

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Záznamník teplot
Lukáš Prášil

Bakalářská práce
2021

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Lukáš Prášil**
Osobní číslo: **I18052**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Téma práce: **Záznamník teplot**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

Zásady pro vypracování

Nastudujte dostupné metody měření teploty s ohledem na rychlost odezvy a na teplotní rozsah od -25°C do 250°C . Navrhněte zařízení umožňující kontinuálně snímat teploty na více (až 15) místech. Zařízení bude dále umožňovat odesílat naměřená data do datového úložiště. Záznam a odesílání dat bude probíhat v závislosti na zvoleném režimu buď kontinuálně (start/stop) nebo po zvolenou dobu od přijmutí startovacího RF signálu.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

[1] VÁŇA, Vladimír. Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C. Praha: BEN technická literatura, 2003. 216 s. ISBN 978-80-7300-102-0.

[2] Atmel 8-bit Microcontroller with 4/8/16/32KBbytes In-System Programmable Flash. ATMEL CORPORATION. [online]. [cit. 2015-10-15]. Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Summary.pdf

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Roleček**
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. listopadu 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2021**

LS.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

Ing. Jan Pidanič, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. ledna 2021

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 14. 5. 2021

Lukáš Prášil

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé práce panu Ing. Jiřímu Rolečkovi za ochotu při vedení mé bakalářské práce a za spoustu dobrých a cenných rad. Rád bych také poděkoval mým přátelům za podporu. Nakonec bych chtěl poděkovat své rodině za velkou trpělivost při mém studiu.

Anotace

Bakalářská práce se zbývá návrhem a konstrukcí záznamníku teplot, který bude teploty zobrazovat a zaznamenávat do paměti na SD kartu. Záznamník má několik podružných zařízení, která bezdrátově posílají údaje o teplotě přímo do záznamníku. O Bezdrátovou komunikaci se starají vysílače NRF24L01. Ovládání a řízení je zajištěno mikroprocesory řady Atmel. Jednotlivé podružné jednotky jsou napájeny z baterií. Záznamník teplot je schopen samostatného provozu. Zaznamenané teploty je možné z SD karty načíst do PC.

Klíčová slova

Měření teploty, Atmel, Arduino, programování, bezdrátový přenos, NRF24L01

Title

Temperature logger

Annotation

Bachelors thesis deals with design and construction Temperature data logger, which display temperatures and records in memory on the SD card. The data logger has several slave devices, that use wireless communication and send temperature data directly to temperature logger. Wireless communication is provided by NRF24L01 transmitters. Control and managment is provided by Atmel microprocessors. The individual slave unit are powered by batteries. The temperature logger is capable of indipendent operation. Temperatures from data logger can be upload from the SD card to the PC.

Keywords

Temperature measurement, Atmel, Arduino, programming, Wireless transmission, NRF24L01

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Seznam zkratk | 8 |
| Seznam obrázků | 9 |
| Seznam tabulek | 9 |
| Úvod | 10 |
| 1 Metody měření teploty | 11 |
| 1.1 Kontaktní měření..... | 11 |
| 1.1.1 Odporové kovové senzory | 11 |
| 1.1.2 Odporové polovodičové senzory-termistory | 12 |
| 1.1.3 Odporové polovodičové senzory-monokrystalické: | 13 |
| 1.1.4 Termočlánky | 13 |
| 1.1.5 Teplotní senzory s optickým vláknem..... | 13 |
| 1.2 Bezkontaktní měření | 14 |
| 1.2.1 Termoelektrické senzory záření..... | 14 |
| 1.2.2 Pyroelektrické senzory | 14 |
| 1.2.3 Kvantové senzory infračerveného záření | 15 |
| 1.3 Dostupná čidla..... | 15 |
| 2 Praktické provedení záznamníku teplot | 16 |
| 2.1 Hlavní jednotka | 16 |
| 2.2 Ukládání dat | 17 |
| 2.3 Vysílací jednotky-vysílače | 18 |
| 2.4 Tištěný spoj | 19 |
| 2.5 Napájení | 23 |
| 2.6 Snímání teploty | 23 |
| 2.7 Komunikace záznamníku | 24 |
| 2.8 Síť vysílačů | 25 |
| 2.9 Ovládání záznamníku..... | 27 |
| 2.9.1 Režimy záznamu..... | 27 |
| 2.10 Zobrazování informací na záznamníku | 29 |
| 2.11 Program | 30 |
| 2.12 Mechanická část konstrukce..... | 31 |
| 2.12.1 Zapínání vysílače..... | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 2.12.2 Větší kapacita baterie..... | 35 |
| 2.12.3 Nový kryt pro vysílač | 35 |
| 2.12.4 Sériový monitor Teplotního data loggeru..... | 36 |
| 2.12.5 Nové uspořádání zobrazení informací na displeji hlavní jednotky | 37 |
| 2.13 Možná zlepšení..... | 38 |
| Závěr | 41 |
| Literatura | 42 |
| Přílohy | 43 |

Seznam zkratek

SD – Secure Digital

USB – Universal Serial Bus

RISC – Reduced Instruction Set Computer

AVR – Alf Egil Risc -

RAM – Random Acces Memory

SPI – Seriál Peripheral Interface

PC – Personal Computer-počítač

NTC – negative tempreature coefficient

PTC – positive temperature coefficient

RF – Radiofrekvenční

ID – Identification Data

LED – Light Emiting Diode

CS pin – Chip Select

CE pin – Chip Enable

3D – trojrozměrná dimenze

2D – dvojrozměrná dimenze

I2C – Inter Integrated Circuit

LCD – Liquid Crystal Display

MOSI – Master Out Slave In

MISO – Master In Slave Out

SCK – Serial CloK

SDA – Serial Data

SCL – Serial CLock

OLED – Organic Light Emitting Diode

LCD – Light Emitting Diode

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 - Zapouzdřené odporové čidlo Pt100 [1] | 12 |
| Obrázek 2 - Porovnání teplotních závislostí negastoru, pozistoru a kovového senzoru [2] | 12 |
| Obrázek 3 – Termočlánek [1]..... | 13 |
| Obrázek 4 - Blokové schéma principu měření bezdotykových senzorů teploty [3]..... | 14 |
| Obrázek 5 - Detektor pracující v infračervené oblasti [3]..... | 15 |
| Obrázek 6 - Vnitřek řídicí jednotky..... | 16 |
| Obrázek 7 - Blokové schéma hlavní jednotky z Diagrameditoru..... | 17 |
| Obrázek 8 - Čtečka SD karet | 18 |
| Obrázek 9 - blokové schéma vysílače z Diagrameditoru | 19 |
| Obrázek 10 - Schéma vysílače | 20 |
| Obrázek 11 - schéma "board" | 21 |
| Obrázek 12 - Samotný vyrobený plošný spoj bez součástek | 21 |
| Obrázek 13 - Napájený tištěný spoj na straně součástek..... | 22 |
| Obrázek 14 - Napájený tištěný spoj ze strany spojů..... | 22 |
| Obrázek 15 - Schéma zapojení teplotního čidla | 23 |
| Obrázek 16 - NRF24L01 [6] | 25 |
| Obrázek 17 - Síť vysílačů..... | 27 |
| Obrázek 18 - Uložené informace na SD kartě | 28 |
| Obrázek 19 - Tlačítka pro režimy na hlavní jednotce | 28 |
| Obrázek 20 - zobrazení stavu na displeji..... | 30 |
| Obrázek 21 - Návrh hlavní krabičky v programu Fusion360..... | 31 |
| Obrázek 22 - 3D tiskárna na které byly tištěné kryty | 32 |
| Obrázek 23 - Kompletní kryt vysílací jednotky | 33 |
| Obrázek 24 - Kryt vysílače zevnitř..... | 34 |
| Obrázek 25 - Baterie 3,6 Voltů..... | 35 |
| Obrázek 26 - Nová vysílací jednotka | 36 |
| Obrázek 27 - Teplotní Sériový monitor program | 37 |
| Obrázek 28 - Hlavní stránka na displeji | 37 |
| Obrázek 29 - Stránka zobrazená po stisknutí testovacího tlačítka | 38 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 - Vybraná teplotní čidla | 15 |
| Tabulka 2 - Seznam součástek hlavní jednotky..... | 17 |
| Tabulka 3 - Seznam součástek na plošném spoji | 19 |
| Tabulka 4 - Seznam mechanických dílů..... | 34 |

Úvod

Teplotní záznamníky se používají v aplikacích, kde vznikají potřeby na snímání teploty. Příkladem jsou továrny, domácnosti, skleníky a dílny. Všude tam, kde je požadavek na měření teploty a následné čtení a porovnávání hodnot.

Cílem práce je navrhnout a vytvořit zařízení, které monitoruje teploty v různých částech domů a místností. Hlavní zařízení přijímá data od vedlejších vysílacích zařízení, které jsou schopna bezdrátově komunikovat v řádech desítek metrů. Přitom všechny naměřené hodnoty jsou ukládány na SD kartu v hlavním zařízení.

Práce je rozdělena na několik částí, z toho hlavní bloky se dělí na teoretickou a praktickou část.

Teoretická práce se týká dostupných metod teplotních měření. V dnešní době jich existuje celá řada. Je mnoho teplotních čidel s různými teplotními rozsahy. Výběr byl proveden z běžně používaných čidel. Hlavní dva bloky v teoretické části se zabývají kontaktním a bezkontaktním měřením.

V praktické části je rozebrána elektrická a mechanická konstrukce. Podle metod a systémů měření z první teoretické části byl vybrán způsob měření teploty, který je uveden v této části.

1 Metody měření teploty

Existuje celá řada senzorů na měření teploty. Dělí se na dvě hlavní skupiny na kontaktní měření teploty a na nekontaktní měření teploty.

1.1 Kontaktní měření

V případě tohoto měření je potřeba mít umístěný senzor na měřeném povrchu nebo uvnitř plynu, případně kapaliny. Teplo jakéhokoliv materiálu je přímo přes pouzdro senzoru přenášeno na samotný senzor. Tento způsob využívá tepelnou vodivost materiálů. [1]

1.1.1 Odporové kovové senzory

Kovy díky své krystalové mřížce vedou elektrický náboj. Za předpokladu, že bude teplota růst, zvýší se kmitání atomů a v důsledku kmitání, vzniká větší odpor při průchodu elektronů krystalovou mřížkou. [1]

Pro prostředí do 100 °C se používá vzorec:

$$R_t = R_o(1 + \alpha t) \quad 1$$

R_o ...elektrický odpor čidla při teplotě t

R_o ...elektrický odpor při teplotě 0 °C

α ...teplotní součinitel odporu

Nejčastější materiál pro výrobu odporových čidel je platina díky několika vlastnostem. Mezi její výhody patří chemická netečnost, časová stálost, vysoká čistota materiálu a vysoká teplota tavení. Dále se využívají měděné, niklové a slitinové senzory. Obecně jsou velice pomalé svou teplotní reakcí. [2]

Teplotní rozsah v závislosti na použitých materiálech může být od -200 °C do 1000 °C.

Výhody: velký rozsah teplot pro měření, časová stálost, linearita

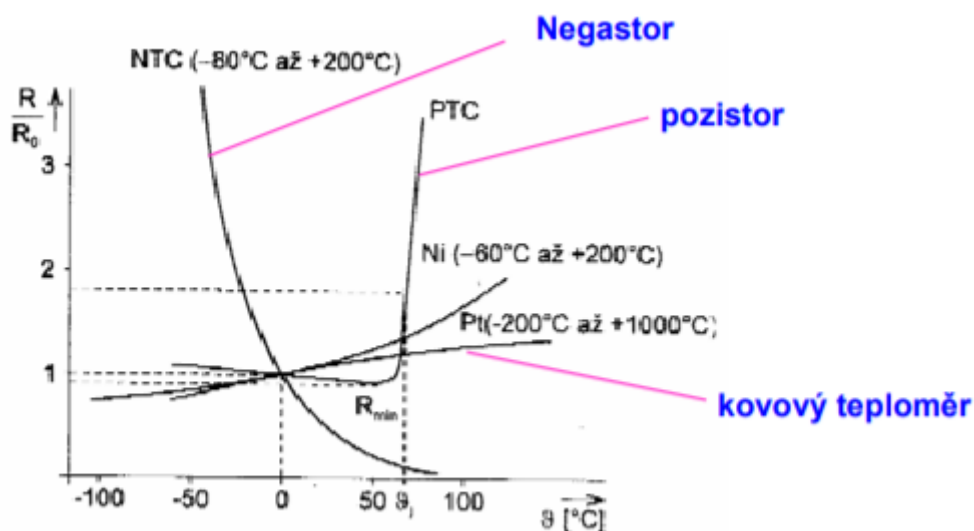
Nevýhody: malý teplotní součinitel -> malá citlivost, pomalá reakce na změnu teploty



Obrázek 1 - Zapouzdřené odporové čidlo Pt100 [1]

1.1.2 Odporové polovodičové senzory-termistory

Využíváme závislosti odporu polovodiče na teplotě. Dělí se na dva základní druhy na NTC a PTC. Jejich teplotní rozsah se pohybuje obecně od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Termistory mají obecně výhodu vysoké citlivosti. Mají řadu nevýhod například špatnou stabilitu. Dále není možné měřit velmi vysoké teploty nad několik stovek stupňů Celsia. Poslední nevýhodou je jejich charakteristika, která není bohužel lineární. [1]



Obrázek 2 - Porovnání teplotních závislostí negastoru, pozistoru a kovového senzoru [2]

NTC: tzv. negastory

Vyrábějí se práškovou metodou, kde se lisují směsi oxidů kovů. Mají záporný teplotní koeficient, tím pádem s rostoucí teplotou klesá jejich odpor. [1]

PTC: tzv. pozistory

Vyrábějí se z polykrytalické feroelektrické keramiky. Mají kladný teplotní součinitel odporu. [1]

1.1.3 Odporové polovodičové senzory-monokrystalické:

Princip funguje na změně pohyblivosti volných nosičů náboje se změnou teploty. Pokud teplota bude růst, začne klesat pohyblivost volných nosičů náboje a tím zároveň klesne vodivost polovodiče. Jelikož vodivost je převrácený odpor, bude odpor s rostoucí teplotou také růst. Vyrábějí se nejčastěji z křemíku. Další použitelné materiály pro výrobu jsou Germanium a Indium. Jejich teplotní rozsah se pohybuje od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Velkou výhodou mají v linearitě a proti termistorům v lepší stabilitě. Jejich teplotní rozsah je nižší než u ostatních odporových senzorů a jsou relativně málo citlivé. Využívají se v CMOS integrovaných obvodech. [1]

1.1.4 Termočláanky

Principem je přeměna tepelné energie na elektrickou, díky spojení dvou vodičů, které jsou vyrobeny z různých materiálů. Materiály se spojí v jednom bodě a na opačných koncích vzniká slabší elektrické napětí. V podstatě se jedná o slabý zdroj elektrické energie. Měřicí rozsah je od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $3500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Používají se pro měření velkých změn a absolutních hodnot teploty třeba jako ponorné, dotykové a šterbinové sondy. Mezi výhody termočláanků patří lineární charakteristiky, velký teplotní rozsah a malé rozměry teplotních sond. Nicméně mají malou citlivost a nejsou odolné proti rušení. [1]



Obrázek 3 – Termočláanek [1]

1.1.5 Teplotní senzory s optickým vláknem

Pokud optické vlákno zakončíme teplotně závislou vrstvou fosforu, je možné měřit teplotu. Teplotu zjistíme tak, že vyšleme LED signál, který se odrazí od konce optického vlákna a s určitým časovým zpožděním se nám vrátí zpět. Podle toho, jaké je časové zpoždění, můžeme rozeznat, o jak vysokou hodnotu teploty se jedná. V důsledku teploty se totiž mění útlum optického vlákna. [1]

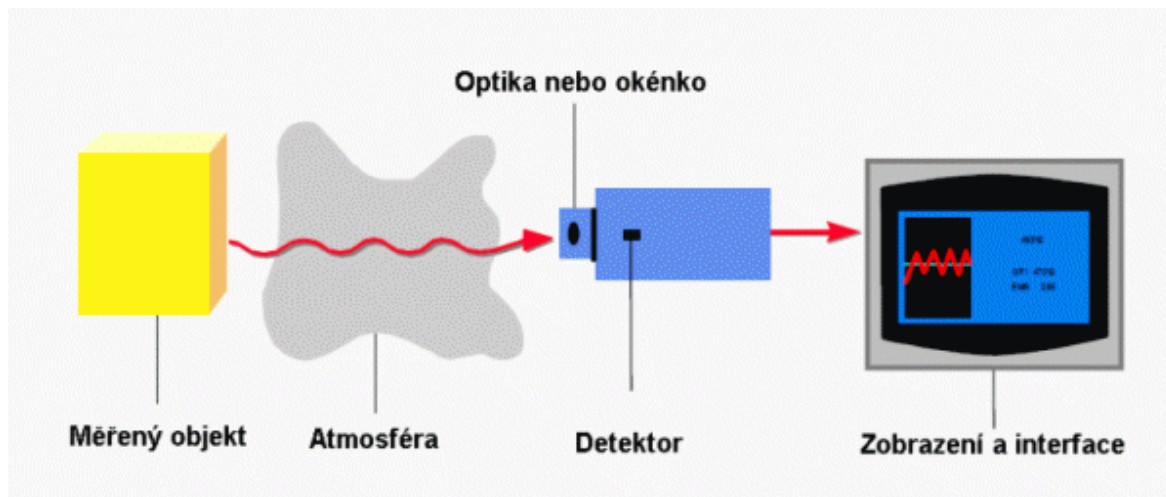
Takto se dají měřit teploty až do $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato metoda se používá v nebezpečných prostorech nebo prostorech, kde vzniká silné elektromagnetické rušení, případně pro měření kapalin. [1]

1.2 Bezkontaktní měření

Obecně bezkontaktní měření funguje na principu vyzařování infračerveného záření na objekt, který chceme měřit. Záření je zpětně zachyceno senzorem a ten se postará o to, aby se ze záření stala elektrická veličina. Následně je signál zpracováván dalšími obvody. Je potřeba si uvědomit, že bezkontaktní senzory zpracovávají pouze teplotu na povrchu tělesa a nejsou schopny měřit vnitřní teplotu, případně teplotu látky, na kterou infračervené záření není schopné reagovat. [3]

Obecně jsou velmi rychlé na měření a velmi bezpečné i pro vysoké teploty. Jejich vliv nemá vliv na měřený objekt. Je možné měřit i pohyblivé objekty. Mají mnohem rychlejší reakci na změnu teploty než kontaktní měřicí senzory. [3]

Nevýhoda je, že je potřeba měřený objekt mít opticky viditelný, jinak není možné teplotu změřit. Zároveň musí být optika senzoru chráněná před nečistotami, jinak mohou vznikat chyby v měření. Lze měřit pouze povrchovou teplotu. [3]



Obrázek 4 - Blokové schéma principu měření bezdotykových senzorů teploty [3]

1.2.1 Termoelektrické senzory záření

Princip je založen na absorpci fotonů, díky nimž se oteplí citlivá část senzoru a vyhodnotí se pohlcení energie. Termoelektrické senzory jsou v zásadě dost podobné jako dotykové senzory, protože také vyhodnocují teplotu přímo na senzoru. Jediný rozdíl je v přenosu tepla, to je přenášeno pomocí infračerveného záření. Využívají se u termovizních systémů a detekcí osob. [3]

1.2.2 Pyroelektrické senzory

Principem je změna spontánní polarizace při změně teploty. Tam, kam dopadne infračervené světlo, vznikne elektrický náboj, který se změří. Maximální teplota na měření se pohybuje do 400 stupňů Celsia. [3]

1.2.3 Kvantové senzory infračerveného záření

Pokud dopadne foton na strukturu senzoru, senzor detekuje sílu infračerveného paprsku a změří napětí. Typicky se používají fotodiody a ostatní detektory reagující na světlo v infračerveném spektru. Díky těmto sensorům je možné měřit vysoké teploty při několika tisících stupních Celsia. [3]



Obrázek 5 - Detektor pracující v infračervené oblasti [3]

1.3 Dostupná čidla

Pro tuto aplikaci bylo vybíráno z několika dostupných čidel z obchodu GME. Dále bylo vybráno několik druhů čidel, která jsou běžně dostupná.

Tabulka 1 - Vybraná teplotní čidla

| Teplotní senzor | Odpor [Ω] | Nejnižší teplota [$^{\circ}\text{C}$] | Nejvyšší teplota [$^{\circ}\text{C}$] |
|-----------------|--------------------|---|---|
| NTC | 100k | -55 | +125 |
| PT100 | 100 | -20 | +450 |
| PTC | 10 | -40 | +125 |
| LM35CZ | - | -40 | +110 |

Jak je vidět z tabulky, tak z běžně dostupných vybraných teplotních čidel vyhovuje pro zadání měření až do 250 stupňů Celsia pouze teplotní čidlo PT100.

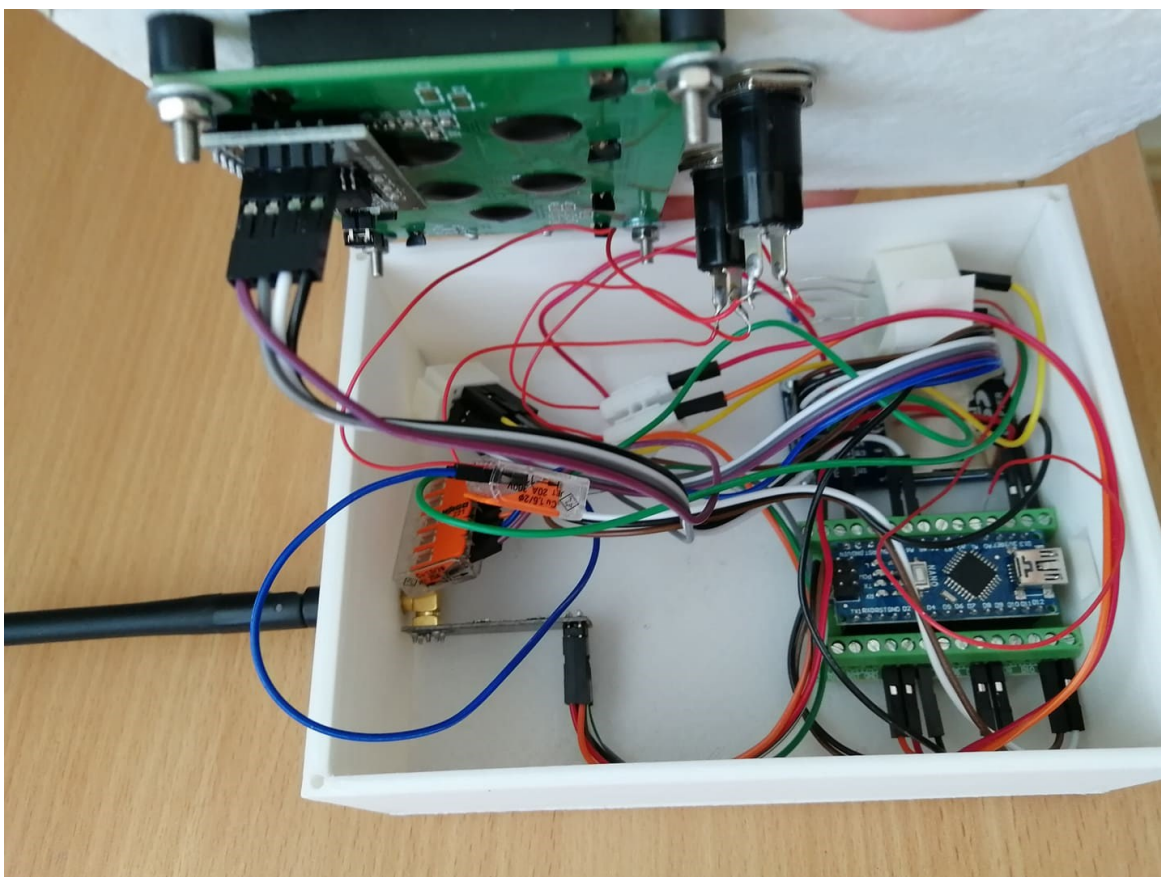
Ostatní teplotní čidla mají problém obecně překročit 170 stupňů Celsia. V této práci byl použit teplotní senzor NTC. Jeho teplotní rozsah je od -55 až do 125 $^{\circ}\text{C}$. Což, neumožňuje měření vyšší teploty, a tudíž by musel být nahrazen právě zmíněným PT100. Bylo by nutné upravit program vysílače.

2 Praktické provedení záznamníku teplot

Kompletní záznamník se skládá z jednoho hlavního zařízení a několika menších vysílačů. Níže na blokovém schématu je popis. Hlavní jednotka má několik režimů. Chceme, aby uměla posílat informace o teplotě na SD kartu případně je zobrazovat na PC. Všechny vysílače posílají v závislosti na zvoleném režimu data do hlavní jednotky. Všechny jednotky mají pro řízení použitý čip Atmega328P.

2.1 Hlavní jednotka

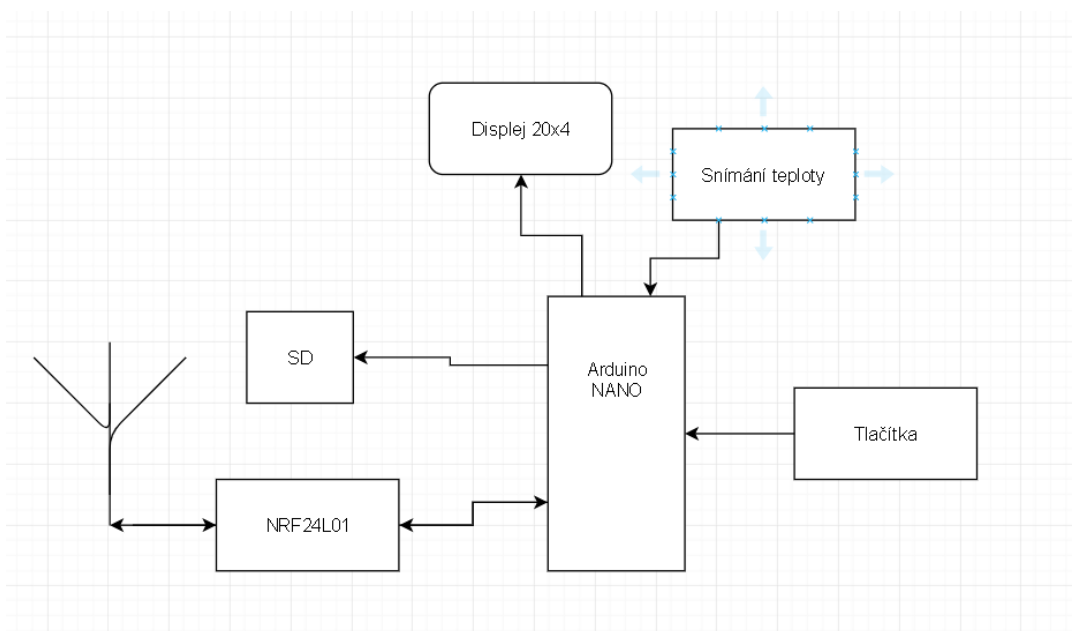
Hlavní jednotka přijímá data o teplotě z vysílacích jednotek a zároveň měří teplotu ve svém místě. Je tvořena podle blokového schématu níže čtečkou SD karet, přijímačem, teplotním senzorem, tlačítky, displejem a mikrokontrolérem Arduino Nano. Samotné Nano se stará o řízení všech úkonů. Hlavní jednotka je napájena 5 V adaptérem, který je připojen na miniUSB port Arduina Nana.



Obrázek 6 - Vnitřek řídicí jednotky

Tabulka 2 - Seznam součástí hlavní jednotky

| Součást | Popis | Počet [ks] |
|--------------|-------------------------|------------|
| Arduino Nano | 5 V - řízení | 1 |
| Nrf24L01 | 3,3V – vysílač/přijímač | 1 |
| SD čtečka | 5 V – ukládání dat | 1 |
| Termistor | 5 V, 100k | 1 |
| Odpor | 5 V, 100k | 1 |
| Displej | 5 V, LCD 20x4 | 1 |
| Tlačítko | 5 V – spínač | 2 |



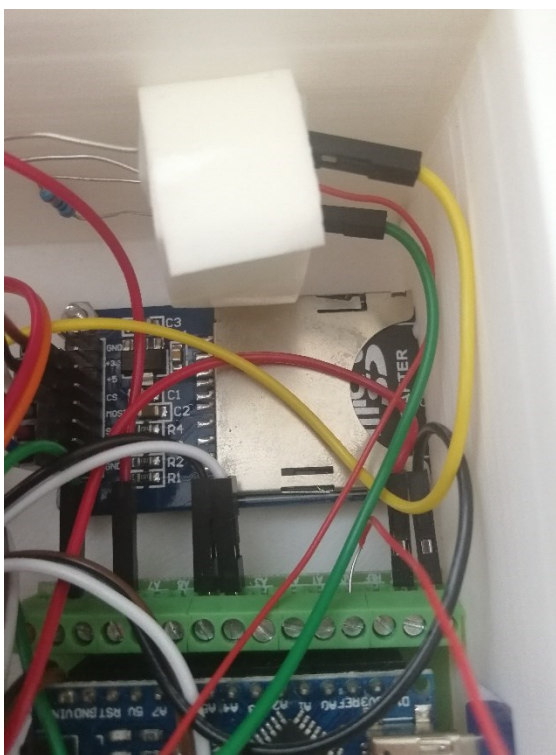
Obrázek 7 - Blokové schéma hlavní jednotky z Diagrameditoru

Pro řízení hlavní jednotky bylo na výběr hned několik možností. Ze všech nakonec došlo na výběr mezi dvěma zařízeními typu Arduino Nano s čipem Atmega328P nebo Raspberry Pi 4. Raspberry má velké výhody ohledně výkonu a s tím související možnost běhu operačního systému a také více možností ohledně internetové konektivity. Dále má k dispozici několikanásobně větší RAM paměť. Nicméně jeho nevýhody v této aplikaci převažovaly. Je lehce složitější na programování a zbytečně větší. Jeho výkon je v tomto případě zbytečný a v důsledku toho je větší napájecí proudový odběr. Navíc Raspberry potřebuje pro program externí datové úložiště v podobě micro SD karty. Naproti tomu čip Atmel328P je příjemnější na programování díky programovacímu jazyku C. Má integrovanou paměť. Je velice skladné a proto je možné zmenšit kryt. Na tuto aplikaci perfektně dostačuje.

2.2 Ukládání dat

Pro ukládání dat byla zvolena SD karta, díky možnosti ji jednoduše vyjmout a připojit k PC. Pro tento projekt byl zvolen modul pro SD kartu na fotografii. Jeho velká výhoda je

jednoduchost na programování, zapojení a nízká cena. Na modulu je 8 zdvojených vývodů. Modul je možné napájet buď 3,3 nebo 5 Volty. Komunikace probíhá přes SPI sběrnici. Na obrázku níže je zobrazena zapojená čtečka SD karet, zapojená již v hlavní jednotce.



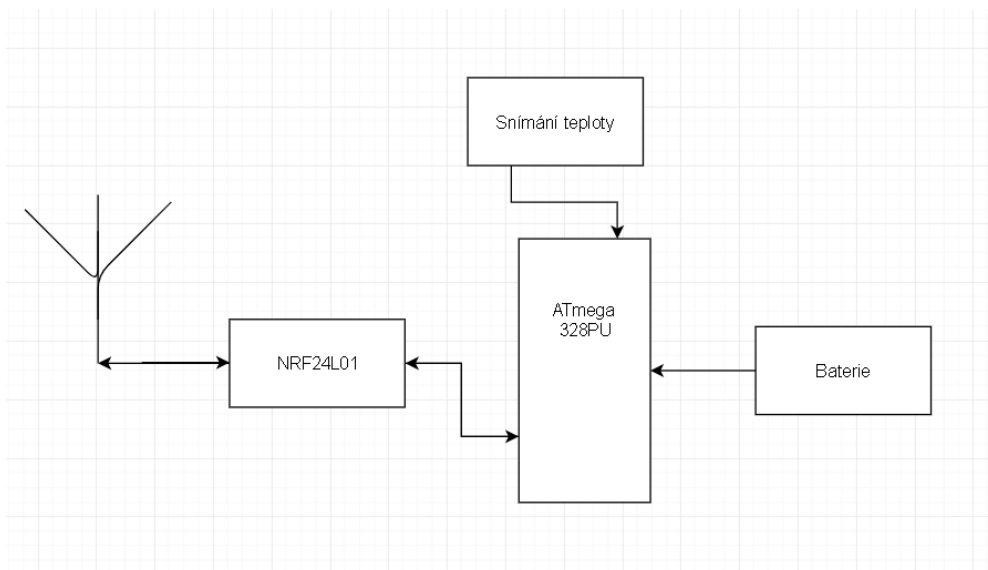
Obrázek 8 - Čtečka SD karet

SD karta je připojena na pinech 4, 10, 11, 12 a 13. Je připojena přes SPI sběrnici. Piny 4 a 10 slouží jako CS a CE. Piny 11, 12 a 13 jsou vyhrazeny pro společnou komunikaci po SPI, na MISO, MOSI, SCK. Samozřejmě poté dále nechybí ani napájení pomocí 5 V a GND přes Arduino Nano.

Pokud je přidán nový vysílač, program defaultně neumí automaticky ukládat hodnoty nových vysílačů. Je tedy potřeba přidat zkopírovat řádek v ukládacím programu, který se stará o zápis a přepsat jeho „ID“ na „ID“ přidaného zařízení.

2.3 Vysílací jednotky-vysílače

Slouží jako zdroje dat pro hlavní řídicí jednotku. Odesílají informace o stavu teploty. Jsou ovládány na dálku přes hlavní řídicí jednotku. Jejich hardware tvoří plošný spoj, na kterém jsou všechny součástky. Vysílání probíhá přes NRF24L01 připojené k ATmega328P pomocí SPI sběrnice.



Obrázek 9 - blokové schéma vysílače z Diagrameditoru

2.4 Tištěný spoj

Pro vysílací jednotky byl navržen tištěný spoj. Plošný spoj byl zvolen, protože bylo nutné vyndat čip, kvůli snížení proudového odběru a celkové velikosti zařízení.

Návrh probíhal v návrhovém programu EAGLE. Jedná se o velice přehledný a účinný nástroj na návrh plošných spojů. Nejprve je nutné nakreslit schéma do první části „schematic“ a následně program vygeneruje soubor „board“. V souboru board je už řešen výsledný návrh na desce plošných spojů. Nejprve se součástky rozmístí podle požadavků na místa na desce. Následně existují dvě hlavní cesty, jak dokreslit schéma. První možností je ručně všechny součástky propojit vodivými cestami. Druhá možnost je použít funkci „Autoroute“. Tato funkce vytvoří automaticky cesty mezi součástkami podle předem stanovených kritérií. Nicméně je dobré si následně všechny cesty překontrolovat. Na tento plošný spoj byla použita první možnost, tedy ruční propojení součástek.

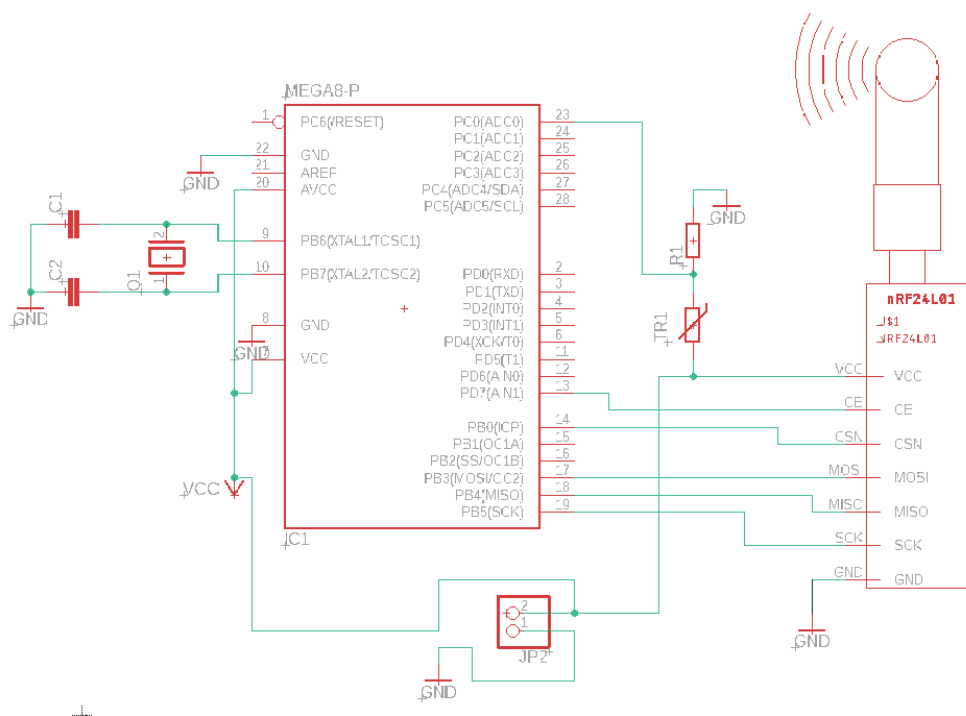
Na plošný spoj bylo vyvedeno celkem 7 součástek. Seznam je zapsán níže v tabulce.

Tabulka 3 - Seznam součástek na plošném spoji

| Součástka | Hodnota | Počet kusů |
|---------------|---------|------------|
| ATmega328p | - | 1 |
| Kondenzátor | 22 pF | 2 |
| Termistor-NTC | 100 kΩ | 1 |
| Rezistor | 100 kΩ | 1 |
| NRF24L01 | - | 1 |
| Krystal | 16 MHz | 1 |
| Sokl-patice | 28 pinů | 1 |

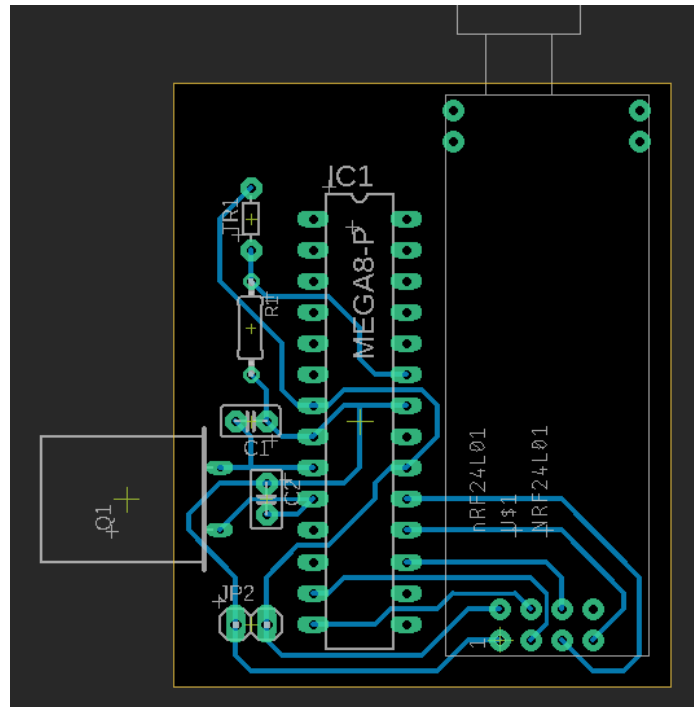
Schéma bylo navrženo tak, aby bylo co nejjednodušší a nejmenší. Krystal Q1 zapojený na piny 9 a 10 udává pracovní kmitočet mikrokontroléru na 16 MHz, k zemi je připojený přes

kondenzátory C1, C2 o velikosti 22 pF. Z vývodu 23 získáváme děličem napětí informaci o velikosti napětí mezi rezistorem R1 a Termistorem TR1. NRF24L01 je propojeno přes SPI sběrnici. Pro napájení 3,3 V slouží vyvedené piny JP2.

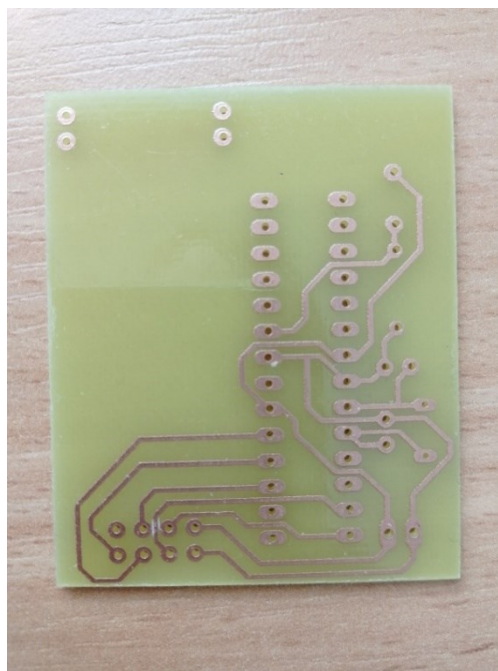


Obrázek 10 - Schéma vysílače

Na schématu „board“ je uvedeno již finální zapojení, jak bude vypadat v praxi na plošném spoji. Deska plošných spojů vychází velikostí okolo 50 mm na 41 mm. Samotná ATmega328p není zapájena do plošného spoje z důvodu možnosti upgradu softwaru. Je zasazena do 28 pinového soklu, který zapájen je.



Obrázek 11 - schéma "board"



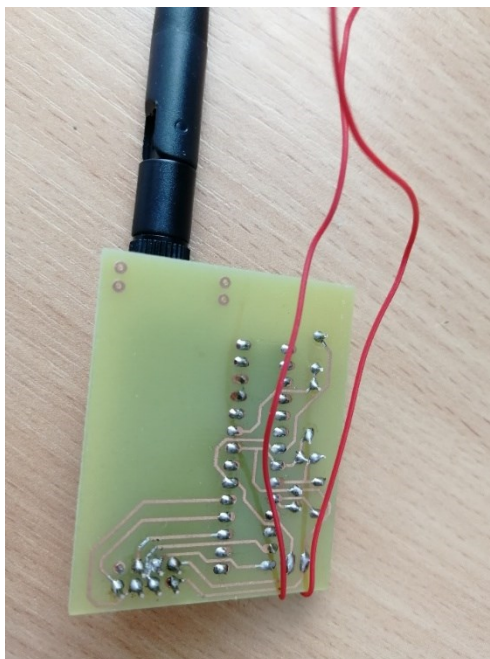
Obrázek 12 - Samotný vyrobený plošný spoj bez součástek

Deska plošného spoje je jednovrstvá a jednostranná. Nebyly prováděny ani prokovy děr. Po vyleptání byla udělána pouze povrchová úprava pájitelným lakem.



Obrázek 13 - Napájený tištěný spoj na straně součástek

Nejvíce místa bohužel zabírá samotná anténa. V tomto praktickém použití by anténa pravděpodobně nemusela být použita, vzhledem k tomu na jaké vzdálenosti se vysílače využívají. Ale kvůli jejímu použití v zařízení bohužel zabírají mnohem více místa.



Obrázek 14 - Napájený tištěný spoj ze strany spojů

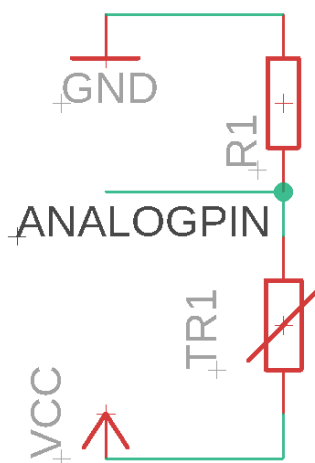
2.5 Napájení

Jak bylo napsáno výše, napájení hlavní jednotky probíhá přes Mini USB vestavěný port přímo na desce Arduino Nano. Je to velmi výhodné, protože není potřeba vytvářet v krytu zařízení další otvor.

Napájení vysílacích modulů je zajištěno přes baterie. Pro napájení z baterie je výhodnější napájet nižším napětím, které vychází z Ohmova zákona. Pokud se sníží napětí, zákonitě klesne proud tekoucím obvodem. Díky tomu bylo zvoleno napájecí napětí na 3 Volty. Baterie měla původně kapacitu 240 mAh, což neumožňovalo delší provoz zařízení. Jednalo se o baterii CR2032, která se ukázala jako nevhodná. Proto se v další verzi použila nová baterie s vyšším napájecím napětím a vyšší kapacitou. Novější baterie je popsána v kapitole verze 2.0.

2.6 Snímání teploty

Pro snímání teploty byl použit NTC termistor 100 k Ω . K termistoru je zařazený odpor 100 k Ω . Vývod mezi odporem a termistorem je zapojen na analogový vstup mikroprocesoru. Snímání teplot probíhá na všech vysílacích zařízeních a i na hlavní řídicí jednotce.



Obrázek 15 - Schéma zapojení teplotního čidla

Na řádcích níže je uvedený výpočet teplotního čidla, tak jak probíhá přímo v programu.

```
Vo = analogRead(ThermistorPin);
```

```
R2 = R1 * (1023.0 / (float)Vo - 1.0);
```

```
logR2 = log(R2);
```

```
T = (1.0 / (c1 + c2*logR2 + c3*logR2*logR2*logR2));
```

```
Tc = T - 273.15;
```

```
Tf = (Tc * 9.0) / 5.0 + 32.0;
```

V uvedeném kódu výše je výpočet pro teplotní čidlo. [4]

Snímání probíhá pomocí funkce „analogRead“. Ta má na starost zjišťování úrovně napěťového signálu na analogovém pinu. Signál jde do analogového pinu právě přes odporový dělič. S měnícím se odporem na termistoru „TR1“ se mění i napětí mezi odpory a napětí je právě přepočítáváno do logických úrovní, kterých je celkem 1024. Pomocí uvedeného vzorce na obrázku výše je vidět kompletní přepočet na hodnotu „Tc“ to je hodnota ve stupních Celsia. Vzorec pro proměnou „Tf“ slouží k získání hodnoty ve stupních Fahrenheita. Program je tedy jednoduchou změnou možné nakonfigurovat na obě možnosti teplotní stupnice. Nicméně defaultně je program nastaven na stupně Celsia.

Přesnost měření je dána několika faktory. Hlavním faktorem je tolerance odporu součástek „R1“ a „TR1“. Další přesnost součástek je nelinearitou odporových charakteristik. Nelinearita je pravděpodobně dána nepravidelnými teplotními změnami odporu. Čidlo snímá teplotu přibližně od -55 °C do 125 °C, jak je uvedeno v tabulce 1.

Podle dosavadních měření vychází teplota přibližně o stupeň vyšší na všech jednotkách, než je ve skutečnosti. Velký vliv na tuto nepřesnost pravděpodobně hraje odpor R1, který podle multimetru není veliký 100 kΩ a jen zdánlivě se této hodnotě blíží. Jeho hodnota je tudíž nepřesná a vychází přibližně podle multimetru na 75,6. Přitom jeho tolerance by se měla pohybovat podle informace u výrobce do 1 %. Je možné, že při nákupu se výrobce zmylil a byly obdrženy špatné odpory. Další zkoumání, z jakého důvodu se to děje, neproběhlo.

2.7 Komunikace záznamníku

Volba, jakým způsobem bezdrátově komunikovat mezi jednotlivými zařízeními záležela na mnoha faktorech. Vybírání bylo zjednodušeno mezi tři možnosti. Buď komunikovat na frekvenci 433 MHz, nebo na 2,4 GHz. Výhody 433 MHz přenosu nahrávaly v oblasti ceny, jednoduchosti a obsazuje velmi málo pinů, konkrétně tři. Další velká výhoda je rozměr modulu pro 433 MHz. Pro přenos po 2,4 GHz byly dvě možnosti. První možností byl bezdrátový přenos přes Bluetooth. Nicméně má velmi malý dosah v řádu metrů maximálně kolem 20 až 30 metrů. Další nevýhoda je, že by bylo pravděpodobně obtížné realizovat

vícemodulovou komunikaci. Druhou možností bylo použít NRF24L01 a ta se ukázala jako nejlepší. Na internetu existuje řada návodů, jakým způsobem se dá komunikovat s tímto modulem. Má velmi dobrý dosah a příjemnou proudovou spotřebu.

Hlavní jednotka tedy komunikuje s vysílacími jednotkami přes NRF24L01.

Zařízení pracuje na napájecím napětí 3,3 Voltů. Frekvence, kterou probíhá přenos je 2,4 GHz. NRF24L01 je bohužel velice citlivé zařízení a je snadné ho rušit. Jeho velkou výhodou je nízký proudový odběr. Vstupy se ovládají pomocí 5 Voltů. Komunikace NRF24L01 s Arduinem a ATmegami probíhá stejně jako SD modul přes SPI sběrnici. Je proto nutné vhodně zvolit, kdy vysílat a kdy ukládat data. Dále je nutné použít jiné piny pro CE a CS než jsou použité u SD modulu. [5]

NRF má 4 režimy velikosti vysílaného výkonu. První dva MIN a LOW je možné provozovat na napájení z ATmegy vzhledem k nízkému proudovému odběru. Režimy HIGH a MAX je potřeba napájet z externího zdroje 3,3 Voltů, mají vyšší proudový odběr kolem 11,5 mA, nicméně v ideálních podmínkách mohou dosahovat přenos až stovky metrů. V praxi by se muselo jednat pravděpodobně o plochý terén bez porostů (stromy, keře) a za ideálního počasí. V tomto zařízení bylo dostatečně použítí nejnižšího vysílacího výkonu v režimu MIN. [5]



Obrázek 16 - NRF24L01 [6]

Na obrázku výše je zobrazený vysílač NRF24L01 ve verzi PA LNA, který obsahuje anténu pro lepší příjem.

2.8 Síť vysílačů

Síťový systém, který je navržen v této práci, je inspirován sítí Token ring. Token ring vznikl v 80. letech 20. století. Vymyslela ho firma IBM. Princip je založený na předávání vysílacího práva mezi adaptéry zapojenými do kruhu. Zařízení si předávají tzv. Token. Síť byla robustní, nicméně proti prodeji Ethernetové sítě nestačila a byla vytlačena. [7]

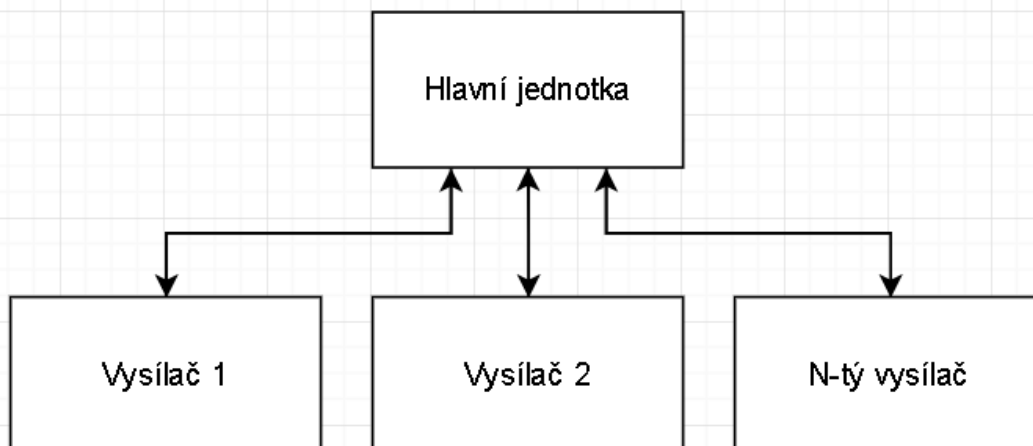
System použitý v této práci má společnou s Token ringem pouze myšlenku předávání Tokenu. Hlavní jednotka odesílá v cyklu za sebou podle počtu zařízení číselnou informaci tzv. ID každého zařízení. Všechny vysílače tedy fungují částečně i jako přijímače. Od hlavní jednotky čtou odeslanou informaci v podobě ID každého vysílače. Až přijde ID právě toho konkrétního vysílače, které mu patří, vyhodnotí, že má odeslat informaci o teplotě, kterou snímá. Tímto stylem všechny vysílače v síti postupně obdrží svoje ID a na základě toho všichni odešlou informaci o teplotě. Hlavní jednotka data postupně sebere a uloží. Požadavky na obdržení informace o teplotě z ostatních jednotek uživatel vytváří sám pomocí tlačítek na hlavní jednotce a to je popsáno v následující kapitole.

Do sítě je čistě teoreticky možné přidat s nadsázkou nekonečně zařízení. Nicméně je potřeba mít určitý časový prostor na obou stranách přenosu, jak na straně vysílače, tak na straně přijímače. System tedy je možné rozšířit například 16ti vysílači o teplotě. Je, ale nutné upravit program, aby bylo zapsáno dostatečný počet ID zařízení v síti a byla splněna časová synchronizace.

Pokud chceme vytvořit program pro nový vysílač, stačí pouze přepsat v programu pro vysílač ID vysílače na nové číslo. Tedy pokud máme dva vysílače do programu, zapíšeme do struktury do „ID“ číslo 3. Program je napsaný tak, že poté už stačí upravit program pouze v hlavní jednotce a vysílač je funkční.

Aktuálně je hlavní jednotka programově nastavena na přijímání dat od dvou vysílačů, nicméně není problém přidat více. Pro přidání více zařízení by stačilo v programu přepsat a upravit pár hodnot. Pokud bychom chtěli přidávat třetí vysílač, aby komunikoval s hlavní jednotkou, jak je uvedeno v odstavci výše, je potřeba přepsat v hlavním programu proměnou s názvem „pocetsenzoru“ na počet celkových vysílačů. Tím máme zajištěné, že hlavní jednotka bude odesílat i novému třetímu vysílači informaci, kdy má vysílat.

Časový rámec od odeslání požadavku hlavní jednotky do obdržení teplotní informace je pro jeden samostatný vysílač přibližně do 70 milisekund. Hlavní jednotka vyše požadavek na vysílání, a to vychází dohadem i se zpožděním nastaveném v kódu do 35 milisekund. Po obdržení informace vysílačem, vysílač odešle i se zpožděním v kódu informaci zpět okolo 35 milisekund. Pokud by se tedy zvyšoval počet zařízení třeba na tři, tak by podle vzorce 3×70 vyšel časový rámec pro obdržení teploty od všech vysílačů na přibližně 210 milisekund. Za předpokladu, že by bylo potřeba mít například 20 vysílačů, tak by nebylo možné zobrazovat a ukládat informace o teplotě v menším časovém úseku jak 1,5 sekundy, protože by jednoduše hlavní jednotka neměla informace sesbírané od všech vysílačů.



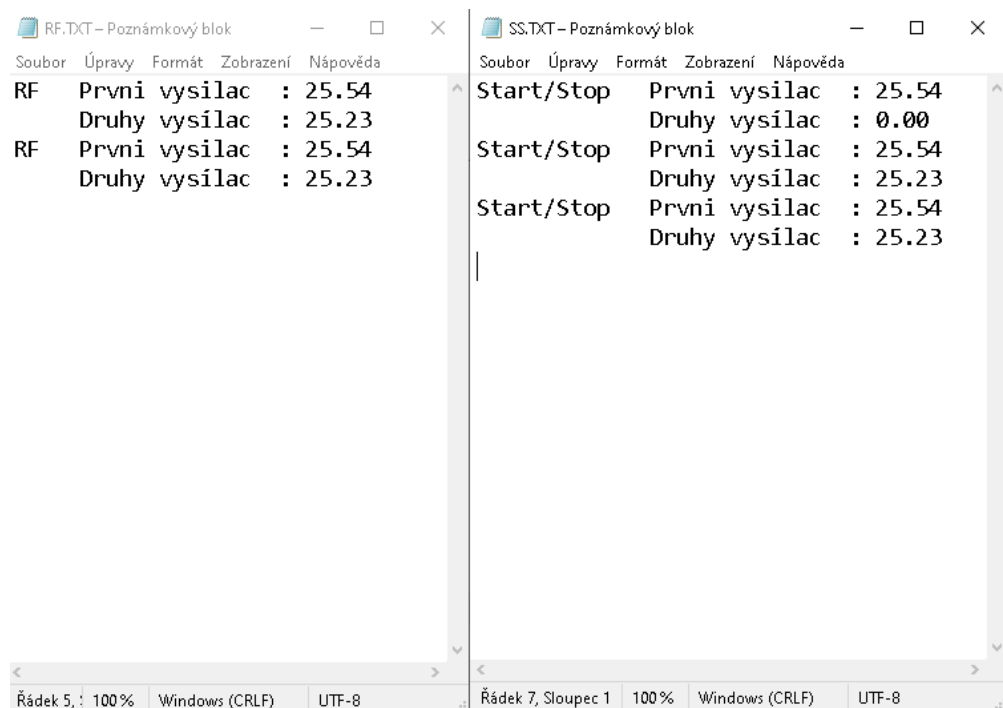
Obrázek 17 - Síť vysílačů

2.9 Ovládání záznamníku

Ovládání záznamníku probíhá přes tři tlačítka na čelní straně zařízení. Tlačítka jsou připojená na datové piny 2, 3 a 5.

2.9.1 Režimy záznamu

Na horní levé straně vedle antény je umístěné tlačítko nazvané Test. Pokud se stiskne, tak záznamník přepne do módu vypisování hodnot na displej. Hodnoty slouží pouze k zobrazování, neukládají se na SD kartu. Pokud se tlačítko stiskne znovu, mód testu se vypne a obrazovka se vrátí na původní stranu. Levé tlačítko na přední straně slouží k zapnutí START/STOP režimu. Prvním stiskem tlačítka se zapne sběr teplotních dat. Druhým stiskem tlačítka se sběr dat vypne. Vše se automaticky ukládá do textového programu na SD kartu. Pravé tlačítko na přední straně je pro režim RF. Tento režim po stisku tlačítka vezme jednorázově hodnoty ze všech zařízení a uloží je na SD kartu. SD karta se dá ze záznamníku vyjmout a zobrazit v počítači. Pokud jí zobrazíme na počítači nachází se ve složce dva soubory. Nesou názvy po názvech režimů, tedy START/STOP A RF. Soubory jsou ve formátu SS.txt a RF.txt.



Obrázek 18 - Uložené informace na SD kartě

Na screenshotu výše jsou vyobrazeny oba otevřené textové soubory. Levý slouží pro RF režim, který má uložené dvě informace o teplotě z obou zařízení, tomu odpovídá dvakrát stisk tlačítka. Pravý textový soubor odpovídá SS režimu, který uložil tři informace o teplotě za sebou. U prvního data druhého vysílače je nula, z toho důvodu, že nestihl vysílač odeslat data o teplotě před uložením na SD kartu. Další data jsou už v pořádku. Protože se již vysílač načel a stihl je odeslat.



Obrázek 19 - Tlačítka pro režimy na hlavní jednotce

2.10 Zobrazování informací na záznamníku

Na prvním řádku je napsaný název zařízení a vpravo od něj je uvedena teplota, kterou snímá hlavní jednotka. Ikona teploměru byla vytvořena pomocí pole o velikosti 8 typu byte.

```
byte teplomer[8] =
```

```
{  
    B00100,  
    B01010,  
    B01010,  
    B01010,  
    B01010,  
    B10001,  
    B10001,  
    B01110,  
};
```

Vypsát znak do pole je podstatné, protože tento znak automaticky tento typ displeje neumí vypsát. Podstata spočívá v tom, že všude kde je zapsána 1 se rozsvítí pixel a všude, kde je zapsána 0 se pixel zhasne. Celý jeden znak tedy podle kódu výše obsahuje celkem 40 pixelů, které je možné ručně nastavit v případě, že potřebujeme speciální znak. Ostatní znaky je možné vypsát bez problémů, kromě háčeků a čárek. Dále na displeji je uveden výběr z níže uvedených dvou režimů. Pokud bude režim stisknutý, namísto režimu se vypíše stisknuto.

Na zobrazování dat a informací se používá řada displejů pro mikrokontroléry. Základní dělení je podle typu displeje nebo podle toho co zobrazují. Podle typu displeje se dělí na LCD, LED, E-Ink a OLED. LED displeje jsou tvořeny ze spousty LED diod, které se různě v různý čas rozsvěcují a tím vytvářejí obraz. OLED displeje nevyžadují žádné podsvícení, každý pixel se rozsvěcuje sám v určitý moment. E-Ink mají velkou výhodu ve spotřebě, protože vůbec nesvítí, ale pouze odrážejí světlo. Tudíž potřebují elektrickou energii pouze pro změnu stavu pixelu. Technologie LCD je tvořena, jak vypovídá ze zkratky, z tekutých krystalů, které po přivedení napětí vytváří obrazce. LCD displeje se dále dělí na aktivní a pasivní. Pro tuto aplikaci byl použit LCD pasivní displej. [8]

Použitý LCD displej umí zobrazovat znaky 20x4. Komunikuje přes I2C sběrnici, která je připojena přes analogové piny ATmegy328P. I2C je velmi výhodná, protože díky ní není

potřeba využívat digitální piny, tím pádem je možné ušetřit spoustu pinů pro jiné aplikace. Pro napájení displeje je použito 5 Voltů Nana.

LCD je napájené pěti Volty z Arduina Nana. Komunikační vodiče jsou spojeny na dva analogové piny A4 a A5. Na těchto pinech se nacházejí právě I2C komunikační piny SDA a SCL.



Obrázek 20 - zobrazení stavu na displeji

2.11 Program

Programování probíhá v jazyce C-wiring. Jedná se o jednodušší verzi klasického jazyka C navrženou pro programování mikrokontrolérů.

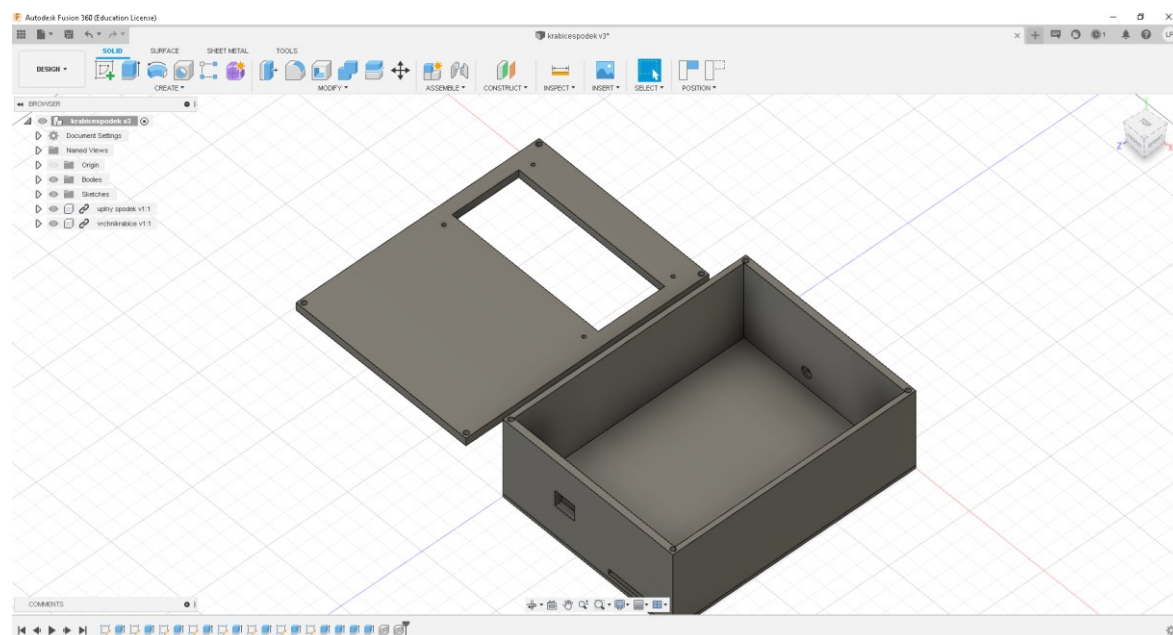
Vysílače a přijímač mají dosti podobný program. Pro snímání teploty je program identický. Na straně vysílače se program stará pouze o zjišťování teploty, čekání na vysílací signál z hlavní jednotky (přijímače) a o odeslání teploty do hlavní jednotky. Na straně přijímače se program stará o snímání teploty, vysílání a přijímání dat, zobrazování informací na displeji, ovládání režimů přes tlačítka a ukládání dat do SD karty, případně sledování dat po sériové lince pro verzi zařízení 2.0.

2.12 Mechanická část konstrukce

Pro všechna zařízení byly navrženy krabičky v programu Fusion360. Následně se vyexportovaly do Cura Slicer. Poté z Cury se vytvořil speciální soubor a na domácí 3D tiskárně vytiskly.

Program Fusion360 slouží k návrhu 3D objektů. Jedná se o menšího bratra programu Autocad Inventor. Tyto programy vytvořila firma Autodesk. Pro studenty je s licencí zdarma. A je možné v něm navrhovat i relativně složité komponenty. Vytvářet objekty můžeme tak, že potom co se vybere xyz pocha je možné nakreslit 2D schéma, které můžeme následně pomocí příkazu extrude vytáhnout a následně se postup opakuje.

Program Cura Slicer je určený k finálnímu nastavení objektu pro 3D tiskárnu. Jsou v něm stovky možností k nastavení od nastavení velikosti objektu, umístění na tiskové ploše, natočení objektu po nastavení rychlosti extruderu, teploty tavení plastu, rychlosti ventilátorů, rychlosti krokových motorů a doby tisku.



Obrázek 21 - Návrh hlavní krabičky v programu Fusion360

Hlavní jednotka je větší, než by byla nutná, nicméně vzhledem k rozmístění součástek je dostatečná. Je vytvořena na tři části, aby byl snadný přístup v případě potřeby změny součástek, na vrchní, spodní a krajní část. Všechny části jsou k sobě sešroubovány pomocí křížových šroubů. Samotný tisk na 3D tiskárně trval dohromady okolo 10 hodin.

Kryt pro všechna zařízení byl vytisknutý z materiálu PLA. Jedná se o nejčastěji používaný materiál pro 3D tisk. Pro tisk na 3D tiskárnách se používají nejčastěji materiály PLA, ABS, PET/PETG, Nylon a ASA. Materiál ABS je velmi pevný a má dobrou tepelnou odolnost. Používá se venku i uvnitř prostorů. Pro tuto aplikaci je nevhodný, protože jeho tisknutí je zbytečně náročné a zdlouhavé na výtisk. Materiál PET je jednodušší na výtisk a také odolnější než PLA a zároveň je asi nejvíce univerzální. Nicméně vzhledem k použité 3D

tiskárně z které byly tyto kryty tisknuty, je nevhodný, protože by se musela měnit tisková struna a tiskárna by se musela mírně pozměnit k vlastnostem materiálu při tisku. Materiál PLA je tedy nejvhodnější pro tuto aplikaci. Je schopen se tavit už při 175 stupních Celsia. Jeho tvrdost je dostačující. Malá nevýhoda materiálu spočívá v tom, že je trochu křehký. [9]



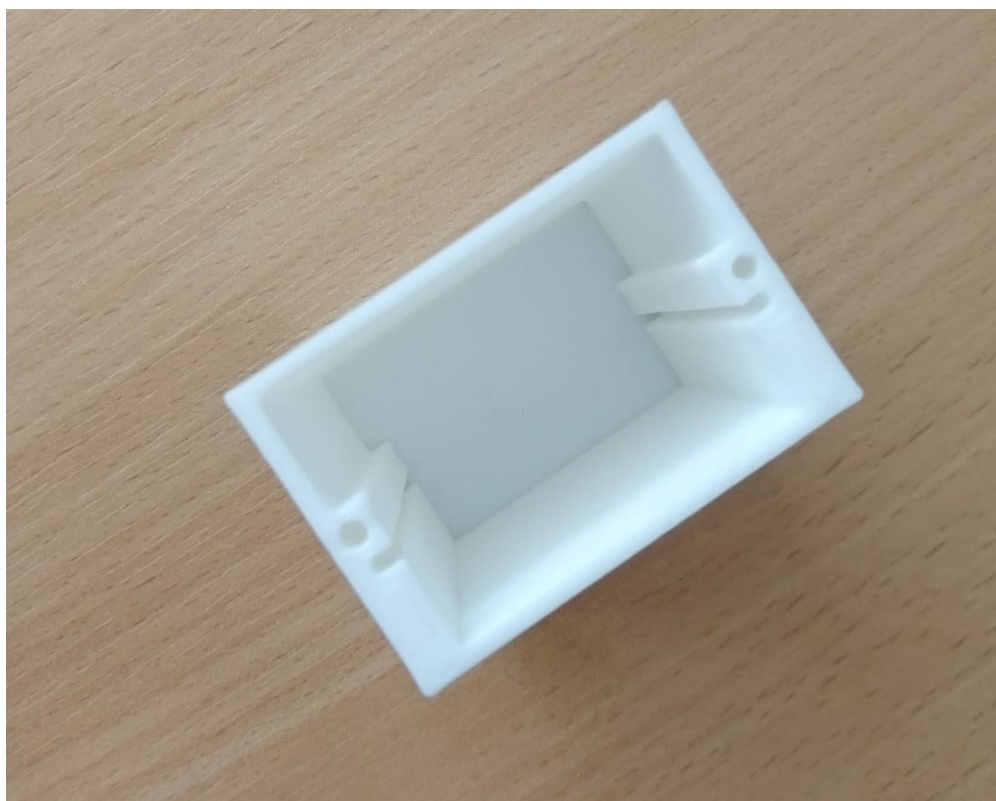
Obrázek 22 - 3D tiskárna na které byly tištěné kryty

Na obrázku výše je uvedená použitá tiskárna. Jedná se o přestavenou původní tiskárnu Anet A8, která byla upravená pro lepší tiskové vlastnosti. Tiskárna je schopna tisknout s rozumnou kvalitou místo původních 50 mm/s přibližně až 120 mm/s. Slouží převážně pro tisk PLA materiálu. Je uložena v podomácku vyrobeném ochranném boxu, který redukuje její hluk a vibrace.



Obrázek 23 - Kompletní kryt vysílací jednotky

Vysílací jednotka má kryt složený ze dvou částí. Vrchní kryt a celkový obal. Tištěný spoj s vysílačem se zasune do drážek na obou stranách a následně je možné přiklopit vršek krytu a přišroubovat do obou děr na krajích. Tisk jednoho krytu pro vysílač trval přibližně 2 hodiny.



Obrázek 24 - Kryt vysílače zevnitř

Tabulka 4 - Seznam mechanických dílů

| Součástka | Rozměr (V*Š*D) [mm] | Počet kusů |
|-------------------------------------|---------------------|------------|
| Velká hlavní krabíčka | 49*113*150 | 1 |
| Spodní kryt hlavní krabíčky | 3*113*150 | 1 |
| Vrchní kryt hlavní krabíčky | 3*113*150 | 1 |
| Malá krabíčka | 55*33*49 | 2 |
| Vršek malé krabíčky | 3*33*49 | 2 |
| Závitový šroub s křížovou hlavičkou | M2x12 | 20 |

Po prvním funkčním přijímači byla vytvořena druhá vylepšená verze. Verze řešila drobné nedostatky té předchozí a celkově vytvořila příjemnější dojem z celkové práce.

2.12.1 Zapínání vysílače

V nové verzi bylo přidáno ovládání vypínání vysílačů. Byl přidán kolébkový vypínač ON-OFF. Díky vypínači je možné ušetřit více energie z baterie. A je tedy možné zařízení okamžitě po používání vypnout. Tlačítko bylo umístěno z boku vysílače.

2.12.2 Větší kapacita baterie

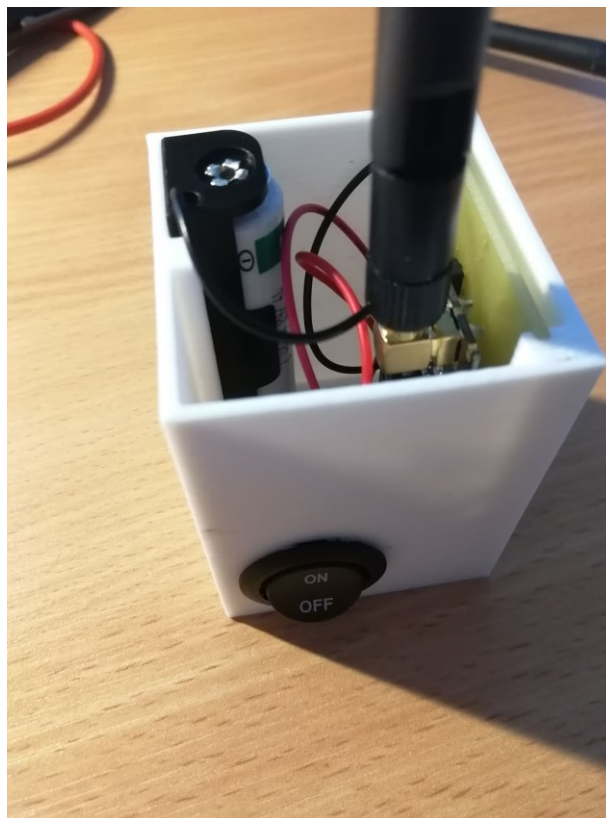
Kapacita byla zvýšena z původních 240 mAh na přibližně 2450 mAh. Samozřejmě se změnila její velikost, pouze ale na velikost běžné tužkové baterie. Její napětí je 3,6 Voltů. Jedná se o napěťový článek vyrobený z Lithia. Vysílač bude mít tedy mírně vyšší proudovou spotřebu než při napájení z předchozí baterie, i přesto vydrží násobně déle. Baterie není nabíjecí, takže je nutné ji po vybití vyměnit.



Obrázek 25 - Baterie 3,6 Voltů

2.12.3 Nový kryt pro vysílač

V důsledku změny baterie a přidání vypínacího tlačítka, bylo potřeba celkový kryt mírně zvětšit. Vnitřní organizace byla lehce posunuta a samotný plošný spoj s vysílačem byl umístěn co nejbližší kraji. Návrh počítá s dvěma verzemi baterií, buď pro aktuálně použitou jednu baterii, nebo pro dvě běžné tužkové AA baterie, které vcelku dávají napětí kolem 3,2 Voltů. Stále zbývá uvnitř krytu dost místa na připojení například indikační LED diody nebo jiné drobné prvky.



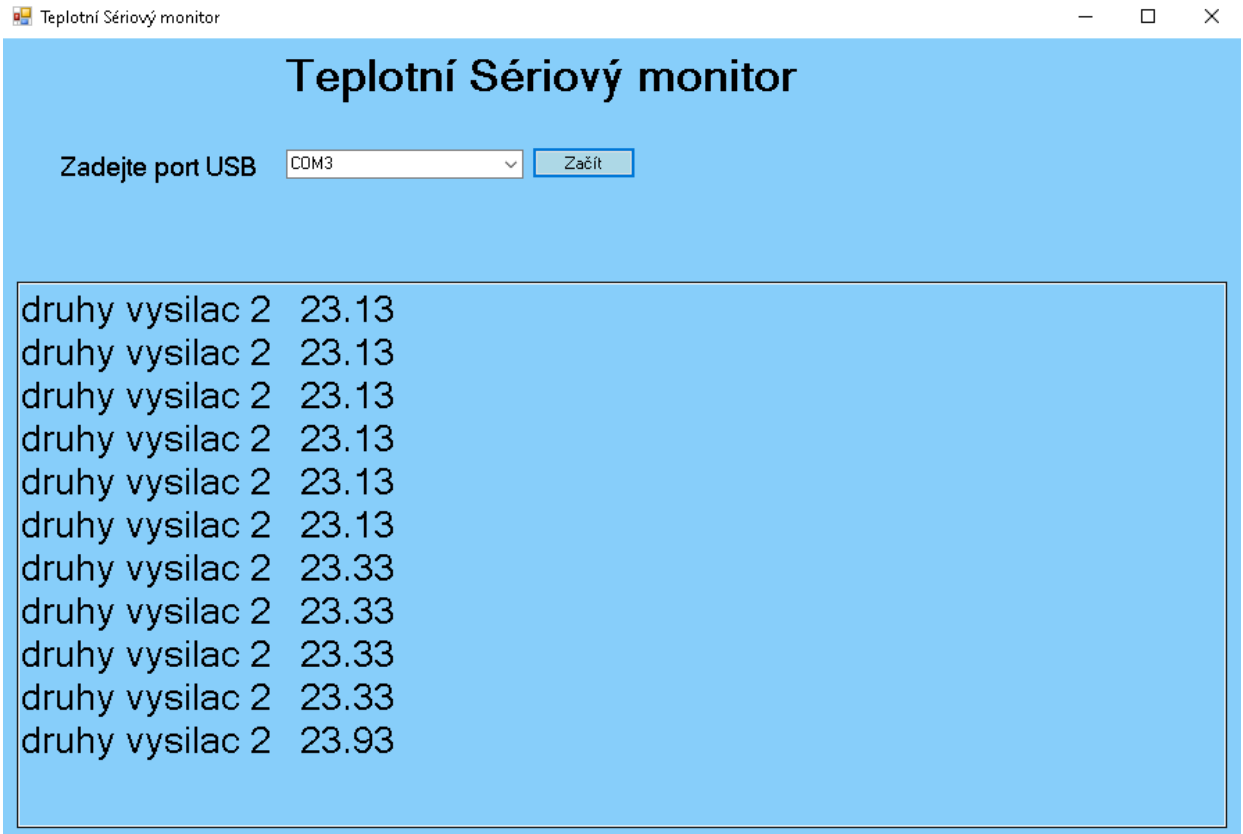
Obrázek 26 - Nová vysílací jednotka

Celkově se vysílací kryt zvětšil přibližně o 1,5 cm délky na jedné straně. Nyní se vzhled blíží více krychli než obdélníku.

2.12.4 Sériový monitor Teplotního data loggeru

Pro aktuální sledování stavu teplot byl navržen program, který sleduje teplotu z vysílačů v reálném čase. Program je naprogramovaný v programovacím jazyce C sharp. Hlavní jednotka se připojí k počítači pomocí USB. Po připojení je potřeba zapnout program a v programu se vybere, jaký sériový port je použit a následně se potvrdí volba. Po potvrzení je vypsána hláška buď připojeno nebo odpojeno. To záleží, jestli je zařízení připojené na správném portu. Pokud vypíše připojeno, je možné standardně používat zařízení a všechno sledovat na počítači.

Program má jednoduché grafické prostředí vytvořené v programu Visual Studio C Sharp Forms. Při programování si uživatel vytváří různé funkční bloky a následně jím naprogramuje jejich funkci. Po naprogramování byl vytvořen spustitelný exe soubor, který operačním systémem Windows funguje jako program. Program zabírá kolem dvou MegaBytů. Před spuštěním je potřeba ho nainstalovat.



Obrázek 27 - Teplotní Sériový monitor program

2.12.5 Nové uspořádání zobrazení informací na displeji hlavní jednotky

Pro lepší čitelnost bylo opraveno zobrazování informací na displeji. Nově jsou oba dva režimy S/S a RF zobrazeny přímo nad tlačítka. Zobrazení teploty na hlavní jednotce je uprostřed na druhém řádku. Testovací tlačítko má přehlednější vypisování na displej.



Obrázek 28 - Hlavní stránka na displeji



Obrázek 29 - Stránka zobrazená po stisknutí testovacího tlačítka

Na obrázku výše je zobrazená stránka po stisknutí testovacího tlačítka, při komunikaci zrovna pouze s jedním vysílačem. Proto je vypsán všude vysílač 1. Pokud je připojených více vysílačů je zobrazuje se právě číslo dané vysílací jednotky. Stránka se automaticky aktualizuje s příchodem nové informace o teplotě.

2.13 Možná zlepšení

Dosavadní komunikace na principu Token Ringu by se dala nahradit komunikací jinou. Například by zařízení vyslalo všem vysílacím jednotkám informaci o tom, že mají vysílat všichni najednou. Následně by každý vysílač na tuto informaci odpověděl s rozdílným zpožděním a hlavní jednotka by podle zpoždění byla schopná určit od jakého vysílače obdržela informaci o teplotě.

Pro nahrazení šroubových spojení by bylo potřeba navrhnout konstrukci, kterou by bylo možné zacvaknout a nebylo by nutné používat šrouby. Výhoda by spočívala v tom, že by bylo snadné rychleji zařízení rozebrat v případě nějakých úprav nebo poruch.

Pro lepší komfort uživatele by bylo možné přidat jiný typ displeje. Displejů je k dispozici celá řada. Pro tuto aplikaci by bylo možné použít například barevný displej na kterém by byly informace lépe rozlišeny a bylo by možné přidat spoustu nových věcí k zobrazení.

Pomocí rozsvícení jednotlivých pixelů na displeji by bylo možné přidat háčky a čárky ke stávajícím písmenům a tím by displej uměl zobrazovat čistě český jazyk.

Na hlavní jednotku je dále možné přidat kompletní dotykový displej. Tím by zmizely z krytu jednotky ovládací tlačítka a bylo by možné vše ovládat pouze přes dotykový displej. Zařízení by bylo možné po každém updatu vylepšit o různé ovládací a nastavovací prvky a nemusela by se přidávat nová tlačítka. Celý kryt by se zjednodušil.

Pokud by byly podmínky drsné a pro elektroniku nevhodné je třeba vytvořit kryt, který by splňoval normy IPxx, které deklarují odolnost zařízení proti prachu a vodě. Poté by bylo pravděpodobně nutné použít již nějaký sériově vyráběný kryt na trhu nebo by bylo nutné

dostatečně upravit již aktuální kryty navržené ve Fusion360 a znovu je vytisknout na 3D tiskárně. Bylo by velmi výhodné použít materiál ABS, protože je celkově mnohem odolnější a také velmi odolný proti. Pokud by se toto řešení provádělo bylo by pravděpodobně nutné nějakým způsobem schovat vysílací anténu dovnitř krytu a u vysílače přidat voděodolné tlačítko. Pro hlavní jednotku by dále bylo nutné vymyslet jiné napájení a sériový USB vstup zadělat. Za tohoto předpokladu je nutné celý slot na SD kartu skrýt uvnitř zařízení a v případě potřeby manipulace s kartou celé zařízení je potřeba rozdělat.

Napájení hlavní jednotky je dále možné realizovat jiným způsobem než přes USB vstup. Šlo by přidat do krytu zařízení nějaký typ napájecího konektoru a používat externí nabíječku ideálně o napájecím napětí 5 Voltů, případně 3,3 Voltů. USB konektor by poté sloužil pouze pro upgrade programu nebo pro sledování informací po sériové lince.

Jako lepší alternativa k ATmega328P se jeví čip ATTINY 85. Čip je přibližně 3krát menší a má pouze 8 vývodů. Z toho vyplývá, že má menší proudovou spotřebu. Zároveň je mnohem skladnější a bylo by možné zmenšit desku plošného spoje a tím i celý vysílač. Jenže není schopen defaultně pracovat s SPI a z toho důvodu je nutné používat speciálně naprogramované knihovny, které se vloží do kódu. Další možností je ATTINY 84.

Do budoucna by bylo lepší zlepšit výdrž baterie. Není pravděpodobně vyloženě nutné provádět zásahy do konstrukce, bohatě by stačilo změnit program. Program je napsaný velmi neúspěšně. Bylo by dobré vyřešit uspávání čipu ATmega. Pro uspávání mikroprocesorů existuje řada příkazů, kterými lze uspávat různé části. ATmega se dá uspávat například pomocí tzv. Watchdogu nebo na různé vnější podněty. Watchdog je takový vnitřní časovač procesoru. Není moc přesný na rozdíl od časových modulů, které jsou k dispozici jako rozšíření ATmegy. Další možností je uspávat samotný bezdrátový vysílač NRF24L01. Vysílač má k dispozici určité příkazy, které by mohly fungovat. Pokud by se zasahovalo do konstrukce zařízení, nabízí se možnost odebrání 16 MHz krystalu z desky plošného spoje, poté by zařízení mohlo běžet na 8MHz krystalu, který je integrován uvnitř mikrokontroléru. Nicméně při dosavadních pokusech z neznámého důvodu po vyjmutí externího krystalu zařízení nepracovalo správně.

Jednou z nejvíce výrazných vizuálních zlepšení, by mohlo být nahrazení desky Arduino NANO deskou plošného spoje. Díky tomuto by odpadlo celé tzv. „vrabčí hnízdo“ v krytu hlavní jednotky a nebylo by nutné zemnicí a napájecí kabely z důvodu většího počtu mít zapojené ve svorkovnicích typu wago. Dále by díky této změně bylo možné zmenšit krabičku vysílače a to až o dvě třetiny její dosavadní velikosti. Vznikl by tím výrazně kompaktnější a přívětivější rozměr a došlo by k úspoře tiskového materiálu (filamentu), z kterého je kryt vyroben.

Tento bod souvisí částečně s předchozím vylepšením. Bez jiných úprav by bylo možné navrhnout menší kryt přibližně o jednu čtvrtinu. Nicméně v době stavby zařízení nebylo možné správně odhadnout potřebnou velikost zařízení, a tak byl navrhnout o kousek větší kryt.

Pro lepší uživatelský komfort lze následně přidělat několik jednoduchých funkcí. První funkcí by mohla být indikace zapnutí bezdrátových vysílacích modulů. V tuto chvíli totiž není po zapojení modulu k napájení vůbec poznat, zda je zařízení skutečně napájeno. Stačilo by na plošný spoj přidělat drobnou LED diodu například o velikosti 3 mm. V programu by se mohlo nastavit buď pravidelné rychlé bliknutí za určitý čas nebo pouze jedno bliknutí po zapnutí zařízení, aby uživatel věděl, že je vše v pořádku.

Pro praktické využití se zdá vhodné přidat časové určení teplot. Stačilo by, pokud by uměla čas jen hlavní jednotka. Bylo by velmi jednoduché a efektivní využít již připravený RTC modul. Na hlavní jednotce by bylo možné čas ukazovat vedle údaje o teplotě. Zároveň by bylo možné ukládat na SD kartu teplotu přímo s informací o čase.

Závěr

Cílem teoretické práce bylo rozebrat metody měření teplot pro $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Byla zde uvedena řada teplotních čidel a jejich porovnání. Nejlépe vyhovuje teplotní čidlo PT100. Jak díky svému teplotnímu rozsahu, tak svou odolností a možnostmi měření v různých podmínkách.

Cílem praktické práce bylo sestavit zařízení, které má více režimů snímání teploty a je schopné pracovat až s 16 ti vysílacími jednotkami. Zařízení má aktuálně celkem režimy 3 a to RF, SS a testovací režim. Spolupráce s 15 ti vysílacími jednotkami byla vytvořena pomocí tzv. Token ringu. Jak bylo napsáno v kapitole síť vysílačů, je možné čistě teoreticky navrhnout spojení až s neomezeno zařízeními. Navíc byl přidán program, který umožňuje při spojení s PC po sérové lince sledovat aktuální průběhy teplot.

System je určen pro průmyslové aplikace, kde je potřeba v určitý čas změřit teplotu. Hlavní využití by bylo možné například u měření kotlů. V případě, že by bylo nutné měřit v určitý čas teplotu na více místech a data shromažďovat třeba pro zjišťování energetických ztrát.

Literatura

- [1] Přehled principů el. měření teploty. *Automatizace.hw* [online]. Praha 4: Vojáček, 2014 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>
- [2] DOC. ING. KMÍNEK, CSC., Miloš. Měření teploty. *Ústav Počítačové a Řídící Techniky* [online]. VŠCHT Praha: Neuvedeno, Neuvedeno [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/predn/txt-Mgr/FTOP08_Teplota.pdf
- [3] VOJÁČEK, Antonín. Přehled principů el. měření teploty. *Automatizace.hw* [online]. Neuvedeno: Neuvedeno, 2014 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/rehled-principu-el-mereni-teploty-2-dil-bezdotykove>
- [4] CAMPBELL, Scott. MAKE AN ARDUINO TEMPERATURE SENSOR. *Circuit Basic* [online]. Neuvedeno: Neuvedeno, Neuvedeno [cit. 2021-04-24]. Dostupné z: <https://www.circuitbasics.com/arduino-thermistor-temperature-sensor-tutorial/>
- [5] NRF24L01. *Single chip 2.4 GHz Transciever* [online]. Nordic Semiconductor [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf
- [6] NRF24L01+PA+LNA 2.4GHz Wireless Transceiver Module. *HAOYU Electronics* [online]. Neuvedeno: Neuvedeno, Neuvedeno [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.hotmcu.com/nrf24l01palna-24ghz-wireless-transceiver-module-1100-meters-p-276.html>
- [7] Token ring. *Tech Target* [online]. Burke, 1997 [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/Token-Ring>
- [8] FRAJDL, Martin. Displeje, jejich typy a použití. *Laskaarduino* [online]. Neuvedeno: Neuvedeno, 2021 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://blog.laskaarduino.cz/displeje-jejich-typy-a-pouziti/>
- [9] Průvodce Materiály. *Prusa Research* [online]. Neuvedeno: Neuvedeno, Neuvedeno [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/materialy/>

Přílohy

Na CD jsou přiložené zdrojové kódy pro Hlavní jednotku, vysílače a Sériový monitor. Soubory se nachází v adresáři Zdrojové kódy.