

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**



**Výuková sensorová sada zaměřená na principy IR záření**  
**Education sensor set focused on IR radiation principles**

**2018**

**Vojtěch Petřík**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Vojtěch Petřík**  
Studijní program: **B2649 Elektrotechnika**  
Studijní obor: **2612R041 Řídicí a informační systémy**  
Téma: **Výuková sensorová sada zaměřená na principy IR záření**  
**Education Sensor Set Focused on IR Radiation Principles**  
Jazyk vypracování: **čeština**

### Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky základních principů a metod IR senzorů, metod měření a IR záření.
2. Návrh výukové sensorové sady s principy IR záření a vyhodnocením měření vyvinutou aplikací v mikroprocesoru.
3. Realizace výukové sensorové sady s principy IR záření a vyhodnocením měření vyvinutou aplikací v mikroprocesoru.
4. Verifikace výukové sensorové sady s principy IR záření a vyhodnocením měření vyvinutou aplikací v mikroprocesoru.
5. Srovnání naměřených výsledků s teoretickými předpoklady.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

### Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] ZÁHLAVA, Vit. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu*. Praha: BEN - technická literatura, 2010. ISBN 978-80-7300-266-4.  
[2] BRTNÍK, Bohumil. *Základní elektronické obvody*. Praha: BEN - technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-408-8.  
[3] ŠANDERA, Josef. *Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-181-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Macháček, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018

  
doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 30. dubna 2018



.....

Podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Zdeňkovi Macháčkovi, Ph.D., za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

V této bakalářské práci je rozebrán problém měření infračerveného signálu. Infračervené spektrum elektromagnetického záření se nachází za horní částí viditelného spektra elektromagnetického záření. Využití infračerveného záření má mnoho podob, od snímání teploty po přenos signálu.

Měření přenosu infračerveného signálu mezi dvěma zařízeními není vždy bezproblémový - je potřeba uvažovat nad vzdáleností zařízení od sebe, nad intenzitou vysílaného signálu a nad úhlem, kterým tyto zařízení svírají.

Proto bylo představeno měření úspěšnosti přenosu dat infračerveného modulovaného signálu ve formě přípravku určeného pro studenty. Studenti mohou díky originálního vytvořeného přípravku jednoduše měřit úspěšnost přenesených dat modulovaným infračerveným signálem a ze závislosti mezi vzdáleností a intenzitou signálu určit VA charakteristiku IR LED diody, případně vyzařovací úhel ze závislosti mezi úhlem natočení vysílače ku přijímači.

## **Klíčová slova**

Infračervený modulovaný signál; optika; výuka; přenos signálu

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the measurement of the infrared signal. The infrared spectrum of electromagnetic radiation is located behind the upper portion of the visible spectrum of electromagnetic radiation. The use of infrared radiation takes many forms, from temperature sensing to signal transmission.

Measuring infrared signal transmission between two devices is not always trouble-free - it is necessary to consider the distance of the device apart, the intensity of the transmitted signal and the angle that these devices make.

Therefore, the measurement of the success rate of data transmission of the infrared modulated signal in the form of a device intended for students was presented. Students can easily measure the success of the transferred data by the modulated infrared signal and, from the distance or signal dependence, determine the IR characteristic of the IR LED or the radiation angle from the angle of rotation of the transmitter to the receiver.

## **Key words**

Infrared modulated signal; optics; teaching; signal transmission

# Obsah

Seznam použitých symbolů.....	9
Seznam použitých zkratek.....	10
Úvod.....	- 13 -
1 Rozbor problematiky elektromagnetického záření.....	- 14 -
1.1 Obecný popis záření .....	- 14 -
1.2 Infračervené záření.....	- 15 -
1.2.1 Planckův vyzařovací zákon .....	- 16 -
1.2.2 Wienův posunovací zákon.....	- 16 -
1.2.3 Stefan-Boltzmanův zákon .....	- 16 -
1.3 Popis principů a způsobů využití infračerveného záření.....	- 17 -
1.3.1 Senzory teploty.....	- 17 -
1.3.2 Senzory detekce plynů.....	- 18 -
1.3.3 Senzory vzdálenosti.....	- 18 -
1.3.4 Pasivní senzory pohybu - PIR čidla.....	- 19 -
1.3.5 Aktivní senzory pohybu .....	- 20 -
2 Návrh originální výukové sensorové sady .....	- 21 -
2.1 Návrh konstrukčního řešení přípravku k měření .....	- 21 -
2.1.1 Přípravek jako celek .....	- 21 -
2.1.2 Spojovací činitel - kloub.....	- 22 -
2.1.3 Vodič signálu a napájení - kolejnice .....	- 22 -
2.1.4 Nosič přijímače a vysílače - vozík.....	- 23 -
2.1.5 Ochrana přijímače a vysílače - nádstavce.....	- 24 -
2.2 Návrh elektroniky .....	- 25 -
2.2.1 Výběr mikrokontroléru.....	- 26 -
2.2.2 Volba přijímače .....	- 26 -
2.2.3 Volba infračerveného vysílače .....	- 26 -
2.3 Návrh řešení programu.....	- 27 -
2.3.1 Vývojové prostředí.....	- 27 -
2.3.2 Komunikace mikrokontroléru s počítačem .....	- 27 -

2.3.3	Modulace infračerveného signálu.....	- 28 -
3	Realizace originální výukové sensorové sady.....	- 29 -
3.1	Realizace řídicího systému.....	- 29 -
3.2	Realizace vysílače .....	- 31 -
3.3	Realizace přijímače .....	- 31 -
3.4	Popis vývoje DPS.....	- 32 -
3.5	Softwarového řešení.....	- 32 -
3.5.1	Software pro měření přenosu dat při různé vzdálenosti .....	- 32 -
3.5.2	Software pro měření přenosu dat při různém úhlu .....	- 34 -
3.5.3	Měření přenosu dat při odrazu.....	- 35 -
4	Verifikace originální výukové sady .....	- 36 -
4.1	Verifikace měření datového přenosu v závislosti na vzdálenosti.....	- 36 -
4.1.1	Verifikace měření datového přenosu v závislosti na různém úhlu .....	- 37 -
4.2	Verifikace měření datového přenosu v závislosti na odrazu .....	- 37 -
5	Závěr .....	- 39 -
6	Použitá literatura .....	I
7	Seznam příloh.....	III



## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
$U$	V	Napětí
$\lambda$	m	Vlnová délka
$f$	Hz	Frekvence
$c$	km/s	Rychlost světla
$E$	J	Energie
$h$	J.s	Planckova konstanta
$T$	K	Termodynamická teplota
$T$	s	Perioda
$d$	m	Délka
$R$	$\Omega$	Odpor
$Q$	C	Elektrický náboj
B	byte	Množství informace
$\sigma$	$Wm^{-2} K^{-4}$	Stefanova - Boltzmannova konstanta

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
<b>IR</b>	Infrared
<b>LED</b>	Light emitting diode
<b>PIR</b>	Passive infrared sensor
<b>FET</b>	Field-effect transistor
<b>VA</b>	Voltampérová charakteristika
<b>UART</b>	Univerzální synchronní/asynchronní sériová komunikace
<b>DPS</b>	Deska plošného spoje
<b>IDE</b>	Integrated Development Environment
<b>GPS</b>	Global position systém
<b>IrDA</b>	Infrared Data Association
<b>CAD</b>	Computer-aided design
<b>ADC</b>	Analog digital converter
<b>RISC</b>	Reduced Instruction Set Computing
<b>I/O</b>	Input/Output
<b>USB</b>	Universal seriál bus
<b>Atp.</b>	A tak podobně

## Seznam použitých obrázků a tabulek:

Tabulka 1: Rozdělení záření podle vlnové délky [1] .....	- 14 -
Obrázek 1: Infračervené záření ve spektru elektromagnetického vlnění [3].....	- 15 -
Obrázek 2: Bezdotykový lékařský infračervený teploměr [5] .....	- 17 -
Obrázek 3: Termální detektor [7].....	- 18 -
Obrázek 4: Schéma detektoru plynů [6].....	- 18 -
Obrázek 7: Princip funkce PIR senzoru [8].....	- 19 -
Obrázek 8: Pir senzor [9] .....	- 19 -
Obrázek 9: Umístění přijímač - vysílač v průchodu [10].....	- 20 -
Obrázek 10: Umístění přijímač - vysílač v jednom pouzdře .....	- 20 -
Obrázek 11: Blokované schéma přenosu signálu.....	- 21 -
Obrázek 12: Vlevo návrh přípravku, vpravo realizace.....	- 21 -
Obrázek 13: Vlevo návrh spojky pro uchycení kloubu, vpravo návrh kloubu přijímače .....	- 22 -
Obrázek 14: Návrh kolejničky.....	- 23 -
Obrázek 15: Vlevo návrh vozíku, vpravo návrh uchycení .....	- 24 -
Obrázek 16: Realizace přenosu dat a signálu pomocí kovového kolečka .....	- 24 -
Obrázek 17: Návrh nástavce pro IR LED diody .....	- 25 -
Obrázek 18: Zjednodušené blokované schéma elektroniky .....	- 25 -
Obrázek 19: Vnitřní zapojení demodulátoru [12] .....	- 26 -
Obrázek 20: Vlevo vlnová délka, vpravo intenzita vyzařování [13].....	- 27 -
Obrázek 21: Příklad přenosového rámce [14].....	- 27 -
Obrázek 22: Jeden modulovaný puls .....	- 28 -
Obrázek 23: Generování 38 pulsů pro frekvenci 38kHz.....	- 28 -
Obrázek 24: Schéma zapojení řídicí desky .....	- 29 -
Obrázek 25: Vlevo leptací maska, vpravo rozmístění součástek na řídicí desce .....	- 30 -
Tabulka 2: Připojení zařízení k řídicí desce a popis pinů.....	- 30 -
Tabulka 3: Připojení zařízení k řídicí desce a popis pinů.....	- 30 -
Obrázek 26: Vlevo leptací maska, uprostřed rozmístění součástek vysílače, vpravo schéma	- 31 -
Obrázek 27: Shora: schéma přijímače, leptací maska přijímače .....	- 31 -
Obrázek 28: Zjednodušený vývojový diagram měření přenosu dat při různé vzdálenosti .....	- 33 -
Obrázek 29: Příklad výpisu ze sériového monitoru pro délky 0cm .....	- 34 -

Obrázek 30: Zjednodušený vývojový diagram měření přenosu dat při různém úhlu .....	- 35 -
Obrázek 31: Příklad výpisu ze sériového monitoru pro odraz od ruky (6cm) .....	- 35 -
Obrázek 32: Průměry naměřených dat .....	- 36 -
Obrázek 33: Graf naměřených hodnot pro všechny vzdálenosti.....	- 36 -
Obrázek 34: Graf naměřených hodnot pro všechny úhly .....	- 37 -
Obrázek 35: Průměry naměřených dat .....	- 38 -
Obrázek 36: Graf naměřených hodnot pro všechny plochy .....	- 38 -

# Úvod

V této práci se zabývám měřením přenosu dat modulovaného infračerveného signálu. Měření slouží pro přiblížení studentům principů optiky a programování, slouží k pochopení principů a závislostí mezi vzdáleností, vyzařovacím úhlem, odrazem různých povrchů těles a intenzitou signálu (napětím) na IR LED diodě.

Pro měření jsem vytvořil univerzální přípravek - měřící ramena spojena pohyblivým kloubem. V přípravku je možnost nastavit manuálně úhel mezi rameny a vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem. Pro měřící a řídicí část jsem použil mikrokontrolér Atmega328P, vysílač tvoří dvě infračervené led diody a přijímač dva demodulátory pracující na frekvenci 38kHz.

V úvodu je popsáno shrnutí této bakalářské práce zabývající se výukovou sadou zaměřenou na principy infračerveného záření spolu s popisem jednotlivých kapitol pro návrh, realizaci a verifikaci originální výukové sady.

První kapitola popisuje druhy záření, jejich výskyt, a postupně se probírá k historii a současnosti možnosti využití infračerveného záření. Krom využití probírá různé metody měření, měřící přístroje a možnosti generování infračerveného záření. Senzory využívané v praxi jsou děleny podle principů využití.

Druhá kapitola řeší návrh originální výukové sady - návrh konstrukčního řešení přípravku sloužícího k měření infračerveného signálu pomocí nastavení různé vzdálenosti, úhlu a intenzity záření. Jednotlivé části návrhu konstrukčního řešení podrobně popsány - v kapitole přípravek jako celek je konstrukční návrh celého řešení, skládajícího se ze spojovacího činitele - kloubu, vodiče signálu a napájení - kolejnice, nosiče a ochrany přijímače a vysílače. Návrh elektronické části s výběrem mikrokontroléru, přijímače a vysílače navazuje na návrh řešení programu s využitím vývojového prostředí Arduino IDE, komunikačního protokolu UART a návrh modulace signálu využitého pro přenos modulovaného infračerveného signálu.

Realizace řídicího systému spolu s vysílačem a přijímačem je popsána ve třetí kapitole, je zde podrobný popis výroby DPS a realizace originálního ovládacího softwaru pro modulaci infračerveného signálu a snímání zpětně demodulovaného zachyceného signálu.

Ve čtvrté části jsou popsány způsoby verifikace originální výukové sady s jednotlivými možnostmi měření modulovaného infračerveného signálu pro měření přenosu dat v závislosti na různé vzdálenosti vysílače a přijímače infračerveného signálu, úhlu a odrazu od různých ploch.

Na závěr je shrnutí dosažených cílů této bakalářské práce.

# 1 Rozbor problematiky elektromagnetického záření

## 1.1 Obecný popis záření

Elektromagnetické záření (vlnění), vydává jakýkoliv elektrický náboj, jehož zrychlení je nenulové. Je to kombinace příčného postupného vlnění elektrického a magnetického pole. Částicí elektromagnetického vlnění je foton. Rychlost šíření elektromagnetického vlnění ve vakuu je stejná jako rychlost šíření světla (část spektra elektromagnetického vlnění) -  $c=300000 \text{ km/s}$ .

Charakteristickými veličinami elektromagnetického vlnění je vlnová délka  $\lambda$  [m] a frekvence  $f$  [Hz]. Elektromagnetické záření lze rozdělit podle vlnové délky (resp. frekvence) na několik druhů:

Tabulka 1: Rozdělení záření podle vlnové délky [1]

Gama záření	$\lambda < 10^{-12}m$
Rentgenové záření	$\lambda \in (10^{-12}; 10^{-9})m$
Ultrafialové záření	$\lambda \in (10^{-9}; 10^{-7})m$
Viditelné světlo	$\lambda \in (10^{-7}; 10^{-6})m$
Infračervené záření	$\lambda \in (10^{-6}; 10^{-4})m$
Mikrovlny	$\lambda \in (10^{-4}; 10^{-1})m$
Televizní a rozhlasové vlny	$\lambda \in (10^{-1}; 10^4)m$
Nízkofrekvenční vlny	$\lambda > 10^{-4}m$

Nejkratší - gama záření - pochází z těles, v jejichž jádře probíhají radioaktivní přeměny. Toto záření dokážeme uměle vytvořit. Jako přírodní zdroj tohoto záření jsou například uranové rudy nebo kosmos.

Rentgenové záření objevil v roce 1895 Wilhelm. C. Röntgen při studiu elektrických výbojů v plynech. Díky svým vlastnostem rentgenového záření - pronikání látkami a specifickým způsobem pohlcování v látkách se využívá v lékařství pro zkoumání obrazu kostí a v průmyslu v defektoskopii pro zkoumání nedokonalostí materiálu.

Ultrafialové záření leží mezi viditelným světlem (oblast fialové barvy) a rentgenovým zářením. Ultrafialové záření se využívá ke sterilizaci - ve vyšších dávkách má škodlivé účinky na soudržnost bílkovinných řetězců v buňce, elektrotechnice - vymazání paměti EPROM nebo jako osvětlení (i pro kontrolu bankovek). Jako zdroj vzniku ultrafialového záření slouží tělesa zahřátá na vysokou teplotu - elektrický oblouk nebo slunce. Jako přírodní obrana proti dopadajícímu ultrafialovému záření z vesmíru slouží atmosféra - dopad nejtvrďšího ultrafialového záření na horní část atmosféry působí sloučení dvouatomových molekul kyslíku na tříatomové. Pokožka zachytává část záření za vzniku opálení - vyšší pigmentace.

Viditelné světlo je záření o frekvenci viditelné lidským okem - 390-760nm. Zrak je nejdůležitějším smyslovým orgánem - mozek přijímá přibližně 80% informací právě zrakem. Zvířata dokáží vnímat jiné části světelného spektra než lidé - například včely nebo někteří ptáci dokáží vnímat i část ultrafialového záření a někteří plazi zase vnímají infračervené záření. Bílé světlo nemá určitou vlnovou délku (obsahuje všechny barevné složky) - lze ho optickým hranolem rozložit na jednotlivé části, proto ho v barevném spektru nenajdeme.

Mikrovlny jsou dnes využívány v mnoha odvětvích. Jejich frekvence je vyšší než u infračerveného záření. Jejich vlnová délka je mezi jedním milimetrem a jedním metrem. Používáme je v mobilních telefonech pro komunikace, lokalizačních GPS zařízeních, radarech či mikrovlnných troubách.

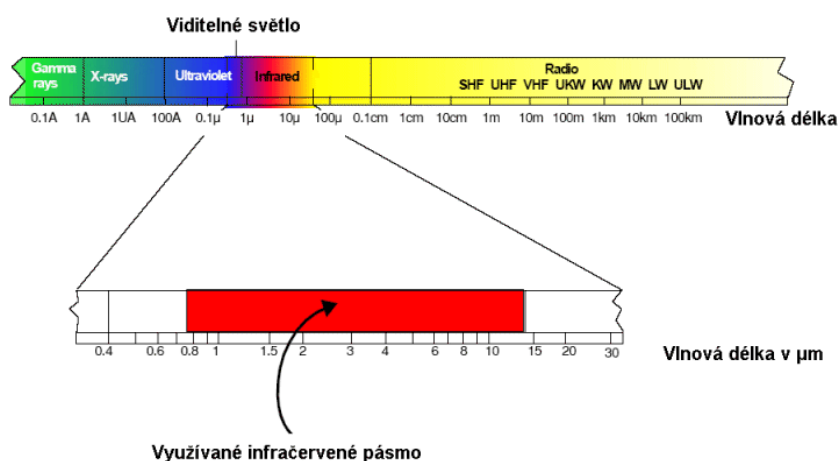
Televizní, rozhlasové a nízkofrekvenční vlny (rádiové vlny) se používají pro přenos informací. Vysílačem modulovaná vlna o velikosti jednoho metru až několika kilometrů zajišťuje přenos dat (dříve analogových, dnes již více digitálních). Čím blíže mikrovlnám se vlny nachází, tím menší vlnovou délku mají a mohou přenést více informací.

## 1.2 Infračervené záření

Infračervené záření produkuje každé těleso s nenulovou termodynamickou teplotou ( $t > -273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) - je emitováno v důsledku tepelného pohybu částic hmoty a je označováno jako tepelné záření.

Infračervené záření objevil William Herschel, když optickým hranolem rozložil dopadající sluneční paprsky na jednotlivé barevné části spektra, které následně měřil teploměrem. Nejteplejší barva byla červená, ale za hranicí červené byla teplota ještě vyšší, proto pojmenoval toto záření infračerveným. [2]

Infračervené záření se dělí na 3 skupiny (pásma) – blízké (0,76  $\mu\text{m}$  až 5  $\mu\text{m}$ ), střední (5  $\mu\text{m}$  až 30  $\mu\text{m}$ ) a dlouhé (30  $\mu\text{m}$  až 1 mm).



Obrázek 1: Infračervené záření ve spektru elektromagnetického vlnění [3]

S infračerveným zářením se setkáváme dnes a denně. Pochází z přírodních zdrojů - vyzařování ze slunce, ohně či jiného tepelného zdroje. Setkáváme se zařízeními vyrobenými lidmi - teploměry, televizní ovladač, IrDA (komunikační port), různá čidla a senzory.

Při práci s infračerveným signálem - měření - používáme tyto fyzikální zákony:

### 1.2.1 Planckův vyzařovací zákon

Vyjadřuje závislost spektrální hustoty vyzařování černého tělesa  $E_{0\lambda}$  na vlnové délce a teplotě. Záření o frekvenci  $f$  může být vyzařováno, nebo pohlcováno jen po kvantech energie o velikosti  $E=h \cdot f$ . ( $h$  je Planckova konstanta -  $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )

Vztah pro spektrální hustotu zářivého toku dokonale černého tělesa lze zapsat ve vztahu

$$E_{0\lambda} = \frac{dE_0}{d\lambda} \quad (2.1)$$

kde  $E_0$  je hustota zářivého toku dokonale černého tělesa. [4]

### 1.2.2 Wienův posunovací zákon

Vyjadřuje vztah mezi teplotou a frekvencí záření (čím teplejší je těleso, tím vyšší frekvence záření a kratší vlnové délky). Znění Wienova posunovacího zákona: S rostoucí teplotou zářiče se posouvá maximální hodnota spektrální hustoty zářivého toku ke kratším vlnovým délkám. Matematická formulace Wienova posunovacího zákona je dána vztahem

$$\lambda_{max} \cdot T = 2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ mK} \quad (2.2)$$

kde  $\lambda_{max}$  je vlnová délka, při níž je hodnota spektrální hustoty zářivého toku při dané teplotě zářiče maximální. [4]

### 1.2.3 Stefan-Boltzmannův zákon

Říká, že každé těleso, které má nenulovou absolutní teplotu září, přičemž hustota zářivého toku je úměrná čtvrté mocnině absolutní teploty.

Výpočet Stefanova – Boltzmannova zákona lze získat, provedeme-li integraci spektrální hustoty zářivého toku dokonale černého tělesa  $E_{0\lambda}$  dle Planckova vyzařovacího zákona přes celý rozsah vlnových délek a za konstantní teploty. Pro hustotu zářivého toku dokonale černého tělesa dostaneme

$$E_0 = \sigma_0 \cdot T^4 \quad (2.3)$$

kde  $\sigma_0$  je Stefanova - Boltzmannova konstanta, která má hodnotu  $\sigma_0 = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$  [4]



### 1.3 Popis principů a způsobů využití infračerveného záření

Senzory používající infračervené spektrum světla mohou zaznamenávat teplotu, detekovat plyny, měřit vzdálenost a sledovat pohyb. Pro různé typy měření se používají různé metody - snímání emisního infračerveného záření, modulaci signálu pro přenos dat, atp.

#### 1.3.1 Senzory teploty

Při bezkontaktním měření teploty využíváme emisivity elektromagnetického záření těles (více Infračervené záření). Pyrometry využívající tepelného záření těles dnes najdeme jak v oblasti průmyslu (teplota je jednou z nejsledovanějších technologických a diagnostických veličin) tak například v lékařství.



Obrázek 2: *Bezdotykový lékařský infračervený teploměr [5]*

Pyrometry dělíme z hlediska bezdotykových teploměrů na dvě kategorie - přímo měřící bezdotykové teploměry (např. pyrometry) a zobrazovací bezdotykové teploměry (např. termovize).

Při použití pyrometru je nutné znát emisivitu (míra schopnosti daného předmětu vyzařovat infračervenou energii). Nejvyšší emisivitu má absolutně černé těleso (1,0), ostatní tělesa se v závislosti na struktuře a barvě povrchu mohou blížit. Většina povrchů má emisivitu blízkou hodnotě 0,95, proto levnější pyrometry mají tuto hodnotu fixně nastavenou. Dražší a kvalitnější pyrometry mohou hodnotu emisivity nastavit.

Měření teploty je zajištěno termálním detektorem, fotonovým detektorem nebo pyroelektrickým detektorem.

Termální detektor obsahuje optiku (okénko s filtrem), termoelektrické čidlo a snímač srovnávací teploty. Jsou nejčastěji používanými detektory radiačních teploměrů. Termální detektory vytvářejí výstupní signál, protože jsou zahřívány energií, kterou absorbují. Ve srovnání s jinými typy detektorů mají termální detektory nižší citlivost a jejich výstupní signály jsou méně ovlivněny změnami vlnové délky záření. Rychlost odezvy tepelných detektorů je snižována jejich hmotností.



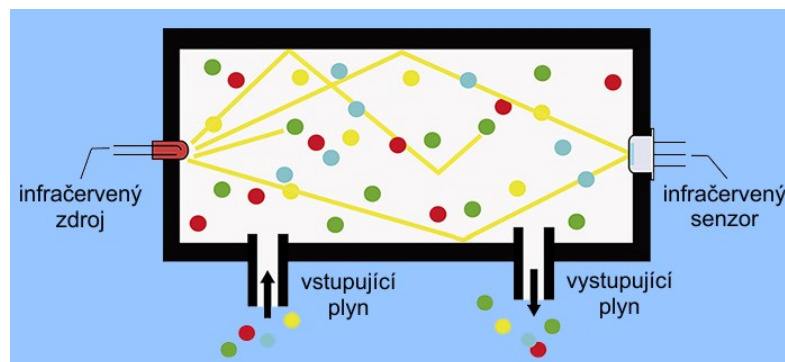
Obrázek 3: Termální detektor [7]

Fotonové detektory uvolňují elektrický náboj jako odezvu na dopadající záření. U detektorů se siričkem olovnatým a se selenidem olova se uvolnění náboje měří jako změna odporu. U antimonidu india, křemíku a germania se uvolnění náboje měří jako napěťový výstup. Fotonové detektory mají maximální vlnovou délku, za kterou nedávají odezvu. Maximální citlivost je obvykle na vlnové délce o něco kratší než mezní vlnová délka.

Mnoho radiačních teploměrů používá spíše fotonové detektory než tepelné, i když měří na užším pásmu vlnových délek. Je to proto, že v pásmu vhodných frekvencí je citlivost fotonových detektorů 1.103 až 1.105 vyšší, než je citlivost tepelných detektorů. Doba odezvy fotonových detektorů je v řádu  $\mu\text{s}$ . Jsou nestabilní u delších vlnových délek a vyšších teplot. Často se používají u úzkopásmových teploměrů nebo širokopásmových teploměrů pro střední teploty 93 až 427°C, a často jsou vybaveny chlazením. [7]

### 1.3.2 Senzory detekce plynů

Pro detekci plynů se využívá infračervená absorpční spektroskopie - interakce elektromagnetického záření s látkou. Při průchodu IR záření plynem, může být část energie absorbována (dochází k excitaci molekul plynu), což vede k poklesu intenzity záření.



Obrázek 4: Schéma detektoru plynů [6]

### 1.3.3 Senzory vzdálenosti

Dělíme podle principu měření na: princip fázového posunu, princip doby letu paprsku a triangulační princip.

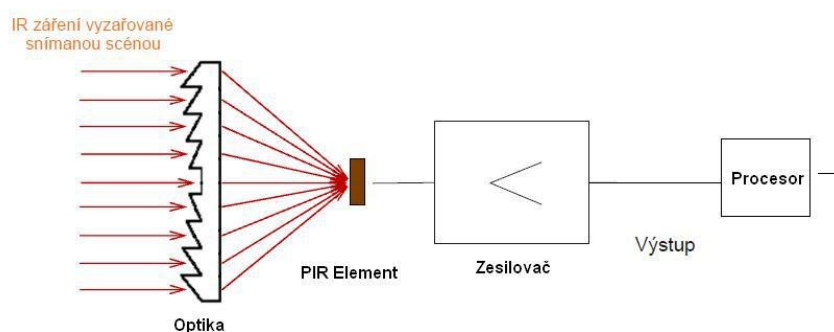
Princip fázového posunu je založen na porovnávacím měření fázového posunu - dálkoměr vysílá vysokofrekvenční modulovaný paprsek, který se odráží s určitým fázovým posunem.

Odražený paprsek a referenční signál se porovnají a podle velikosti fázového posunu se vypočítá vzdálenost.

Princip doby letu paprsku je velmi jednoduchý. Vysílač generuje krátký impuls a měří čas, za jak dlouho se impuls vrátí od překážky zpět.

### 1.3.4 Pasivní senzory pohybu - PIR čidla

PIR - Passive infrared detector - pasivní infračervený detektor je zařízení (čidlo) využívající pyroelektrického jevu. Pyroelektrický jev závisí na změně teploty ve snímaném prostoru - pyroelektrický materiál generuje dočasně elektrický potenciál.



Obrázek 7: Princip funkce PIR senzoru [8]

Optika PIR čidla má za úkol soustřeďovat infračervené záření ze snímané plochy na plochu PIR elementu. Optika je řešená pomocí systému zrcadel nebo Fresnelových čoček, jejichž počet či dělení zajišťuje rozdělení snímaného prostoru na detekční zóny.

Pyroelement je polovodičová součástka ze sloučenin na bázi lithia a tantalu. Podobně, jako lze mechanicky deformovat krystalovou mřížku za výskytu elektrického náboje  $Q$ , v pyroelementu je tato deformace prováděna infračerveným zářením. Změna elektrického náboje je zaznamenána FET tranzistorem umístěným přímo v pyroelektrickém prvku.

Zesilovač signál z FET tranzistoru zesílí. Poté je možno signál zpracovat - buď přímo jako analogový signál, kdy například dojde rovnou k sepnutí tranzistoru či relátka, nebo jako digitální do procesoru, který signál dále zpracuje. Výhoda zpracování mikroprocesorem je ta, že lépe dokáže vyhodnotit změny a plané poplachy dané rychlou změnou teploty a dalšími vlivy.

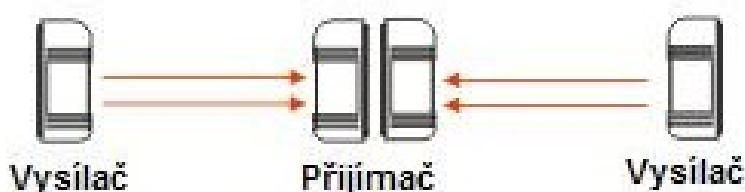


Obrázek 8: Pir senzor [9]

### 1.3.5 Aktivní senzory pohybu

Jako ochranný prostředek proti vniknutí nebo jenom k zachycení počtu lidí slouží princip IR závory - kdy vysílač vysílá IR signál a přijímač tento signál zachytává. Pro komunikaci se používá modulovaný signál (36kHz, 38kHz). Pokud by signál nebyl modulován, mohlo by dojít k zachycení dat i z jiných zdrojů - například ze slunečního záření nebo infračerveného ovladače televize.

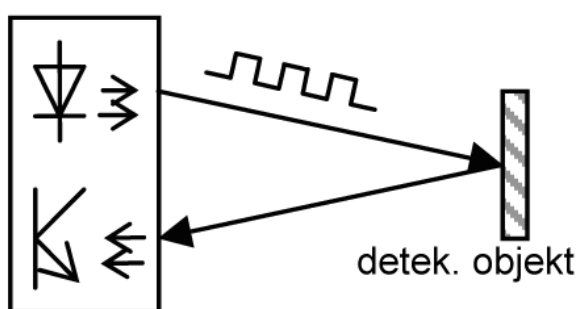
Jednoduchý princip vysílač - přijímač - kdy vysílač i přijímač jsou ve dvou pouzdech, umístěných naproti sobě, nám dávají možnost sledovat přerušení průchodu v daném prostoru.



Obrázek 9: Umístění přijímač - vysílač v průchodu [10]

Nevýhodou tohoto zařízení je, že pokud je větší vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem, je zde možnost průchodu více lidí v jednu dobu a tudíž nemožno přesně změřit počet. Tato vada se dá odstranit umístěním senzorů v místě, kde může projít jen jeden člověk, nebo zajistit správnou funkcionalitu přidáním dalšího senzoru.

Jako druhá možnost využití principu IR závory je vestavění vysílače i přijímače do jednoho pouzdra, kdy přerušení průchodu zajišťuje objekt odrážející paprsky z vysílače zpět do přijímače.

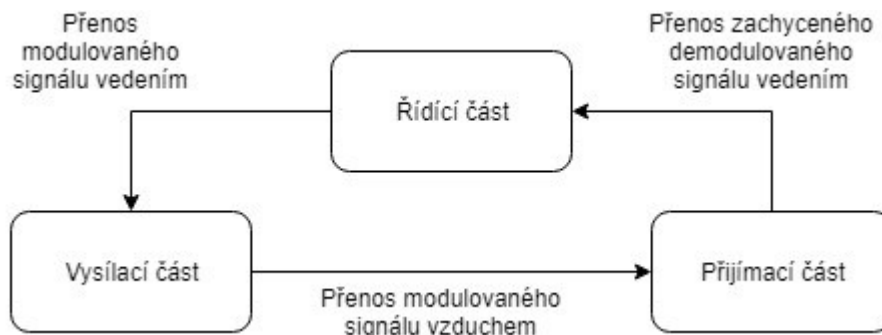


Obrázek 10: Umístění přijímač - vysílač v jednom pouzdře

Nevýhoda tohoto měření může spočívat v tom, že ne všechny povrchy mají stejnou odrazivost. Některé materiály záření pohlcují (podobně černému tělesu), některé dokonale odráží (zrcadlo).

## 2 Návrh originální výukové sensorové sady

Cílem návrhu je vytvoření výukové sady, kdy uživatel mění různé parametry (vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem, intenzitu vysílaného signálu, úhel mezi vysílačem a přijímačem) pro měření počtu přenesených dat infračerveným modulovaným signálem.

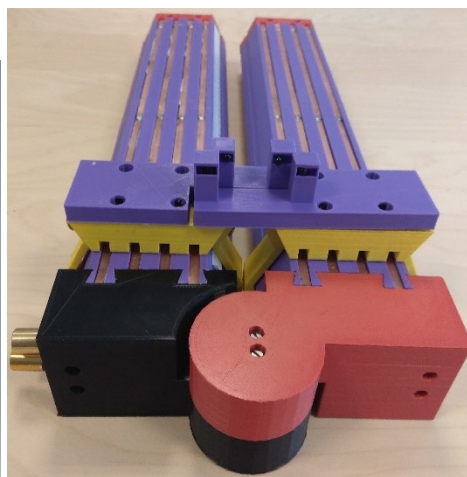
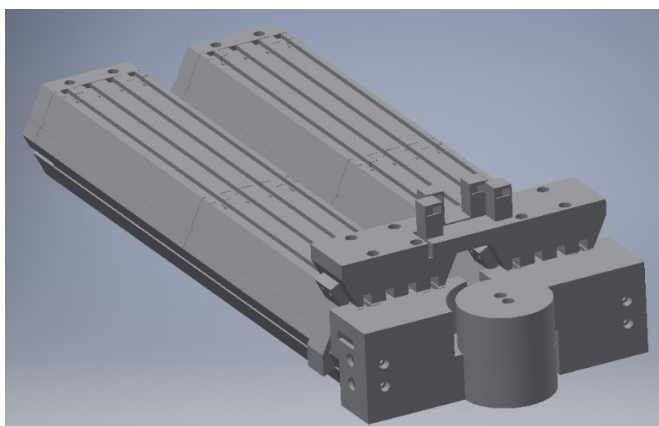


Obrázek 11: *Blokové schéma přenosu signálu*

### 2.1 Návrh konstrukčního řešení přípravku k měření

#### 2.1.1 Přípravek jako celek

Tvorba přípravku je dle zadaných parametrů vytvářena v 3D CAD systému Autodesk Inventor. Tvoří ho několik částí - kloub zajišťující otáčení, dvě ramena tvořena kolejkami pro vedení signálu a napájení, dva vozíky - jeden s vysílači, druhý s přijímači, umožňující plynule měnit vzdálenost posunem po kolejnici. Na vozících jsou uchyceny nástavce pro vysílače a přijímače, které kryjí dané komponenty vůči mechanickému poškození.



Obrázek 12: *Vlevo návrh přípravku, vpravo realizace*

Realizace daného přípravku proběhla pomocí převedení do programu CUDA a následném vytištění na 3D tiskárně ULTIMAKER 2+. Materiál pro přípravek byl zvolen plast (PLA) - díky své pevnosti, ceně a hmotnosti.

Pro snadné rozlišení jednotlivých komponent byla vybrána různá barevná provedení:

Žlutá - vozíky, chytky - určeno pro ruční přesun

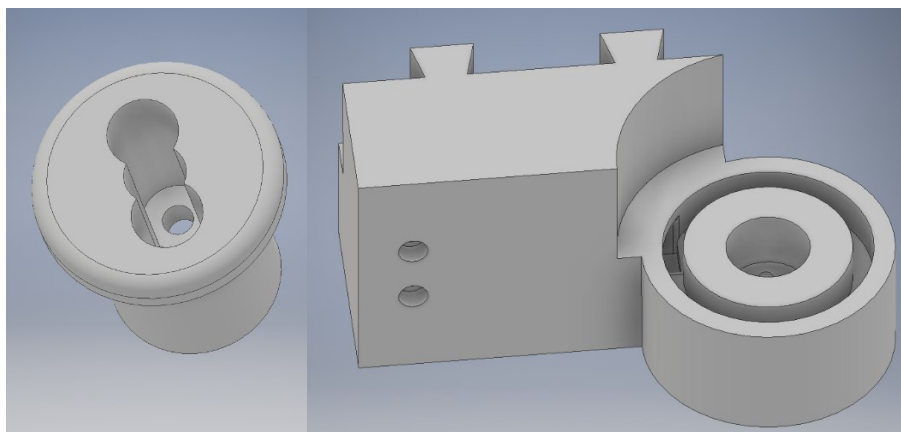
Fialová - kolejnice pro vedení signálu, krytky vysílacích a přijímacích prvků

Černá - část kloubu určená pro připojení k PC, nastavení intenzity signálu a měření úhlu

Červená - spodní kolejnice, zarážky a druhá část kloubu

### 2.1.2 Spojovací činitel - kloub

Tato část systému je jedna z nejpropracovanějších z celého přípravku. Pro správnou funkčnost celého zařízení zde byl kladen důraz pro vedení signálu a napájení pomocí kabelů, a díky tomu bylo nejvhodnější řešení pro přenos dat a napájení z jednoho ramene na druhé použít právě kloubu. Kloub je tvořen ze tří částí - kloub pro přijímací rameno, kloub pro vysílací rameno a spojka pro uchycení a spojení obou částí kloubu dohromady a připevnění potenciometru.



Obrázek 13: Vlevo návrh spojky pro uchycení kloubu, vpravo návrh kloubu přijímače

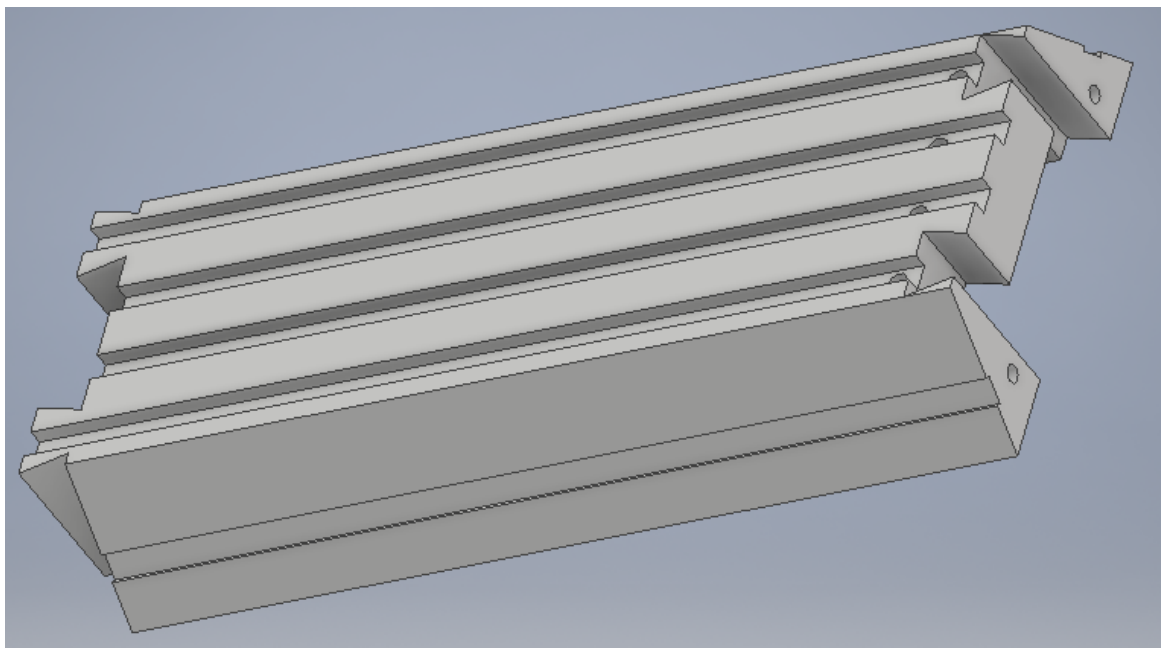
Všechny hrany pro průtah kabelu jsou zaobleny, je tedy minimalizováno riziko porušení izolace vedení či jiné mechanické poškození. Obě části kloubu na sebe těsně doléhají a pevnost vůči mechanickému namáhání v možném lámání je zajištěna pomocí uchycovací části přišroubované dvěma šrouby M3,5.

V kloubu pro vysílač a připojené kolejnici je umístěna DPS s ovládací elektronikou, převodník na sériovou linku pro komunikaci a dva potenciometry zajišťující regulaci intenzity signálu pro vysílací LED diody.

### 2.1.3 Vodič signálu a napájení - kolejnice

Při návrhu výukové sady bylo myšleno na možno rozšíření pro další typy měření a bezpečnost. Vedení signálu a napájení je řešeno výbrusy v materiálu o hloubce 3mm - už při návrhu je počítáno s vedením pomocí měděných proužků plechu. Tyto plechy jsou zespol připevněny oboustrannou lepicí páskou, sloužící pro přichycení k podkladu a zároveň jako pružná přitlačná plocha pro dobrý kontakt s kolečkem vozíků.

Kolejnice mají na koncích výřezy sloužící k uchycení do kloubu a zářezky a zabraňující samovolnému vyjíždění či rozkládání. Variabilita a univerzálnost umožňují daný systém prodloužit - stačí odstranit zářezky na konci a připojit další kolejnice. Dále, díky této variabilitě je možnost vytvořit i další patra, čímž dojde k možnosti většího výsunu ramene a prodloužení vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem a zároveň nedojde k nežádoucímu prodloužení pro přenos zařízení.



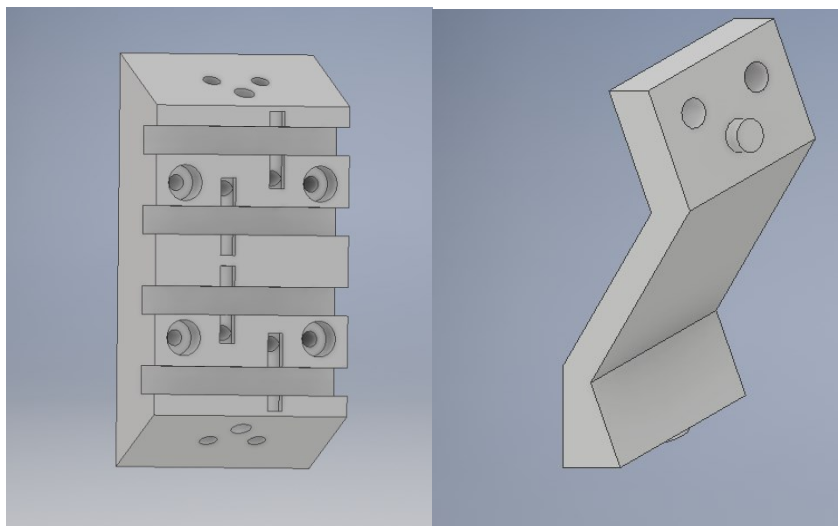
Obrázek 14: *Návrh kolejnice*

#### 2.1.4 **Nosič přijímače a vysílače - vozík**

Vozík je vytvořen se zacílením na volný pohyb po kolejnici a zároveň pro bezproblémový přenos dat. Uchycení je pomocí chytěk z boků kolejnice, na jejichž koncích se nachází kolečka pro hladký posun. Ve spodní části vozíku je vybrání pro kolečka zajišťující přenos dat mezi kolejnicí a deskou plošných spojů s vysílači či přijímači.

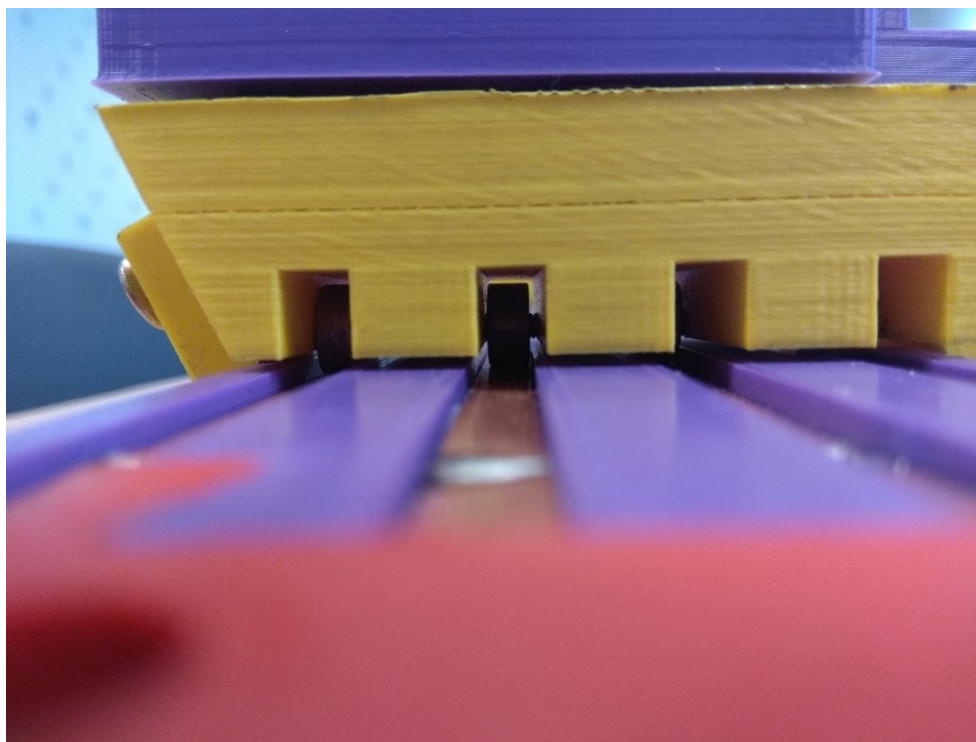
V prvním návrhu bylo přemýšleno a přenosu dat a napájení pomocí sběrných kartáčků. Jako další na řadu přišly kolečka s přitlačnými pružinami (které by zajišťovaly bezproblémový přechod signálu v případě nerovností povrchu kovového vedení), nicméně díky technické složitosti bylo od obou návrhů upuštěno a kolečka jsou připevněna ve vozíku napevno.





Obrázek 15: *Vlevo návrh vozíku, vpravo návrh uchycení*

Přenos mezi kovovými kolečky a deskou plošných spojů probíhá pomocí kovové 3mm osy, na kterou je připájen vodič procházející vozíkem k deskám přijímačů a vysílačů.



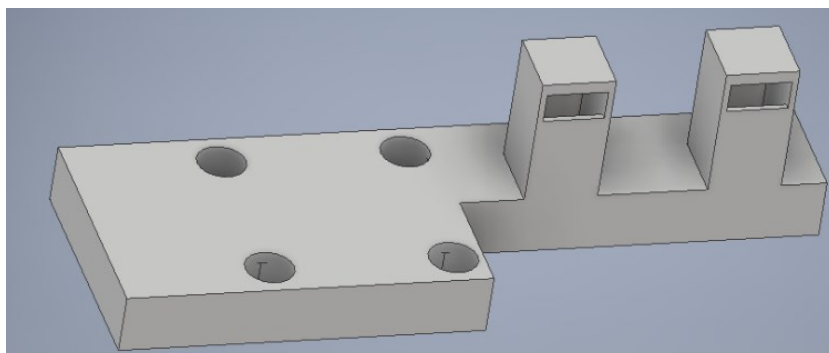
Obrázek 16: *Realizace přenosu dat a signálu pomocí kovového kolečka*

### 2.1.5 Ochrana přijímače a vysílače - nádstavce

Pro minimalizaci rizik spojenými s ohybem, zkratem či jiným mechanickým poškozením infračervených LED diod a demodulátorů způsobeným posunem vozíků a přenosem bylo vytvořeno krytí - pomocí plastového nádstavce. Uvnitř každého nádstavce se nachází deska



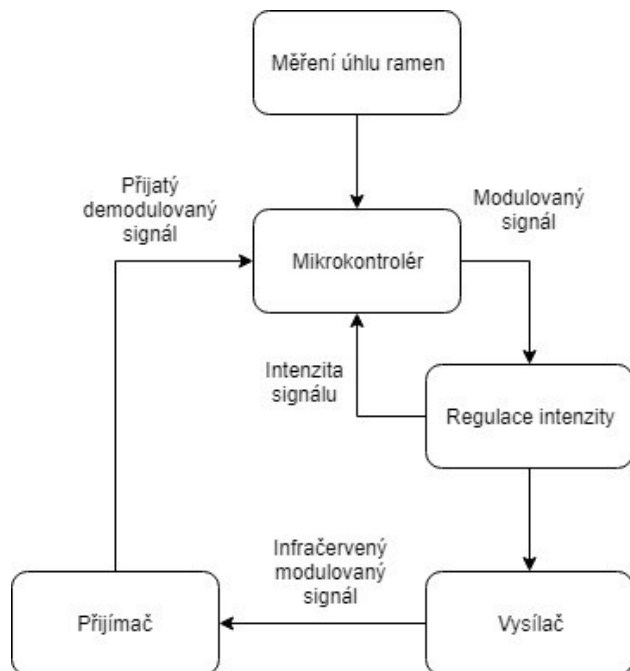
plošných spojů - u vysílače s rezistory a připájenými diodami, u přijímače pouze s připájenými demodulátory. Ze spodní strany nástavců jsou krytky, zamezující nežádoucímu zkratu způsobenému při posunu vozíků.



Obrázek 17: *Návrh nástavce pro IR LED diody*

## 2.2 Návrh elektroniky

K řízení a zpracování dat v měřících úlohách je potřeba mikrokontroléru s programem, zajišťujícím všechny potřebné výpočty. Pro odesílání infračerveného modulovaného signálu je zapotřebí patřičně stavěný vysílač a pro zpětnou demodulaci přijímač. Díky možnosti nastavení intenzity signálu je zapotřebí blok pro regulaci intenzity signálu se zpětnou vazbou intenzity signálu zpět do mikrokontroléru. Poslední blok tvoří měřidlo rozevření - úhlu - mezi jednotlivými rameny.



Obrázek 18: *Zjednodušené blokové schéma elektroniky*

### 2.2.1 Výběr mikrokontroléru

Pro potřeby měření a výpočty nebylo potřeba žádného vysoce výkonného mikrokontroléru. Data jsou posílána v digitální podobě a stejným způsobem i přijímána. Pro snímání úhlu rozevření ramene a intenzitu výkonu vysílače bylo použito několik potenciometrů, takže hledaný mikrokontrolér musí mít ADC převodník.

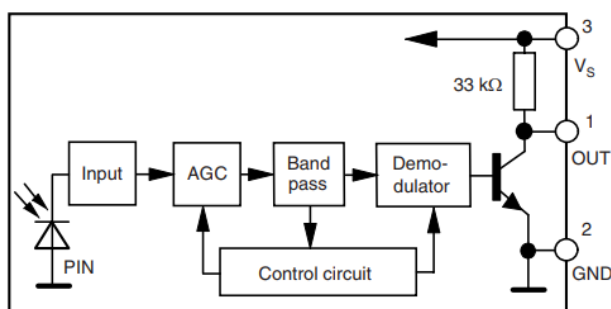
Volba padla na snadno dostupný 8-mi bitový mikrokontrolér firmy Atmel - Atmega 328p. S napájecím napětím 1,8 - 5,5V, architekturou RISC, 32kB flash paměti, 23 I/O porty a 10bit ADC převodníkem je tento mikrokontrolér plně dostačující. Mikrokontrolér má vnitřní oscilátor na frekvenci 8MHz, nicméně pro plynulejší chod bylo použito 16MHz externího krystalu. [11]

### 2.2.2 Volba přijímače

Pro přijímač byl první návrh klasický obvod s IR fototranzistorem kdy výuková sada měla pouze snímat klasické IR záření LED diody, nicméně díky slunečnímu záření a záření z dalších zdrojů (sluneční záření vytvářelo vysoké rušení měřeného signálu) bylo rozhodnuto použít modulovaný signál.

Pro demodulaci je využit demodulátor TSOP4838 firmy VISHAY pracující na frekvenci 38kHz. Demodulátor funguje s napájecím napětím 2,7-5,5V, takže napájení pomocí USB stejně jako u mikrokontroléru je vhodné.

Demodulátor má v pouzdře pullup rezistor, takže signál na výstupním pinu je log.1. Při zachycení 38kHz pulzů je signál demodulován a na výstup je přivedena log.0.

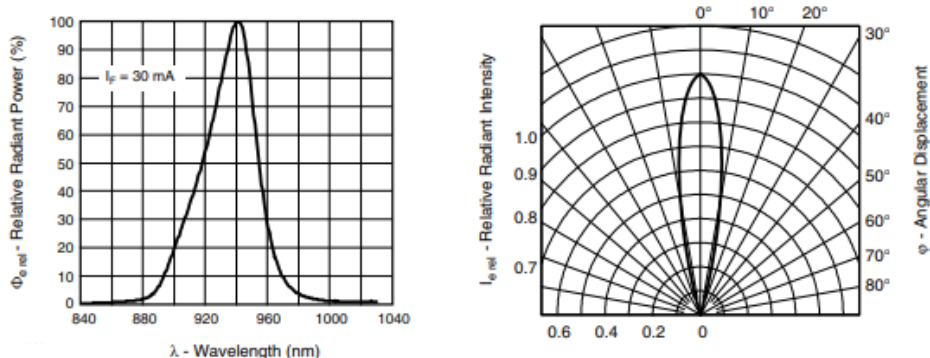


Obrázek 19: Vnitřní zapojení demodulátoru [12]

### 2.2.3 Volba infračerveného vysílače

Vysílání infračerveného modulovaného signálu je možno s jednoduchým připojením IR LED diody k mikroprocesoru. Pro vysílání signálu bylo možno vybrat ze spousty druhů různých IR LED diod. Hlavní bylo vybrat LED diody s vlnovou délkou okolo 950nm, aby mohla být použita s vhodným demodulátorem.

Po vyzkoušení několika výkonnostně rozličných IR LED diod (20-180mW/sr) byla nakonec vybrána IR LED firmy VISHAY s kódem TSAL6100 a parametry vlnové délky 940nm, 170mW/sr zářivosti, vyzařovacího úhlu 20°, typickým napájecím napětím 1,35V (maximálně 1,6V).



Obrázek 20: Vlevo vlnová délka, vpravo intenzita vyzařování [13]

## 2.3 Návrh řešení programu

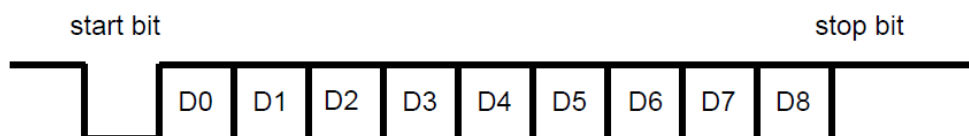
### 2.3.1 Vývojové prostředí

Dnes, s velkým nástupem platform Arduino, jejich snadným zapojením a hlavně jednoduchým programováním bylo zvoleno prostředí Arduino IDE pro programování mikrokontroléru Atmega328p.

Vývojové prostředí Arduino IDE je zdarma a obsahuje spoustu užitečných nástrojů, které při programování mikrokontrolérů můžeme využít. Jeho obrovská podpora a variabilita dnes nabízí nahrání bootloderu (kódu, umožňující nahrání programu z prostředí Arduino IDE do mikrokontroléru) do mnoha a mnoha různých mikrokontrolérů a dalších platform - například ESP8266. [15]

### 2.3.2 Komunikace mikrokontroléru s počítačem

Komunikace mezi počítačem a mikroprocesorem probíhá pomocí protokolu UART (USART) - synchronní a asynchronní sériové rozhraní pro přenos v obousměrném režimu. Protokol UART podporuje přenosové rámce, s možností 5-9 bitů odděleny jedním start a jedním až dvěma stop bity. Každý rámeček může mít nastaven paritní bit pro kontrolu. Rychlost přenosu je 1200bps až 250kbps. [14]



Obrázek 21: Příklad přenosového rámce [14]

Komunikaci mikrokontroléru s počítačem zajišťuje použit UART převodník firmy RobotDyn s mikročipem CH340G. Tento převodník je přímo propojen s Rx a Tx piny mikrokontroléru Atmega328p a zároveň přivádí z počítače do výukové sady +5V napájení.

Programování probíhá přes sériovou linku Arduino IDE prostředím a pomocí vestavěných nástrojů (Seriál Monitor) probíhá vyčítání naměřených dat. Rychlost přenosu dat je nastavena na 9600 Baud.

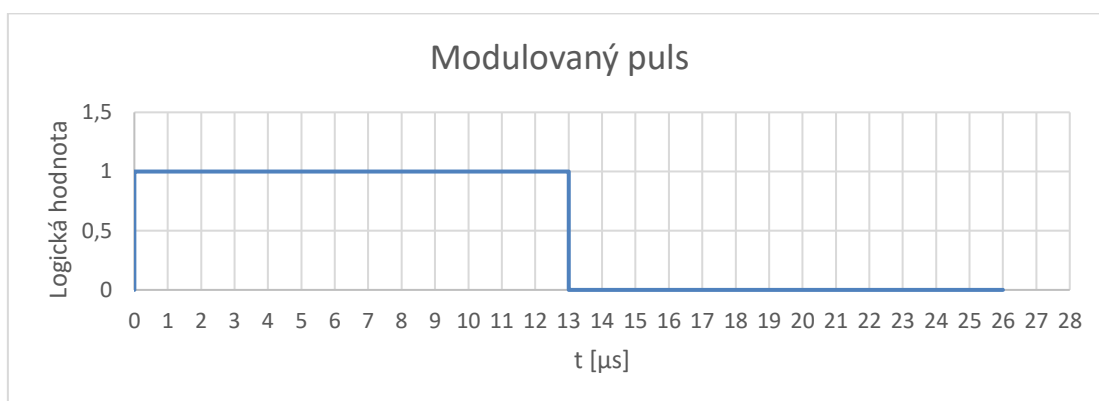
### 2.3.3 Modulace infračerveného signálu

Modulace signálu probíhá pomocí zapínání a vypínání IR LED diody, přičemž perioda signálu  $T = 26\mu s$ , aby byla modulovaná frekvence co nejbližší frekvenci demodulátoru.

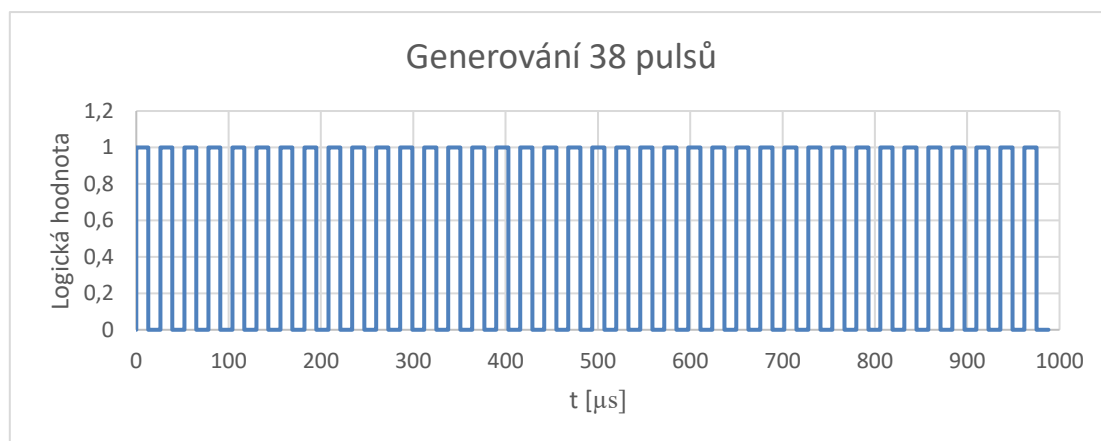
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,000026} = 38,462 \text{ kHz} \quad (3.1)$$

Modulovaný signál není přesně 38kHz, nicméně demodulátor tuto frekvenci dokáže bezproblémově přijmout. V programu je posíláno 38 pulzů (doba měření  $t$  je cca 1ms)

$$t = \text{počet pulzů} * \text{perioda signálu} = 38 * 0,000026 = 0,000988s \quad (3.2)$$



Obrázek 22: Jeden modulovaný puls



Obrázek 23: Generování 38 pulsů pro frekvenci 38kHz

### 3 Realizace originální výukové sensorové sady

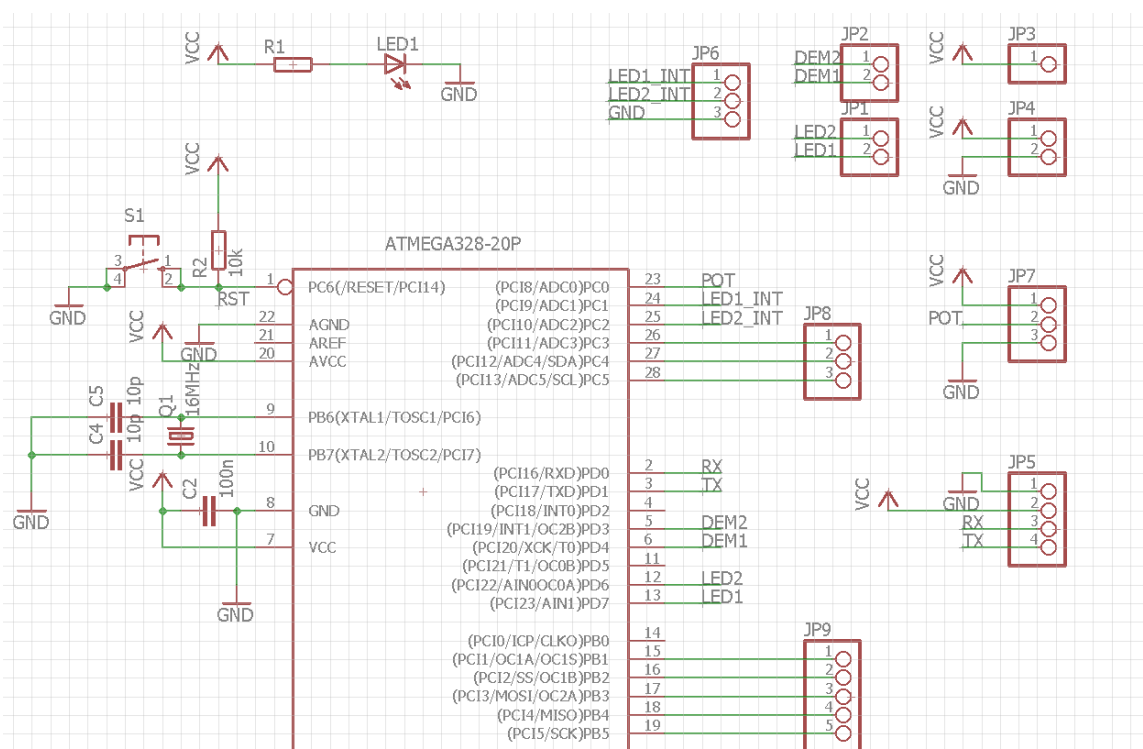
Realizace řízení a zpracování signálů výukové sady je tvořena třemi částmi - řídicím systémem, přijímačem a vysílačem. Každá z těchto částí má svou desku plošných spojů, díky různému umístění v jednotlivých částech měřicího přípravku. Přijímač a vysílač je spojen s řídicím systémem pomocí kabelů a přenosu signálu mezi kolejnicí a kolečky vozíku. Infračervený modulovaný signál mezi přijímačem a vysílačem je veden vzduchem.

Propojení kabelu mezi vysílačem probíhá na pinech JP1 řídicího systému a spodní částí dvojitého potenciometru umístěnými v části kloubu, z nichž jsou vedeny kabely k JP1 vysílače. Jezdci horní části potenciometru určených ke změně intenzity modulovaného signálu jsou připojeny k JP6 řídicího systému. Pro přijímač jsou piny JP2 řídicího systému spojeny s piny JP1 přijímače. Potenciometr pro řízení nastavení úhlu je připojen piny JP7.

#### 3.1 Realizace řídicího systému

Řídicí deska obsahuje mikrokontrolér Atmega328p s připojeným externím 16MHz krystalem. U krystalu jsou připojeny dva 15pF kondenzátory. Dále je zde resetovací tlačítko připojeno přes 10k rezistor - využito bylo pouze u oživení desky, stejně jako indikační LED dioda LED1.

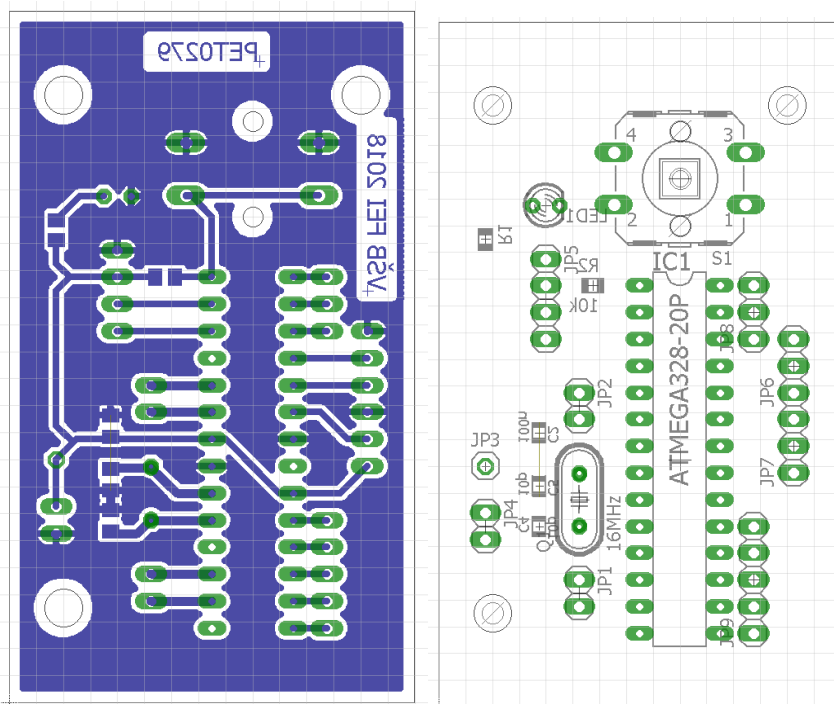
Z desky jsou vyvedeny programovací piny pro sériovou komunikaci - Rx a Tx spolu s napájením - slouží k připojení USB <-> UART převodníku a zajištění napájení celého přípravku.



Obrázek 24: Schéma zapojení řídicí desky

Potenciometry řídící intenzitu signálu nejsou připájeny na žádné desce plošných spojů, jsou přišroubovány ve stěně kloubu pro přijímací rameno.

V tabulkách 1.2 a 1.3 můžeme vidět zapojení fyzických pinů mikrokontroléru Atmega328p a jejich následné volání v Arduino IDE prostředí. Změna čísla pinu je způsobena nahraným bootloaderem.



Obrázek 25: Vlevo leptací maska, vpravo rozmístění součástek na řídicí desce

Tabulka 2: Připojení zařízení k řídicí desce a popis pinů

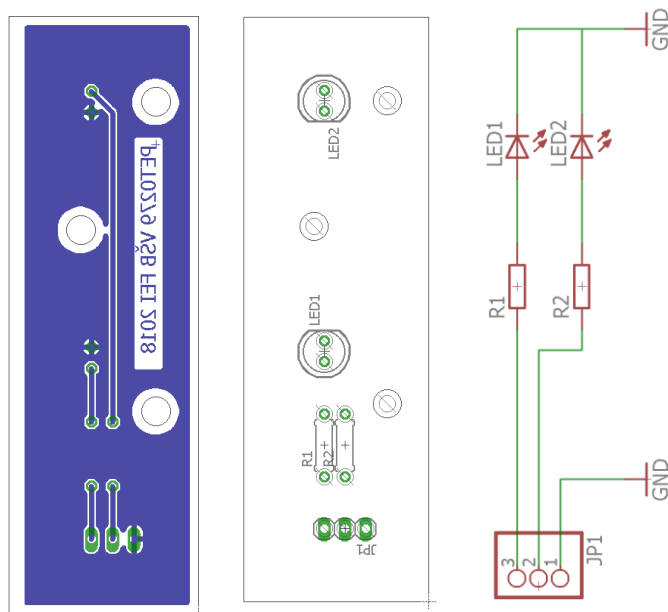
Piny	JP1	JP2	JP3	JP4	JP5
Účel	Ovládání IR LED diod	Příjem signálu z demodulátorů	+5V	Napájení pro demodulátory	USB <-> UART převodník a napájení z PC
HW pin	13,12	6,5	Vcc	Vcc,Gnd	Vcc,Gnd,2,3
Pin v Arduino IDE	7,6	4,3			0,1

Tabulka 3: Připojení zařízení k řídicí desce a popis pinů

Piny	JP6	JP7	JP8	JP9
Účel	Potenciometry pro intenzitu IR LED diod	Potenciometr pro zjištění úhlu ramen	Analogové piny pro rozšíření	Digitální piny pro rozšíření
HW pin	24,25	23	26-28	15-19
Pin v Arduino IDE	A1,A2	A0	A3-A5	9-13

### 3.2 Realizace vysílače

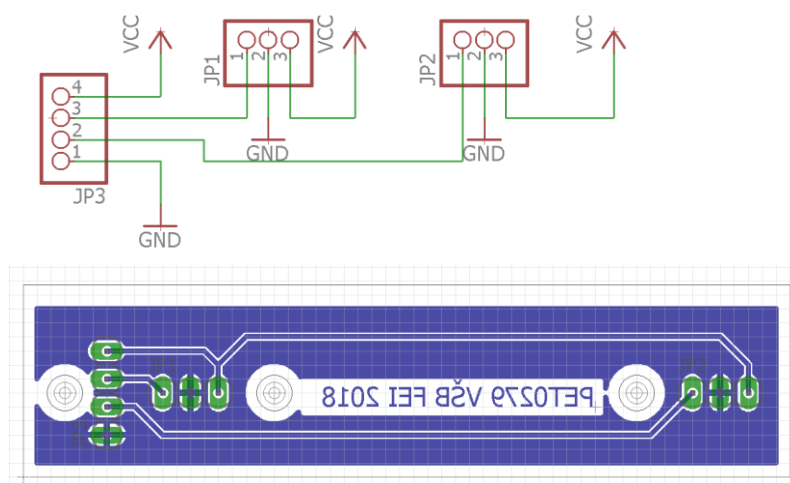
Pro vysílací IR LED diody je vytvořena jednoduchá deska s dvěma rezistory. Deska slouží pouze k tomu, aby diody nebyly pouze ve vzduchu. Do desky vedou piny JP1 - zde je přivedena zem a signály z potenciometrů nastavující intenzitu odesílaného signálu. Dráty jsou připojeny přes vozík ke kolečkům zajišťujícím přenos signálu z kolejničky.



Obrázek 26: Vlevo leptací maska, uprostřed rozmístění součástek vysílače, vpravo schéma

### 3.3 Realizace přijímače

Pro demodulátory je taktéž vytvořena deska udržující je na místě, a oproti desce vysílače je zde i přivedeno napájení +5V důležité k funkčnosti demodulátorů.



Obrázek 27: Shora: schéma přijímače, leptací maska přijímače

### 3.4 Popis vývoje DPS

Zapojení je realizováno na jednostranné desce plošných spojů. Návrh je v programu CadSoft EAGLE v7.6 a metoda tvorby plošných spojů probíhá fotocestou.

Vytvoření plošného spoje začalo návrhem schématu v programu EAGLE. Pro správnou funkčnost bylo třeba přidat všechny součástky a zkontrolovat správné zapojení. Dále byla vytvořena deska, ve které šlo v první řadě o dobré rozmístění komponent.

Po vytvoření návrhu desky byla tato maska vytištěna na laserové tiskárně na fólii. Fólie byla vložena na fotocitlivou stranu DPS a dána do osvitové jednotky, kde doba osvitů činila 3 minuty. Po osvětlení bylo potřeba smýt části masky, které tvořily budoucí spoje v roztoku NaOH a vody (přibližně 1 lžička krystalů hydroxidu a 200ml vody) po dobu, než se spoje začaly vybarvovat tmavší barvou. Poté byla deska opláchnuta vodou, aby došlo k odstranění přebytků hydroxidu.

Takto připravená deska se položila na povrch ohřátého chloridu železitého a nechala se leptat přibližně hodinu a půl. Po vyleptání všech cest došlo k oplachu vodou, osvětlení bez masky a smytí zbytkové masky v roztoku hydroxidu sodného.

Dále byly vyvrtány do desky upevňovací díry a díry pro součástky a deska byla natřena kalafunou rozpuštěnou v lihu - směs zabraňující oxidaci měděného spoje a zajišťující snadnou pájitelnost součástek.

### 3.5 Softwarového řešení

#### 3.5.1 Software pro měření přenosu dat při různé vzdálenosti

Při spuštění programu `MereniPrenosuVzdalenost.ino` se nejprve inicializují proměnné, které bude program dále používat. Ve smyčce `setup()` dojde nejprve k inicializaci sériové linky a poté k výpisu, o jaký program se jedná.

Následuje kontrola úhlu rozevření ramene - dochází ke čtení analogové hodnoty z pinu A0, na kterém je připojen potenciometr umístěná ve středu kloubu. Potenciometr je zapojen jako napěťový dělič - na jezdcí se rozevřením mění hodnoty napětí 0-5V. Pro správnou funkčnost a určení úhlu je nutno tuto hodnotu přepočítat na stupně - pomocí funkce `map()`. Mikrokontrolér Atmega328p má zabudován ADC převodník s rozlišením 10 bit, takže při 5V nabývá hodnoty 1023. Díky mechanické konstrukci potenciometru (jezdec má dráhu delší než 180°) bylo potřeba určit horní hranici pro 180° - tou je hodnota 710. Proto funkce `map()` přepočítává hodnoty 0-710 získané z ADC převodníku na stupně 0-180°. Při nenulovém rozevření ramen dochází ke spuštění smyčky pro kontrolu stavu rozevření a nedochází ke spuštění měření.

Po správném rozevření ramen se odpočítá 5s do startu a začíná samotné měření. Vysílání modulovaného signálu probíhá Nastavením hodnoty HIGH na první IR LED diodě, přičemž intenzitu signálu lze ovlivnit potenciometrem.

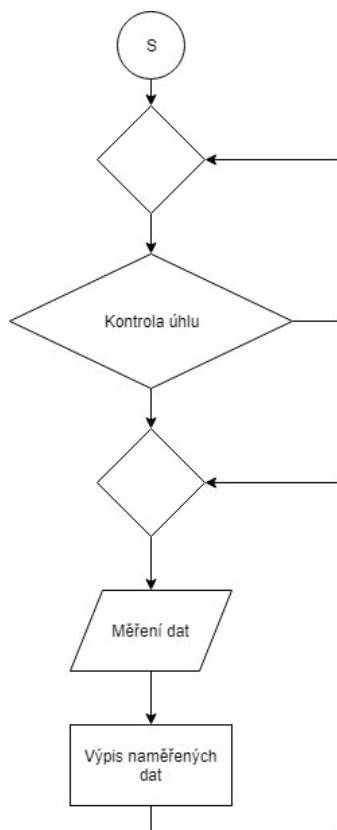


Intenzita signálu je nastavována pomocí potenciometru zapojeného jako horní spínač - snižuje napětí pulzu z 5V na 0, přičemž škála je 0-100% (100% = 5V, 50% = 2,5V, atp.).

Po vyslání pulsu o délce poloviny periody je nastavena IR LED dioda na hodnotu LOW a vyčtena hodnota demodulátoru. Zachytil-li demodulátor signál, projeví se jako hodnota LOW na měřícím vstupu a zapíše se do pole naměřených hodnot pulses[]. Pakliže signál zachycen nebyl, dochází k zapsání hodnoty HIGH.

Nakonec dochází ke čtení hodnot pole pulses[] a součtu všech přijatých signálů (hodnot LOW) do proměnné count.

Jako poslední dojde k vypsání naměřených hodnot a intenzity signálu na sériovou linku a měřící cyklus se opakuje.



Obrázek 28: Zjednodušený vývojový diagram měření přenosu dat při různé vzdálenosti

Změna vzdálenosti probíhá pomocí posunu vozíku po kolejnici, přičemž vzdálenost je ručně odečítána z měřidla umístěného na kolejnicích. Při odečítání vzdálenosti je třeba přičíst 9cm - velikost kloubu kdy vozíky již nemohou být posunuty blíže k sobě. Minimální vzdálenost je tedy 9cm, kdy oba vozíky jsou nastaveny na pozici 0cm.

```
Měření přenosu dat při různé vzdálenosti
Úhel ramene: 11°
Rozložte rameno na plnou délku
Úhel ramene: 8°
Rozložte rameno na plnou délku
Úhel ramene: 1°
Rozložte rameno na plnou délku
Start měření za: 5s
Start měření za: 4s
Start měření za: 3s
Start měření za: 2s
Start měření za: 1s
Intenzita signálu: 100% Přijato pulzů: 33
Intenzita signálu: 100% Přijato pulzů: 33
Intenzita signálu: 100% Přijato pulzů: 33
Intenzita signálu: 99% Přijato pulzů: 33
Intenzita signálu: 98% Přijato pulzů: 33
Intenzita signálu: 96% Přijato pulzů: 33
Intenzita signálu: 88% Přijato pulzů: 33
Intenzita signálu: 83% Přijato pulzů: 19
Intenzita signálu: 74% Přijato pulzů: 33
Intenzita signálu: 74% Přijato pulzů: 33
Intenzita signálu: 67% Přijato pulzů: 33
Intenzita signálu: 61% Přijato pulzů: 33
```

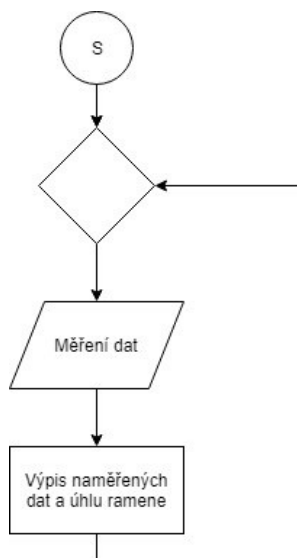
Obrázek 29: Příklad výpisu ze sériového monitoru pro délky 0cm

Měření přenosu dat při různé vzdálenosti je realizováno pomocí první IR LED diody připojené na pin 7 a prvního demodulátoru na pinu 3.

### 3.5.2 Software pro měření přenosu dat při různém úhlu

Při spuštění programu MereniPrenosuUhel.ino se nejprve inicializují proměnné, které bude program dále používat. Ve smyčce setup() dojde nejprve k inicializaci sériové linky a poté k výpisu, o jaký program se jedná. Dále dojde přímo ke spuštění měření - program nečeká na určitý úhel, neboť cílem této úlohy je úhel měnit.

Měření dat probíhá stejně jako v příkladu pro měření dat při různé vzdálenosti, ovšem ve výpisu je přidána část pro čtení nastaveného úhlu. Dále je zde jako vysílač nastavena druhá IR LED dioda připojena na pin 6 a druhý demodulátor připojená na pin 4, neboť jsou nastaveny blíže středu kloubu a tudíž mají úhel stejný jako změřený úhel ramene.



Obrázek 30: Zjednodušený vývojový diagram měření přenosu dat při různém úhlu

### 3.5.3 Měření přenosu dat při odrazu

Při spuštění programu MereniPrenosuOdraz.ino se nejprve inicializují proměnné, které bude program dále používat. Ve smyčce setup() dojde nejprve k inicializaci sériové linky a poté k výpisu, o jaký program se jedná. Program je totožný jako při měření přenosu dat při různém úhlu, ovšem se změní IR LED diody - připojena je první dioda na pin 7. Toto zapojení bylo zvoleno pro jednodušší odraz od předmětu.

```

Měření přenosu dat odrazem od různých povrchů
Start měření za: 5s
Start měření za: 4s
Start měření za: 3s
Start měření za: 2s
Start měření za: 1s
Úhel ramene: 178°
Intenzita signálu: 100% Přijato pulzů: 33
Úhel ramene: 178°
Intenzita signálu: 100% Přijato pulzů: 33
Úhel ramene: 178°
Intenzita signálu: 100% Přijato pulzů: 33
Úhel ramene: 178°
Intenzita signálu: 100% Přijato pulzů: 33
Úhel ramene: 178°
Intenzita signálu: 97% Přijato pulzů: 33
Úhel ramene: 178°
Intenzita signálu: 95% Přijato pulzů: 33
Úhel ramene: 178°
Intenzita signálu: 86% Přijato pulzů: 33
  
```

Obrázek 31: Příklad výpisu ze sériového monitoru pro odraz od ruky (6cm)

## 4 Verifikace originální výukové sady

### 4.1 Verifikace měření datového přenosu v závislosti na vzdálenosti

Měření přenosu dat modulovaného infračerveného signálu při různé vzdálenosti má zadáno několik úloh, které mají studenti měřit. Jejich hlavním cílem je zjistit, při jaké vzdálenosti a jaké intenzitě již nejsou data přijímána.

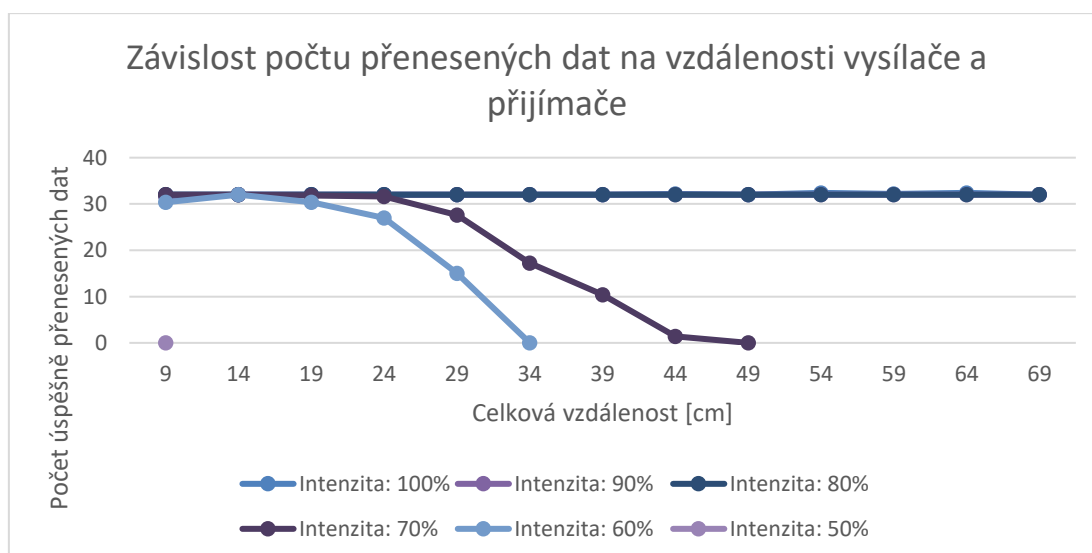
Naměřená data zde jsou při počáteční vzdálenosti vozíků na kolejnici 0cm (nutno připočíst 9cm velikost kloubu) s posunem nejprve vozíku s přijímačem o 5 cm a maximální intenzitou 100% (5V).

V níže uvedené tabulce jsou průměry 5ti měření pro konkrétní intenzity a vzdálenosti vozíků. Přesnější data se nachází v dokumentu Výsledky měření přenosu.xlsx umístěného na příloženém CD.

Intenzita: 100%		Intenzita: 90%		Intenzita: 80%		Intenzita: 70%		Intenzita: 60%		Intenzita: 50%	
Celková vzdálenost	Data	Celková vzdálenost	Data	Celková vzdálenost	Data	Celková vzdálenost	Data	Celková vzdálenost	Data	Celková vzdálenost	Data
9	32	9	31,6	9	32	9	32	9	30,4	9	0
14	32	14	32	14	32	14	32	14	32	14	32
19	32	19	32	19	32	19	31,8	19	30,4	19	32
24	32	24	32	24	32	24	31,6	24	27	24	27
29	32	29	32	29	32	29	27,6	29	15	29	15
34	32	34	32	34	32	34	17,2	34	0	34	0
39	32	39	32	39	32	39	10,4	39			
44	32,2	44	32	44	32	44	1,4	44			
49	32	49	32	49	32	49	0	49			
54	32,4	54	32	54	32						
59	32,2	59	32	59	32						
64	32,4	64	32	64	32						
69	32	69	32	69	32						

Obrázek 32: Průměry naměřených dat

Zde je možno vidět počty úspěšně přijatých dat - pro intenzity 100-80% nezáleží na vzdálenosti (v rámci použitého přípravku), zato u nižší intenzity již počet zachycených dat klesá.



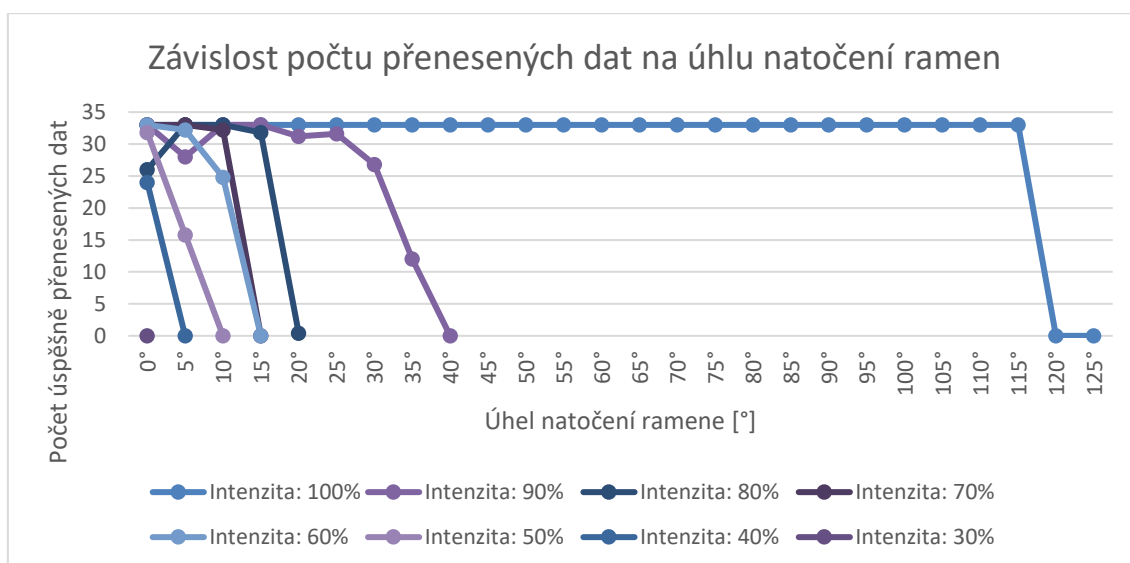
Obrázek 33: Graf naměřených hodnot pro všechny vzdálenosti

Při měření bylo překvapením několik věcí: Nikdy nedošlo k zaznamenání plného počtu přenesených dat. Posíláno bylo 38 pulzů, za to zachyceno maximálně 33.

#### 4.1.1 Verifikace měření datového přenosu v závislosti na různém úhlu

Tento typ úloh je zaměřen na měření vyzařovacího úhlu IR LED diody. Pro počáteční měření je použito  $0^\circ$  rozevření ramene a úhel se dále zvětšuje.

Měření pro vyhodnocení dat v následujícím grafu přináší zajímavé výsledky, a to především pro první měření, kdy zachycená data s intenzitou 100% jsou velmi zajímavým způsobem zachycena pravděpodobně odrazem, neboť jsou při  $115^\circ$  stále v maximálním rozmezí.



Obrázek 34: Graf naměřených hodnot pro všechny úhly

Pro tuto intenzitu je možné, že signál IR LED diody prochází přes nádstavec přijímače a demodulátor tento signál dokáže zachytit až do vysokých stupňů otočení. Pro příjem signálu intenzity 90% nastal u otočení  $5^\circ$  pokles na průměr přenesených dat 28, přičemž při měření opakovaní testování nezvyklých dat byly hodnoty obdobné.

#### 4.2 Verifikace měření datového přenosu v závislosti na odrazu

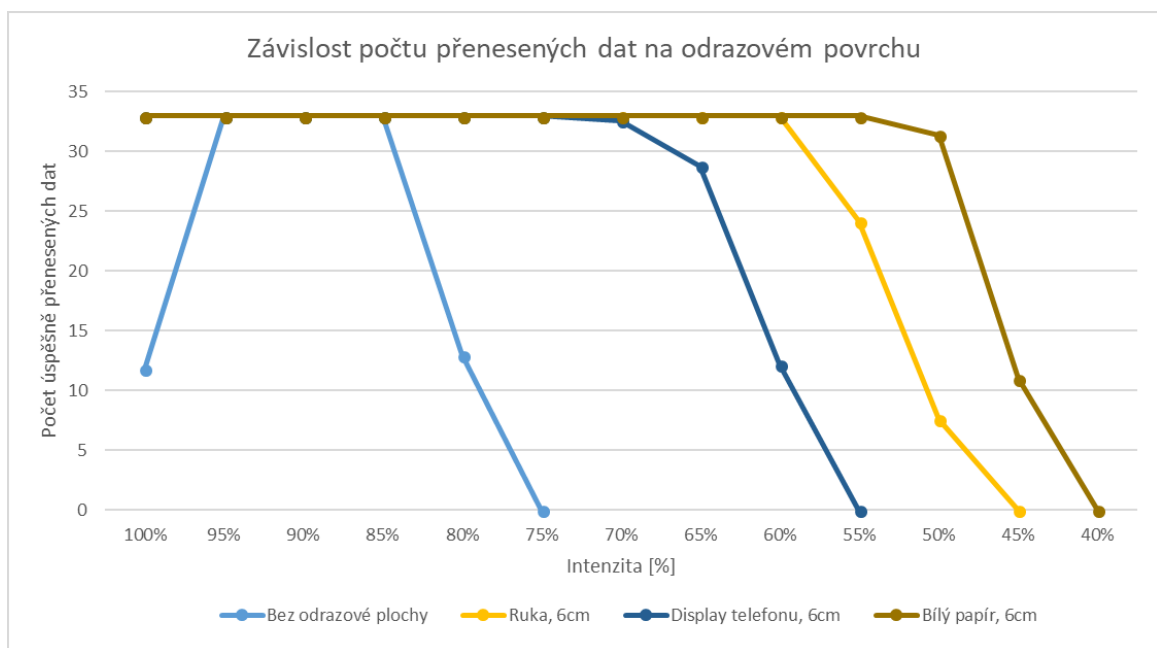
Poslední měřicí úloha se zabývá měřením přenosu dat odrazem od různých ploch. Pro měření byla vybrána konstantní vzdálenost (6cm) a odrazové plochy byly: dlaň ruky, displej telefonu (vypnutý) a bílý papír.

Výsledkem měření bylo zjištěno, že černá lesklá plocha dotykového telefonu nejméně odrážela infračervený signál, ruka byla na druhém místě a bílý klasický papír signál odrážel i při intenzitě 40% (přibližně 2V).

Studenti samozřejmě mohou změnit odrazový materiál i vzdálenost a přijít k mnohým zajímavým výsledkům.

Měření bez odrazové plochy		Odražová plocha - ruka, 6cm		Odražová plocha - display telefonu, 6cm		Odražová plocha - bílý papír, 6cm	
Intenzita	Celkem dat	Intenzita	Celkem dat	Intenzita	Celkem dat	Intenzita	Celkem dat
100%	11,8	100%	33	100%	33	100%	33
95%	33	95%	33	95%	33	95%	33
90%	33	90%	33	90%	33	90%	33
85%	33	85%	33	85%	33	85%	33
80%	13	80%	33	80%	33	80%	33
75%	0	75%	33	75%	33	75%	33
		70%	33	70%	32,6	70%	33
		65%	33	65%	28,8	65%	33
		60%	33	60%	12,2	60%	33
		55%	24,2	55%	0	55%	33
		50%	7,6			50%	31,4
		45%	0			45%	11
						40%	0

Obrázek 35: Průměry naměřených dat



Obrázek 36: Graf naměřených hodnot pro všechny plochy

## 5 Závěr

Cílem této práce je přiblížit studentům různé podmínky pro vysílání a přenášení dat pomocí modulovaného infračerveného signálu. Toho studenti dosáhnou měřicími úlohami a testováním závislostí mezi intenzitou signálu a úhlem a vzdáleností mezi přijímačem a vysílačem, popřípadě odrazem signálu od různých předmětů.

Hlavním prvkem je originální měřicí přípravek skládající se z otočné klouby, na němž jsou připojeny dvě ramena s vozíky - jeden jako přijímač, druhý jako vysílač. Vedení napájecího napětí (5V) z vnitřní desky k přijímači a vysílači zajišťuje zahlobený proužek plechu ukrytý v kolejnici a kovové kolečka umístěna ze spodní strany vozíků.

Kloub dovoluje plynulé nastavení úhlu v rozmezí  $0^\circ$  až  $180^\circ$  ručním posunem ramen. Rozlišení pro nastavení úhlu je  $1^\circ$ . Vzdálenost vysílače a přijímače je volitelně nastavitelná. Minimální vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem je 9 cm - vzdálenost daná velikostí kloubu, na kterém již není realizována vodící kolejnici určená k přenosu dat. Maximální vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem je celkem 84 cm.

Měřicí úlohy připraveny pro toto rameno jsou tři - měření úspěšnosti přenosu dat na různou vzdálenost (VA charakteristika IR LED diody), měření úspěšnosti přenosu dat při různém úhlu mezi vysílačem a přijímačem (vyzařovací úhel IR LED diody) a měření úspěšnosti přenesených dat v závislosti na odrazovém povrchu (pohlčení a odraz IR signálu od různých povrchů). Všechny tyto úlohy probíhají měřením vyvinutou aplikací v mikrokontroléru. Zobrazení výsledků je pomocí sériového monitoru v Arduino IDE a změna jednotlivých parametrů měření (vzdálenost, úhel, intenzita vysílaného signálu) probíhá změnou na prvcích originálního přípravku.

Měření úspěšnosti přenosu dat při různé vzdálenosti začalo s intenzitou 100 % a složeným ramenem s úhlem  $0^\circ$ . Měření probíhalo pro maximální vzdálenost 69 cm. Počet přenesených dat při 9 cm a intenzitě 100 % byl v počtu 32, stejně jako pro intenzitu 90 % a 80 % . Při intenzitě 70 % (3,51 V) je plný počet přenesených dat do vzdálenosti 14 cm a dále klesá. Při vzdálenosti 49 cm již přenos dat neprobíhá.

Měření úspěšnosti přenosu dat při různém úhlu nenaplnilo teoretické předpoklady při prvním měření. Intenzita 100 % signálu dokázala pravděpodobně překonat stěnu přijímače, který zachytil data v plném rozsahu až do úhlu  $120^\circ$ . Při snížení intenzity na 90 % byly data přijímány maximálně při úhlu  $40^\circ$ .

Měření úspěšnosti přenosu dat při odrazu od různých ploch ukázalo, že nejlepší z použitých materiálů byl obyčejný bílý papír, kdy data byla přijímána i s intenzitou 40 % (2 V). Naopak nejvíce bylo záření pohlcováno displejem mobilního telefonu, kdy data přestala být přijímána při 55 % intenzity.

---

## 6 Použitá literatura

- [1] Elektromagnetické záření. Fyzika.jreichl.com [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/527-prehled-elektromagnetickeho-zareni>
- [2] Historie IR záření. Www.fyzika007.cz [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/optika/infracervene-zareni>
- [3] Elektromagnetické spektrum s infračerveným zářením. In: Www.qtest.cz [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.qtest.cz/bezdotykove-teplomery/bezdotykove-mereni-teploty.htm>
- [4] Fyzikální zákony [online]. VUT Brno [cit. 2018-04-1]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/optika/0200.htm>
- [5] Bezdotykový IR teploměr www.dstechnik.cz [online]. In: . [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.dstechnik.cz/bezdotykovy-lekarsky-telni-teplomer/dst-uv-8808-7489.html>
- [6] Schéma detektoru plynů. In: Www.aldebaran.cz [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: [http://www.aldebaran.cz/bulletin/2015\\_40\\_ird.php](http://www.aldebaran.cz/bulletin/2015_40_ird.php)
- [7] IR [online]. Brno, 2010 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=28399](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28399). Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. ZDENĚK NĚMEC, CSc.
- [8] PIR funkce [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/automatizace/pir-cidlo-skvely-sluha-ale-zly-pan.html>
- [9] PIR čidlo. Hadex.cz [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.hadex.cz/t367-pir-cidlo-st09-stropni-i-nastenne/>
- [10] IR závora. In: Www.alarmsecurity.cz [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.alarmsecurity.cz/www-alarmsecurity-cz/5-TECHNICKA-PODPORA/39-IR-zavora-Fotoelektricky-plot>
- [11] Atmega328p datasheet. Microchip.com [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P\\_Summary.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Summary.pdf)
- [12] TSOP4838 datasheet. Alldatasheet.com [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/252287/VISHAY/TSOP4838.html>
- [13] Tsal6100 datasheet. Vishay.com [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.vishay.com/docs/81009/tsal6100.pdf>



- 
- [14] UART komunikace. Zavavov.vzap.eu [online]. [cit. 2018-04-23].  
Dostupné z: <http://zavavov.vzap.eu/cz/elektrotechnika/komunikacni-sbernice/67-uart-usart-komunikujte-seriove-po-dvou-vodicich/>
- [15] Arduino IDE. Playground.arduino.cc [online]. [cit. 2018-04-25].  
Dostupné z: <https://playground.arduino.cc/Main/ArduinoOnOtherAtmelChips>

---

## 7 Seznam příloh

Součástí BP je DVD.

Adresářová struktura přiloženého DVD:

V hlavním adresáři se nachází souboru BP\_PET0279.pdf s bakalářskou prací. Dále jsou zde složky Hardware, Software a Protokoly.

Složka Hardware obsahuje podsložky DPS a Přípravek.

Ve složce DPS se nachází soubory .sch a .brd - návrh tištěného spoje v programu EAGLE pro řídicí desku, přijímač a vysílač.

Ve složce přípravek jsou soubory návrhu konstrukčního přípravku pro měření v programu Autodesk Inventor.

Složka Software obsahuje jednotlivé programy pro měření. K otevření je potřeba stáhnout a nainstalovat Arduino IDE.

Složka Protokoly obsahuje protokoly jednotlivých měření, a výsledky již naměřených hodnot v tabulce MS Excel.