sme pripájali už rôzny počet slave – podradených, meracích staníc. Počet pripojených podradených staníc bude obmedzený, nielen kvôli softvérovým a hardvérovým obmedzeniam, ale pochopiteľne sa pripájaním ďalších meracích staníc zväčšuje spotreba celého systému a tým sa znižuje výdrž prevádzky zariadenia na batérii.

V meranom objekte umiestnime niekam na prístupné miesto základnú stanicu, kvôli ľahkej dostupnosti personálom. Základná stanica bude mať v sebe osadenú základnú dosku, ktorá bude riadiť celý systém, ona bude pomocou vstupov a výstupov riadiť snímacie stanice, zbierať dáta a zaznamenávať. V základnej stanici bude taktiež aj batéria, ktorú bude potrebné v určitých časových intervaloch vymieňať za nabitú. Základná stanica bude tiež obsahovať modul reálneho času, z ktorého si bude základná doska čítať presný čas a tak budeme vedieť namerané údaje priradiť k presnému času a dátumu. V základnej stanici tiež bude umiestnený nejaký modul, pomocou ktorého budeme vedieť namerané dáta zaznamenávať na pamäťové médium. Vhodné by bolo použiť napríklad SD kartu. Jej obsah by sa pri návšteve objektu obsluhujúcim personálom skopíroval do notebooku, vykopíroval jej obsah a mohla by byť používaná ďalej. Ak by nebolo možné navštevovať objekt aj s osobným počítačom, jednoducho by sa karta vymenila za inú. Možné by bolo použiť aj napríklad nejaký modul, pomocou ktorého by sa dal napojiť počítač na zariadenie prostredníctvom USB a tak skopírovať namerané údaje do počítača. Varianta s modulom na SD karty je podľa môjho názoru

lepšia voľba, pretože kartu stačí vymeniť a nie je potrebné kvôli obsluhu zariadenia nosiť počítač do často veľmi ťažko prístupných podkroví.

Z dôvodu, že meracie body sa môžu nachádzať až 30 metrov od základnej stanice, nebude možné realizovať meracie stanice bez mikroprocesorovej jednotky a ani prenášať analógový signál cez dlhé vedenie. Z toho dôvodu bude musieť každá meracia stanica obsahovať nejaký mikroprocesor a budeme musieť nemeraný analógový signál zo snímačov digitalizovať a posilať do hlavnej stanice, hlavnému - master mikroprocesoru. Pri tomto riešení sa vynára otázka komunikácie medzi stanicami, teda bude tiež potrebné zvoliť vhodnú komunikáciu.

## 1.4 Voľba platformy

Pre tvorbu zariadenia by bolo vhodné použiť, alebo sa inšpirovať nejakou komerčne dostupnou platformou, ktorá by mi uľahčila vývoj zariadenia. Rozhodol by som sa pre platformu, ktorá by bola malých rozmerov, bola kompaktná a zároveň spĺňala moje požiadavky. Je potrebné sa rozhodnúť či chceme ísť cestou tvorby vlastnej platformy založenej na vybranom mikrokontroléri, a či má zmysel vymýšľať niečo, čo je už v predaji za pomerne nízke ceny a možno aj vo vyhotovení, aké by plne vyhovovalo pre naše použitie. Taktiež by platforma mala obsahovať porty na ktoré by mohli byť bezproblémovo pripojené snímače, poprípade ďalšie periférie. Určite by mala fungovať na nízkom napätí, najlepšie na úrovni TTL logiky. Vysoké napätie by bolo nielen zložité prevádzkovať v prostredí podkrovia, ale aj nebezpečné, lebo by tu bola možnosť vzniku skratu a následného požiaru objektu. Použitá platforma by mala ponúkať možnosť bežať aj nepretržite bez prestávok a to za čo najnižšej prevádzkovej spotreby elektrickej energie. Spotreba vybranej platformy sa bude určite ešte odvíjať od množstva a druhu zapojených snímačov. Posledná, dôležitá požiadavka je nízka cena platformy, nakoľko ak by bolo zariadenie neskôr vyrobené v objemnejšom počte, cenu zariadenia je určite dôležité tlačiť čo najnižšie.

Pri výbere platformy budeme uvažovať medzi viacerými platformami, vyberať budeme z dosiek: Raspberry Pi, Arduino UNO, alebo doska LaunchPad od firmy Texas Instruments. Tieto platformy sú určené na malé projekty, automatizácie domácností ale v neposlednom rade takisto aj na výučbu tejto problematiky. Tento užší výber bol po dlhšom porovnaní rôznych ďalších platformiem zvolený preto, lebo spomenuté platformy majú pomerne nízke ceny, dobrý pomer cena - výkon a aj dobré rozvinuté používateľské základne, takže pri riešení zložitých problémov by bola možnosť obrátiť sa s pomocou na ostatných používateľov dosiek.

### 1.4.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi je najmladšou platformou zo spomínaných, no aj napriek krátkej dobe čo je na trhu (od roku 2012), si získala veľkú priazeň používateľov najmä vďaka tomu, že

za pomerne nízku cenu vie ponúknuť toho naozaj veľa. Je to vlastne jednoduchý počítač veľkosti platobnej karty. Na doske veľkosti zhruba 8,5x4,5cm je všetko, čo obsahuje bežný počítač. Jeho cena sa za posledné, najlepšie modely pohybuje na úrovni okolo 35€ (model B+). Raspberry Pi sa napája prostredníctvom bežného microUSB konektora s napätím 5V. Na doske nájdeme čítačku pamäťových kariet na ktorej je uložený operačný systém a takisto môže slúžiť aj ako úložisko. Doska tiež obsahuje grafický čip, vďaka ktorému je možné pripojiť aj HD obrazovku, zvukovú kartu, procesor ktorý môže byť taktovaný na 800Mhz.[1] Vďaka veľkému množstvu funkcií, ktoré ponúka táto doska je možné vytvoriť datalogger na naozaj vysokej úrovni. Namerané dáta by sme vedeli v prípade prístupu na internet odosielať na server, možná by bola takisto komunikácia so zariadením na vysokej úrovni, keďže na platforme je možné spúšťať operačný systém, napr. Linux.

Spotreba celej dosky sa pohybuje na úrovni len 3W. Z pohľadu, že máme v rukách kompletný použiteľný počítač ma platforma nízku spotrebu, jeho desktopový ekvivalent by mohol mať spotrebu až okolo 200W. Ale pre naše použitie je spotreba 3W pomerne vysoká keďže pripadá do úvahy, že zariadenie bude v častých prípadoch bežať na batérii. Práve pre túto pomerne vyššiu spotrebu je táto doska pre našu aplikáciu ťažko použiteľná.



*Obr. 2 Doska Raspberry Pi model B+ [1]*

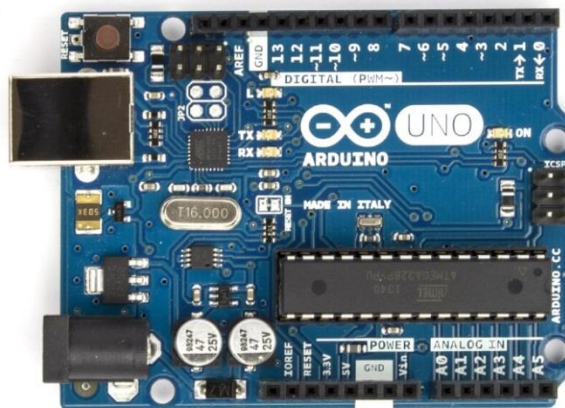
## 1.4.2 Arduino UNO

Arduino je open-source platforma založená na mikrokontroléri ATmega od firmy Atmel. Projekt Arduino začal v roku 2005 ako študentský projekt v Taliansku. Snaha bola zostrojiť čo najlacnejšiu a pritom plne použiteľnú programovateľnú dosku pre študentov na učenie. Neskôr sa projekt rozšíril a začal sa používať aj ako základná doska jednoduchých automatizovaných zariadení a robotov. Rodina Arduino zastrešuje viacero dosiek, jednou z nich je aj najrozšírenejšia doska Arduino UNO, ktorú by som mohol použiť pre náš projekt.

Táto doska používa mikrokontrolér ATmega328P od firmy Atmel a je založená na staršej architektúre AVR. Mikrokontrolér pracuje na frekvencii 16MHz, ktorú zabezpečuje osadený kryštál na doske. Konektivitu zabezpečuje 6 analógových vstupov a 14 digitálnych pinov ktoré je možné použiť ako vstupy, alebo výstupy.[2] Cena tejto dosky začína zhruba na hodnote 8€ za klon dosky od dodávateľov z Číny. Obrovskou výhodou tejto dosky je, že je najrozšírenejšia doska zo spomenutých. Pri pohľade na dosku je vidieť, že neobsahuje žiadne prebytočné konektory. Arduino je napájateľné z USB prípojky, alebo z externého zdroja napätia. Pri použití externého zdroja napätia, je pre istotu na doske osadený stabilizátor na 5V. Spotreba tejto platformy je okolo 50mA v stave iddle. Mikrokontrolér ATmega328 ponúka 32KB Flash pamäte na napálenie kódu (0,5KB je použité na bootloader), čo by malo postačovať na našu pomerne jednoduchú aplikáciu.

Veľkou výhodou tejto platformy je, že je dostupných na zakúpenie mnoho rozšírení, modulov tzv. shieldov a snímačov, ktoré by sme mohli použiť aj pre naše zariadenie. Rozšírenia sú dostupné napríklad na oficiálnej web stránke výrobcu. [2]

Arduino je možné programovať pomocou originálneho Arduino softvéru voľne stiahnuteľného z oficiálnej webovej stránky výrobcu. Softvér obsahuje aj jednoduché uvádzacie tutoriály pre lepšie pochopenie problematiky programovania jednočipových mikrokontrolérov.



*Obr. 3 Doska Arduino UNO 3. revízie [2]*

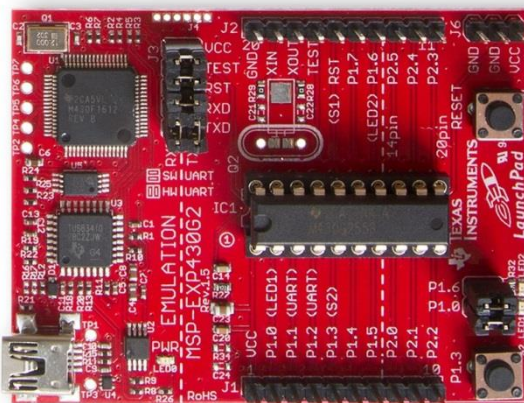
### **1.4.3 LaunchPad by Texas Instruments**

Platforma LaunchPad je veľmi zaujímavým riešením od firmy Texas Instruments. Doska používa 16-bitový mikrokontrolér MSP430, ktorý je navrhnutý tak, aby ponúkal nízku cenu a veľmi nízku spotrebu energie pre vyvíjané aplikácie. MSP430 môže byť použité pre nízko energetické embedded zariadenia. Prúd odoberaný doskou môže dosiahnuť aj menej než 1 $\mu$ A v sleep móde. Mikrokontrolér MSP430 používa 6 rôznych nízko energetických módov, ktoré môžu vypnúť nepotrebné súčasti ako hodiny

a procesor na určitý čas. Pamäť mikrokontroléra na doske je limitovaná na 16KB pamäte flash. Platforma ponúka možnosť, tak ako Arduino on-board emuláciu, čo znamená, že môžeme programovať a testovať svoj projekty s počítačom bez potreby ďalších zariadení. Platforma Launchpad ponúka 20 programovateľných pinov pre konektivitu s perifériami. Pre naše zariadenie by sa hodila doska MSP-EXP430G2. Je to najjednoduchšia doska z rodiny LaunchPad s potrebnými vlastnosťami, jej cena je zhruba 9€. Doska a aj všetky rozšírenia je možné zakúpiť len na oficiálnej stránke výrobcu.

Doska je programovateľná pomocou dodávaného softvéru Energia, ktorý je voľne dostupný k stiahnutiu na web stránke Texas Instruments.[3]

K doske sú dostupné tzv. BoosterPack, rozšírenia dosky o iné periférie, ako displeje, maticové tlačidlá, čítačky kariet a mnoho ďalšieho. V momentálnej dobe, ale nie je dostupné rozšírenie čítačka SD kariet a predajca sa e-mailom k veci vyjadril, že komponenta v najbližšej dobe ani nebude dostupná.



Obr. 4 Doska LaunchPad MSP-EXP430G2 [3]

#### 1.4.4 Výber vhodnej platformy

Našou hlavnou prioritou je nízka spotreba platformy nakoľko vo väčšine prípadov bude náš systém bežať na batérii. Pre dosku Raspberry Pi je spotreba dosky jasne daná výrobcom, teda okolo 3W, preto by som túto dosku práve kvôli vyššej spotrebe vylúčil z výberu. Po ďalšom pátraní po reálnych spotrebach som zistil, že vývojová doska Arduino UNO odoberá prúd okolo 50mA za bežnej prevádzky. Launchpad odoberá pri bežnej prevádzke prúd okolo 10mA. Oba mikrokontroléry použité v platformách ale majú viacero energetických módov, takže je možné zísť so spotrebou aj o mnoho nižšie. Každopádne reálna spotreba kompletného zariadenia sa bude určite líšiť, už aj pri použití rôznych snímačov. Ak by sme sa neuspokojili so spotrebami platforiem, stále je tu možnosť použiť iba mikrokontrolér bez ďalších zbytočných súčiastok, ktoré sú osadené na komerčných platformách a my ich pre naše využitie nebudeme potrebovať.



Ďalším dôležitým aspektom pri výbere vhodnej platformy, je podpora a dostupnosť rôznych rozšírení. Minimálne pre náš prípad budeme potrebovať čítačku SD kariet, aby sme mali kam zapisovať namerané údaje. Pri prehľadávaní on-line obchodov a katalógov je vidieť, že pre platformu LaunchPad je veľký problém zohnať nejaké rozšírenia. Naopak s platformou Arduino UNO nie je žiaden problém, nakoľko sa jedná o rozbehnutý projekt, ktorý začínal ešte v rokoch 2005 a je na trhu už nejakú dobu a o rôzne komponenty nie je núdza. K dispozícii sú rôzne rozšírenia ako hotové experimentálne snímače, moduly reálneho času, GSM modul, čítačky kariet atď. Keďže je Arduino open-source projekt, komponenty je možné kúpiť aj omnoho lacnejšie ako klony originálnych komponent, ale s rovnakou funkcionalitou. Arduino komunita je nesmierne živá a stále pribúdajú nové rozšírenia a knižnice k tejto platforme.

Pre LaunchPad by som sa rozhodol iba preto, lebo je to modernejšia, stále sa rozvíjajúca platforma, je to niečo nové, čo možno ešte v budúcnosti prerazí. Ale odrádza ma na nej to, že je takmer nemožné nájsť nejakú pomoc pri riešení problému. Takisto to je vidieť už aj teraz, pri hľadaní možných rozšírení a snímačov pre naše zariadenie, že predajcov a informácií o tejto platforme je veľmi málo. Doska LaunchPad od firmy Texas Instruments je určite dobrým spôsobom na tvorbu dataloggera, ale nedostupnosť komponentov a veľmi malé množstvo informácií je hlavným nedostatkom tejto platformy pre ktorý ju vyradzujem z výberu.

Čo sa týka podpory zo strany používateľov, množstva tutoriálov, rôznych rozšírení zapojení, je Arduino jednoznačne popredu oproti LaunchPad. Preto sa prikláňam k riešeniu s platformou Arduino, pretože v prípade problémov je možné ich riešiť s obrovskou komunitou. Takisto je na internete dostupných k vyhľadaniu niekoľko projektov s nízko energetickým používaním Arduina ktoré by mohli byť nápomocné pre náš projekt. Príkladom môže byť podobný, ale jednoduchší projekt, kedy je doska uspatá a len raz za určitý čas sa prebudí, odmeria teplotu a odošle bezdrôtovo nameraný údaj von, na bezdrôtový prijímač.[4] Takisto je na Arduino prístupných mnoho knižnic či už na zníženie spotreby, komunikáciu s SD kartou, snímačmi, komunikáciu medzi mikrokontrolérmi atď.

Myslím si, že Arduino UNO je v tomto prípade lepšou možnosťou, už len kvôli veľkým možnostiam rozšírení, snímačov a doplnkov. Mikrokontrolér ATmega328P ktorú používa Arduino má tiež 6 režimov prevádzky, kde je možné mikrokontrolér priviesť do módu SLEEP\_MODE\_PWR\_DOWN a tak znížiť jeho spotrebu len na 0,36mA. Jednotlivé módy vysvetlím neskôr v praktickej časti realizácie zariadenia. Začiatky práce si predstavujem tak, že vyberiem vhodné snímače a začal by som zariadenie realizovať s platformou. Zrejme dôjdem do bodu, keď zistím, že spotreba platformy je príliš vysoká, práve kvôli tomu, že Arduino nie je optimalizovaná na nízku spotrebu a využíva neefektívny stabilizátor a ďalšie nepotrebné súčiastky. V tom prípade budem pokračovať vo vývoji a navrhnem jednoduchú vlastnú dosku, ktorá bude obsahovať minimum súčiastok, teda len potrebné pre chod zariadenia a pokúsim sa

stlačiť spotrebu na minimum. Každopádne je použitie hotovej platformy skvelý spôsob ako si rýchlo vyskúšať predpokladanú funkčnosť zariadenia, otestovať snímače, ale aj jednoducho napáliť program do mikrokontroléra.

## 1.5 Voľba snímačov

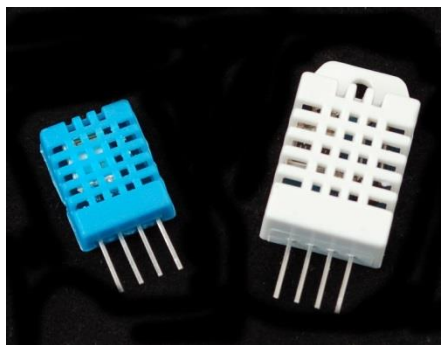
Aby mohol mikrokontrolér získať informácie o svojom okolí, na to sú potrebné samozrejme snímače umiestnené v danom prostredí. Pre naše zariadenie môžeme použiť vhodné komerčne dostupné snímače, ale ak by bola ich cena vysoká, bude potrebné snímače navrhnúť s ohľadom na požadovanú presnosť a na výslednú cenu. Každá meracia stanica bude vo svojom okolí snímať nasledujúcich päť veličín: teplota ovzdušia, vlhkosť vzduchu, vlhkosť dreva, úroveň osvetlenia a snímanie prietoku vzduchu.

### 1.5.1 Snímač teploty a vlhkosti vzduchu

K vývojovej doske Arduino je možné zakúpiť platformou oficiálne podporované jednoduché snímače teploty a vlhkosti vzduchu. Komerčne dostupné snímače DHT-11 a DHT-22 ponúkajú snímanie oboch spomínaných veličín. Tieto snímače sú úplne základné a jednoduché, ale sú často používané v oblasti hobby robotiky, alebo malej automatizácie, najmä kvôli ich nízkej cene a pomerne veľkej presnosti. Obsahujú jednoduchý čip, ktorý prevádza získaný analógový signál na digitálny a ten už môže ľahko spracovať akýkoľvek mikrokontrolér s pomocou knižnice. Oba spomínané snímače vyzerajú podobne a majú rovnaké výstupy pinov, ale líšia sa svojimi vlastnosťami. Pre meranie teploty využívajú okalibrovaný termistor a meranie vlhkosti funguje na odporovom princípe tak, že majú plošku na ktorú vplyvom vlhkosti dosadajú čiastočky pár a tým ovplyvňujú el. odpor meracej plochy.[5]

Snímač DHT-11 je veľmi lacný, jeho cena sa pohybuje na úrovni okolo 4€. Má dobré vlastnosti pri meraní 20-80% relatívnej vlhkosti s 5% odchýlkou, dokáže merať teplotu v rozmedzí 0-50°C s chybou  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Snímač pracuje s napätím od 3 do 5V. Ako bolo spomenuté tieto snímače sú navrhnuté tak, aby boli čo najlacnejšie a preto sa nehľadí na ich rýchlosť, pri tomto snímači je možné vzorkovanie 1Hz, teda odčítavať novú nameranú hodnotu raz za sekundu.

Snímač DHT-22 je z dvojice ten presnejší. Navrhnutý bol taktiež s ohľadom na čo najnižšiu cenu, ktorá sa pohybuje na úrovni okolo 7€. Snímač dokáže namerať vlhkosť v rozmedzí 0-100% s 2-5% absolútnou chybou. Teplotu ovzdušia dokáže merať v rozmedzí od -40 do 125°C s chybou len  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ . Snímač DHT-22 je pomalší a dokáže merať teplotu a vlhkosť vzduchu s maximálnou vzorkovacou frekvenciou 0,5Hz, teda raz za dve sekundy.



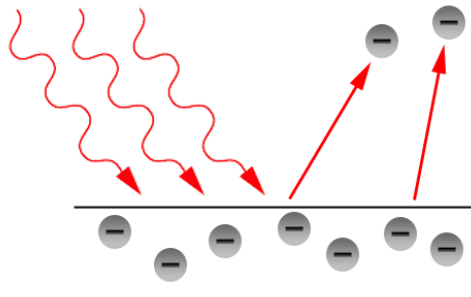
Obr. 5 Snímač teploty a vlhkosti vzduchu DHT-11(vľavo) a DHT-22 [5]

Po zhrnutí vlastností obidvoch snímačov môžeme vybrať jeden vhodný typ pre naše zariadenie. Ceny snímačov sú pomerne nízke, preto nemá význam vyvíjať takýto snímač samostatne a môžeme použiť jeden z nich. Veľmi veľká presnosť nie je hlavnou prioritou, pre naše použitie stačí merať teplotu a vlhkosť s presnosťou na jednotky, maximálne s presnosťou na desatiny. Naše zariadenie datalogger bude umiestňované v podkrovných priestoroch, kde môžu teploty klesnúť aj pod bod mrazu a letných mesiacoch môže dosahovať tiež veľmi vysokých hodnôt. Práve preto, že teplota môže dosahovať aj záporné hodnoty a naopak v letnom období sa môže teplota v podkroví vyšplhať aj nad 50°C plne nám vyhovuje snímač DHT-22.

## 1.5.2 Snímač intenzity osvetlenia

Veličina ktorá má takisto vplyv na vysušanie vlhkého materiálu a ničenie rôznych húb a plesní na kroví je prítomnosť slnečného žiarenia resp. osvetlenie. Ak by na vlhké krovie dopadalo slnečné žiarenie, to sa bude vysúšať. Slnečná energia sa skladá z dvoch zložiek, z tepelnej a svetelnej energie. Nositeľom svetelnej energie je prevažne UV žiarenie a naopak tepelnú energiu prenáša infra žiarenie. Na vysušanie má vplyv práve infra tepelné žiarenie. Každý pozná príklad, keď sme v tieni vnímame reálnu teplotu prostredia, ale ak sa dostaneme na priame slnko, náš organizmus sa začne zahrievať vplyvom infra žiarenia zo slnka. Pre naše použitie avšak postačuje merať jednoducho úroveň osvetlenia, pretože nás nezaujímajú len vysušanie, ale aj vplyv húb ako už bolo spomenuté. Keďže bude potrebné opäť previesť jeden druh energie na elektrickú energiu, využijeme znova nejaký elektrický jav. Pri tomto druhu snímača jednoznačne môžeme použiť fotoelektrický jav. Fotoelektrický jav, alebo fotoefekt je jav, kedy svetlo vhodnej vlnovej dĺžky dopadá na kov, alebo polovodič a tam spôsobuje uvoľňovanie elektrónov z atómov látky. Elektróny sa potom v látke voľne pohybujú a zvyšujú tak vodivosť materiálu. Tento jav spočíva v tom, že elektróny pohltia energiu svetelného žiarenia a môžu sa tak uvoľniť z valenčného do vodivostného pásma. Tým sa zvyšuje koncentrácia voľných elektrónov ktoré zvyšujú vodivosť. Tento jav sa nazýva vnútorný fotoelektrický jav, pretože uvoľnené elektróny neopúšťajú látku

a neuvolňujú sa do prostredia ako pri vonkajšom fotoelektrickom jave.[6] Tento jav využívajú elektrické súčiastky ako fotodióda, fototranzistor, alebo fotorezistor.



*Obr. 6 Fotoelektrický jav. Prichádzajúce elektromagnetické žiarenie naľavo uvoľňuje elektróny (vnútorný fotoelektrický jav) a vyráža niektoré až von z látky (vonkajší fotoelektrický jav) [6]*

Rovnaké princípy využívajú komerčne dostupné snímače avšak ich cena je zbytočne vysoká, preto som sa rozhodol navrhnuť pre meranie tejto veličiny vlastný snímač.

Pre tento snímač by som použil najjednoduchší spôsob aký ma napadá a to je použitie fotorezistora. Zapojením do napät'ového deliča s ďalším rezistorom môžeme merať zmenu odporu fotorezistora pri zmene osvetlenia. Vhodným algoritmom v mikroprocesore by bolo možné nameraný elektrický odpor prepočítať na nejakú unifikovanú hodnotu. Príkladom môže byť meranie intenzity osvetlenia v jednotke SI v Luxoch. Bude potrebné premerať prevodnú charakteristiku intenzity osvetlenia na el. odpore vybraného fotorezistora. Pre premeranie prevodnej charakteristiky by som použil nejaký komerčne dostupný Lux meter. Túto charakteristiku bude potrebné potom interpolovať nejakou krivkou a rovnicu tejto krivky naprogramovať do mikrokontroléra.

### **1.5.3 Snímač vlhkosti dreva**

Tento typ snímača je pravdepodobne najdôležitejší zo všetkých požadovaných na našom zariadení, mal by informovať priamo o aktuálnom stave krovia, teda vlastne o aktuálnej vlhkosti dreva. To je hlavný a rozhodujúci parameter pre ktorý vlastne celé toto zariadenie konštruujeme, keďže naším hlavným cieľom je zachovať čo najvyššiu kvalitu dreva. Snímanie vlhkosti dreva je v tomto použití veľmi potrebné, aby sme vedeli určiť kvalitu, resp. poškodenie dreva.

Na určenie vlhkosti a obsahu vody v rôznych materiáloch existuje niekoľko rozličných metód. Niektoré z nich sú deštruktívne, ale pritom dokážu najpresnejšie určiť vlhkosť daného materiálu. Nie všetky metódy sú lacné a možné použiť v každej situácii. Vzorovým príkladom je metóda váženia mokrého a suchého materiálu. Pri tejto metóde sa odoberie časť vzorky materiálu, v našom prípade krovia, uloží sa do vzduchotesného

a parotesného kontajnera a vyhodnocuje v laboratóriu. Vzorka sa presne odváži predtým, ako sa vysuší v sušičke. Vzorka sa potom opäť odváži po vysušení, keď dosiahne konštantnú hmotnosť, teda už na ňu ďalšie vysušenie nemá žiaden vplyv. Rozdiel hmotností potom zodpovedá množstvu obsiahnutej vody. Je to najpresnejší spôsob ako určiť vlhkosť materiálov. Avšak táto metóda by sa pre naše použitie aplikovala veľmi ťažko a nie je možné ju použiť, keďže chceme mať plne automatizované zariadenie, navyše budeme potrebovať nejakú metódu, ktorá nebude mať deštruktívne dôsledky na meraný materiál.

Ďalšou používanou metódou určovania vlhkosti stavebných materiálov je metóda kde sa využíva princíp kvázi kondenzátora. Pružinové kontakty prístroja sa prikladajú na meraný materiál, aplikuje sa striedavé elektrické pole ktoré preniká do určitej hĺbky meraného materiálu. Závisí to od tvaru povrchu a štruktúry materiálu. Materiál sa v tomto prípade stáva dielektrikom kondenzátora. Nemá zmysel uvažovať o nejakej veľkej presnosti tejto metódy, pretože namerané hodnoty sa veľmi odlišujú už len podľa uhlu akým je prístroj priložený na materiál. Pri tejto metóde je nevýhodou aj to, že veľmi reaguje na malé dutinky a praskliny v materiáli. Je jasné že veľký vplyv majú aj kovy v materiáli, v našom prípade by meranie mohli ovplyvňovať napr. klince v dreve. Výhodou tejto metódy je, že je ľahko aplikovateľná aj na veľmi tvrdé materiály, keďže nie je nijako invazívna.[7]

Najčastejšou používanou metódou pri meraní vlhkosti materiálov je metóda merania elektrického odporu materiálu. Pri vyššej vlhkosti vzorky je odpor materiálu pochopiteľne nižší a pri nízkej vlhkosti naopak. Práve voda nasiaknutá v materiále zvyšuje elektrickú vodivosť. Elektrická vodivosť materiálu závisí od koncentrácie iónov, od ich teploty a pohyblivosti. Prístroj funguje tak, že má dva pevné kovové hroty ktoré sa zapichnú do materiálu, tým sa uzavrie elektrický obvod cez materiál. Prístroj následne meria elektrický odpor vzorky. Takouto nepriamou metódou sa dá pomerne jednoducho zistiť vlhkosť materiálu využitím Ohmovho zákona. Výhodou tejto metódy je, že nie je veľmi deštruktívna a je pomerne jednoduchá, na orientačné meranie vlhkosti materiálu je úplne postačujúca. Problém pri tejto metóde nastáva pri vysokom obsahu solí, vtedy je táto metóda nepoužiteľná, pretože s vlhkosťou prudko vzrastá vodivosť a chyba merania je veľká. Ďalšou nevýhodou je polarizácia elektród, to znamená, že sa v blízkosti hrotov začnú hromadiť ióny a to spôsobuje chybu merania. Pri napájaní jednosmerným prúdom dochádza vplyvom vylučovania iónov na elektródach k ich polarizácii. Na elektródach vzniká tzv. dvojvrstva nábojov, ktorá sa z elektrického hľadiska javí ako zvýšenie impedancie kapacitného charakteru. Práve preto sa vodivosť kvapalín obsahujúcich ióny (elektrolyty) meria striedavým prúdom, pretože sa pri vysokom kmitočte uvoľní menej iónov za čas polperiódy.[8] Tento jav je potrebné pri návrhu snímača zohľadniť.

V našom použití, by bolo možné použiť hroty resp. klince, ktoré zapichneme v určitej definovanej vzdialenosti od seba do dreva a pomocou vhodného elektrického

obvodu a mikrokontroléra budeme merať odpor medzi hrotmi. Na meranie odporu môžeme použiť analógový vstup mikrokontroléra. Týmto spôsobom by sme vedeli vypovedať takmer presnú hodnotu elektrického odporu, ktorá bude zodpovedať vlhkosti dreva. Ak by zákazník požadoval aby bola nameraná hodnota v percentách vlhkosti, vtedy by bolo potrebné snímač nakalibrovať vo vlhkostnej komore. Veľmi pomalým tempom prejsť celú škálu od 0 do 100% vlhkosti, tak aby vlhkosť vzduchu odpovedala aj vlhkosti dreva. Takýmto spôsobom by sme vedeli spraviť prevodnú charakteristiku vlhkosti na elektrickom odpore daného vzorku. Následnou interpoláciou a vyjadrením rovnice krivky by sme vedeli prepočítavať odpor na odpovedajúcu vlhkosť v percentách. Problémom je, že pre každý typ dreva je krivka odlišná. Ďalším spôsobom získania prevodnej charakteristiky je pomeriť nejaký komerčne dostupný prístroj tak, že na jeho hroty budeme pripájať rezistory známej veľkosti. Týmto spôsobom môžeme prejsť potrebný rozsah a z nameraných údajov rovnakým spôsobom vyjadriť prevodnú charakteristiku. V tomto prípade je potrebné osádzať meracie hroty do takej istej vzdialenosti ako ich má daný komerčne dostupný merací prístroj. Pre začiatok nám ale bude postačovať vracať hodnotu vlhkosti dreva v jednotkách el. odporu.

Pri osadzovaní snímača je potom treba zobrať do úvahy aj fakt, že elektrický odpor dreva je mierne menší v pozdĺžnom smere (v smere vlákien) a naopak, väčší v priečnom smere.

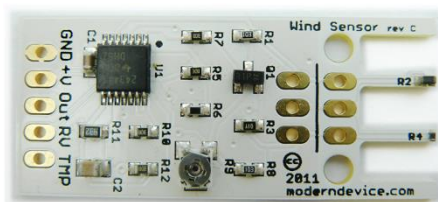
#### **1.5.4 Snímač prúdenia vzduchu**

Ďalším veľmi dôležitým parametrom, ktorý je potrebné merať v prostrediach strešných konštrukcií je prietok vzduchu v objekte. Prúdiaci vzduch má veľký vplyv na vysušanie dreva, teda aj na jeho celkovú vlhkosť. V našom prípade nie je potrebné merať prietok vzduchu s vysokou presnosťou, hlavné je aby sme vedeli rozlíšiť, či k prúdeniu dochádza, teda či sa vlhkosť dokáže dostať preč z priestorov. Je jasné, že v uzavretých priestoroch, ako sú tie kde bude toto zariadenie používané bude prietok vzduchu minimálny. Najväčšia odhadovaná rýchlosť prúdenia vzduchu by v uzavretých podkrovných priestoroch mohla byť do 1m/s. Samozrejme môže nastať aj nejaká výchylka, keď sa otvoria dvere do podkrovia, alebo môžu na to vplývať ďalšie aspekty. Keďže prúdenie bude veľmi malé, nie je možné použiť nejaký jednoduchý princíp s rotujúcou vrtuľkou a meraním indukovaného napätia. Pre takéto pomalé prúdenie vzduchu sú vhodné anemometre typu "hot wire". Tieto fungujú tak, že vyhrievajú odporový drôtik, alebo malý termistor a meria sa ochladzovanie pretekajúcim vzduchom. Je dôležité, aby vyhrievaná časť bola čo najmenšia kvôli zachovaniu čo najmensej časovej konštanty. Je možné zakúpiť hotové, komerčne dostupné anemometre, ich cena sa však pohybuje na úrovni od 500€ a vyššie.

Preto bude potrebné vymyslieť a vyvinúť princíp nejakého jednoduchého anemometra, alebo nájsť komerčne dostupný kompromis. Sú známe spôsoby teplotného anemometra, ktorý využíva vlastnosti termistorov. Termistor je elektrická súčiastka,

ktorej elektrický odpor závisí od teploty. Známe sú dva typy termistorov. NTC Termistor (z angl. Negative Temperature Coefficient – negatívny teplotný koeficient) je termistor ktorého elektrický odpor pri zahrievaní klesá. PTC Termistor (z angl. Positive Temperature Coefficient – pozitívny teplotný koeficient), ktorého odpor so vzrastajúcou teplotou rastie. Na snímač sa použijú dva termistory, zohriate na niekoľko krát vyššiu teplotu ako je teplota okolia. Jeden termistor je krytý pred prúdením vzduchu, je umiestnený v kryte zariadenia. Druhý termistor je vystavený prúdeniu vzduchu. Vplyvom prúdenia vzduchu sa vonkajší termistor ochladzuje. Ak sú termistory zapojené vo Wheatsonovom mostíku na meranie elektrických odporov, vieme potom merať rozdiel medzi odporami termistorov. Rozdiely medzi meranými bodmi môžeme následne zosilniť diferenčným zosilňovačom a priviesť na merací analógový vstup mikrokontroléra. Myšlienka je to celkom jasná, ale nie je také ľahké to zrealizovať, pretože musíme brať ohľad na nízku spotrebu, pričom ak chceme termistory vyhrievať tečie nimi vysoký prúd. Riešením by bolo použitie termistora s malým el. odporom, kde by nebolo pre jeho tepelné vyhriatie potrebný až taký veľký prúd. Ďalší parameter termistora ktorý je potrebné pri návrhu snímača tohto typu brať do úvahy je jeho veľkosť. Je veľmi dôležité, aby mal termistor malú plochu, teda aby prechodné deje mali čo najmenší čas. V praxi, aby sa termistor ochladil čo najviac, keď v jeho okolí začne prúdiť vzduch a nevlývala na meranie až tak veľmi jeho teplota naakumulovaná v jeho obale.

Ďalším spôsobom je použiť lacný, komerčne dostupný teplotný anemometer, ktorý takíto princíp už využíva. Podarilo sa mi nájsť americkú firmu Moderndevice, ktorá vyrába práve takéto lacné, “ubastlené“ snímače. Snímač pracuje s napájacím napätím 4 až 10V a odoberá prúd od 20 až 40mA(závisí od rýchlosti vetra). Snímač funguje tak, že vyhrieva termistor na určitú konštantnú teplotu a potom meria prúd, ktorý je preteká týmto termistorom. Vplyvom prietoku vzduchu sa termistor ochladí, čo spôsobí zmenu el. odporu termistora, následne je potrebný iný prúd pre vyhriatie na našu konštantnú teplotu a ten už vieme merať. Výrobca k nemu dodáva aj tutorial pre použitie s Arduinom a kalibračné rovnice, ktoré je možné naprogramovať do mikrokontroléra a tak získame nameranú rýchlosť prietoku vzduchu v unifikovanej jednotke. Snímač dokáže merať už od veľmi malých rýchlostí prietoku vzduchu, takže vyhovuje pre naše zariadenie. Jeho cena je 17€.[9]



Obr. 7 Wind senzor od firmy Moderndevice [9]

## 1.6 Modul reálneho času

Dôležitou súčasťou zariadenia pre monitorovanie prostredí je modul reálneho času, ktorého hlavnou úlohou je, že dokáže informovať o aktuálnom reálnom čase. Zariadenie pre monitorovanie by sa bez tohto modulu nezaobišlo, pretože by sme namerané údaje nevedeli pripísať presnému času a vôbec, bola by nemožná neskoršia analýza dát. Vďaka modulu reálneho času, bude vedieť obsluhujúci personál rozanalyzovať namerané údaje, bude vedieť zohľadniť vplyvy vonkajšieho počasia k určitému času a mnoho ďalšieho.

K platforme Arduino sa vyrába viacero oficiálne podporovaných modulov reálneho času. Za zmienku stoja dva najznámejšie moduly, prvý z nich je jednoduchší modul s čipom DS1307 a pokročilejší modul reálneho času s čipom DS3231. Čip DS1307 je lacný, a dokáže prevádzkovať dva na sebe nezávislé časovače. Čip nemá okrem spomenutého už žiadne iné výhody a navyše jeho presnosť je o čosi nižšia ako druhý spomenutý časovač. Čip DS3231 je extrémne presný a obsahuje aj internú korekciu hodín podľa teploty, takisto je možné použiť vstavaný teplomer na meranie teploty aj keď meria iba s malou presnosťou. Obrovskou výhodou tohto čipu reálneho času je, že má dva alarmy, ktoré je možné nastaviť na ľubovoľný čas a dátum. Je to vynikajúca funkcia, ktorú by som mohol využiť v našom zapojení. Mikrokontrolér uvidíme do spánku mimo dobu merania, čím sa výrazne zníži spotreba a následne potom ho alarm RTC (Real-time clock) modulu cez interrupt pin prebudí v čas, kedy budeme chcieť opäť robiť meranie. Cena tohto presnejšieho modulu je asi 7€. Pri voľbe tohto modulu nie je nad čím váhať, jednoznačne je funkcia alarmu výborný spôsob akým prevádzkovať meranie dataloggera. Oba spomenuté moduly obsahujú záložnú batériu, v prípade výpadku napájania, čo v našom prípade znamená, že modul reálneho času nebude závislý od batérie, ktorá napája celý datalogger. Môžeme tak vymieňať batériu dataloggera bez toho, aby sme stratili čas RTC modulu.



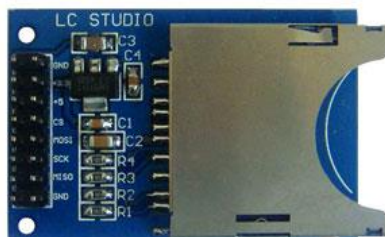
Obr. 8 Modul reálneho času s čipom DS3231

## 1.7 Čítačka SD kariet

Hlavným prvkom celého zariadenia, bez ktorého by sme sa nezaobišli je modul čítačky SD kariet, ktorým budem zaznamenávať namerané údaje na prenosové médium – SD kartu. Bolo potrebné zvoliť nejaký efektívny a zároveň lacný spôsob získavania informácií z dataloggera, preto som sa rozhodol práve pre prenosové médium SD kartu a čítačku. Výhodou tohto spôsobu zaznamenávania je, že je relatívne lacný, cena



modulu čítačky je asi 3€. Navyše neobsahuje žiadne zložité súčiastky, takže v ďalších revíziách dataloggera by sa jeho cena ešte znížila, nakoľko by som čítačku navrhol rovno na vlastnú DPS hlavnej stanice dataloggera. Výhodou používania SD modulu je, že karta formátu SD je dostatočne veľká, čo je podľa môjho názoru praktické, pretože sa len tak nestratí a zároveň je aj ľahká a zároveň malá na prenášanie. K Arduinu je k dispozícii mnoho open-source knižníc pre prácu s SD kartou, z ktorých určite nejakú použijem. Pre výrobu som zvolil modul SD čítačky od firmy LC STUDIO.



*Obr. 9 SD modul od firmy LC STUDIO*

## 1.8 Komunikácia medzi stanicami

K hlavnej stanici zariadenia môže byť pripojených viacero meracích staníc a každá meracia stanica dataloggera bude mať 5 snímačov okolia. Preto je veľmi dôležitou otázkou voľba správnej komunikácie či už medzi stanicami dataloggera, alebo snímačmi koncových staníc. V zariadení nie je možné používať analógové signály. Predstava, že by sme natiahli 20 metrový kábel napríklad ku snímaču osvetlenia a takým dlhým vedením merali analógový signál – úbytok napätia na fotorezistore, je mylná. Keďže zadávateľ určil, že vzdialenosť medzi meracími stanicami môže byť až 20 metrov, z toho dôvodu musím použiť prenos digitálneho signálu, takže nejakú komunikáciu. V každej meracej stanici musí byť signál zo snímačov spracovaný mikrokontrolérom a digitálne pomocou vhodne zvoleného komunikačného protokolu odoslaný do hlavnej stanice, ktorá zmerané údaje uloží. Pre naše zariadenia sa hodí prepojenie základnej dosky so snímačmi stanicami prostredníctvom kábla. Primárne sa nebudem snažiť využívať bezdrôtovú komunikáciu medzi stanicami dataloggera, pretože aj jednou z požiadaviek zadávateľa práce bolo, aby bola pre zariadenie použitá len jedna batéria. Z toho dôvodu, je použitie káblového fyzického prepojenia nevyhnutné.

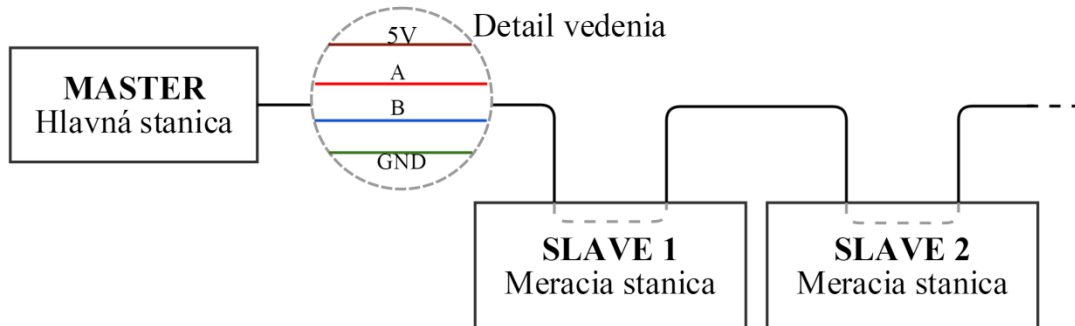
Môžeme uvažovať nad viacerými spôsobmi komunikácie, napríklad Ethernet, ktorý by mohol byť tiež použiteľný pre naše zariadenie. Nevýhodou tohto štandardu je, že sú kladené vysoké požiadavky na vodiče (vysoká kategória UTP kábla atď.) a takisto som nenašiel vyvinutú funkčnú knižnicu pre použitie s Arduinom.

Ďalšou možnosťou by bolo použitie dvojvodičového štandardu RS-422. Tento štandard umožňuje prenos rýchlosťou až 10 miliónov bitov za sekundu vďaka tomu, že podobne ako RS-485 využíva rozdiel potenciálov medzi vodičmi (diferenciálny prenos).

Dĺžka kábla u tohto štandardu môže dosahovať až 1200 metrov a počet zariadení na vedení môže byť až 10 (1 vysielač a 10 prijímačov). Zariadenia môžu byť podobne ako u RS-485 prepojené priamo cez RS-422, alebo sa do siete pripájajú pomocou RS-422 prevodníkov. Prevodníky zaisťujú aby bola veľkosť úrovni signálov taká, ako ju definuje štandard. Tento štandard môže byť vhodný pre naše zapojenie, ale nie je vyvinutá žiadna open-source knižnica pre komunikáciu cez tento štandard.

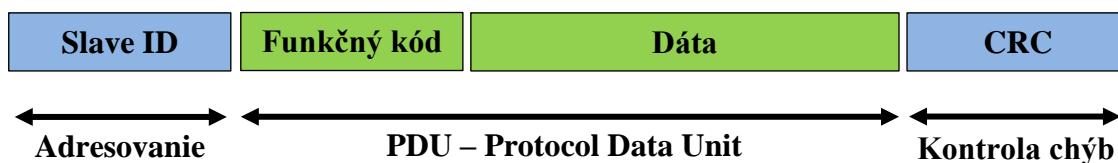
Pre komunikáciu medzi stanicami dataloggera by som použil štandard RS-485. RS-485 je štandard sériovej komunikácie definovaný združením EIA (Electronic Industries Alliance) ešte v roku 1983. Používa sa vo veľmi veľkej miere do dnes, predovšetkým v priemyslovom prostredí.[10] Štandard je navrhnutý tak, aby bolo možné pomocou dvojvodičového vedenia komunikovať medzi viacerými bodmi. Tento štandard disponuje možnosťou vytvárať siete pozostávajúce až z 32 zariadení, na vzdialenosti až 1200m. Štandard všeobecne určuje len napät'ové úrovne, ktoré sa používajú a počet vodičov, zvyšok rieši komunikačný protokol. Napät'ové úrovne u štandardu RS-485 sú rovnaké ako u RS-422. Môže sa zdať, že štandardy RS-485 a RS-422 sú rovnaké, ale sú len veľmi podobné. Zariadenia vyhovujúce štandardu RS-485 sa môžu väčšinou bez problémov používať v sieťach založených na RS-422, naopak to však neplatí. RS-485 je odolnejší a robustnejší štandard. Pre naše použitie postačuje použiť dvojvodičovú verziu RS485. Sú dostupné integrované obvody, ktoré riešia a kontrolujú napät'ové úrovne štandardu, to bude potrebné použiť aj v našom prípade nakoľko mikrokontrolér má iné výstupné napätia digitálnych pinov (TTL logika) než definovaný štandard. RS-485 sa vyznačuje dvojvodičovým prepojením zariadení. Tieto vodiče sa označujú písmenami A a B. Logické úrovne u tohto štandardu sú reprezentované rozdielovým napätím medzi oboma vodičmi. Detekcia logického stavu založená na rozdielovom napätí je výhodná hlavne kvôli eliminácii indukovaného rušivého signálu, ktorý sa pričíta k oboj vodičom rovnako, týmto spôsobom sa jednoducho a efektívne odstráni ručy. Vysielač by mal mať na výstupe pri logickej úrovni „1“ na vodiči A napätie -2V, na vodiči B +2V. Pri logickej úrovni „0“ by mal na vodiči A generovať +2V, na vodiči B -2V. Pri komunikácii na väčšie vzdialenosti musí byť na oboch stranách vedenia zakončenie tzv. terminátor. Zmyslom terminátorov je zabrániť odrazom signálov od koncov vedenia a takisto pomáhajú zvýšiť odolnosť linky proti rušivým signálom. Terminátor u RS-485 by mal mať v ideálnom prípade hodnotu  $110\Omega$ , teda výsledná impedancia linky je potom  $55\Omega$ . Pri využití dvoch vodičov je prenos polo-duplexný a preto vyžaduje riadenie prenosu dát (smeru komunikácie). Komunikačný protokol musí zaisťovať, aby v jednom okamihu komunikovalo najviac jedno zariadenie. To by som riešil komunikačným protokolom Modbus pre RS485. Na zbernici je jedno master zariadenie (teda jeden server) ktoré posiela otázky a ostatné zariadenia sú slave (klienti). Slave zariadenie odpovedá na otázky ktoré mu boli adresované. Myslím si, že komunikácia RS485 je pre naše zapojenie najvhodnejšia, nakoľko je možné navesť na vedenie viacero zariadení a práve táto komunikácia je vytvorená presne pre také aplikácie ako je

ta naša. Veľkou výhodou je, že k platforme Arduino je voľne dostupná otvorená knižnica komunikačného protokolu Modbus pre RS-485, ktorú by som využil pre naše zariadenie.



*Obr. 10 Konceptia realizácie komunikácie medzi stanicami*

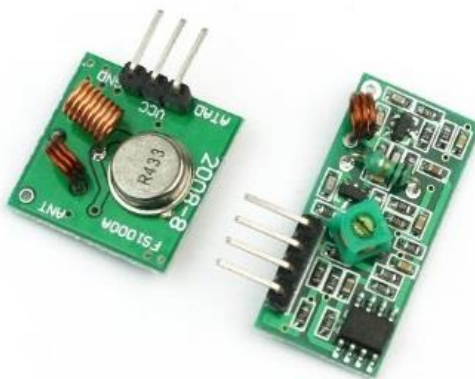
Komunikačný protokol Modbus bol vyvinutý firmou Modicon, publikovaný ešte v roku 1979 pre použitie s programovateľnými logickými obvodmi (PLC). V štandardnej Modbus sieti je jedno Modbus Master zariadenie a až do 247 Modbus Slave zariadení, každé s unikátnou adresou ID od 1 do 247. Typická rýchlosť prenosu je 9600 baudov (bits per second). Master sa dokáže pýtať slave zariadení a takisto aj zapisovať informácie do nich. Keď si Master žiada dáta, prvý bajt, ktorý pošle je adresa Slave zariadenia od ktorého informácie požaduje, týmto spôsobom každý Slave vie hneď po prvom bajte, či má ignorovať správu od Master zariadenia, alebo ju ďalej čítať a reagovať na ňu. Druhý bajt odoslaný Master zariadením je funkčný kód. Tento hovorí slave zariadeniu o akú operáciu sa bude jednať, či o zápis, alebo čítanie. Tu je dôležité spomenúť, že prenos informácií u tohto protokolu prebieha tak, že každé slave zariadenie má svoje registre, tie sú určené buď pre zápis informácií do nich, alebo pre načítavanie z nich. Každá informácia, ktorá vychádza, alebo vchádza do zariadenia prechádza cez tieto registre. O aktuálnosť informácií v registroch sa stará práve protokol. Zariadenie si registre potom vyčítava už samo. Tak isto funguje aj knižnica, ktorú použijem pre naše zariadenie s mikrokontrolérmi. Ďalšie bajty rámca sú prenášané dáta. V závislosti na robustnosti protokolu to môžu byť dva, alebo až štyri bajty. Obvykle to bývajú dva bajty, v prípade našej knižnice je to dvoj-bajtové unsigned integer číslo, teda je rozsah čísla, ktoré vieme poslať od 0 do 65535. Posledná časť rámca je CRC (Cyclic redundancy check). Sú to dva bajty pridané na koniec každej Modbus správy pre detekciu chýb. Pre výpočet CRC je využívaný každý bajt správy. Prijímajúce zariadenie si takisto samostatne vypočíta CRC a porovná to s CRC z prijatej správy. Ak je nejaký bit správy prijatý nesprávne, CRC bude rozdielne a zariadenie tak rozozná chybu.[11]



Obr. 11 Rámec Modbus správy

## 1.9 Bezdrôtová komunikácia medzi stanicami

V prípade, ak by nebolo možné prepojiť meraciu stanicu so základnou stanicou káblom, alebo ak by to vyžadovali iné okolnosti, je možné použiť aj bezdrôtové prepojenie. K platforme Arduino je komerčne dostupný oficiálne podporovaný modul bezdrôtového prijímača a vysielača na frekvencii 433MHz. Nevýhodou tohto modulu je, že modul nevie vykonávať funkciu prijímača aj vysielača, ale je jeden osobitný modul pre vysielač a ďalší modul pre prijímanie na tejto frekvencii. V prípade použitia bezdrôtového modulu ale musíme ešte počítať s ďalším akumulátorom pre meraciu stanicu. Primárne sa nebudem snažiť vyvíjať datalogger s bezdrôtovým prenosom dát medzi stanicami. Je to dôležité ale spomenúť, v prípade ak by mal zákazník takú požiadavku na bezdrôtové meracie stanice.



Obr. 12 433Mhz vysielač(vľavo) a modul prijímača

## 1.10 Voľba konektorov a kábla pre komunikáciu

Uvažujme, že bude použitá polo-duplexná komunikácia RS-485. Pre RS-485 sa používa kábel krútený pár. V inštaláciách, kde je možné vylúčiť elektromagnetické rušenie, je možné použiť netienený kábel. Pre naše zapojenie potrebujeme vodičmi viesť aj napájanie pre snímacie stanice, teda dva ďalšie vodiče pre +5V a GND. Použil by som tieneny kábel, keďže nevieme zaručiť, že v prostredí nasadenia dataloggera nebude silné elektromagnetické pole. Zo spomenutých nárokov teda vyplýva, že je potrebné použiť 4 žilový kábel. Pri tvorbe zariadenia kladieme veľký dôraz na nízku cenu, preto by som

použil UTP kábel, ktorého výhodou je nízka cena. Použil by som len 4 žily a zvyšné môžu byť ako záloha pri poškodení používaných žíl. Každopádne je možné použiť aj iný štvoržilový kábel, ktorý bude mať krútenú dvojlinku pre dátové vodiče RS-485. Krútená dvojlinka je potrebná práve z toho dôvodu, že štandard RS-485 posiela vodičmi vzájomne invertovaný signál, takto sa jednoduchým spôsobom vyrušia možné presluchy na vedení ako už bolo vysvetlené.

Štandard RS-485 nijak nepopisuje voľbu konektorov, nie je žiaden univerzálny konektor pre tento štandard a každý výrobca si volí podľa vlastných preferencií. Konektory by som vyberal rady RJ preto, lebo sú lacné a jednoduché na obsluhu, čo bola požiadavka zákazníka. Ich cena je nízka a pre náš systém plne postačujú. Vhodné sa mi zdajú niektoré z týchto konektorov: RJ11, RJ12 alebo RJ45. Osobne by som zvolil konektor RJ11, pretože má presne potrebný počet pinov. Oproti RJ45 je ho výhodne použiť z dôvodu aby nedochádzalo k zámene našich káblov so sieťovými kríženými káblami, kedy by mohlo dochádzať ku kolízii ak by sme používali práve tie skrížené kontakty. Pri trocha šikvosti nie je žiaden problém nakrimpovať klasický UTP kábel aj do konektorov RJ11 alebo resp. do RJ12.

## 1.11 Voľba batérie

Pri výbere batérie musíme zohľadniť viaceré dôležité aspekty a situácie ktoré môžu nastať v našom použití. Je dôležité aby mal akumulátor malé rozmery, pretože môže byť do niektorých podkroví ťažký prístup, najjednoduchšie bude používať batériu ľahkú a malých rozmerov. Jednoznačne je potrebné, aby bola batéria nabíjateľná. Pre naše zariadenie bude potrebné použiť batériu vyšších kapacít a preto by bolo používanie jednorazových batérii neekonomické. Ďalej je potrebné vybrať batériu ktorá znesie rozsahy možných teplôt v podkroviach tzn., že v zimnom období môže teplota klesnúť pod bod mrazu a naopak v lete sa vyšplhať až k 40°C. Žiadnej batérii nerobia dobre veľké zimy, ale sú medzi nimi také ktoré ju znášajú lepšie ako ostatné. Vzhľadom na to, že ešte nie isté, akú bude mať zariadenie presnú spotrebu, zvolil by som kapacitu batérie v rozumnej veľkosti teda takú aby mala aspoň okolo 2000mAh. Veľkosť kapacity som zvolil podľa iných podobných projektov, kde sa zaobišli aj s nižšími kapacitami. Vhodnou voľbou batérie by bol Li-Ion akumulátor, keďže s pomerne malými rozmermi vieme dosiahnuť veľké kapacity. Li-Ion akumulátor má skvelý pomer cena-výkon a navyše aj s malými rozmermi môže mať kapacitu väčšiu než niekoľko krát rozmermi väčšia olovená batéria. Li-Ion akumulátor ma takisto aj malé minimálne samovybíjanie, čo činí cca 5% za mesiac. Akumulátor má teplotný rozsah, ktorý by mal vyhovovať nášmu použitiu, teda presne je to u Li-Ion akumulátorov rozmedzie teplôt od -10 do 50 °C. Takisto nemá pamäťový efekt, a nie je ho nutné úplne vybíjať pred nabíjaním, takisto má veľmi dlhú životnosť až 500-1200 nabíjacích cyklov.[12]

Po dlhšom zvažovaní som zvolil dvojčlánkový Li-Ion akumulátor BAK 7,4V, 2250mAh, ktorý je dostupný v obchode Farnell za cenu zhruba 20€. Tento akumulátor

bol zvolený práve preto, lebo nakoľko je oproti ostatným pomerne lacný a má vysokú a pre nás vyhovujúcu kapacitu 2250mAh. Takisto je jeho výstupné napätie rovné 7,4V, čo znamená, že sa nebude pri stabilizácii napätia na požadovaných 5V musieť strácať veľké napätie a tak bude aj nižší odoberaný prúd stabilizátora. Výhodou tejto batérie je, že má ochranné obvody, ktoré zabránia prebíjaniu článku a takisto ho ochránia pred vybitím, alebo skratovaním.



Obr. 13 Li-Ion batéria BAK 7,4V 2250mAh

Ak uvažujeme, že bude zariadenie prevažnú dobu prevádzky uspané, pri použití mikrokontroléra ATmega328P by mala byť spotreba zariadenia v tomto stave okolo 0,3mA, ako už bolo spomenuté pri analýze platformy Arduino. Ak požadujeme, aby zariadenie bežalo aspoň po dobu 3 mesiacov čo je okolo 2000 hodín, musí zariadenie pri použití batérie s kapacitou 2250mAh odoberať prúd menší než 1,13mA.

$$I = \frac{\text{náboj } Q}{\text{čas } t} = \frac{2250mAh}{2000hod} = 1,13mA \quad (1)$$

Z toho vyplýva, že splňame podmienku, aby zariadenie v uspanom stave dokázalo bežať na vybranej batérii po tak dlhú dobu. V hodnotách je vidieť aj niekoľko násobnú rezervu. Tento priestor si nechávam na časy, kedy bude zariadenie monitorovať prostredie. V časoch snímania prostredia bude aktívnych viacero meracích staníc, takisto hlavná stanica a v neposlednom rade aj snímače meracích staníc. Práve v tomto režime bude spotreba zariadenia určite niekoľko násobne vyššia oproti spotrebe 0,3mA v stave spánku. Presnú spotrebu celého zariadenia nedokážem v tomto momente presne určiť, ale odhadujem a budem sa snažiť zariadenie navrhnuť tak, aby spotreba neprevyšovala 50mA. V čase merania prostredia bude síce spotreba vyššia, avšak nemusíme mať obavy, že by to znížilo prevádzku zariadenia pod zadanú dobu. Ak budeme uvažovať, že meranie prostredia bude trvať asi 1 minútu, pričom budeme snímať prostredie v intervale každé 4 hodiny, datalogger bude mať priemernú spotrebu:

$$Q = \frac{(t_1 \cdot I_1) + (t_2 \cdot I_2) + \dots + (t_i \cdot I_i)}{t_{celkové}} \quad [mAh, h, mA] \quad (2)$$

$$Q = \frac{(0,1\text{hod} \cdot 50\text{mA}) + (23,9\text{hod} \cdot 0,3\text{mA})}{24\text{hod}} \doteq 0,507\text{mAh} \quad (3)$$

Zariadenie odoberie za hodinu prevádzky batérii elektrický náboj reprezentujúci 0,507mAh. Ak chceme vypočítať ako dlho bude zariadenie bežať na batérii, musím zistiť prúd, ktorý bude odoberaný zo 7,4V batérie. Tento prepočet spravím cez výpočet výkonu.

$$P = U \cdot I \quad [W, V, A] \quad (4)$$

$$P = 5V \cdot 0,507\text{mA} \doteq 2,54\text{mW} \quad (5)$$

$$I_{bat} = \frac{P}{U_{bat}} \quad [A, W, V] \quad (6)$$

$$I_{bat} = \frac{2,54\text{mW}}{7,4V} \doteq 0,343\text{mA} \quad (7)$$

Z batérie bude priemerná hodnota odoberaného prúdu asi 0,343mA. Následne môžeme vypočítať ako dlho dokáže zariadenie bežať pri použití vybranej batérie:

$$t = \frac{\text{kapacita batérie } Q}{\text{odoberaný náboj } I} \quad [h, mAh, mA] \quad (8)$$

$$t = \frac{2250\text{mAh}}{0,343\text{mA}} \doteq 6560 \text{ hodín} \sim 273 \text{ dní} \sim 9 \text{ mesiacov} \quad (9)$$

Podľa výpočtov by mala byť výdrž zariadenia až 9 mesiacov, čo presiahlo očakávania. Pri vývoji prvého prototypu zariadenia, je ale potrebné radšej uvažovať s určitou rezervou a až testovanie zariadenia a pripomienky zákazníka určia ďalšiu cestu vývoja, či sa bude zvyšovať počet staníc, snímačov a zvyšovať počet rozšírení, alebo naopak budeme môcť používať batériu s menšou kapacitou.

## 1.12 Prevádzka na batérii

Je jasné že v prípade použitia batérii, alebo či už bude zariadenie napájané zo siete, stále je potrebné zaistiť čo najnižšiu spotrebu energie. My teraz uvažujme situáciu, kde nebude dostupné sieťové napájanie a bude potrebné použiť batérie. Objekt, kde bude zariadenie umiestnené bude potrebné pravidelne navštevovať, kvôli výmene batérie a stiahnutiu nameraných dát z SD karty. Ak má zariadenie fungovať nepretržite, najvhodnejší spôsob sa zdá byť použitie dvoch batérií ktoré budeme striedať. Zatiaľ čo jedna batéria bude v prevádzke, druhú pripravíme na použitie. Pri vhodnom načasovaní výmeny batérie by sme neprišli o žiadne dáta (nevynechali by sme žiadne meranie).

Netreba sa báť, že by sa zresetoval čas v module reálneho času, ten obsahuje malú batériu, takže pri výpadku napájania čas beží v module ďalej. Ak však nie je vynechanie pár meraní taký problém, vtedy nám postačuje jedna batéria, ktorú znesieme z podkrovia, za deň nabijeme a vynesieme naspäť. Pre nabíjanie batérie by som volil kúpu hotovej nabíjačky, pri cene dnešných nabíjačiek nemá zmysel vyrábať vlastnú. Podobné batérie, ako zvolená sa často používajú u airsoftových zbraní, preto o komerčne dostupné nabíjačky nie je núdza. Zvolil som lacnú nabíjačku od firmy G&P GP-OTH012C s cenou 25€. Nabíjačka umožňuje nabíjanie dvoj a trojčlánkových Li-Ion a Li-Pol batérii a dokáže si aj samostatne kontrolovať autobalance medzi článkami batérie. Nabíjačku som volil tak, aby mala rovnaký konektor JST-XHP-3P ako batéria a nebolo už potrebné meniť konektory. Rovnaký konektor potom použijem aj v hlavnej stanici dataloggera pre pripojenie batérie.



*Obr. 14 Nabíjačka G&P GP-OTH012C*

Pri použití batérii sa načrtá takisto otázka použitia solárnych panelov. Ak je možnosť umiestniť solárny panel, v takom prípade vieme vďaka nízkej spotrebe zariadenia teoreticky zabezpečiť nekonečnú prevádzku bez potreby výmeny batérie. Napríklad už pri použití malého solárneho panelu s výkonom 10W, pri použití stabilizátora, by sme vedeli nabíjať batériu prúdom 0-800mA v závislosti od počasia a tým by sme zabezpečili nepretržitú prevádzku bez potrebnej väčšej údržby. Cena takýchto článkov sa pohybuje okolo ceny 50€.

### **1.13 Upozornenie používateľa na kritické hodnoty**

Meranie prostredia strešných konštrukcií je skvelá myšlienka pre udržiavanie dobrého stavu historických pamiatok, ale čo v prípade ak dôjde k nejakej kritickej situácii, napríklad začne pretekať strecha a krovie začne mokrúť až sa pomaly rozkladajú. Pri prvotnej myšlienke dataloggera sme uvažovali, že budeme monitorovať dané prostredia, pričom po určitej dobe (rádovo mesiace) sa do prostredia vrátíme a následne budeme namerané údaje analyzovať. V prípade, ale že dôjde ku kritickej situácii, ako je napríklad situácia popísaná vyššie, nevieme nijako zasiahnuť do deja a včas zabrániť



ničeniu stavby. Preto si myslím, že je nevyhnutné aby datalogger mal systém, ktorý používateľa upozorní na kritické hodnoty v meranom prostredí. Takisto by bolo vhodné ak by tento systém upozornil obsluhujúci personál na nízky stav batérie. Možností realizácie takéhoto systému je mnoho, v našom zariadení môžeme uvažovať o využití nejakej bezdrôtovej komunikácie s okolitým svetom. Pri návrhu prvého prototypu dataloggera nebudem tento systém implementovať, ale v prípade ďalšieho vývoja sa žiada o doplnenie takéhoto systému, preto si uvedieme vhodné možnosti.

Jednou z možností je použitie Wi-Fi modulu, k platforme Arduino je k dispozícii takýto modul aj s knižnicou. Pri použití tohto modulu by sme nemuseli uvažovať len o upozorňovaní, navyše by sme vedeli zabezpečiť prenos všetkých nameraných údajov na server, takže by bola obsluha zariadenia o to jednoduchšia. Problémom je, že výskyt Wi-Fi signálu s prístupom na Internet je v takýchto prostrediach mizivý. Z toho dôvodu by som upozorňovanie nerealizoval takýmto spôsobom.

V našom prípade by bolo vhodné zariadenie doplniť o GSM modul s jednoduchou SMS bránou. V dnešnej dobe pokrytie týmto signálom na našom území siaha takmer ku 100%, takže nie je problém nadviazať spojenie s obsluhujúcim personálom v nevyhnutných situáciách. Pri tomto riešení musíme myslieť trochu ekonomicky, nakoľko posielanie SMS správ je spoplatnené, odosielali by sme len nevyhnutné informácie, ako prekročenie kritických limitov snímačov a informáciu o nízkom stave batérie. Popríklad by bolo možné využiť dátové pripojenie a údaje odosielat' znova na server.

## 2 PRAKTICKÁ ČASŤ

V tejto časti sa budem venovať praktickému vývoju dataloggera. V prvej časti objasním postup vývoja dataloggera. Ďalej popíšem realizáciu jednotlivých častí zariadenia, od hlavnej a meracej stanice až po jednotlivé snímače. V poslednej časti sa budem venovať algoritmu dataloggera a výstupu nameraných údajov.

### 2.1 Konceptia vývoja zariadenia

V časti teoretickej analýzy sme dospeli k záveru, že je potrebný vývoj zariadenia pre monitorovanie prostredí strešných konštrukcií, pretože nie je komerčne dostupný žiadny produkt, ktorý by spĺňal zadané požiadavky na monitorovanie. Pre realizáciu vlastného zariadenia som vybral platformu Arduino. Po analýze spotreby tejto platformy sa ukázalo, že nebude možné datalogger realizovať pomocou tejto platformy, pretože jej spotreba je vysoká. Preto som sa rozhodol využiť iba mikrokontrolér ATmega328P a navrhnuť vlastnú DPS. Týmto spôsobom využijem potenciál Arduina, pretože budem môcť aj naďalej využiť všetky rozšírenia a knižnice ktoré sú dostupné pre Arduino a zároveň niekoľko násobne znížim spotrebu zariadenia. Prácu si predstavujem tak, že všetky snímače budem testovať a vyvíjať pomocou dosky Arduino UNO, využijem on-board emuláciu, takže bude vývoj o to jednoduchší a pri vývoji uvidím reakciu hardvéru na algoritmus v reálnom čase. Pre napájovanie programu do mikrokontroléra budem tiež využívať dosku Arduino UNO a ich voľne stiahnuteľný softvér. Aby bolo možné mikrokontrolér napájať prostredníctvom platformy Arduino, je potrebné aby obsahoval Arduino bootloader. Je to vlastne program v mikrokontroléri, ktorý beží kým sa mikrokontrolér napája, zabezpečuje sériovú komunikáciu a riadi celý proces zápisu algoritmu do programovej pamäte mikrokontroléra. To nám umožní napájovanie mikrokontroléra bez špeciálneho hardvéru a postačíme si iba s platformou Arduino.

Datalogger budem vyvíjať asi takým postupom, že si najprv rozmyslím usporiadanie systému (hlavná stanica, meracie stanice, snímače), postupne budem overovať funkcie rôznych modulov, ktoré chcem mať obsiahnuté v zariadení, ako čítačka SD kariet – tam začnem s jednoduchým testovaním čítania a zápisu na SD kartu. Pri module reálneho času najprv vyskúšam nastaviť čas, čítať čas z čipu, keď budem mať zvládnuté základné operácie, pokúsím sa nastaviť alarm na určitý čas, to potom skombinujem s prerušeniami mikrokontroléra a budem testovať, či sa obvod zobudí v nastavený čas. Podobným spôsobom budem postupovať aj pri vývoji koncových snímačov a ďalších súčastí zariadenia ako je stabilizátor, vypínanie modulov zariadenia, meranie stavu batérie, komunikácia medzi mikrokontrolérmi atď. Snímače a ďalšie súčasti zariadenia budem testovať najprv na nepájivom poli a keď bude potvrdená ich funkčnosť, navrhnem DPS. Tie následne osadím a bude nasledovať oživenie kompletného zariadenia. Potom musí znova nasledovať otestovanie jednotlivých častí zariadenia,

pretože pri návrhu mohlo dôjsť k nejakým chybám, ktoré je lepšie odstrániť už na začiatku, než neskôr pri programovaní zisťovať, že niečo nefunguje ako má. Ďalej budem pokračovať v návrhu algoritmu a samotnom programovaní zariadenia.

## 2.2 Hlavná stanica

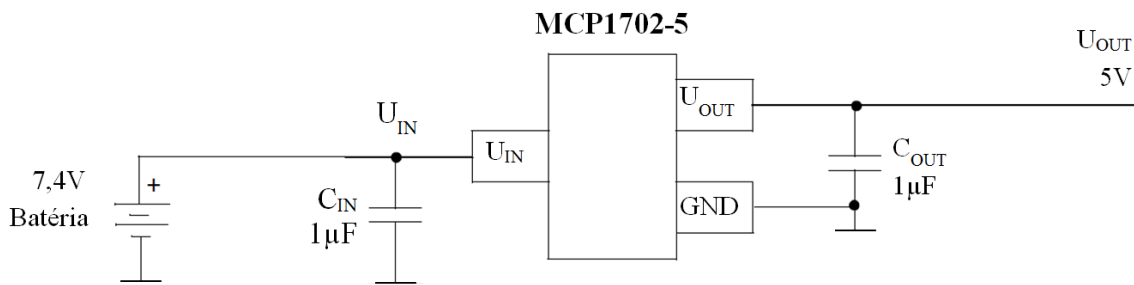
Hlavná stanica bude v našom zariadení riadiť celý proces logovania. Bude napájať meracie stanice, vypínať ich a zapínať, a v neposlednom rade z nich bude získavať namerané údaje. Predstavujem si ju ako krabičku, ktorá bude mať miesto pre batériu a bude obsahovať riadiacu dosku na ktorej bude osadený stabilizátor, mikrokontrolér so zopár súčiastkami, modul reálneho času a čítačka SD kariet. Do hlavnej stanice môžeme neskôr pridať ďalšie periférie pre rozšírenie funkcií dataloggera, ako napríklad GSM modul. Stanicu budem navrhovať tak, aby nebol neskôr veľký problém pridať ďalšie moduly. Hlavná stanica by mala byť navrhnutá tak, aby bol prístup ku SD karte bez nutnosti odberať kryt zariadenia, prístupný by mal byť takisto konektor pre pripojenie meracích staníc a port pre pripojenie batérie.

### 2.2.1 Stabilizácia napätia

Stabilizátor je elektrotechnická súčiastka, integrovaný obvod ktorý umožňuje stabilizovať vstupné napätie, alebo prúd na konštantnú hodnotu pre elektronické obvody, aj pri zmenách vstupného napätia, alebo prúdu. Pre realizáciu zariadenia som zvolil batériu s výstupným napätím 7,4V, preto je potrebné použiť stabilizátor. Naše zariadenie bude používať TTL logiku, teda budú obvody využívať napájacie napätie 4,5 až 5,5V. Pre zariadenie použijem 5V stabilizátor. Vyberať budem z lineárnych stabilizátorov kvôli ich jednoduchosti a nízkej cene. Je veľmi dôležité brať ohľad na výber efektívneho stabilizátora, pretože stabilizátor bude používaný celú dobu funkcie zariadenia, aj v uspanom stave medzi meraniami a aj v stave keď budeme snímať veličiny prostredia. Práve z toho dôvodu budem vyberať stabilizátor, ktorý bude mať čo najmenší kludový prúd (low quiescent current), je to prúd ktorý si odoberá stabilizátor pre svoj beh aj v stave keď nie je ničím zaťažovaný. Tento prúd preteká cez vstup stabilizátora do zeme. Ďalším parametrom pri výbere stabilizátora na ktorý musím prihliadať je stratené napätie na stabilizátore (dropout voltage), stabilizátor budem vyberať z kategórie low dropout voltage, teda aby sme sa vyvarovali tomu, že sa pri poklese napätia batérie zníži výstupné napätie stabilizátora pod 5V. Do úvahy musím zobrať samozrejme aj odber prúdu zariadenia a podľa toho vhodne zvoliť stabilizátor.

Po zhrnutí všetkých požiadaviek som zvolil lineárny stabilizátor MCP1702-5, ktorý má nominálne výstupné napätie 5V, kludový prúd len 2 $\mu$ A a stratové napätie iba 625mV pri maximálnom odoberanom prúde 250mA. Bližšie parametre stabilizátora sú v datasheete na priloženom CD. Z datasheetu som zistil odporúčané zapojenie

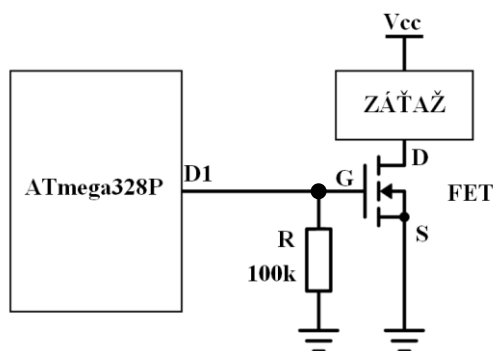
stabilizátora. Obvod je stabilný už pri použití  $1\mu\text{F}$  kondenzátorov na jeho vstupe a výstupe.



Obr. 15 Typická aplikácia obvodu MCP1702-5

## 2.2.2 Vypínanie modulov

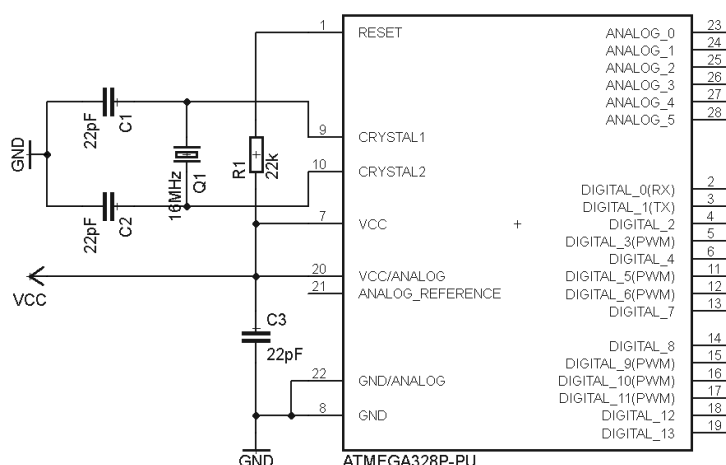
Aby sme zabezpečili čo najmenší odber prúdu zariadenia je dôležité nepotrebné moduly a obvody vypínať. Vybraný modul reálneho času a čítačka SD kariet neumožňujú nijakým spôsobom znížiť ich spotrebu pod potrebnú úroveň, alebo kompletne vypnúť moduly. Takisto bude potrebné vypínať napájanie meracím staniciam v režime spánku zariadenia. Zariadenie bude realizované tak, že bude napätie dodávané zo stabilizátora hlavnej stanice všetkým meracím staniciam, pričom ak nám meracie stanice odošlú namerané údaje, natvrdo ich vypneme. Týmto spôsobom, že budeme odpájať všetky nepotrebné moduly od napájania zabezpečíme minimálnu spotrebu zariadenia v stave spánku. Pre riešenie tejto funkcie sa hodí tranzistor typu FET, pretože má veľmi dobré spínacie vlastnosti. Tranzistor ovládaný elektrickým poľom (FET) na rozdiel od bipolárnych tranzistorov (v ktorých je kolektorový prúd ovládaný pomocou prúdu bázy) ovláda kolektorový prúd pomocou napätia medzi riadiacou elektródou a emitorom. Výhodou FET tranzistorov je, že na nich vzniká minimálny úbytok napätia (záleží od prúdu záťažou) teda je takmer celé napätie na záťaži. Prenos náboja je u tohto tranzistora uskutočňovaný iba majoritnými (väčšinovými) nosičmi náboja. Menšinové nosiče sú pre funkciu súčiastky nežiaduce, majú parazitný vplyv. Tranzistor sa teda skladá z polovodičov typu N a P, pričom jeden z nich výrazne prevláda. Pre naše zariadenie som zvolil lacný FET tranzistor BS-108 s polovodičmi typu N. Pre praktické použitie to znamená, že tranzistor musí mať svorku Source (emitor) pripojenú k zemi a svorka Drain (kolektor) bude cez záťaž pripojená ku kladnému napätiu. Tranzistor je potom ovládaný vstupom Gate. Pri použití FET tranzistora typu N musíme dávať pozor na to, že pri veľkom prúde záťažou vznikne malý úbytok napätia aj na tranzistore a to môže spôsobiť posunutie úrovne zeme oproti zemi riadiaceho prvku (v našom prípade ATmega328P). Vybraný tranzistor má odpor prechodu Drain - Source minimálny, len  $14\Omega$  takže tam nevznikne veľký úbytok napätia, ale každopádne si treba na to dávať pozor. Bližšie parametre vybraného tranzistora sú v datasheete na priloženom CD.



Obr. 16 Typická aplikácia FET tranzistora s N kanálom

### 2.2.3 Mikrokontrolér

Pre naše zariadenie bude použitý jedno-čipový mikrokontrolér ATmega328P od firmy Atmel. Je to 8 bitový mikrokontrolér s počtom pinov 28. Tento mikrokontrolér je postavený na architektúre AVR ponúka 32KB ISP flash pamäte pre program, interné a externé prerušenie, programovateľný watchdog timer s interným oscilátorom. Analógové vstupy môžu využívať 6-kanálový 10-bitový A/D prevodník, čo znamená, že majú 1024 kvantovacích úrovní. Využitie nájde takisto 14 digitálnych vstupov/výstupov. Maximálna frekvencia na ktorej dokáže ATmega328P pracovať je 20Mhz (pre naše použitie som zvolil 16Mhz kryštál). Spotrebu zariadenia je možné ešte ovplyvniť použitím kryštálu o nižšej frekvencii napr. použitím 8Mhz kryštálu. Pre zariadenie som zvolil 16MHz kryštál aby som sa vyhol komplikáciám pri vývoji, kryštál o tejto frekvencii používa práve platforma Arduino UNO. Kvôli udržaniu čo najnižšej spotreby zariadenia som pre naše použitie zvolil minimálnu konfiguráciu elektrotechnických súčiastok, ktoré sú nutné pre správne fungovanie mikrokontroléra.



Obr. 17 Minimálna konfigurácia mikrokontroléra ATmega328P

Najpoužívanejšou alternatívou ATmega328 je práve nami vybraná ATmega328P, ktorá sa vyznačuje nízkou spotrebou. Tento mikrokontrolér nájde použitie v mnohých projektoch a automatizovaných systémoch, kde je potrebné jednoduché, nízko energetické a lacné riadenie. Takisto v našom zariadení bude hlavnou časťou práve mikrokontrolér, ktorý bude riadiť celý systém logovania. ATmega328P bude takisto použitá v snímacích stanicích, kde predovšetkým nájdu uplatnenie analógové vstupy. V hlavnej stanici bude mikrokontrolér bežať nepretržite, preto aby zariadenie vydržalo čo najdlhšie, medzi meraniami vypnem všetky moduly a mikrokontrolér uspím. Pre túto funkciu slúžia práve sleep módy, ktoré fungujú tak, že vypínajú rôzne súčasti mikrokontroléra a tak výrazne znižujú jeho spotrebu. Pri normálnej prevádzke je spotreba tohto mikrokontroléra okolo 15mA. V stave nečinnosti dataloggera využijem energetický mód `SLEEP_MODE_PWR_DOWN`, pri tomto móde je spotreba mikrokontroléra najmenšia možná, datasheet uvádza 0,36mA (ostatné módy je možné nájsť v datasheete na priloženom CD). V tomto režime ostávajú aktívne iba piny prerušenia mikrokontroléra a watchdog timer, všetky vstupy/výstupy, čítanie pamäte, timre, prevodníky a iné sa vypnú. Pretože piny externého prerušenia ostanú aktívne, mikrokontrolér zase znova prebudím prerušením od alarmu modulu reálneho času v čase kedy bude mať datalogger znova monitorovať prostredie.

## 2.2.4 Úpravy zakúpených modulov

V tejto časti v bodoch popíšem opatrenia pri návrhu a úpravy, ktoré som urobil na zakúpených moduloch.

- Modul čítačky SD kariet a modul reálneho času som upravil tak, že som z nich odstránil indikačné LED pre zníženie spotreby modulov.
- Z modulu RTC som odstránil pull-up rezistory pre všetky piny, aby som ich mohol nahradiť vlastnými hodnotami. Na DPS som následne ku modulu RTC pridal pull-up rezistor s hodnotou 4,7k $\Omega$  k pinom SDA, SCL a 32K. RTC modul odoberá v zapnutom stave asi 1mA, z toho dôvodu ho je potrebné tiež vypínať, pobeží bez problémov niekoľko rokov aj na vstavanej malej záchranej batérii (prepne sa do nízko energetického módu). Vypínanie RTC modulu riešim pripojením priamo na digitálny pin. Aby RTC dokázal v tomto režime vyvolať prerušenie je potrebné na pin SQW, ktorý je pripojený ku interrupt pinu pridať pull-up rezistor s hodnotou 10k $\Omega$ . Pri ďalšom vývoji odporúčam použiť iba čip DS3231 a vyvarovať sa použitiu externých modulov.
- Zakúpenú batériu bolo potrebné upraviť, aby sa dala použiť s vybranou nabíjačkou. Problémom bolo, že nabíjačka požadovala na konektore zem, kladný pól batérie a spoj medzi článkami batérie aby mohla udržiavať balans napätí článkov. Batéria ale mala na strednom pine konektora vyvedený termistor pre kontrolu teploty batérie. Bolo potrebné batériu otvoriť prostredný pin

konektora prepojiť k spojenému pólu článkov batérie. Batéria má v sebe elektroniku, ktorá kontroluje rôzne parametre batérie a takisto aj auto balans článkov. Pri ďalšom vývoji odporúčam zvoliť inú nabíjačku, pretože batéria je natoľko inteligentná, že k nej stačí pre nabíjanie iba pripojiť napätie 12V a sama si dokáže regulovať nabíjanie.

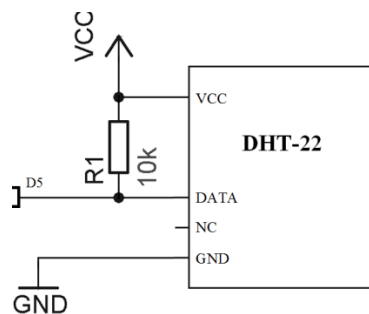
- Pri použití mikrokontroléra ATmega328P bez napáleného bootloadera je potrebné tento bootloader ešte do mikrokontroléra napáliť. Na internete je mnoho návodov, ako to jednoducho docieľiť aj s použitím dosky Arduino UNO.[13]

## 2.3 Meracia stanica

V tejto časti je popísaný postup pri praktickom návrhu meracej stanice zariadenia. Rozoberiem vývoj jednotlivých snímačov a ich konečné riešenie ktoré som zvolil.

### 2.3.1 Snímač teploty a vlhkosti vzduchu

Vybraný snímač DHT-22 umožňuje zaraz meranie teploty a vlhkosti vzduchu. Jeho použitie je pomerne jednoduché, keďže je oficiálne podporovaný platformou Arduino a k dispozícii sú aj knižnice pre prácu s ním. Knižnica už vracia reálnu hodnotu teploty a vlhkosti vzduchu meraného prostredia. Mikrokontrolér komunikuje so snímačom prostredníctvom jedného digitálneho pinu, ktorý je ešte podporený pull-up rezistorom.



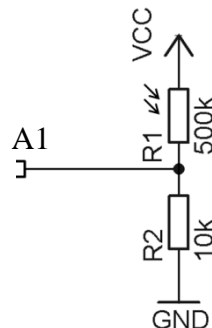
Obr. 18 Použitá schéma zapojenia snímača DHT-22

Pri testovaní sa ukázal problém s prenášaním nameraných dát z meracích staníc, ak je teplota záporná. Ako bolo popísané v analýze, knižnica pracuje s rozsahom 0-65535 a nedokáže tak preniesť záporné hodnoty. Problém som vyriešil jednoducho tak, že v meracej stanici k hodnote teploty pričítam 100 a v hlavnej stanici zase odčítam.

### 2.3.2 Snímač intenzity osvetlenia

Pre meranie intenzity osvetlenia som použil fotorezistor v zapojení napäťového deliča. Výstup napäťového deliča meriame analógovým vstupom mikrokontroléra, ten následne

nameranú hodnotu napätia spracuje pomocou prevodnej charakteristiky na unifikovanú jednotku Lux. 1 Lux (lx) predstavuje osvetlenie plochy, na ktorej štvorcový meter dopadá rovnomerne rozložený svetelný tok 1 lumen.



Obr. 19 Schéma snímača intenzity osvetlenia

Prevod prebieha tak, že namerané napätie prevediem na hodnotu odporu fotorezistora a ten následne pomocou prevodnej charakteristiky na unifikovanú hodnotu intenzity osvetlenia. Prevodovú charakteristiku som zistil meraním pomocou luxmetra SOLEX SLX200. Meranie prebiehalo tak, že som umiestnil merací prístroj a fotorezistor vedľa seba a menil som osvetlenie priestoru. V určitých bodoch som odčítal hodnotu luxmetra a aktuálneho elektrického odporu fotorezistora. Z nameraných údajov som zostrojil charakteristiku  $E=f(R)$ , a preložil krivkou. Prevodnú charakteristiku som naprogramoval do mikrokontroléra a pomocou nej spracovávam namerané hodnoty snímača osvetlenia.

$$E = 856,61 \cdot R^{-1,49} \quad [lx, \Omega] \quad (10)$$

Problémom pri tomto meraní je, že z meracej stanice viem komunikáciou preniesť najväčšie číslo 65535, v tmavých priestoroch strešných konštrukcií teoreticky k prekročeniu tejto hodnoty nedôjde, ale môže sa to stať v prípade umiestnenia snímača na ostré slnko. Problém sa dá jednoducho obísť napr. delením čísla desiatimi na strane slave a následným násobením na strane mastra, to som ale v tomto prípade nerealizoval, pretože tým stratím hodnoty menšie ako 10 a práve tieto hodnoty intenzity osvetlenia sa v prostrediach strešných konštrukcií vyskytujú najviac. Zariadenie bude po kompletnom skonštruovaní zverené na otestovanie zákazníkovi, ktoré ukáže či je potrebné tento problém riešiť. Každopádne pri prekročení maximálneho rozsahu odosielame najväčšie možné číslo rozsahu, takže je prekročenie detekovateľné.

### 2.3.3 Snímač vlhkosti dreva

Meranie vlhkosti dreva sa v našom zariadení zakladá na meraní jeho elektrického odporu. Je to najjednoduchší spôsob zistenia vlhkosti dreva, je neinvazívny a lacný. Pre snímač som použil schému, ktorá vychádza zo zapojenia napäťového deliča, je uvedená na Obr. 20. Výstup deliča je pripojený k analógovému vstupu mikrokontroléra, ktorým

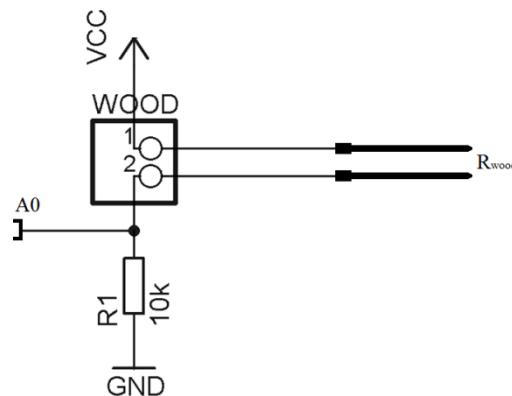


meriame napätie na odpore R1. Z tohto napätia následne vieme jednoduchým prepočtom určiť aký je elektrický odpor dreva. Vieme, že výstupné napätie deliča, teda napätie na rezistore R1 je určené vzťahom 11. Následne zo vzťahu určíme elektrický odpor  $R_{wood}$  podľa vzťahu 12. Na SD kartu budeme ukladať hodnotu elektrického odporu dreva. Prevodná charakteristika na vlhkosť dreva nie je v momentálnom záujsme vývoja.

$$U_{R1} = R_1 \cdot \frac{U_{cc}}{R_1 + R_{wood}} \quad [V, \Omega] \quad (11)$$

$$R_{wood} = \frac{U_{cc} \cdot R_1}{U_{R1}} - R_1 \quad [\Omega, V] \quad (12)$$

V analýze sme uvažovali, že pre meranie elektrického odporu dreva budeme využívať striedavý prúd, z dôvodu výskytu solí v dreve. Počas vývoja som sa inšpiroval profesionálnymi meracími prístrojmi, ako vzor som použil merací prístroj vlhkosti dreva Voltcraft FM-300. Tento merací prístroj, podobne ako väčšina takýchto prístrojov meria elektrický odpor dreva a ten následne v závislosti od meraného vzorku prepočítava podľa svojej prevodnej charakteristiky na vlhkosť. Meraním som zistil, že tento prístroj využíva pre meranie jednosmerný prúd, preto som tento spôsob začal testovať aj na našom zariadení. Testovanie ukázalo, že tento spôsob je spoľahlivejší pre určovanie hodnoty odporu dreva, nameraná hodnota bola stabilnejšia než v prípade použitia striedavého prúdu. Aj preto som sa rozhodol pre použitie jednosmerného prúdu pre meranie odporu dreva. Keď by sme sa pozreli na meranie tak, že nastáva pomerne vo veľkých časových odstupoch, a meranie prebieha maximálne 10 sekúnd, môžeme uvažovať, že vytváranie len malej dvojvrstvy nábojov na hrotoch nebude mať pre meranie veľký vplyv.



Obr. 20 Schéma snímača vlhkosti dreva

Pre kompletizáciu meracej stanice je potrebné navrhnuť spôsob aplikácie snímača. Pri voľbe hrotov konečný výber padol na kalené klince o priemere 1,5mm a dĺžky 40mm. Tie som zvolil z dôvodu, že nebude dochádzať k ich korózii, rozmery boli už len jednoduchou voľbou. Konceptcia je taká, že z meracej stanice budú vyvedené vodiče, na ktorých koncoch budú Wago svorky pre jednoduché prichytenie k hlavičkám hrotov. Hroty sa budú nabíjať do dreva pomocou šablóny, ktorá má zárezy v určitej definovanej vzdialenosti a takisto zabezpečuje dodržanie definovanej hĺbky nabitia hrotov. Tým docielime to, že budú hroty všetkých meracích staníc nabité rovnakým spôsobom a namerané údaje budú porovnateľné.

### 2.3.4 Snímač prúdenia vzduchu

Tepelné meranie prietoku vzduchu je založené na princípe merania vplyvu prúdiaceho vzduchu na vyhrievaný snímací prvok, v našom prípade termistor. Pri meraní budeme vyhodnocovať množstvo výkonu predané prúdiacemu vzduchu. Sú známe dva používané druhy tohto snímača. Prvým z nich je snímač, ktorý využíva režim konštantného prúdu. Prúd prechádzajúci termistorom sa udržuje na konštantnej hodnote. Pri zmene prietoku sa mení odpor termistora podľa rovnice 13. Tá udáva úmeru hmotnostného prietoku  $q$  ku výkonu dodávanému do termistora.

$$q = i_t^2 \cdot R_t = i_t \cdot u_t \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}}, \text{A}, \Omega, \text{V} \right] \quad (13)$$

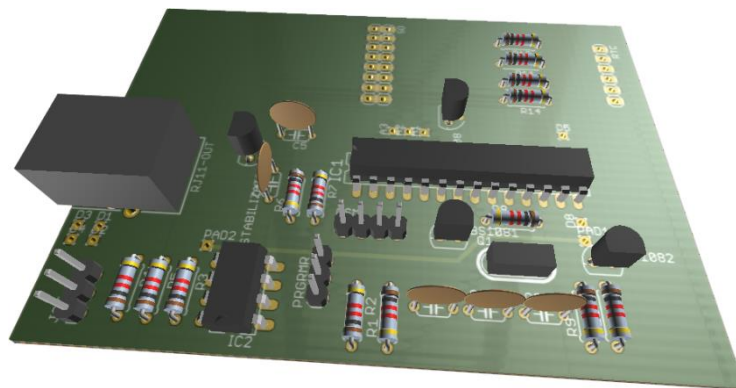
Druhým spôsobom je režim konštantnej teploty. V tomto prípade sa teplota (odpor) termistora udržiava na konštantnej hodnote. Pri zmene prietoku sa mení aj napätie na termistore a prúd ktorý ním prechádza podľa rovnice 13. Tento spôsob merania je z praktického hľadiska jednoduchší na realizáciu a pokúšal som sa ho navrhnuť. Bolo veľmi zložitá nájsť vyhovujúce termistory, ktoré by vyhovovali svojou nízkou časovou konštantou a takisto nízkym elektrickým odporom, aby bol čo najmenší výkon potrebný pre vyhrievanie. Pokúšal som sa aj realizovať myšlienku načrtnutú v analýze, ale výsledky boli neuspokojivé, až som napokon našiel lacné komerčné riešenie od firmy Moderndevce, ktoré som použil. Výstupy tohto snímača meriam analógovými vstupmi mikrokontroléra a hodnoty následne prepočítavam podľa kalibračných rovníc od výrobcu. Výstupom je tak rýchlosť prietoku vzduchu v unifikovanej jednotke m/s.

## 2.4 Návrh DPS

Dosky plošných spojov som navrhoval v programe Eagle 7.2.0. Pri návrhu som využil funkcie automatického návrhu DPS. Pred samotným návrhom som všetky komponenty najprv navrhol a otestoval na nepájivom poli. Pri oboch návrhoch som sa snažil použiť čo najširšie možné cesty a voľné miesta som vyplnil med'ou, kvôli šetreniu pri výrobe. Pri návrhu oboch dosiek som sa snažil dodržiavať základné zásady návrhu DPS. Takisto

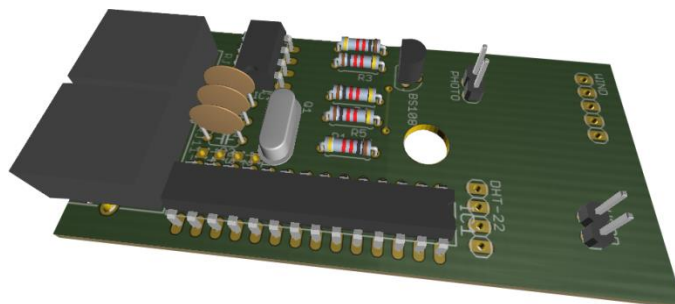
som kládol dôraz na to, aby v blízkosti liniek Rx, Tx neboli umiestnené žiadne rušivé súčiastky. Kompletná schéma oboch dosiek a ich osadzovací plán je na priloženom CD.

Pri tvorbe dosky hlavnej stanice som zohľadňoval umiestnenie konektora pre batériu a komunikáciu a čítačky SD kariet tak, aby bol k nim prístup z vonku zariadenia. Dosku som navrhol tak, aby bolo do nej možné osadiť aj zakúpené moduly RTC a čítačku SD kariet. Pri návrhu dosky som použil jednoduchý princíp pre zisťovanie stavu batérie. Využil som princíp napäťového deliča v pomere 1:1 pripojeného na batériu a spoločný koniec som priviedol na analógový pin mikrokontroléra. Použil som rezistory s veľkými hodnotami rádovo v  $M\Omega$ , aby som neovplyvnil spotrebu zariadenia. Týmto spôsobom dokážem jednoducho zisťovať aktuálne napätie na batérii a v prípade nízkeho napätia spraviť určité opatrenia. Na dosku hlavnej stanice som plánoval tiež umiestniť viacpolohový prepínač, ktorým by sa regulovala frekvencia meraní. Vypínač by reprezentoval dve konštantné hodnoty a užívateľ by si mal možnosť vybrať. Nakoniec som od tejto možnosti upustil, pretože si myslím, že je to lepšie riešiť softvérovo. Užívateľ si v konfiguračnom súbore na SD karte nastaví akúkoľvek hodnotu, kým pri tomto riešení by mal na výber len z dvoch intervalov. Pri návrhu dosky som uvažoval akým smerom sa môže neskôr zariadenie vyvíjať a preto som prichystal konektor pre pripojenie GSM modulu, takisto som na dosku umiestnil ďalšie piny Rx, Tx a Reset, v prípade dopĺňovania ďalších funkcií, alebo je tiež možné cez tieto piny napájať program bez nutnosti vyberať mikrokontrolér. Na dosku som vyviedol takisto voľné nepoužité digitálne a analógové vstupy a výstupy mikrokontroléra pre ich neskoršie využitie.



*Obr. 21 Vizualizácia dosky hlavnej stanice*

Návrh meracej stanice som realizoval do vybranej krabičky, podľa nej som určil rozmery DPS a takisto navrhol umiestnenie snímačov a konektorov. Snímacia stanica bude mať dva konektory, jeden pre vstup a druhý pre výstup, oba konektory budú prepojené z dôvodu, že sa prepájaním staníc budem snažiť simulovať zbernicu. Reálne fotografie prístroja zariadenia sú v prílohe k práci.

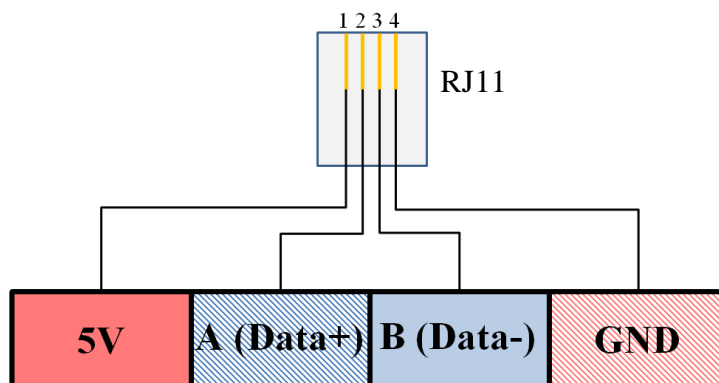


Obr. 22 Vizualizácia dosky meracej stanice

## 2.5 Komunikácia

Jedným z najzložitejších problémov bolo vyriešiť komunikáciu medzi mikrokontrolérmi staníc dataloggera. Myslím si, že v analýze som zvolil vhodný spôsob riešenia komunikácie. Rozhodol som sa pre použitie komunikačného štandardu RS-485 a komunikačného protokolu Modbus.

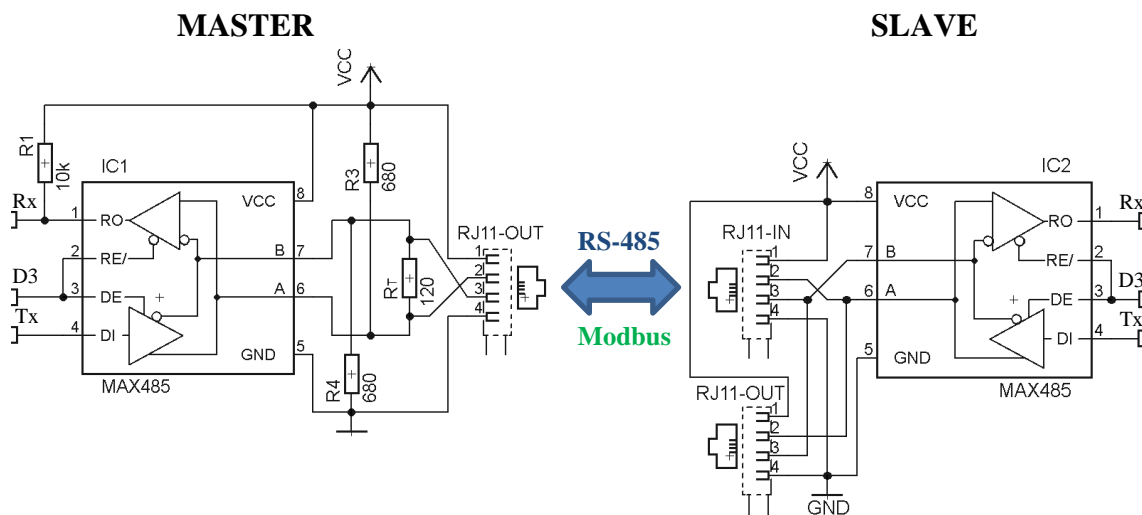
Komunikáciu riešim fyzickým prepojením staníc UTP káblom s krútenými párami vodičov, už len z dôvodu jeho nízkej ceny a ďalších výhod ktoré sú popísané v analýze. Ako konektor som zvolil 4-pinový konektor RJ11. Pre ďalšiu realizáciu je potrebné definovať ktoré piny som použil pre aký vodič. Na obrázku nižšie je uvedené, ktoré vodiče UTP kábla som použil a takisto usporiadanie pinov na konektore z jeho spodnej strany. Z obrázka je vidieť, že napríklad pre dátové vodiče som použil krútený pár modrých vodičov.



Obr. 23 Fyzické usporiadanie konektora RJ11 s významom vodičov

Štandard RS-485 tiež uvádza odporúčanú impedanciu vedenia  $55\Omega$ . Pre zlepšenie vlastností komunikácie a zabránenie vytváraniu odrazov na koncoch dlhých vedení sa využívajú terminátory. Sú to elektrické odpory medzi dátovými vodičmi A a B, ktoré zabezpečujú impedanciu vedenia. Terminátor by mal mať v ideálnom prípade  $110\Omega$ . Pre naše zapojenie som použil  $120\Omega$  terminátory, z odporúčaní používateľov Arduina, ktorým sa podarilo komunikáciu rozchodiť.[14] Pre realizáciu RS-485 som použil

elektronický obvod MAX-485, ktorý rieši dodržiavanie špecifikácií definovaných štandardom ako napät'ové úrovne a celkovú prevádzku komunikácie. Obvod sprostredkováva komunikáciu medzi mikrokontrolérmi. Na obrázku Obr. 24 Schéma zapojenia komunikačných obvodov je schéma ktorú som použil pre naše zariadenie, vrátane potrebných pull-up a pull-down rezistorov. Obvod je pripojený k mikrokontroléru cez pin Rx (receive – príjem dát), Tx (transfer – odosielanie dát) a k pinu D3, ktorý riadi zapínanie, vypínanie komunikácie obvodu.



Obr. 24 Schéma zapojenia komunikačných obvodov

Hlavná stanica má iba jeden komunikačný konektor (začiatok zbernice), od neho budem viesť kábel k meracej stanici a od tej k ďalšej. Na jednom konci zbernice už je terminátor osadený (viď Obr. 24). Zbernica sa zakončí na poslednej meracej stanici pripojením terminátora do konektoru.

Protokol Modbus používa pre rozlíšenie zariadení v sieti ID priradené každému zariadeniu. V našom zariadení je každá stanica označená svojím ID, ktoré je napálené v mikroprocesore stanice. Hlavná stanica má ID=1 a meracie stanice potom pokračujú v poradí. Podľa použitej knižnice môže byť počet zariadení v našej sieti teoreticky až 255. Prenos dát prebieha v našom zariadení iba smerom od meracích staníc ku hlavnej stanici. Protokol podporuje aj prenos dát smerom k slave no implementácia by bola časovo náročná a počítam s ňou až pri ďalšom vývoji. Obojsmerný prenos našich dát by nám umožnil to, že by slave mikrokontroléry nemuseli mať pevne definované koľko je meracích staníc, ale hlavná stanica by im to povedala podľa konfiguračného súboru na SD karte, kde by to určil používateľ. Momentálne zariadenie funguje tak, že všetky stanice majú nastavený určitý NumSlaves, s ktorým zariadenie pracuje spoľahlivo a užívateľ má tiež definované, koľko môže maximálne pripojiť meracích staníc. Hlavná stanica potom pri získavaní dát prechádza všetky ID v rozsahu, aj keď dané ID nemusí byť práve využívané.

Použitá knižnica používa pri prenose dát dátový typ 2-bajtový unsigned int, takže dokážem komunikáciou preniesť v jednom pakete číslo v rozsahu 0-65535. To tiež spôsobilo nejaké obmedzenia, ktoré bolo potrebné riešiť. Z meracích staníc budem prenášať už namerané údaje v unifikovanej jednotke, takže napríklad v prípade teploty, aby som mohol merať aj záporné teploty, použil som mechanizmus, že v meracej stanici k nameranej hodnote pričítam číslo 100 a v hlavnej stanici zase pričítam. Problémom tohto dátového typu tiež je, že nedokáže ukladať desatinné miesta, preto to riešim podobným princípom, že čísla v slave násobím 10 a v mastri zase podelím. Týmto spôsobom sa mi podarilo celkom elegantne prenášať namerané údaje aj s presnosťou na 1 alebo 2 desatinné miesta. Pre prenášanie veľkých hodnôt je vhodné implementovať funkciu logaritmovania.

## 2.6 Algoritmus

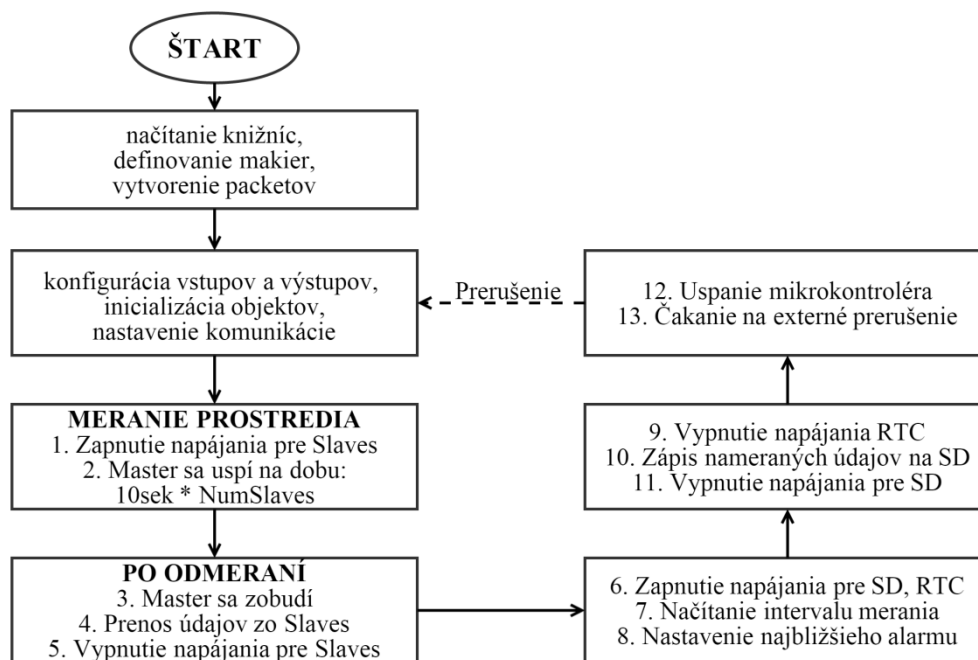
Program pre mikrokontrolér ATmega328P použitý v zariadení som písal vo vývojovom prostredí Arduino. Napáľovanie do mikrokontrolérov som riešil tak, že som napáľovaný MCU osadil do dosky Arduino UNO a pomocou nej cez softvér napáľil. Pri vývoji programu som postupoval tak, že som si najprv naprogramoval a overil funkcie jednotlivých komponentov. Potom keď boli moduly osadené na doske DPS, začal som s programovaním jednoduchších operácií, aby som overil funkčnosť a vzájomnú spoluprácu medzi komponentmi.

Hlavná stanica obsahuje najviac komponentov, a takisto bude riadiť funkciu dataloggera. Pre programovanie modulov použijem dostupné knižnice, čím sa urýchli programovanie a takisto aj z dôvodu, že nemá zmysel detailne študovať architektúru jednotlivých komponentov a programovať zložité knižnice, ktoré sú už hotové (využitie programové knižnice sú na priloženom CD). Nižšie je možné vidieť celý vývojový diagram použitého algoritmu. Rozhodol som, že riadenie intervalov meraní budem riešiť softvérovo. Vďaka tomu bude môcť obsluhujúci personál zvoliť akúkoľvek frekvenciu meraní. Riešil som to tak, že na SD karte je uložený textový súbor `config.txt`, v ktorom je zapísané jedno číslo, to reprezentuje interval medzi meraniami v hodinách. Po oživení dataloggera najprv prebehne meranie klasickým spôsobom a potom si mikrokontrolér načíta hodnotu dĺžky spánku zo súboru, následne nastaví modulu reálneho času alarm na daný čas. Týmto spôsobom sa elegantne vyriešila voľba intervalu medzi meraniami. Má to veľkú výhodu oproti použitiu mechanických prepínačov v tom, že si užívateľ sám navolí intervaly a nevyberá si len zo zopár preddefinovaných hodnôt.

Pri riešení ukladania nameraných údajov sa je potrebné zamyslieť, ako sa budú vyhodnocovať namerané dáta. Uvažujem s tým, že obsluhujúci personál údaje nahádže do nejakého tabuľkového editora a vykreslí si grafické závislosti jednotlivých veličín, tak aby získal prehľad o prostredí. Najprv som namerané údaje zapisoval do textového `.txt` súboru, ale neskôr som zistil, že bude výhodnejšie použiť formát `.csv`. Použitá

knižnica SdFat umožňuje práve zápis do týchto súborov. CSV (Comma separated values) je jednoduchý súborový formát určený práve pre výmenu tabuľkových dát, hodnoty v ňom sú oddelené čiarkou. Keďže sa v našom jazyku používa čiarka ako oddeľovač desatinných miest, zaužívalo sa používanie oddeľovača v tomto type súboru znakom ; - bodkočiarka. Obrovskou výhodou tohto súborového formátu je, že ho podporuje väčšina tabuľkových editorov, takže je ho možné otvoriť napríklad v editore MS Excel. Tým sa vyhneme zložitosti použitia textového súboru, pri ktorom by bolo potrebné ešte dáta exportovať do tabuľkového editora. Pri používaní takejto voľby intervalov meraní je potrebné ošetriť prípad, že by bol interval zle zapísaný, alebo konfiguračný súbor odstránený, alebo by sa iným spôsobom nepodarilo načítať interval zo súboru. Pre tento prípad som to ošetril v kóde a to tak, že sa v prípade nenačítania intervalu použije určitá defaultná hodnota.

Konfiguráciu všetkých vstupov/výstupov robím po každom zobudení mikrokontroléra. Aj keď sa môže zdať tento proces zbytočný, ale keďže ku portom prístupujú rôzne knižnice, musím zabezpečiť aby boli vstupy a výstupy presne v takom stave aký potrebujem. To isté platí pre inicializáciu paketov a nastavenia komunikácie.



Obr. 25 Vývojový diagram algoritmu hlavnej stanice

V meracích stanicach podobný problém nie je, pretože tie sa zapínajú a vypínajú pri každom meraní, takže je tam istota, že mikrokontrolér nabehne v takej konfigurácii ako bude nastavený v rutine setup, ktorá prebehne hneď po štarte mikrokontroléra. Pri programovaní meracích staníc boli zase iné prekážky, ktoré bolo potrebné riešiť. Najväčšou prúdovou záťažou pre celé zariadenie je snímač prietoku vzduchu. Tento snímač potrebuje pre svoju funkciu nahrievať termistor, aby zistil ako sa vplyvom

prietoku vzduchu ochladí. Pri ohrievaní súčiastky sa používa relatívne vysoký prúd, spotreba snímača vtedy môže dosiahnuť 20-40mA (závisí od prietoku vzduchu). Ostatné snímače nezaťažujú zariadenie až takým spôsobom a dané veličiny dokážu zmerať okamžite. Výnimkou je iba snímač DHT-22, ktorý musí byť pred snímaním spustený aspoň 2 sekundy. Problém s vysokým odberom bolo samozrejme potrebné riešiť. Ak by sa spustilo meranie všetkých staníc naraz, čo znamená, že by začalo vyhrievať aj 5 takých snímačov zaraz, tým by vystrelila celková spotreba meracích staníc až nad stovky mA. To by mohlo spôsobovať rôzne problémy, ale najväčším by bolo, klesanie napätia na meracích stanicach a to z dôvodu, že ich zapínanie/vypínanie riadi FET tranzistor, ktorý má síce malý prechodový odpor, ale nie zanedbateľný. Konkrétne tranzistor ktorý využívam v celom zariadení má  $R_{ds}=14\Omega$  a na ňom už pri prechode veľkých prúdov vznikne nezanedbateľný úbytok, teda sa na meracích stanicach objaví o to menšie napätie. Situáciu som riešil takým spôsobom, že som pri návrhu meracej stanice osadil na DPS tiež riadiaci FET tranzistor, ktorými budem tento snímač zapínať/vypínať. Snímač dokáže po 10 sekundách inicializácie (vyhriatie na konštantnú hodnotu) uviesť správny údaj o prietoku vzduchu. Moja myšlienka bola, aby prebiehalo toto meranie prietokov vzduchu postupne všetkými meracími stanicami a to som vyriešil práve vhodným algoritmom. Meranie funguje tak, že najprv spustím napájanie snímaču prietoku vzduchu, potom mikrokontrolér pre zníženie spotreby uspím. Následne po 10 sekundách, kedy bude nameraný údaj reálny, sa mikrokontrolér prebudí, zistí údaj zo snímača a vypne ho. Potom nasleduje vyčítanie ďalších snímačov a ukončenie merania. Ďalší vývoj programu je jasný z vývojového diagramu algoritmu na Obr. 26 Vývojový diagram algoritmu meracej stanice. Môžeme teda uvažovať, že každá meracia stanica bude pre odmeranie všetkých veličín potrebovať asi 10 sekúnd. Každá meracia stanica má v algoritme definovaný celkový počet meracích staníc a aj vlastné ID pre komunikáciu. Z týchto údajov je potom jednoduché zistiť v akom okamihu má daná meracia stanica monitorovať prostredie. Každá meracia stanica musí pred začatím merania počkať kým pomerajú stanice s ID pred ňou, tento čas určím podľa:

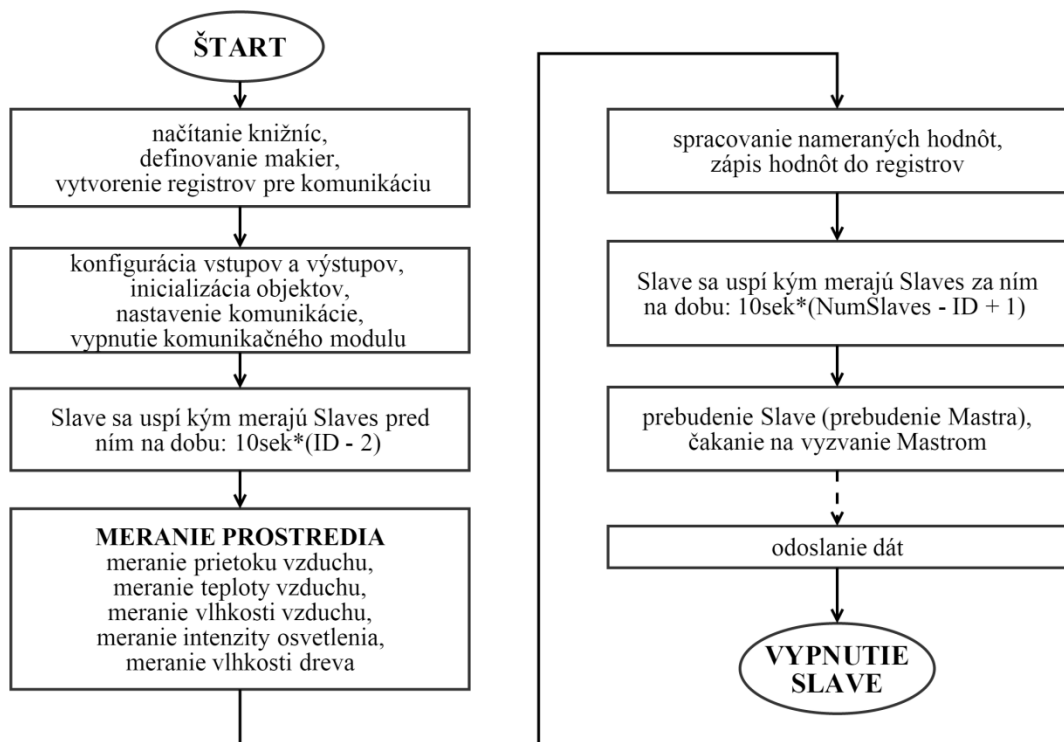
$$t = 10\text{sekúnd} \cdot (ID - 2) \quad (14)$$

Následne po premeraní musí stanica znova čakať kým prebehne meranie ostatných staníc za ňou s väčším ID, tento čas určím podľa:

$$t = 10\text{sekúnd} \cdot (\text{počet meracích staníc} - ID + 1) \quad (15)$$

Týmto riešením som jednoducho ošetril postupné priebeh meraní. Namerané dáta sa budú prenášať zo všetkých staníc až všetky domerajú, to si už šikovne vyrieši komunikačný protokol.





Obr. 26 Vývojový diagram algoritmu meracej stanice

## 2.7 Výstup nameraných údajov

Zariadenie počas monitorovania zapisuje namerané údaje na SD kartu. Pre prácu s údajmi som vybral súborový formát .csv, ktorý bez problémov otvorí akýkoľvek tabuľkový editor. V Tab 1 je vidieť časť výstupu nameraných údajov zo súboru aj s použitými unifikovanými jednotkami jednotlivých meraných veličín. V prvom riadku tabuľky môžeme vidieť pripojenie dataloggera k batérii. Datalogger zmonitoruje prostredie už hneď po pripojení na batériu, načíta si interval merania a uloží sa na spánok na danú dobu. V tomto prípade bola perióda merania 4 hodiny, pričom sa potom datalogger vždy zobudí v celú hodinu. Namerané údaje sa zapisujú v poradí od prvej meracej stanice s ID=2 a za ňou pokračujú údaje zo snímačov ďalších staníc. Za týmito stĺpcami by nasledovali znova stĺpce o nameranej teplote vzduchu, vlhkosti vzduchu, intenzite osvetlenia, rýchlosti prúdenia vzduchu a elektrického odporu dreva. V tabuľke je použitá konfigurácia dataloggera len s jednou meracou stanicou.

Tab 1 Príklad tabuľky nameraných hodnôt

Dátum	Čas	t [°C]	r [%]	E [lx]	v [m/s]	R [kΩ]
15.4.2015	10:28:38	26.20	32.80	612	0.13	125.45
15.4.2015	14:00:15	27.10	37.10	594	0.00	124.79
15.4.2015	18:00:15	24.80	38.40	496	0.02	127.29

### 3 OVERENIE VLASTNOSTÍ

V tejto časti práce sa zameriam na overenie vlastností použitých a vyvinutých snímačov. Budem simulovať meranie ako pri reálnom nasadení dataloggera, aby som overil s akými chybami merajú použité snímače. V závere spravím overenie spotreby zariadenia, pri jednotlivých krokoch monitorovania a nečinnosti dataloggera.

#### 3.1 Meranie teploty vzduchu

Na overenie vlastností snímača teploty DHT-22 som použil kalibračnú pec AOIP HYPERION. Táto pec sa používa pre kalibráciu snímačov a teplotných termistorov od teploty  $-25^{\circ}\text{C}$  (pri teplote okolia  $20^{\circ}\text{C}$ ) do  $140^{\circ}\text{C}$ . Presnosť snímača pre určovanie kalibračnej pecky výrobca udáva na  $0,03^{\circ}\text{C}$ .

Meranie prebiehalo tak, že do vyhrievaného priestoru pecky som vložil jednu meraciu stanicu dataloggera, s osadeným snímačom teploty. Diera sa uzavrela a von viedol len komunikačný kábel k hlavnej stanici dataloggera. Algoritmus som si upravil, aby zariadenie logovalo každú minútu, takže sa mi na SD kartu zaznamenával celý priebeh vývoja teploty v pecke. Pri meraní bolo potrebné zohľadniť čas potrebný na ustálenie teploty, pretože pecka vlastne funguje tak, že je vyhrievaný obal priestoru kam sme vložili meraciu stanicu so snímačom. Tým pádom trvalo nejakú dobu, kým sa na nastavenú hodnotu pecky zohrial aj vzduch v komôrke. Pre urýchlenie deja som používal vstavaný ventilátor. Ako referenčná hodnota pri každom meraní bola hodnota odčítaná zo vstavaného displeja pecky, ktorá signalizovala aktuálnu teplotu pecky.

Výrobca nášho snímača DHT-22 uvádza, že nameraná hodnota môže mať maximálne  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  odchýlku od skutočnej hodnoty, na rozsahu teplôt od  $-40$  do  $125^{\circ}\text{C}$ . Pre meranie som zvolil rozsah teplôt, ktoré môžu nastať v prostredí nasadenia dataloggera a to od  $-20^{\circ}\text{C}$  až  $50^{\circ}\text{C}$ . Je potrebné uvažovať možnú chybu, že teplota nemusela byť ustálená v celom priestore pecky v čase merania aj napriek relatívne dlhej dobe ktorú som nechal na ustálenie teploty vzduchu v komôrke. Namerané hodnoty sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tab 2 Tabuľka nameraných hodnôt pre meranie teploty

$T_{\text{referenčné}} [^{\circ}\text{C}]$	-20	-10	0	10	20	30	40	50
$T_{\text{snímač}} [^{\circ}\text{C}]$	-19,7	-10,1	0,1	10,2	19,9	30,1	39,6	49,4
Absolútna chyba $\Delta [^{\circ}\text{C}]$	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,6
Relatívna chyba $\delta [\%]$	1,50	1,00	-	2,00	0,50	0,33	1,00	1,20

Meranie ukázalo, že snímač mal pri meraní najväčšiu absolútnu chybu  $0,6^{\circ}\text{C}$  pri poslednom meraní, pri teplote pecky  $50^{\circ}\text{C}$ . Tento údaj koliduje s údajom výrobcu, že by mala byť absolútna chyba maximálne  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Túto odchýlku pripisujem možnej

chybe merania, ktorá mohla nastať nedostatočným ustálením teploty vzduchu v komôrke. Mimo to sa meraním ukázalo, že snímač DHT-22 je dostatočne presný pre použitie v meracej stanici dataloggera.

### 3.2 Meranie vlhkosti vzduchu

Pre overenie vlastností snímača vlhkosti vzduchu DHT-22 som použil nasýtené roztoky solí, ktoré majú takú vlastnosť, že vytvárajú určitú konštantnú relatívnu vlhkosť v priestore nad roztokom. Nasýtený roztok je vlastne taký roztok, v ktorom sa pri danej teplote a tlaku už viac látky nerozpustí. Tieto roztoky sa používajú zväčša pre veľmi presnú kalibráciu snímačov, nakoľko sú tieto vlhkosti presne tabuľkovo definované pre dané roztoky. Roztoky sa pripravujú do uzavretých nádob s malým prebytkom nerozpustných solí, tak aby bol roztok dokonalo nasýtený. Pri teplote 25°C sú hodnoty relatívnej vlhkosti vzduchu nad roztokom v uzavretej nádobe nasledujúce:

*Tab 3 Tabuľka relatívnych vlhkostí vzduchu nad roztokmi solí v uzavretej nádobe*

Roztok soli	Chemická značka	Relatívna vlhkosť [%]
Chlorid lítny	LiCl	11,3 ± 0,3
Dusičnan horečnatý	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	52,9 ± 0,3
Chlorid sodný	NaCl	75,3 ± 0,1
Síran draselný	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	97,3 ± 0,5

Pri zmene teploty o ±10°C je zmena relatívnej vlhkosti vzduchu u väčšiny roztokov do ±0,5% RH. Pre naše zariadenie je takáto malá výchylka zanedbateľná.

V zariadení je použitý snímač DHT-22 od firmy Adafruit. V katalógovom liste od výrobcu sa uvádza, že snímač je použiteľný pre meranie 0-100% vlhkosti s 2-5% absolútnou chybou. Pre overenie vlastností snímača som použil vyššie spomenuté meranie s nasýtenými roztokmi solí. Tie som namiešal do nádob, snímač som umiestnil do priestoru nad kvapalinu a nádobu uzavrel. Následne bolo potrebné počkať, kým sa vlhkosť vzduchu nad roztokom ustáli na hodnote, ktorá je pre každý roztok charakteristická. Pri meraní som použil tri nasledujúce roztoky solí. Počas merania bola teplota vzduchu okolia 25,6°C.

*Tab 4 Tabuľka nameraných hodnôt vlhkosti vzduchu*

Roztok soli	Tabuľková relatívna vlhkosť [%]	Nameraná relatívna vlhkosť [%]	Absolútna chyba Δ[%]	Relatívna chyba δ[%]
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	52,9 ± 0,3	53,2	0,4	0,75
NaCl	75,3 ± 0,1	75,0	0,3	0,40
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	97,3 ± 0,5	98,4	1,1	1,13

Z nameraných hodnôt vyplýva, že použitý snímač DHT-22 je dostatočne presný pre zariadenie datalogger. Ukázalo sa, že chyba merania neprekračuje chybu uvádzanú výrobcom. Najväčšia relatívna chyba merania bola 1,13% pri vzorku dusičnanu horečnatého (97,3% vlhkosti).

### 3.3 Meranie osvetlenia

V našom zariadení používame pre meranie intenzity osvetlenia fotočlánok. Tento princíp využívajú aj komerčne dostupné meracie prístroje pre meranie osvetlenia – Lux metre. Ako snímač som použil lacný fotorezistor s hodnotou elektrického odporu 500kΩ pri úplnej tme. Výrobca v katalógovom liste bližšie neuvádza s akou presnosťou vyrába sériu fotorezistorov, ale je jasné, že ich charakteristiky nebudú rovnaké pre každý fotorezistor a budú tam minimálne nejaké malé odchýlky. V praktickej časti tvorby zariadenia som popisoval, ako som zistil prevodnú charakteristiku  $E = f(R)$ . Mikrokontrolér už vracia spracovanú nameranú hodnotu intenzity osvetlenia v Luxoch, takže môžeme overiť nameranú hodnotu s nejakým komerčne dostupným Lux metrom. Naše zariadenie dokáže merať v rozsahu 0 až 65535lx. V prostredí nasadenia dataloggera bude prevažne malá intenzita osvetlenia. Pre názornú ukážku uvediem niekoľko typických orientačných hodnôt intenzít osvetlenia:

*Tab 5 Orientačné hodnoty intenzity osvetlenia*

<b>Priestor</b>	<b>Intenzita osvetlenia [lx]</b>
Jasný slnečný deň	100 000
Letný deň v tieni	10 000
Osvetlenie v kancelárii	500
Osvetlenie chodby	100
Osvetlenie ulice	10

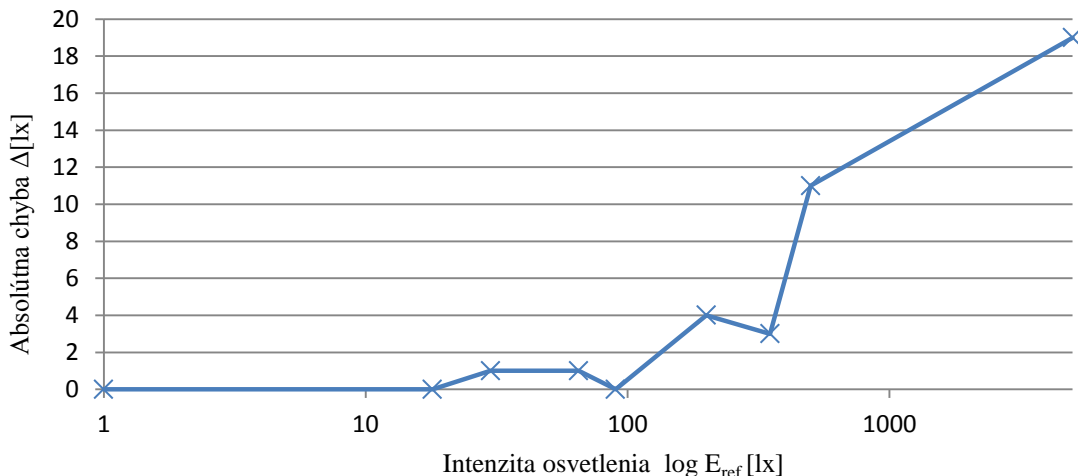
Z tabuľky je vidieť, že v tmavom prostredí strešných konštrukcií budeme zrejme dosahovať hodnôt intenzít do 100lx. Nevieme ale s určitosťou vyvrátiť, že nedôjde k prekročeniu rozsahu, ak bude snímač umiestnený na mieste, kam by mohol dopadnúť priamy lúč ostrého slnka. Tento problém som bližšie popísal v praktickej časti návrhu snímača.

Pre overenie vlastností nášho snímača som použil lux meter SOLEX SLX200. Výrobca udáva presnosť meracieho prístroja na  $\pm 2\%$  z meranej hodnoty  $\pm 1$  digit. Meranie prebiehalo v miestnosti počas dňa, kde som intenzitu osvetlenia reguloval žalúziami a pre dosiahnutie veľmi nízkych intenzít som zatiaňoval oba snímače kusom papiera. Oba snímače boli umiestnené hneď vedľa seba tak, aby odchýlky osvetlenia

boli čo najmenšie, kládol som veľký dôraz na to, aby boli pre obidva snímače prostredia pomerne homogénne (snímače rovnako zatienené, žiadne priame lúče na jednotlivé snímače atď.).

Tab 6 Tabuľka nameraných hodnôt pre meranie intenzity osvetlenia

<b><math>E_{\text{referenčné}}</math> [lx]</b>	1	18	30	65	90	200	350	500	5000
<b><math>E_{\text{snímač}}</math> [lx]</b>	1	18	31	64	90	196	353	489	5019
<b>Absolútna chyba <math>\Delta</math>[lx]</b>	0	0	1	1	0	4	3	11	19
<b>Relatívna chyba <math>\delta</math>[%]</b>	0	0	3,33	1,54	0	2,00	0,86	2,20	0,38



Obr. 27 Závislosť absolútnej chyby na intenzite osvetlenia

Použitý fotorezistor ako jednoduchý snímač intenzity osvetlenia sa ukázal ako dostačujúci snímač pre meranie tejto veličiny. Pri meraní som dosiahol maximálnu relatívnu chybu 3,33% oproti referenčnému meraciemu prístroju čo je uspokojivé. Odchýlku pripisujem mierne rozličným vlastnostiam vyrobených fotorezistorov. Namerané hodnoty sa môžu odlišovať takisto z dôvodu chyby merania, kedy nie sú homogénne prostredia pre oba snímače.

### 3.4 Meranie prietoku vzduchu

V zariadení je použitý snímač prietoku vzduchu od firmy MODERNDEVICE. Je to lacný anemometer, ktorý funguje na princípe hot-wire, takže sa hodí práve pre nízke prietoky vzduchu, ktoré sa budú vyskytovať v miestach nasadenia dataloggera. Výrobca uvádza k snímaču aj prevodné charakteristiky a prepočty, takže nameraná hodnota zo

snímača je v po spracovaní mikrokontrolérom v unifikovanej jednotke mph. Pre našu geologickú oblasť sa používa jednotka mps resp. m/s, takže ešte v algoritme nameranú hodnotu násobíme konštantou 0,4470, aby sme logovali už hodnotu v jednotke m/s. Výrobca neudáva žiadne bližšie údaje o presnosti tohto snímača, takže sa pokúsim laboratórnym meraním zistiť jeho vlastnosti. Merat' budem v rozsahu rýchlosti prúdenia vzduchu 0 až 1,2m/s, pretože práve takéto nízke prietoky vzduchu môžu najčastejšie nastávať v prostrediach strešných konštrukcií, kde bude datalogger nasadzovaný.

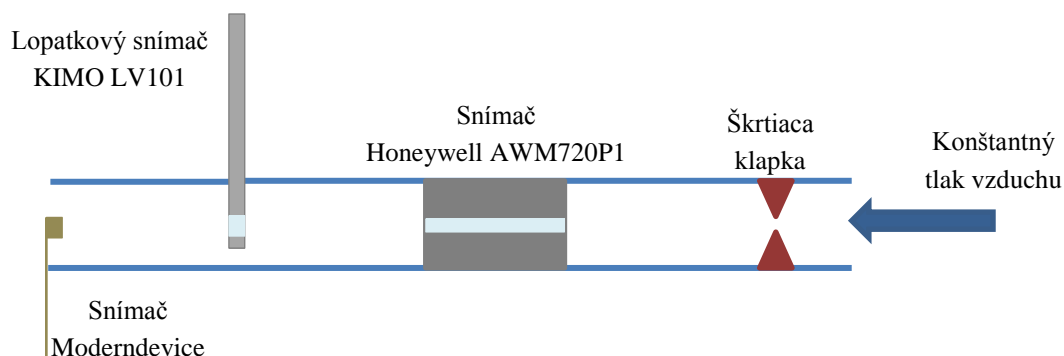
Meranie snímača prebiehalo vo vzduchovom tuneli, kde by malo byť laminárne prúdenie. Ako zdroj konštantného prúdenia vzduchu som použil vzduchový ventil v laboratóriu. Vzduchový tunel mal na jeho začiatku ešte škrtiacu klapku, ktorou bolo možné nastavovať prietok vzduchu tunelom. V strede tunela bol umiestnený snímač Honeywell AWM720P1, ktorý je konštruovaný na meranie objemového prietoku vzduchu. Snímačom Honeywell sa meralo tak, že bolo potrebné k nemu pripojiť ešte napájaciu elektroniku a výstupná hodnota zo snímača bola nejaké napätie, ktoré som prevádzal pomocou prevodnej charakteristiky na objemový prietok. Prepočet nameraného výstupného napätia snímača na objemový prietok sa robil pomocou rovnice 16, kde  $Q$  je objemový prietok a  $U$  je výstupné napätia zo snímača.

$$Q = 0,1036 \cdot e^{1,5861U} \left[ \frac{l}{min}, V \right] \quad (16)$$

Náš snímač Moderndevice meria vlastne rýchlosť vzduchu a nie objemový prietok, ale pri definovanej ploche prietoku je možné tieto údaje porovnávať. Problémom bolo, že vzduchový tunel nemal konštantný prierez, takže by bolo veľmi obtiažné vypočítať objemový prietok, resp. rýchlosť vzduchu na konci tunelu kde bol umiestnený náš snímač. Preto som použil ďalší merací prístroj od firmy KIMO, lopatkový anemometer LV101. Tento merací prístroj som nemohol použiť na celý rozsah merania, pretože lopatkové snímače sú práve obmedzované tým, že nedokážu merať veľmi nízke prietoky vzduchu. Vieme ale, že pri konštantnom priereze tunela a konštantnom prietoku vzduchu sú objemový prietok a rýchlosť vzduchu priamo úmerné. To znamená, že ak priradím rýchlosti prúdenia vzduchu určitý objemový prietok vzduchu, následne si viem pri zmene objemového prietoku, dopočítať prislúchajúcu rýchlosť prúdenia vzduchu napr. pomocou trojčlenky a naopak. Preto som pomocou meracieho prístroja KIMO škrtiacou klapkou nastavil prietok vzduchu tak, aby v časti tunela, kde meriame náš snímač bola rýchlosť prúdenia vzduchu 1,2m/s, a k tejto hodnote prislúchal objemový prietok 27,55l/min, nameraný snímačom Honeywell. Tým pádom som vlastne už vedel prepočítať aj nižšie namerané objemové prietoky na rýchlosť prúdenia vzduchu, kde už lopatkový merací prístroj nestačil, ale naopak snímač Honeywell áno. Rovnica prevodu potom vyzerala nasledovne:

$$v = Q \cdot \frac{1,2}{27,55} \quad \left[ \frac{m}{s}, \frac{l}{s} \right] \quad (17)$$

,kde  $v$  bola rýchlosť prúdenia vzduchu a  $Q$  bol objemový prietok vzduchu. Pri meraní bolo potrebné umiestniť meraný snímač Moderndevce hneď za otvor trubice, pretože len práve v tomto mieste je ešte prúdenie laminárne, tak ako v trubici. Prúdenie ďalej od konca trubice je už turbulentné.

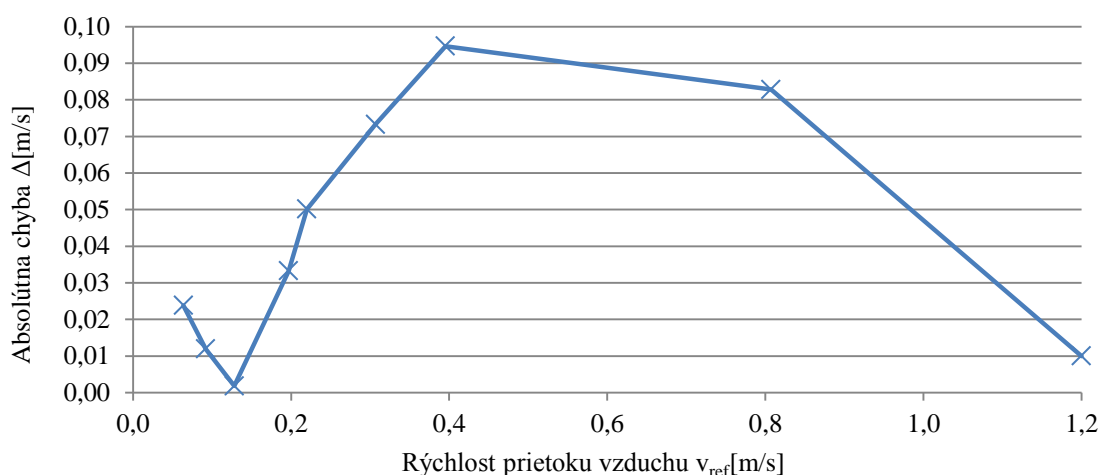


Obr. 28 Bloková schéma pracoviska merania

Výrobca meracieho prístroja KIMO LV101 udáva pre tento prístroj v konfigurácii, ktorú sme používali (meracia tyč s priemerom 14mm, v nej umiestnená vrtuľka) na rozsahu od 0,8 do 3m/s absolútnu chybu merania  $\pm 0,1$ m/s. Výrobca Honeywell uvádza pre jeho snímač chybu  $\pm 0,30\%$  z nameranej hodnoty napätia. Namerané hodnoty z merania sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tab 7 Tabuľka nameraných hodnôt pre meranie prietoku vzduchu

Snímač Honeywell AWM720P1			Snímač MODERNDEVCE		
$U_{výst}[V]$	Objemový prietok vzduchu $Q[l/min]$	Rýchlosť prúdenia vzduchu $v[m/s]$	Rýchlosť prúdenia vzduchu $v[m/s]$	Absolútna chyba $\Delta[m/s]$	Relatívna chyba $\delta[\%]$
3,52	27,55	1,20	1,21	0,01	0,83
3,27	18,53	0,81	0,89	0,08	9,31
2,82	9,08	0,40	0,49	0,09	19,31
2,66	7,04	0,31	0,38	0,07	19,28
2,45	5,05	0,22	0,27	0,05	18,57
2,38	4,52	0,20	0,23	0,03	14,46
2,11	2,94	0,13	0,13	0,00	1,38
1,90	2,11	0,09	0,08	0,01	14,86
1,67	1,46	0,06	0,04	0,02	59,51



Obr. 29 Závislosť absolútnej chyby na rýchlosti prietoku vzduchu

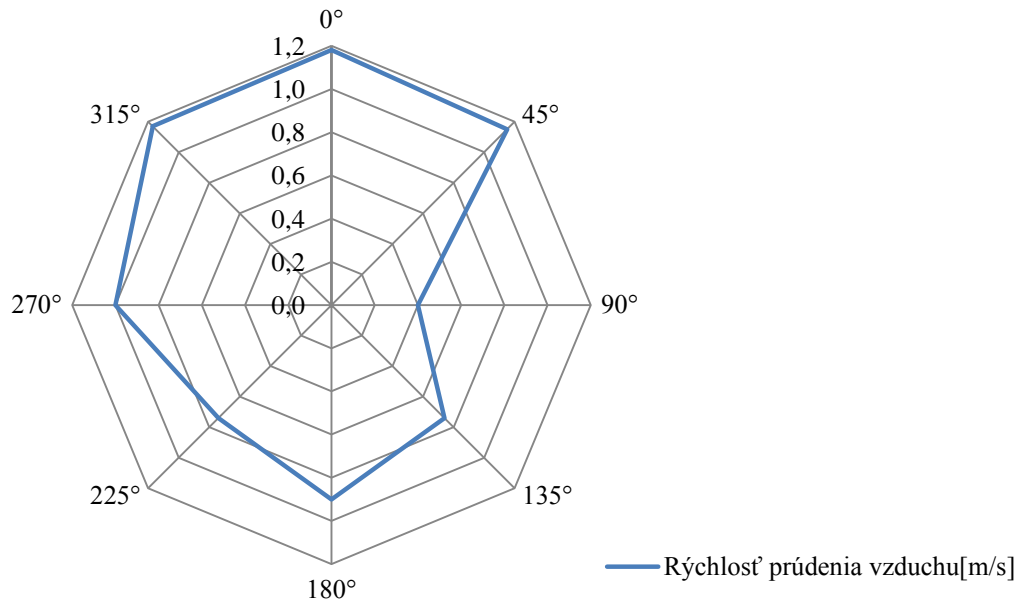
Z tabuľky nameraných hodnôt vyplýva, že nami použitý snímač od firmy Moderndevce postačuje pre naše použitie. Najväčšiu absolútnu chybu s ktorou sme namerali bola 0,09m/s. Táto presnosť je pre naše použitie absolútne dostačujúca, pre naše použitie stačí detekovať prítok iba približne, túto veličinu meriame iba preto, aby sme vedeli určiť, či drevené krovie môže schnúť a či prúdiaci vzduch odvádza jeho vlhkosť preč.

Dôležité pre meranie prietoku vzduchu je vedieť smerovú charakteristiku snímača a či nameraná hodnota snímačom je závislá od natočenia snímača. Pre zistenie tejto charakteristiky som opakovane meranie vo vzduchovom tuneli. Škrtiacou klapkou som nastavil prúdenie vzduchu tak, aby na konci tunela bola jeho rýchlosť 1,2m/s. Na koniec tunela som následne umiestnil náš snímač, vyhrievaným termistorom čelom proti prúdiacemu vzduchu (hodnota pri 0° natočenia) a otáčal ním proti smeru hodinových ručičiek s krokom 45°. Je dôležité spomenúť, že meranie bolo opakované viac krát, aby som sa presvedčil, že hodnoty budú rovnaké. Namerané hodnoty pri určitom natočení snímača je vidieť v nasledujúcej tabuľke:

Tab 8 Namerané hodnoty smerovej charakteristiky snímača prietoku vzduchu pri  $v_{konšt}=1,2m/s$

Uhol natočenia [°]	0	45	90	135	180	225	270	315
Rýchlosť vzduchu [m/s]	1,18	1,15	0,40	0,74	0,90	0,74	1	1,17
Absolútna chyba $\Delta$ [m/s]	0,02	0,05	0,80	0,46	0,30	0,46	0,20	0,03
Relatívna chyba $\delta$ [%]	0,02	0,04	0,67	0,38	0,25	0,38	0,17	0,03





Obr. 30 Smerová charakteristika snímača Moderndevíce pri  $v_{konst}=1,2\text{m/s}$

Zo smerovej charakteristiky vyplýva, že nameraná hodnota snímačom od firmy Moderndevíce je závislá od smeru natočenia snímača vzhľadom k prúdiacemu vzduchu. Chybu spôsobuje usporiadanie meracích súčiastok a aj samotná doska plošných spojov, ktorá bráni priamemu prietoku vzduchu okolo vyhrievaného termistora. V praxi to bude mať vplyv na namerané údaje, keďže nikdy nebudeme vedieť osadiť meraciu stanicu tak, aby prúdil vzduch práve na prednú časť snímača, resp. vzduch bude v prostredí prúdiť rôznymi smermi. Avšak ako už bolo vyššie spomenuté, pre naše zariadenie požadujeme aby sme vedeli vôbec nejaké prúdenie detekovať, teda je takáto presnosť merania dostačujúca.

### 3.5 Meranie vlhkosti dreva

U merania vlhkosti dreva som sa rozhodol pre najjednoduchší spôsob snímania tejto veličiny a to meranie elektrického odporu dreva. Hodnota relatívnej vlhkosti dreva sa potom odvíja od druhu dreva a samozrejme aj od vzdialenosti meracích bodov od seba (zväčšovanie / znižovanie el. odporu). Prevodná charakteristika nebola predmetom nášho riešenia a zadávateľ požadoval meranie hodnoty el. odporu medzi meranými bodmi. Naše zariadenie vracia jednoducho hodnotu el. odporu, ktorá prislúcha určitej vlhkosti dreva. Datalogger dokáže pmerať el. odpor na rozsahu 0 – 6553,5kΩ s presnosťou na jedno desatinné miesto. Horná časť rozsahu merania je ohraničená číslom 65535, pretože knižnica pre komunikáciu medzi stanicami vie odoslať maximálne 2 bajtový unsigned int, čo je práve hodnota 65535 a ak chceme mať presnejšie meranie, v našom prípade aspoň na jedno desatinné miesto, horná hranica sa zníži na 6553,5. Práve preto vieme merať v takom rozsahu vlhkosť dreva. Táto problematika je bližšie vysvetlená v praktickej časti návrhu dataloggera.

Meranie prebiehalo tak, že som si nastavoval regulovateľným rezistorom osem hodnôt, u ktorých som premeral hodnotu el. odporu referenčným meracím prístrojom a následne naším zariadením. Ako referenčný merací prístroj som použil multimeter Prosonic UT33C. Výrobca udáva maximálnu chybu prístroja  $\pm(0,8\%+2)$  z použitého rozsahu  $2M\Omega$ . Hodnoty regulovateľného rezistora som nastavoval tak, aby približne zodpovedali rozsahu, s ktorým sa môžeme stretnúť pri meraní el. odporu dreva a to od veľmi vlhkého dreva, ktorého el. odpor sa blíži k nule – ja som použil  $1k\Omega$  až po hodnotu  $2M\Omega$ . Namerané hodnoty sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tab 9 Tabuľka nameraných hodnôt pre meranie vlhkosti dreva

<b>R<sub>referenčné</sub> [kΩ]</b>	1	50	100	500	1000	1300	1700	2000
<b>R<sub>snímač</sub> [kΩ]</b>	1,0	48,8	100,2	498,9	1002,1	1297,9	1706,0	1991,4
<b>Absolútna chyba Δ[kΩ]</b>	0	1,2	0,2	1,1	2,1	2,1	6,0	8,6
<b>Relatívna chyba δ[%]</b>	0	2,40	0,20	0,22	0,21	0,16	0,35	0,43

Počas merania sme namerali s najväčšou relatívnou chybou 2,4%, čo môžem zhodnotiť, ako dostačujúci výsledok. Naše zariadenie meria s presnosťou, ktorá je pre jeho použitie vyhovujúca. Zámerom je určiť hrubý odhad odporu dreva, aby sme vedeli povedať, či je vlhkosť dreva kritická a treba zasiahnuť, alebo naopak je drevo suché.

### 3.6 Spotreba zariadenia

Keď bolo zariadenie kompletne zhotovené, podrobil som ho meraniu prúdu, ktorý odoberá z batérie. Meranie prebiehalo tak, že som k batérii pripojil do série so zariadením aj laboratórny multimeter UNI-T UT804, ktorým som meral prúd pretekajúci obvodom. Zariadenie bolo v konfigurácii s jednou meracou stanicou. V tabuľke Tab 10 je popísaný kompletný dej merania dataloggera aj s dĺžkou času, ktorý prislúcha konkrétnym operáciám.

Tab 10 Prehľad spotreby zariadenia počas prevádzky

<b>Operácia</b>	<b>Δt[s]</b>	<b>I[mA]</b>
Spustenie, inicializácia	0,5	40,00
Meranie na meracej stanici	10,0	28,00
Komunikácia, spracovanie hodnôt	3,0	18,00
Zápis na SD kartu	1,0	50,00
Spánok zariadenia	*	0,11

\*závisí od aktuálneho nastavenia zariadenia

Meraním sa ukázalo, že zariadenie odoberá prúd najviac 50mA a to špičke pri ukladaní na SD kartu, s čím som aj počítal. Podarilo sa mi eliminovať vysoký odber prúdu počas meraní meracích staníc a počas vyhrievania snímača prietoku vzduchu bol odber celého zariadenia len 28mA (závisí od teploty okolia). Nízky bol takisto odber prúdu počas spánku zariadenia, ktorý bol len 0,11mA. Veľkosť odoberaného prúdu sa bude zväčšovať s počtom použitých meracích staníc, nie však extrémne, iba sa predĺži celkový čas merania.

Teraz, po zistení reálnej spotreby zariadenia môžeme znova vypočítať hrubý predpoklad výdrže batérie podľa rovnice 2. Pri výpočte uvažujem so spotrebou za jeden deň, aby sa hodnota odberu spriemerovala. Frekvencia merania je každé 4 hodiny, teda je za deň dokopy 6 meraní. Z vypočítaného náboja odobraného za 1 hodinu potom môžeme vypočítať ako dlho vydrží zariadenie bežať na batérii. Vychádzal som z rovnice 8, ktorá je uvedená v časti analýzy.

$$Q = \frac{3s \cdot 40mA + 60s \cdot 28mA + 18s \cdot 18mA + 6s \cdot 50mA + 86313s \cdot 0,11mA}{86400s} \quad (18)$$

$$Q = 0,138mAh \quad (19)$$

$$t = \frac{2250mAh}{0,138mA} \sim 16304hod \sim 680dní \sim 22mesiacov \quad (20)$$

Podľa výpočtov by pri konfigurácii zariadenia s jednou meracou stanicou bola výdrž zariadenia zhruba až 22 mesiacov. Táto doba sa odlišuje od predpokladanej analýzy z dôvodu, že meranie trvá kratšie než sme uvažovali, pričom závisí od počtu použitých meracích staníc. S počtom staníc sa bude čas výdrže znižovať. V reálnej situácii musíme tiež uvažovať s procesom samovybijania batérie, takisto som pri výpočtoch zanedbal aj malý prúd stabilizátora ktorý je asi 2μA.

## 4 ZÁVER

Cieľom práce bol návrh a realizácia dataloggera pre monitorovanie prostredí strešných konštrukcií historických stavieb. Zariadenie bude do prostredí nasadzované v snahe zabrániť ničeniu krovia nepriaznivými vplyvmi prostredia. Analýza trhu ukázala, že na trhu nie je zariadenie, ktoré by spĺňalo požiadavky, preto bol zvolený vývoj zariadenia.

Realizácii zariadenia predchádzala podrobná analýza, kde som vyseletoval vhodné komponenty pre realizáciu. Navrhol som možnosti riešenia zariadenia vzhľadom k požiadavkám a jeho nízkej cene. Podarilo sa mi vybrať vhodnú platformu pre realizáciu zariadenia, komponenty a načrtnúť hlavnú myšlienku realizácie snímačov.

Zariadenie umožňuje vďaka batérii dlhodobú funkciu a to bez nutnosti akejkolvek údržby. Výpočtami som zistil, že zariadenie dokáže bežať na použitej batérii minimálne 6 mesiacov, pričom sa namerané údaje zatiaľ ukladajú na SD kartu a to v unifikovaných jednotkách. SD karta slúži takisto ako prostriedok pre nastavenie intervalu medzi meraniami.

Zariadenie som zrealizoval za pomoci platformy Arduino UNO. Využil som jeho veľkú podporu, pričom som kvôli jeho vysokej spotrebe navrhol vlastnú dosku tiež založenú na mikrokontroléri ATmega328P. Snímače som navrhoval tak, aby využívali čo najjednoduchšie princípy, ale zároveň spĺňali podmienky zadania. Tým bola aj ich cena minimálna. Zariadenie je navrhnuté tak, že dokáže monitorovať všetkých 5 zadaných veličín a to: teplota vzduchu, vlhkosť vzduchu, intenzitu osvetlenia, rýchlosť prúdenia vzduchu a vlhkosť dreva. Všetky tieto veličiny dokáže merať vo viacerých meracích bodoch. Z dôvodu nedostatku času som vyskúšal zariadenie v prevádzke s najviac 2 meracími stanicami, avšak zariadenie je pripravené na pripojenie až 5 a viac meracích staníc. Komunikáciu medzi stanicami som realizoval štandardom RS-485 s použitím otvoreného protokolu Modbus.

V poslednej časti som sa venoval overeniu vlastností zariadenia v praxi. Preto som všetky použité snímače podrobil meraniu. Zistil som, že použité snímače a ich presnosti spĺňajú podmienky pre úspešné monitorovanie týchto prostredí. Vývojom sa podarilo zrealizovať plne funkčný prototyp dataloggera, ktorý vyhovuje zadaniu.

V prípade ďalšej práce na zariadení bude nasledovať reálne nasadenie prístroja do prostredia strešnej konštrukcie historickej budovy v spolupráci so Stavebnou fakultou VUT. Testovaním a spätnou väzbou sa ukážu reálne požiadavky a ďalší smer vývoja zariadenia. Datalogger je možné ďalej rozšíriť o GSM modul, ktorý bude upozorňovať o kritickom stave niektorej z meraných veličín. Tak bude možné zasiahnuť včas bez výrazného poškodenia stavby. Zpracovať sa dá ďalej na ďalšom vývoji konceptu zariadenia, komunikácie a znižovaní spotreby. Tiež by bolo vhodné vyvinúť vlastný snímač prietoku vzduchu, čím by sa znížila výrobná cena zariadenia. Poslednou časťou by bol vývoj softvéru, ten by slúžil pre nastavovanie dataloggera a zobrazovanie nameraných údajov, vykresľovanie grafov.

# LITERATÚRA

- [1] Raspberry Pi. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](http://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)
- [2] Arduino Uno: Arduino Uno R3 overview. *Arduino.cc* [online]. [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [3] Launchpad by TexasInstruments: Launchpad MSP-EXP430G2. *TexasInstruments LaunchPad official webpage* [online]. [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://www.ti.com/ww/en/launchpad/launchpads-msp430-msp-exp430g2.html>
- [4] Arduino with Very Low Power Consumption. VOJTEK, Peter. *Github.com* [online]. [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://github.com/petervojtek/diy/wiki/Arduino-with-Very-Low-Power-Consumption>
- [5] DHTxx Sensors. *Adafruit Industries* [online]. [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://learn.adafruit.com/downloads/pdf/dht.pdf>
- [6] Fotoelektrický jav. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: [http://sk.wikipedia.org/wiki/Fotoelektrický\\_jav](http://sk.wikipedia.org/wiki/Fotoelektrický_jav)
- [7] PREVÁDZKOVÉ MERACIE PRÍSTROJE. *Meranie vlhkosti materiálov: AT&P journal* [online]. roč. 2008, č. 9 [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: [http://www.atpjournal.sk/buxus/docs/casopisy/atp\\_2008/pdf/atp-2008-09-40.pdf](http://www.atpjournal.sk/buxus/docs/casopisy/atp_2008/pdf/atp-2008-09-40.pdf)
- [8] BENEŠ, P., J. FIALKA, Z. HAVRÁNEK, S. KLUSÁČEK, T. KOPECKÝ, M. KRUPA, M. UHER a M. VÁGNER. ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY. *Měření fyzikálních veličin* [online]. 2014 [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: elektronických skript VUT Brno
- [9] MODERNDEVICE: Wind senzor. [online]. [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://moderndevise.com/product/wind-sensor/>
- [10] RS-485. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [cit. 2015-01-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/RS-485>
- [11] Simply Modbus. *Modbus systems* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.simplymodbus.ca/>
- [12] Lithium-iontový akumulátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-iontový\\_akumulátor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-iontový_akumulátor)

- [13] From Arduino to a microcontroller on a breadboard. *Arduino.cc* [online]. [cit. 2015-01-29]. Dostupné z:  
<http://www.arduino.cc/en/Tutorial/ArduinoToBreadboard>
- [14] Modbus RS-485: Realization. *Arduino.cc* [online]. [cit. 2015-01-29].  
Dostupné z: <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=176142>

## **ZOZNAM PRÍLOH**

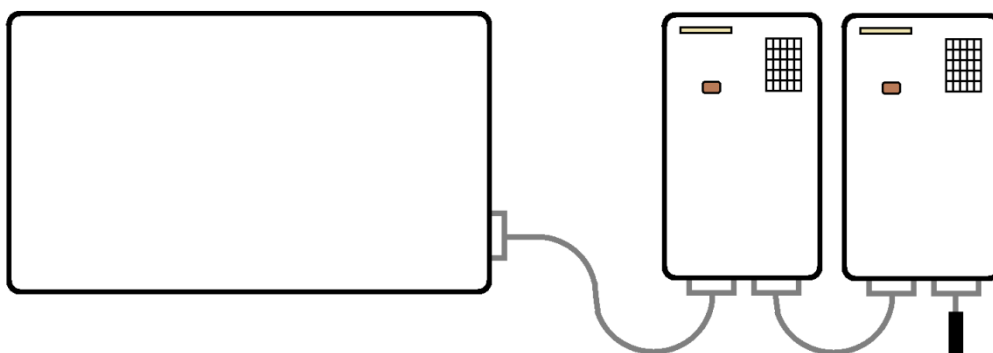
<b>A</b>	<b>NÁVOD NA POUŽITIE</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>FOTOGRAFIE ZARIADENIA</b>	<b>II</b>

## A NÁVOD NA POUŽITIE

Zariadenie slúži pre monitorovanie prostredí strešných konštrukcií budov. Monitoruje prostredie a kvalitu dreveného krovia budovy. Zariadenie sníma v prostredí 5 veličín:

- teplota vzduchu
- vlhkosť vzduchu
- intenzita osvetlenia
- rýchlosť prúdenia vzduchu
- vlhkosť dreva strešnej konštrukcie

Datalogger dokáže monitorovať všetky tieto veličiny vo viacerých Vami vybraných miestach prostredia. Pre meranie vo vybraných bodoch slúžia meracie stanice, ktoré realizujú merania. V prostredí je potrebné tiež umiestniť hlavnú stanicu, ktorá riadi celý proces monitorovania. Stanice sa medzi sebou prepájajú pribaleným káblom tak, že vedenie začína od hlavnej stanice, pokračuje všetkými meracími stanicami, až je na poslednej stanici zakončené pribaleným terminátorom – zakončovačom. Celková dĺžka vedenia medzi stanicami môže byť až 100m. Počet staníc je ľubovoľný, ich maximálny počet je 2.



Jednotlivé stanice dataloggera sa osadzujú jednoducho vďaka prichystaným dieram na prichytenie. Pri osadzovaní meracích staníc sa pre meranie vlhkosti dreva nabíjajú do krovia klinec podľa priloženej šablóny. Klinec zabíjajte do dreva až pokiaľ to šablóna dovolí. Následne na ne pripojte konektory vyvedené z meracích staníc. Po kompletom osadení zariadenia pripojte k hlavnej stanici batériu. Ihneď po pripojení prebehne prvé inicializačné meranie a po 1 minúte, môžete vysunúť SD kartu a skontrolovať, či sa údaje zaznamenávajú správne.

**Voľba intervalu merania** sa robí pomocou konfiguračného súboru `config.txt` uloženého na SD karte. Do súboru zapíšete iba číslo v intervale <1; 24>. Táto hodnota reprezentuje interval medzi meraniami v hodinách. Odporúčaný interval je 4 hodiny medzi meraniami.

**Batériu** je potrebné nabíjať, rýchlosť jej vybíjania závisí od množstva meracích staníc. Robte kontrolu batérie každé 3 mesiace a pokiaľ je to potrebné batériu nabite.



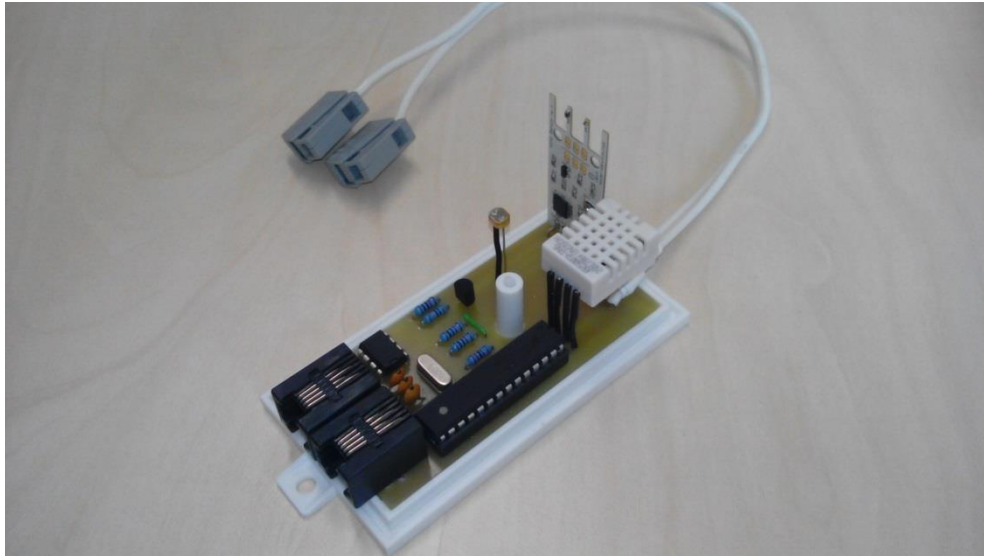
## **B FOTOGRAFIE ZARIADENIA**



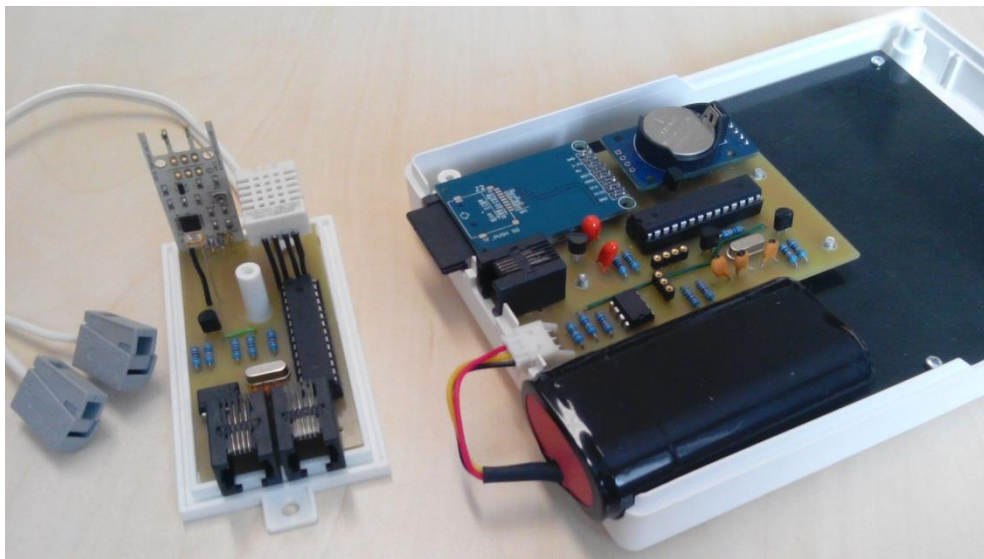
*Obr. B1 Fotografia zhotovenej meracej stanice*



*Obr. B2 Fotografia zhotoveného dataloggera*



*Obr. B3 Pohľad na DPS meracej stanice dataloggera*



*Obr. B4 Pohľad na DPS dataloggera*