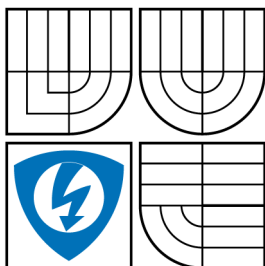


VYSOKÉ UČENÍ TECHnickÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY  
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND  
COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## OPTICKÝ BEZKABELOVÝ PŘENOS OPTICAL CABLELESS TRANSMISSION

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

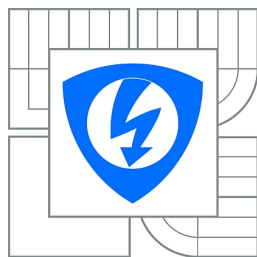
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. FILIP NĚMEC

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

DOC. ING. MILOSLAV FILKA, CSC.

BRNO 2010



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav telekomunikací**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Telekomunikační a informační technika**

**Student:** Bc. Filip Němec

**ID:** 78013

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2009/2010

**NÁZEV TÉMATU:**

## Optický bezkabelový přenos

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Proveďte rozbor možností optických přenosů atmosférou. Pojednejte o možnostech, rychlostech, dosahu, kvalitě a spolehlivosti těchto spojů. Proveďte obvodový návrh zařízení a proveďte realizaci. Ověřte funkčnost vzorku. Předpokládané využití návrhu a realizace je v laboratorní úloze pro předmět Optické sítě.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. CENTA, Brno 2009.
- [2] FILKA, M. Přenosová média. Skripta laboratoře. VUT FEKT, Brno 2003.
- [3] KOLKA, Z., BIOLKOVÁ, V. Model of atmospheric optical transmission channel. In. NIMT 09. SEI TU Brno 2009.

**Termín zadání:** 29.1.2010

**Termín odevzdání:** 26.5.2010

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Miloslav Filka, CSc.

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**  
*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se nejdříve zabývá všeobecnou problematikou bezkabelového optického přenosu v atmosféře. Cílem je návrh a realizace bezdrátového optického zařízení, které by sloužilo v laboratořích optických sítí. Jako základ se použilo bezdrátové pojítko Ronja, které je již ve světě rozšířené. Studenti tak budou pracovat se zařízením, se kterým mohou v budoucnu přijít do styku. To se skládá se z několika samostatných modulů: vysílače, přijímače a Intefacu. Každému modulu je věnována samostatná kapitola s popisem jednotlivých funkčních bloků a obvodovou realizací. Pro potřeby laboratorní úlohy byla Ronja upravena, kde jsou navíc přidány voltmetry pro měření síly přijímaného signálu (RSSI) na obou koncích spoje. Měřicí přípravek se stará o regulaci výkonu vysílací LED diodou přes počítač, měří a posílá RSSI hodnoty do PC přes USB či RS232, vypíná Ronju spolu s počítačem. Byla vytvořena mechanická konstrukce pro zaměřování rour Ronji. V poslední části práce bylo celé zařízení podrobeno řadou testů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

RONJA, optika, bezdrát, pojítko, LAN, laboratoř

## **ABSTRACT**

This diploma thesis first handles the general issues concerning free space optics in the atmosphere. The aim is to design and implementation of optical wireless equipment, which would serve in the laboratories of optical networks. Ronja was used as the basis for a wireless link, which is already widespread in the world. Students will work with the device, which they may come into contact in the future. It consists several separate modules: transmitter, receiver and inteface. Each module have a separate chapter describing the functional blocks and circuit realization. Ronja was adjusted for the needs of laboratory tasks, where additional voltmeters measures received signal strength (RSSI) at both ends of the link. Measuring device provides adjustment of power the transmitting LED via computer, measures and sends RSSI values to a PC via USB or RS232, turn off Ronja with computer. For targeting the pipes of Ronja was developed the mechanical design. In the last part of thesis the device was undergone a series of tests.

## **KEYWORDS**

RONJA, optics, wireless, link, LAN, laboratory

NĚMEC F. *Optický bezkabelový přenos: diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 116 stran, 1 příloha. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miloslav Filka, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Optický bezkabelový přenos“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Úvod</b>                                                | <b>13</b> |
| <b>1 Všeobecná problematika FSO</b>                        | <b>14</b> |
| 1.1 Princip spojení bezdrátového optického spoje . . . . . | 14        |
| 1.2 Základní výhody bezdrátové optiky . . . . .            | 14        |
| 1.3 Základní nevýhody bezdrátové optiky . . . . .          | 14        |
| 1.4 Bezpečnost provozu . . . . .                           | 15        |
| 1.5 Bezpečnost přenosu dat . . . . .                       | 15        |
| 1.6 Vliv prostředí na sílu přijímaného signálu . . . . .   | 15        |
| <b>2 Optické pojítka Ronja</b>                             | <b>17</b> |
| 2.1 Úvod . . . . .                                         | 17        |
| 2.2 Porovnání Ronji s profesionálním FSO . . . . .         | 17        |
| 2.3 Základní parametry Ronji . . . . .                     | 17        |
| 2.4 Blokové schéma Ronji . . . . .                         | 18        |
| 2.5 Úprava Ronji do laboratorní úlohy . . . . .            | 19        |
| <b>3 Interface</b>                                         | <b>20</b> |
| 3.1 Napájecí obvody . . . . .                              | 20        |
| 3.2 1 MHz ochranný signál . . . . .                        | 21        |
| 3.3 Vysílací sekce . . . . .                               | 22        |
| 3.4 Přijímací sekce . . . . .                              | 22        |
| 3.5 Osazení desky . . . . .                                | 23        |
| <b>4 Vysílač</b>                                           | <b>24</b> |
| 4.1 Napájecí obvody . . . . .                              | 24        |
| 4.2 Zpracování signálu . . . . .                           | 24        |
| 4.3 Vysílací část . . . . .                                | 25        |
| 4.4 Osazení desky . . . . .                                | 26        |
| <b>5 Přijímač</b>                                          | <b>27</b> |
| 5.1 Napájecí obvody . . . . .                              | 27        |
| 5.2 Přijímací sekce . . . . .                              | 27        |
| 5.3 Úprava signálu . . . . .                               | 28        |
| 5.4 Osazení desky . . . . .                                | 29        |

|           |                                                               |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6</b>  | <b>Voltmetr u přijímače</b>                                   | <b>31</b> |
| 6.1       | Osazení desky . . . . .                                       | 32        |
| 6.2       | Popis programu v Attiny26 . . . . .                           | 33        |
| <b>7</b>  | <b>Měřicí přípravek</b>                                       | <b>35</b> |
| 7.1       | Mikrokontrolér . . . . .                                      | 35        |
| 7.2       | Napájecí obvody . . . . .                                     | 36        |
| 7.3       | Obvody pro regulaci proudu LED diodou a měření RSSI . . . . . | 37        |
| 7.4       | Komunikace s PC . . . . .                                     | 37        |
| 7.5       | Osazení desky . . . . .                                       | 39        |
| 7.6       | Relé v prodlužovače . . . . .                                 | 40        |
| 7.7       | Popis programu v Atmega8 . . . . .                            | 42        |
| <b>8</b>  | <b>Program v PC</b>                                           | <b>44</b> |
| <b>9</b>  | <b>Mechanická konstrukce</b>                                  | <b>46</b> |
| 9.1       | Krabička pro měřicí přípravek . . . . .                       | 47        |
| 9.2       | Krabička pro Interface . . . . .                              | 48        |
| 9.3       | Krabičky pro vysílač a přijímač . . . . .                     | 49        |
| 9.4       | Vymezovací tácky . . . . .                                    | 50        |
| 9.5       | Roury pro umístění vysílače a přijímače . . . . .             | 51        |
| 9.6       | Zaměřovací systém . . . . .                                   | 53        |
| 9.7       | Konzole . . . . .                                             | 57        |
| <b>10</b> | <b>Testování Ronji</b>                                        | <b>58</b> |
| 10.1      | Měřicí body na přijímači a vysílači . . . . .                 | 58        |
| 10.2      | Loopback v linuxu . . . . .                                   | 61        |
| 10.3      | Kompletní Ronja . . . . .                                     | 63        |
| 10.3.1    | Ping mezi dvěma PC . . . . .                                  | 63        |
| 10.3.2    | Přenos dat po Ronje . . . . .                                 | 66        |
| 10.3.3    | Regulace proudu vysílací diodou . . . . .                     | 69        |
| 10.3.4    | Polopropustné překážky . . . . .                              | 72        |
| 10.3.5    | Příkon zařízení . . . . .                                     | 72        |
| <b>11</b> | <b>Závěr</b>                                                  | <b>73</b> |
|           | <b>Literatura</b>                                             | <b>74</b> |
|           | <b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>                       | <b>75</b> |
|           | <b>Seznam příloh</b>                                          | <b>76</b> |

|          |                                                 |            |
|----------|-------------------------------------------------|------------|
| <b>A</b> | <b>Elektrická schémata</b>                      | <b>77</b>  |
| A.1      | Interface . . . . .                             | 77         |
| A.2      | Vysílač . . . . .                               | 78         |
| A.3      | Přijímač . . . . .                              | 79         |
| A.4      | Voltmetr . . . . .                              | 80         |
| A.5      | Měřicí přípravek . . . . .                      | 81         |
| <b>B</b> | <b>Předlohy desek plošných spojů</b>            | <b>82</b>  |
| B.1      | Interface . . . . .                             | 82         |
| B.2      | Vysílač . . . . .                               | 83         |
| B.3      | Přijímač . . . . .                              | 84         |
| B.4      | Voltmetr . . . . .                              | 85         |
| B.5      | Měřicí přípravek . . . . .                      | 86         |
| <b>C</b> | <b>Rozmístění součástek na deskách zařízení</b> | <b>88</b>  |
| C.1      | Interface . . . . .                             | 88         |
| C.2      | Vysílač . . . . .                               | 90         |
| C.3      | Přijímač . . . . .                              | 91         |
| C.4      | Voltmetr . . . . .                              | 92         |
| C.5      | Měřicí přípravek . . . . .                      | 93         |
| <b>D</b> | <b>Seznam součástek</b>                         | <b>95</b>  |
| D.1      | Interface . . . . .                             | 95         |
| D.2      | Vysílač . . . . .                               | 99         |
| D.3      | Přijímač . . . . .                              | 101        |
| D.4      | Voltmetr . . . . .                              | 103        |
| D.5      | Měřicí přípravek . . . . .                      | 104        |
| <b>E</b> | <b>Zapojení zařízení</b>                        | <b>107</b> |
| <b>F</b> | <b>Výkres sestavené mechaniky</b>               | <b>108</b> |
| <b>G</b> | <b>Seznam materiálu na mechaniku</b>            | <b>109</b> |
| <b>H</b> | <b>Popisky na krabičkách</b>                    | <b>111</b> |
| <b>I</b> | <b>Fotogalerie</b>                              | <b>112</b> |



# SEZNAM OBRÁZKŮ

|     |                                                                                                   |    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Blokové schéma Ronji . . . . .                                                                    | 18 |
| 2.2 | Principiální zapojení Ronji . . . . .                                                             | 19 |
| 3.1 | Blokové schéma Interfacu . . . . .                                                                | 20 |
| 3.2 | 1 MHz ochranný signál . . . . .                                                                   | 21 |
| 3.3 | Zapojení 4 kolíkového DIN konektoru umístěného na krabičce In-<br>terfacu . . . . .               | 23 |
| 3.4 | Osazená deska Interfacu součástkami . . . . .                                                     | 23 |
| 4.1 | Blokové schéma vysílače . . . . .                                                                 | 24 |
| 4.2 | Napěťový průběh na vysílací LED diodě . . . . .                                                   | 25 |
| 4.3 | Zobrazení katody a anody vysílací LED diody . . . . .                                             | 26 |
| 4.4 | Deska vysílače v krabičce . . . . .                                                               | 26 |
| 5.1 | Blokové schéma přijímače . . . . .                                                                | 27 |
| 5.2 | Napěťový průběh na výstupu tranzistorového zesilovače BF998 . . .                                 | 28 |
| 5.3 | Napěťový průběh na výstupu videozesilovače NE592 . . . . .                                        | 28 |
| 5.4 | Napěťový průběh na výstupu Limiteru v přijímači . . . . .                                         | 29 |
| 5.5 | Deska přijímače v krabičce . . . . .                                                              | 30 |
| 6.1 | Blokové schéma voltmetru . . . . .                                                                | 31 |
| 6.2 | Přesnost zobrazení hodnoty RSSI voltmetru oproti multimetru . . . .                               | 32 |
| 6.3 | Voltmetr umístěný ve víčku roury přijímače . . . . .                                              | 33 |
| 6.4 | Ukázka zobrazení LCD displeje voltmetru . . . . .                                                 | 34 |
| 7.1 | Blokové schéma měřicího přípravku . . . . .                                                       | 35 |
| 7.2 | Zapojení mikrokontroléru včetně jeho dalších obvodů . . . . .                                     | 36 |
| 7.3 | Zapojení napájecích obvodů . . . . .                                                              | 36 |
| 7.4 | Schéma zapojení obvodu regulace proudu LED diodou a RSSI . . .                                    | 37 |
| 7.5 | Schéma zapojení RS232 a USB . . . . .                                                             | 38 |
| 7.6 | Osazená deska měřicího přípravku . . . . .                                                        | 39 |
| 7.7 | Zapojení relé v prodlužovačce . . . . .                                                           | 40 |
| 7.8 | Upravená prodlužovačka s cinch konektorem pro spínání relé . . . . .                              | 41 |
| 8.1 | Nastavení komunikace v programu Hyperterminál . . . . .                                           | 44 |
| 8.2 | Zobrazená data v Hyperterminálu . . . . .                                                         | 45 |
| 9.1 | Celkový pohled na mechanickou část Ronji . . . . .                                                | 46 |
| 9.2 | Výkres umístění děr v panelu s datovými konektory v krabičce KG B15                               | 47 |
| 9.3 | Výkres umístění děr v panelu s napájením a datovými vývody k Ronje<br>v krabičce KG B15 . . . . . | 47 |
| 9.4 | Výkres umístění děr pro Interface v předním panelu na krabičce KM50                               | 48 |
| 9.5 | Výkres umístění děr pro Interface vzadu na krabičce KM50 . . . . .                                | 48 |
| 9.6 | Výkres umístění děr v přední straně na krabičce U-AH102 . . . . .                                 | 49 |

|       |                                                                                                                                                                                           |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 9.7   | Výkres umístění děr v zadní straně Tx a Rx na krabičce U-AH102 . .                                                                                                                        | 49 |
| 9.8   | Tácky pro Tx a Rx a) Přední štítek pro vysílač a přijímač, b) Zadní štítek přijímače, c) Deska pro posun modulu vysílače, d) Zadní štítek vysílače . . . . .                              | 50 |
| 9.9   | Výkres roury s kšiletem pro posun vysílače či přijímače . . . . .                                                                                                                         | 51 |
| 9.10  | Výkres víček na koncích rour, a) Víčko na přijímač, b) Víčko na vysílač, c) Klika pro posouvání vysílače v rouře . . . . .                                                                | 52 |
| 9.11  | Výkres sestavené roury s tácky, a) Pro vysílač, b) Pro přijímač . . . .                                                                                                                   | 52 |
| 9.12  | Výkres centrálního dílu, který slouží jako základna pro zaměřovací systém . . . . .                                                                                                       | 53 |
| 9.13  | Výkres boční části systému pro horizontální a vertikální zaměřování roury . . . . .                                                                                                       | 54 |
| 9.14  | Výkres součástky pro uchycení roury a její vertikální seřizování . . . .                                                                                                                  | 55 |
| 9.15  | Výkres závitové tyče sloužící pro horizontální seřízení roury . . . . .                                                                                                                   | 55 |
| 9.16  | Pohled na připevněnou rouru k zaměřovacímu systému . . . . .                                                                                                                              | 56 |
| 9.17  | složený zaměřovací systém rour Ronji . . . . .                                                                                                                                            | 56 |
| 9.18  | Výkres koupené konzole pro připevnění Ronji ke stěně . . . . .                                                                                                                            | 57 |
| 10.1  | Elektrické schéma přijímače s body pro měření . . . . .                                                                                                                                   | 59 |
| 10.2  | Elektrické schéma vysílače s body pro měření . . . . .                                                                                                                                    | 60 |
| 10.3  | Okno terminálu při správně fungujícím Interfacu . . . . .                                                                                                                                 | 62 |
| 10.4  | Zapojení poloviny Ronji při loopback testu . . . . .                                                                                                                                      | 62 |
| 10.5  | Testování Ronji mezi dvěma PC . . . . .                                                                                                                                                   | 63 |
| 10.6  | Graf spolehlivosti přenosu při pingu o velikosti 1024 B . . . . .                                                                                                                         | 65 |
| 10.7  | Průběh stahování souboru v jenom směru . . . . .                                                                                                                                          | 66 |
| 10.8  | Graf závislosti velikosti paketu pingu na jeho odezvě . . . . .                                                                                                                           | 67 |
| 10.9  | Průběh stahování souboru v jenom směru s pingem na druhý PC.<br>V prvním sloupci zleva je ping o velikosti 1024 B, ve druhém 16384 B,<br>ve třetím 65500 B a ve čtvrtém 32768 B . . . . . | 68 |
| 10.10 | Průběh stahování souboru, během kterého došlo k přerušení vysíláního paprsku Ronji . . . . .                                                                                              | 68 |
| 10.11 | Graf závislosti velikosti odporu na bázi tranzistoru T1 na proudu procházející vysílací diodou . . . . .                                                                                  | 70 |
| 10.12 | Graf závislosti velikosti RSSI na proudu procházející vysílací diodou                                                                                                                     | 70 |
| 10.13 | Svitivost vysílací diody. Nalevo odpor 0 $\Omega$ , napravo odpor 180 k $\Omega$ .                                                                                                        | 71 |
| A.1   | Elektrické schéma Interfacu . . . . .                                                                                                                                                     | 77 |
| A.2   | Elektrické schéma vysílače . . . . .                                                                                                                                                      | 78 |
| A.3   | Elektrické schéma přijímače . . . . .                                                                                                                                                     | 79 |
| A.4   | Elektrické schéma voltmetru umístěného na víčku roury u přijímače .                                                                                                                       | 80 |
| A.5   | Elektrické schéma měřícího přípravku pro laboratorní úlohu . . . . .                                                                                                                      | 81 |

|      |                                                                    |     |
|------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| B.1  | Horní strana DPS interfacu . . . . .                               | 82  |
| B.2  | Spodní strana DPS interfacu . . . . .                              | 82  |
| B.3  | Horní strana DPS vysílače . . . . .                                | 83  |
| B.4  | Spodní strana DPS vysílače . . . . .                               | 83  |
| B.5  | Horní strana DPS přijímače . . . . .                               | 84  |
| B.6  | Spodní strana DPS přijímače . . . . .                              | 84  |
| B.7  | Horní strana DPS voltmetru . . . . .                               | 85  |
| B.8  | Spodní strana DPS voltmetru . . . . .                              | 85  |
| B.9  | Horní strana DPS měřícího přípravku . . . . .                      | 86  |
| B.10 | Spodní strana DPS měřícího přípravku . . . . .                     | 87  |
| C.1  | Rozmístění součástek na desce Interfacu . . . . .                  | 88  |
| C.2  | Zapojení jumperů k UTP kabelu . . . . .                            | 88  |
| C.3  | Popis zapojení součástek na desku Interfacu . . . . .              | 89  |
| C.4  | Rozmístění součástek na horní straně vysílače . . . . .            | 90  |
| C.5  | Rozmístění součástek na spodní straně vysílače . . . . .           | 90  |
| C.6  | Rozmístění součástek na horní straně přijímače . . . . .           | 91  |
| C.7  | Rozmístění součástek na spodní straně přijímače . . . . .          | 91  |
| C.8  | Rozmístění součástek na horní straně voltmetru . . . . .           | 92  |
| C.9  | Rozmístění součástek na spodní straně voltmetru . . . . .          | 92  |
| C.10 | Rozmístění součástek na horní straně měřícího přípravku . . . . .  | 93  |
| C.11 | Rozmístění součástek na spodní straně měřícího přípravku . . . . . | 94  |
| E.1  | Blokové schéma vedení kabelů v celém zařízení . . . . .            | 107 |
| F.1  | Celkový pohled na složenou mechanickou konstrukci . . . . .        | 108 |
| H.1  | Náhled popisků pro umístění na krabičky . . . . .                  | 111 |
| I.1  | Fotka všech vyrobených zařízení . . . . .                          | 112 |
| I.2  | Krabička interfacu . . . . .                                       | 113 |
| I.3  | Vysílač a přijímač s připevněnými tácky a s popisky . . . . .      | 113 |
| I.4  | Popsaná krabička měřícího přípravku . . . . .                      | 113 |
| I.5  | Pohled na čočku v rouře . . . . .                                  | 114 |
| I.6  | Systém posuvu vysílače v rouře . . . . .                           | 114 |
| I.7  | Fotka víčka na rouře s vysílačem . . . . .                         | 115 |
| I.8  | Sestavené roury zepředu . . . . .                                  | 115 |
| I.9  | Sestavené roury ze shora . . . . .                                 | 116 |
| I.10 | Kšilt chránící čočku . . . . .                                     | 116 |

## SEZNAM TABULEK

|       |                                                                                         |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 10.1  | Hodnoty napětí na klíčových bodech přijímače. . . . .                                   | 58 |
| 10.2  | Hodnoty napětí na klíčových bodech vysílače. . . . .                                    | 60 |
| 10.3  | Ping mezi přijímačem a vysílačem . . . . .                                              | 65 |
| 10.4  | Přenos souboru jedním směrem . . . . .                                                  | 66 |
| 10.5  | Přenos souboru oběma směry naráz . . . . .                                              | 66 |
| 10.6  | Ping z PC1 na PC2 a zároveň upload souboru z PC2 na PC1 . . . . .                       | 67 |
| 10.7  | Ping z PC1 na PC2 a zároveň download souboru z PC2 na PC1 . . . . .                     | 67 |
| 10.8  | Regulace svítivosti vysílací LED diody . . . . .                                        | 69 |
| 10.9  | Útlum přijímače v závislosti na přiložené překážce. Výchozí napětí<br>3000 mV . . . . . | 72 |
| 10.10 | Příkon jednotlivých typů zařízení . . . . .                                             | 72 |

# ÚVOD

V dnešní době rychlého rozvoje internetu a masivního připojení domácností je vysoká poptávka po rychlých spojích tzv. poslední míle (připojení koncového uživatele k přístupovému bodu sítě) nebo pro propojení dvou blízkých budov. V České republice je velmi rozšířeno připojení domácností pomocí bezdrátových Wi-Fi (Wireless Fidelity) sítí. Ty pracují v kmitočtovém pásmu 2.4 GHz pod normou IEEE802.11b a 5 GHz pod normou IEEE802.11g, kde mají přiděleno několik vysílacích pásem. Bohužel dané vysílací pásmo také ruší nejbližší okolní pásma, takže reálný počet kanálů pro přenos je menší než teoretický. Navíc norma IEEE802.11b má teoretickou přenosovou rychlost 11 Mb/s, v praxi méně než 6 Mb/s, v dnešní době je již tato rychlost limitující. Norma IEEE802.11g může maximálně přenášet data rychlostí 54 Mb/s, v praxi méně než 24 Mb/s. Obě normy fungují pouze v režimu half-duplex (Přenos dat pouze jedním směrem). Navíc ve velkých městech je problém se zahlcením pásem, kdy je problematické vytvořit stabilní a rychlý spoj bez většího rušení.

Optická bezdrátová zařízení nevyužívají pro svou funkci radiové vlny, jsou spolehlivá a vyznačují se velmi malou latencí (zpoždění), podobně jako kabelové spoje. Nevýhodou jsou kratší dosažitelné vzdálenosti a náchylnost na nepříznivé počasí. Mlha či husté sněžení jsou mechanickými překážkami se kterými si světlo neporadí. Při použití na krátké vzdálenosti však přestávají být tyto aspekty problémem.

Cílem diplomové práce je návrh a realizace bezdrátového optického zařízení, které by sloužilo v laboratořích optických sítí v předmětu MOSE. Studenti by se měli seznámit s principem bezdrátového přenosu atmosférou, jeho výhodami i nevýhodami. Otestují zařízení v krajních mezích, čímž by se simulovaly nepříznivé povětrnostní podmínky. Zařízení je upraveno pro potřeby laboratoří, kdy je kladen důraz na usnadnění práce studentům a přidáním takových funkcí k zařízení, které zvýší možnosti různých typů testování tohoto zařízení.

# 1 VŠEOBECNÁ PROBLEMATIKA FSO

## 1.1 Princip spojení bezdrátového optického spoje

Bezdrátový optický spoj jako přenosové médium používá úzký světelný paprsek, vytvořený skrze soustavu čoček (tzv. optický svazek), který se šíří ve volné atmosféře. Skládá se ze dvou jednotek FSO sestavených z optických transceiverů přesně nastavených proti sobě v přímé přímce viditelnosti. Transceivery obsahují laserový či diodový vysílač a detektor signálu pro zajištění provozu v režimu full-duplex (nezávislý přenos dat dvěma směry). Optické transceivery jsou většinou umístěny na střeše domu, ale mohou být i za oknem.

## 1.2 Základní výhody bezdrátové optiky

- Transparentnost pro jakýkoliv datový provoz, tzn. lze přenášet jak data různých specifikací, tak hlasové kanály
- Přenosová rychlost 1,5 Mb/s až 2.5 Gb/s
- Nejvýkonnější zařízení jsou schopna komunikovat až na vzdálenost 5 km
- Instalace či reinstalace celého řešení je flexibilní stejně jako Wi-Fi
- Na fyzické úrovni OSI referenčního modelu je FSO bezpečnější než Wi-Fi
- FSO pracuje v nelicencovaném pásmu, které je imunní proti jakýmkoliv elektromagnetickým interferencím
- Instalace není nutná na střechu, ale je možno ji provést např. za okno
- Pojítka jsou u vysokých přenosových kapacit cenově přístupnější nebo srovnatelná v porovnání s rádiovými pojítky, pracujícími v licencovaném pásmu [7]

## 1.3 Základní nevýhody bezdrátové optiky

- Spoj musí mít přímou viditelnost bez překážek. Nicméně se nedá zamezit občasnému přerušení paprsku např. prolétajícím ptákem. Takovéto přerušení trvá obvykle velmi krátce a současné technologie pro opravu dat umožňují opětovné poslání ztracených paketů.
- Na optický spoj mají veliký vliv atmosférické jevy (nejvíce mlha). U důležitých spojů je proto zapotřebí zálohovat FSO alternativní cestou, např. rádiovým spojem, který se aktivuje v případě výpadku FSO.
- S přihlédnutím k nepříznivým atmosférickým jevům není vhodné použít FSO na delší vzdálenosti než 5 km, pro velmi spolehlivý spoj je zapotřebí nepřesáhnout vzdálenost 1 km. [7]

## 1.4 Bezpečnost provozu

Většina FSO pracuje na vlnových délkách blízkých infračervenému spektru. Bezpečnost laserového přenosu je pro člověka u výrobců garantovaná testy a certifikáty podle normy IEC 60825-1 [10]. Některé kvalitnější FSO nabízejí automatické snížení výkonu laseru (APR, Automatic Power Reduction), tj. jakmile se něco dostane do vysílacího paprsku a tak se díky snížení vysílacího výkonu zamezí trvalému poškození oční sítnice.

Systémy FSO pracují s laserovými zářiči ve dvou kategoriích: se zářením o vlnové délce okolo 800 nm a s vlnovou délkou 1550 nm. Vlnové délky okolo 800 nm jsou sice pro lidské oko neviditelné, ale i tak pronikají do oka a sítnici tak mohou poškodit. Systémy se zářením s vlnovou délkou 1550 nm jsou absorbovány čočkou a rohovkou oka. Lasery o vlnové délce 1550 nm umožňují vyšší výkon při stejně bezpečném provozu vůči lidskému zraku, proto dosahují většího dosahu a vyšší modulační rychlosti (1,5 Gb/s - 2.5 Gb/s). [7]

## 1.5 Bezpečnost přenosu dat

V porovnání s bezdrátovými Wi-Fi technologiemi, je přenos ve FSO velmi bezpečný. Zatímco rádiové nebo mikrovlnné přenosy se dají jednoduše zachytit a odposlouchávat, u bezdrátových optických přenosů toto nehrozí. Optický signál přenášený vzduchem je velmi těžce zachytitelný a narušitelný. Paprsek je velmi úzký a ve většině případů se nachází vysoko nad zemí. To znamená, že potenciální narušitel má pouze minimální pole působnosti, které je navíc omezené fyzickým zabezpečením přístupu k optickému zařízení. Paprsek u FSO je velmi úzký, např. při vysílání na vzdálenost 300 m je průměr vysílacího paprsku u přijímače okolo 1,3 metru, na jeden kilometr pouze okolo 4 metrů. V okolí jsou pouze rozptýlené fotony, které nemohou nijak posloužit potenciálním narušitelům.

Vysoká bezpečnost optického bezdrátového přenosu je jedním z důvodů, proč jej již delší dobu využívá armáda a tajné služby. Navíc protokoly vyšších vrstev mohou ještě více zabezpečit vlastní obsah zprávy. [4]

## 1.6 Vliv prostředí na sílu přijímaného signálu

Mějme v úvahu, že pozemní FSO linka používá On-Off Keying (OOK). S přihlédnutím k linearitě spoje bude mít přijímaný signál sílu podle vzorce (1.1):

$$p_{RX}(t) = p_{TX}(t) - \alpha_{SYS} - \alpha_{PART}(t) - \alpha_{TURB}(t) - \alpha_{ISI}(\alpha_{PART}) \quad (1.1)$$

kde je:

$p_{RX}(t)$  - síla přijímaného signálu

$p_{TX}(t)$  - síla vysílacího signálu

$\alpha_{SYS}$  - konstantní ztráty v signálu

$\alpha_{PART}(t)$  - rozptyl signálu vlivem mlhy, deště či sněžení

$\alpha_{TURB}(t)$  - útlum signálu vlivem turbulencí v atmosféře

$\alpha_{ISI}$  - snížení výkonu z ISI (Intersymbol interference), závisí na rozptylu během mlhy, deště či sněžení

Síla přijímaného signálu závisí na více faktorech. Za ideálního počasí má největší vliv na ztráty  $\alpha_{SYS}$ , kde jsou reprezentovány všechny konstantní ztráty, včetně ztráty v šíření. Ovlivnění signálu vlivem turbulencí v atmosféře  $\alpha_{TURB}(t)$  může způsobovat silný vítr, či ohřátý vzduch. Útlum  $\alpha_{PART}(t)$  způsobuje velmi výrazný rozptyl signálu během špatného počasí jako je mlha, sněžení či silný déšť. Tento rozptyl může být tak silný, že způsobí výpadek spojení na hodně dlouhou dobu. S tímto jevem také souvisí  $\alpha_{ISI}$  snížení výkonu z ISI (Intersymbol interference).

Rovnice (1.1) zahrnuje tři procesy s velmi rozdílnými časovými měřítky naznačenými ve vzorci (1.2)

$$\tau_{DATA} \ll \tau_{TURB} \ll \tau_{PART} \quad (1.2)$$

kde jsou typické hodnoty pro  $\tau_{DATA} < 1\mu s$ ,  $\tau_{TURB}$  přibližně 1 ms - 10 ms,  $\tau_{PART} > 1min$ .

Pokud vezmeme v úvahu, že se bude vyskytovat logická "0" a "1" se stejnou pravděpodobností a budeme respektovat rovnici (1.1), tak můžeme definovat krátkodobou průměrnou sílu přijímaného signálu podle vzorce 1.3

$$P_{m,RX} = 0,5P_{1,RX} \quad (1.3)$$

která během turbulencí v atmosféře náhodně kolísá.

Normalizovaná síla přijímaného signálu je (1.4)

$$P_N = \frac{P_{m,RX}}{(P_{m,RX})} \quad (1.4)$$

kde je střední hodnota  $(P_{m,RX})$  vypočítaná za předpokladu, že  $\alpha_{PART}$  je konstantní.

Power scintillation index (PSI) poskytuje a měří sílu scintilace podle vzorce (1.5)

$$\sigma_p^2 = (P_N^2) - 1 \quad (1.5)$$

Pokud budeme předpokládat slabé výkyvy  $\sigma_p^2 < 1$  a malou přijímací světelnost je  $(P_N)$  logariticky rozprostřeno. Pro střední a silné výkyvy je příhodné použít Gamma-Gamma rozprostření. [1]



## 2 OPTICKÉ POJÍTKO RONJA

### 2.1 Úvod

Pro realizaci FSO do laboratoří mělo být vybráno již ve světě rozšířené zařízení, aby se studenti seznámili s takovým FSO, s kterým mohou v budoucím životě přijít do styku. Ronja se zvolila z důvodu bezplatné a plně otevřené dokumentace, nízkým nákladům na výrobu, bezpečného napájecího napětí a vysílacím paprskem s nekoherentním světlem o vlnové délce 625 nm. Ronja je zkrácenina z počátečních písmen **R**easonable **O**ptical **N**ear **J**oint **A**ccess. Je to uživatelsky kontrolovaný projekt optického pojítka pod GNU/GPL licencí, to znamená, že veškerá dokumentace k výrobě, návody a doporučené postupy jsou zdarma přístupné. Provoz Ronji nezpůsobuje žádné elektromagnetické ani radiové rušení a stejně tak je proti takovému rušení imunní. Zařízení pracuje s nekoherentním světlem z LED diody, proto není pro oční sítnici člověka nebezpečné. Ronja pracuje v bezlicenčním pásmu. [2] Je připojitelná k PC, domácí nebo firemní síti. Jejím účelem je bezdrátové spojení dvou oddělených počítačových sítí, vzdálených ne více než 1,3 km s přímou viditelností při použití čoček o průměru 130 mm.

### 2.2 Porovnání Ronji s profesionálním FSO

Profesionální laserová optická pojítka slouží pro vysokorychlostní přenos např. v metropolitních sítích, pro propojení dvou privátních budov, mezi televizní kamerou a přenosovým vozem. Pro příklad Canobeam DT-150 HD, má doporučený dosah 1000 m (maximální 3650 m), s přenosovou rychlostí 1,5 Gb/s full-duplex. Cena jednoho spoje je však 40 000 Dolarů (cca 750 000 Kč)[3]. Levné neprofesionální zařízení z projektu Ronja, pracuje s usměrněným viditelným červeným světlem z LED diody (vlnová délka 625 nm). Reálná přenosová rychlost činí 10 Mb/s full-duplex na vzdálenost až 1,3 km. Vyznačuje se velmi malou latencí (zpoždění signálu), podobně jako mají kabelové spoje [2]. Cena za materiál na stavbu RONJI je přibližně 6000 Kč. Lze tak naplno využít všech výhod tohoto levného bezdrátového pojítka pro připojení domu k poskytovateli internetu (tzv. poslední míle) nebo pro propojení dvou blízkých budov.

### 2.3 Základní parametry Ronji

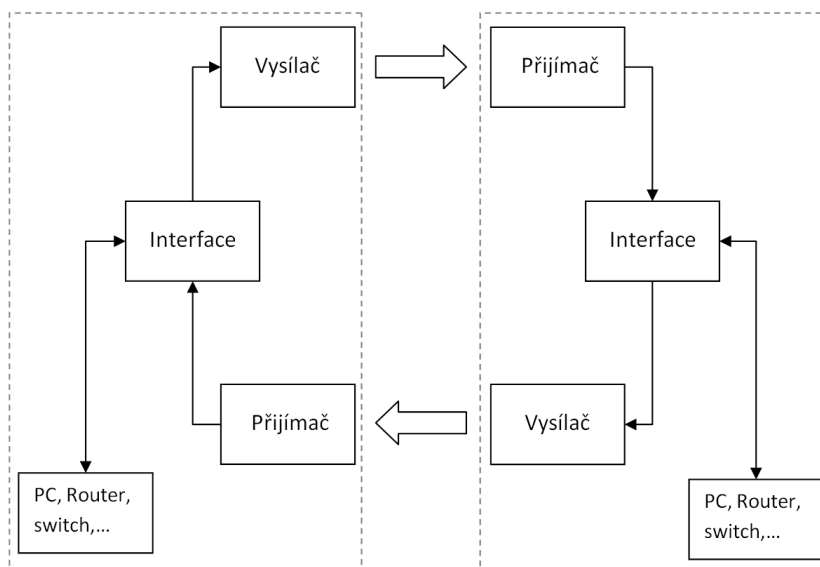
- Rychlost přenosu: 10 Mb/s, full-duplex
- Maximální pracovní vzdálenost: 900 m s 100 mm čočkou (1300 m se 130 mm čoč-

kou)

- Minimální pracovní vzdálenost: 1/15 maximální pracovní vzdálenosti
- Datové rozhraní: propojovací rozhraní 10BaseT (UTP)
- Autonegotiation: ne, běží v half-duplexu se zařízeními, které nejsou nastavené na full-duplex
- Příkon na jedné straně přibližně: 3,1 W
- Odebíraný proud a napájení: 260 mA @ 12V
- Operační vlnová délka: viditelná, 625 nm, 100 nm šířka spektra (červená barva)
- Optický výkon přibližně: 12 mW
- Rozptyl kužele - polovina úhlu: 1,9 mrad
- Operační vlhkost: 95%, 100 % s vyhříváním čoček výkonem 1 W
- Viditelnost: musí být zajištěna přímá optická viditelnost
- Optická modulace: 1 MHz - 1,2 MHz 50 % střída mezi pakety, 700 mVšš, kladná výchylka = kladný "1" symbol "1"=světlo. Vysílač září permanentně, bez ohledu na to, zda prochází data
- Míření systému: vizuální, intenzita signálu se monitoruje na RSSI v přijímači [2]

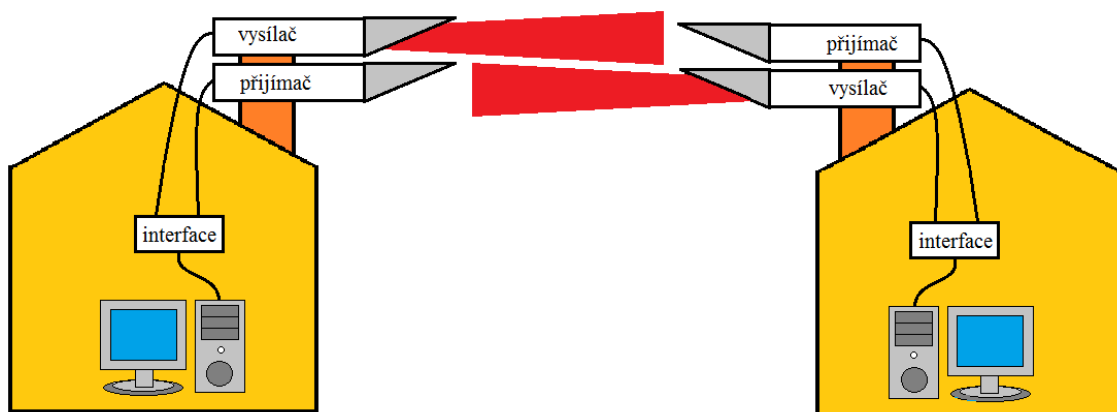
## 2.4 Blokové schéma Ronji

Ronja se skládá ze dvou naprosto shodných zařízení. Každé z nich lze rozložit na tři moduly: interface, vysílač a přijímač. Blokové schéma je na Obr. 2.1.



Obr. 2.1: Blokové schéma Ronji

Interface je umístěn poblíž počítače a má za úkol transformovat napěťové úrovně a generuje přídavný signál nutný pro bezchybnou funkci zařízení s okolními rušivými vlivy. Vysílač a přijímač jsou umístěny v rourách, které se připevňují na střechu a mají za úkol přenášet data vzduchem mezi body. Mezi počítačem a interfacem je použit UTP kabel s RJ45 konektorem. Principiální zapojení Ronji mezi dvěma domy je zobrazeno na obrázku 2.2.



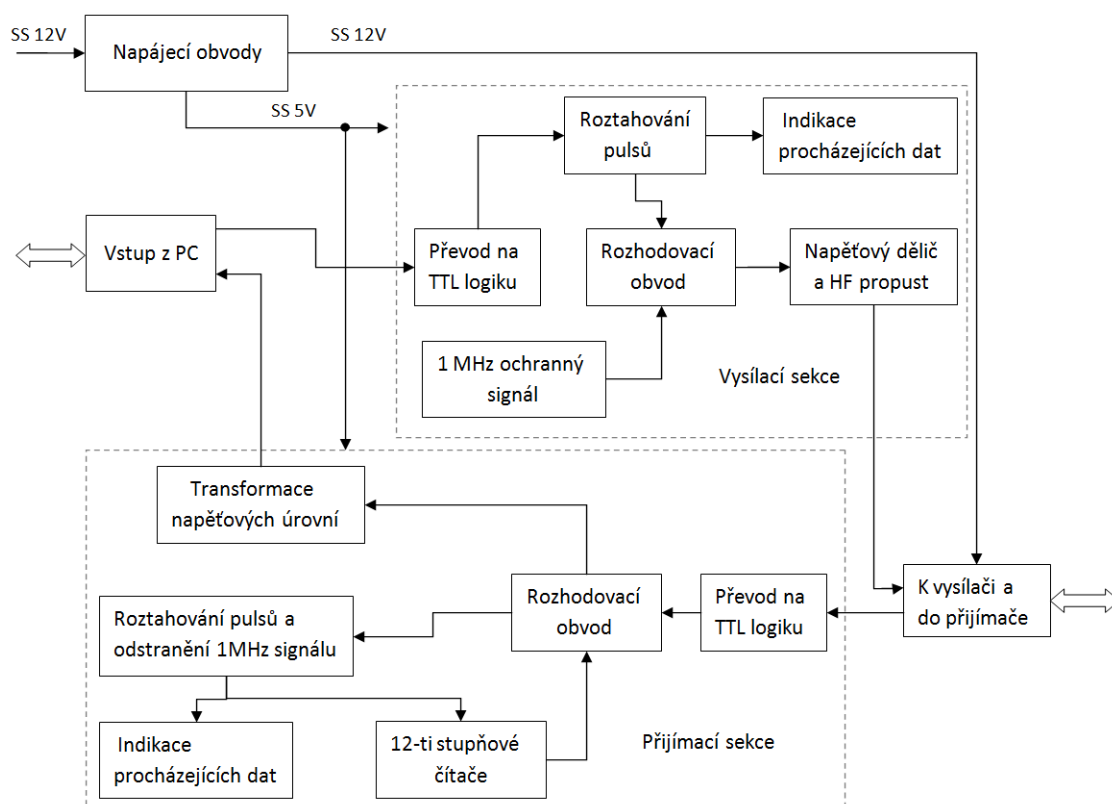
Obr. 2.2: Principiální zapojení Ronji

## 2.5 Úprava Ronji do laboratorní úlohy

V laboratorní úloze je zapotřebí, aby se studenti seznámili funkcí a schopnostmi optického pojítka Ronja. Proto by si měli vyzkoušet posunutí vysílače do ohniskové vzdálenosti, vzájemné zaměření vysílače s přijímačem pro zprovoznění spoje a nalezení nejlepší hodnoty RSSI. Dále by měli zjistit minimální hodnotu RSSI pro funkčnost spoje, během které musejí měnit intenzitu vysílacího paprsku. Museli by zjistit přenosové rychlosti přes Ronju jedním směrem a oběma směry naráz. Nakonec by měli za úkol zaznamenat ovlivnění intenzity RSSI pomocí různých polopropustných překážek. K tomuto budou mít k dispozici počítač a umístěné voltmetry na vývodech přijímačů. Pro tyto požadavky bylo zapotřebí zapojení Ronji upravit a přidat voltmetry na RSSI a speciální měřicí přípravek.

### 3 INTERFACE

Toto zařízení má za úkol upravit signálové úrovně a impedance pro optický přenos. Navíc generuje přídatný signál nutný pro bezchybnou funkci zařízení s okolními rušivými vlivy, sluneční a jiné záření, které by mohlo přerušit spojení. Na Interfacu jsou nainstalovány LED diody pro vizuální kontrolu funkčnosti a zatížení datového spojení. Blokové schéma Interfacu je na obr. 3.1.



Obr. 3.1: Blokové schéma Interfacu

Elektrické schéma Interfacu je na obr. A.1, vzhledem k jeho rozměrům se nachází v příloze. Následující text bude popisovat, k čemu slouží jednotlivé důležité součástky ve schématu.

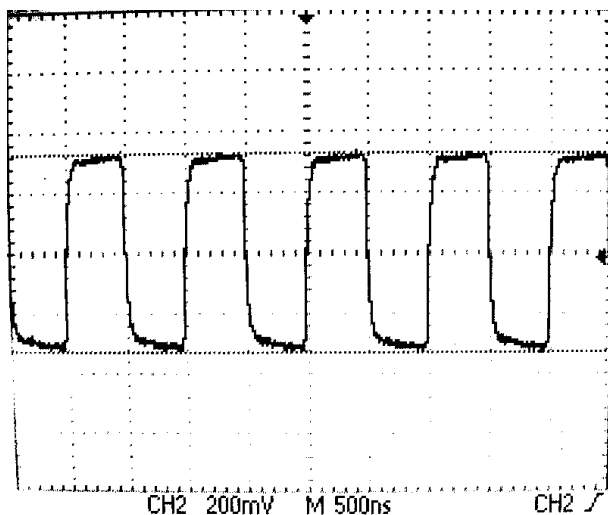
#### 3.1 Napájecí obvody

Celé zařízení je napájeno SS (stejnoseměrnými) 12 V přes adaptér či počítačový zdroj, příkon je přibližně 2 W. Vstupních 12 V je filtrováno cívkou L51 o hodnotě cca 1 mH. Cívka filtruje šum okolo 50 MHz. Elektrolytický kondenzátor C57 spolu s kondenzátory C58 a C59 filtrují nežádoucí kmity napětí z napájecího zdroje. Dioda

D55 chrání zařízení při přepólování napájení. Stabilizátor 7805 U68 mění SS 12 V na SS 5 V, soustava kondenzátorů C111, C53 a C54 jsou opět filtry proti ztrátovému odporu a nežádoucích kmitů z výstupu stabilizátoru. Interface pro svůj provoz potřebuje pouze SS 5V napájení. Každé napájení integrovaného obvodu je ošetřeno dvěma blokujícími kondenzátory, ty slouží k tomu, aby nedocházelo k poklesu napětí během překlápění hradel, v kterých vznikají napěťové špičky.

### 3.2 1 MHz ochranný signál

V obvodu je zapojen 16 MHz krystalový oscilátor U69, pomocí kterého se vzniká 1 MHz ochranný signál. Oscilátor je ihned invertován obvodem U57 a využíván jako hodiny v dvanácti binárním čítači U60, dále v sérioparalelních převodnících U51, 53, 63, 64, 65 a čtyřbitovém binárním čítači U59, ve kterém se generuje ochranný 1 MHz signál. 1 MHz signál se využívá, když RONJOU neprocházejí data. Zajišťuje, aby se optické spojení nerozpadlo a aby přijímač nepřijímal šumy z okolního prostředí (slunce či jiné světelné zdroje), které by mohl vyhodnotit jako data. Tato frekvence prochází všemi logickými obvody ve vysílači a přijímači, takže se nemůže stát, aby přijímač ovlivnilo sluneční světlo, které má "stejnoseměrný" charakter. Na obr. 3.2 je zobrazen tento signál z osciloskopu.



Obr. 3.2: 1 MHz ochranný signál

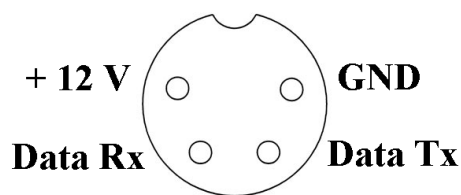
### 3.3 Vysílací sekce

Signál je ze síťové karty ihned převeden na TTL logiku, to znamená, že jeho signálové úrovně jsou transformovány na cca 0 V a 5 V pomocí integrovaného obvodu s komparátory DS26LS32 U62 na pinech 9 a 10. Poté je signál přiveden na derivační článek tvořící kondenzátor C101 a rezistor R62, a pak na soustavu tří sérioparalelních převodníků 74HC164 U63, 64, 65, které plní funkci natahování pulsů. Pokud procházejí data, tak tento signál resetuje U59, který generuje 1 MHz ochranný signál, takže se nemůže stát, že do vysílače současně půjde 1 MHz signál a data o frekvenci 10 MHz. Dále je tento natažený signál přiveden na piny 1 a 2 2NANDU U56. Výsledný signál se využívá pro indikaci procházejících dat na kontrolní červené LED diodě D59 a pro otevření cesty pro signál přes pin 13 ORu U54, potřebného pro průchod dat vyslaných ze síťové karty na pin 12 U54. Pokud neprocházejí data, vysílací signál nahrazuje ochranný 1 MHz signál přivedený na pin 5 NANDU U56. Rezistory R67 a R68 jsou děliče napětí zajišťující amplitudu napětí maximálně 700 mV. Na vazebním kondenzátoru C106 je odstraněna nežádoucí SS složka, poté je už hotový signál přiveden na pin 2 konektoru CONN53 pro další zpracování vysílačem.

### 3.4 Přijímací sekce

Signál přicházející z přijímače je ihned transformován na TTL logiku na portu 7 na DS26LS32 U62. Poté jde přes soustavu invertorů U52 na pinech 1, 3 a derivačního článku C65 a R52 do soustavy dvou sérioparalelních převodníků 74HC164 U51 a U53. Ty plní funkci natahování pulsů 10 MHz signálu a zároveň odstraní ochranný 1 MHz signál. Takže ethernetová karta přijímá pouze data. Při procházejících datech svítí zelená LED dioda D51 a zároveň se resetují dva 12-ti stupňové čítače U60 a U61, které když běží, nedovolí průchodu jakýchkoliv dat do síťové karty. Samotný průchod dat vytváří soustava tří 2NANDŮ U55 na pinech 1, 2, 4, 5, 12, 13 a ORU U54 na pinech 9 a 10. Signál se poté transformuje pomocí integrovaného obvodu s komparátory U58 na hodnoty napětí kompatibilní s ethernetovou kartou UTP. Ethernetová karta využívá pouze čtyři vodiče, vysílání, příjem a jejich negace. Ostatní vodiče RONJA nepotřebuje a jsou uzemněny. Jumperovací přepínače S1 a S2 slouží pro nastavení tří režimů obr. C.2 : PC slouží pro připojení do ethernetové karty v počítači, najumperování na SWITCH se využívá pro připojení na síťové rozbočovače typu switch nebo hub, poslední režim LOOPBACK je testovací pro ověření správného zapojení UTP kabelu.

Na obr. 3.3 je zobrazeno zapojení 4 kolíkového DIN konektoru obsahující datové signály a napájení pro vysílač a přijímač.



Obr. 3.3: Zapojení 4 kolíkového DIN konektoru umístěného na krabičce Interfacu

### 3.5 Osazení desky

Deska plošného spoje se koupila již hotová přes stránky <http://ronjashop.com>. Má na sobě nanesenou nepájivou masku s natištěnými popisky. Předloha desky plošného spoje Interfacu je v příloze na obr. B.1 pro vrchní stranu a obr. B.2 pro spodní stranu. Seznam použitých součástek je v příloze v tab. D.1 a jejich umístění na desce je zobrazeno na obr. C.1, správná orientace součástek je zobrazena na obr. C.3. Schema, osazovací plán a orientace součástek Interfacu jsou staženy z oficiálních stránek Ronji[2].

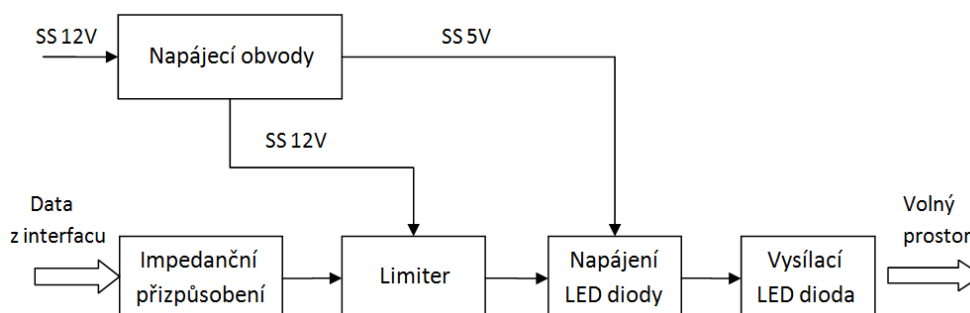
Osazená deska Interfacu je na obr. 3.4. Na obrázku I.2(a) je vyfocena tato deska se zapojenými konektory a rozvedenými po krabičce k příslušným konektorům a LED diodám.



Obr. 3.4: Osazená deska Interfacu součástkami

## 4 VYSÍLAČ

Toto zařízení obnovuje mírně poškozený signál během cesty z Interfacu, napájí vysílací diodu a vysílá data do volného prostoru. Blokové schéma je na obr. 4.1



Obr. 4.1: Blokové schéma vysílače

Elektrické schéma vysílače je v příloze na obr. A.2. Následující text bude popisovat, k čemu slouží jednotlivé bloky ve schématu.

### 4.1 Napájecí obvody

SS 12 V napětí přivedené z Interfacu je hned odfiltrováno proti vysokofrekvenčnímu šumu dvojicí kondenzátorů C8, C9. Dioda D2 chrání zařízení při přepólování. Dále je napájecí napětí filtrováno kondenzátory C10, 11 13, 14 a rezistorem R11. Rezistor R11 také plní funkci zmenšení vstupního napětí do stabilizátoru, který se díky tomu méně hřeje. Stabilizátor 7805 IC4 stabilizuje 12 V na 5 V. Do zapojení byl navíc přidán vývod VCC pro napájení voltmetru na straně přijímače z důvodu ušetření místa a napájecího obvodu na voltmetru. U jednoho vysílače tento výstup také slouží pro napájení báze tranzistoru T1 s regulací jeho odporu pomocí potenciometru umístěného na víčku roury.

### 4.2 Zpracování signálu

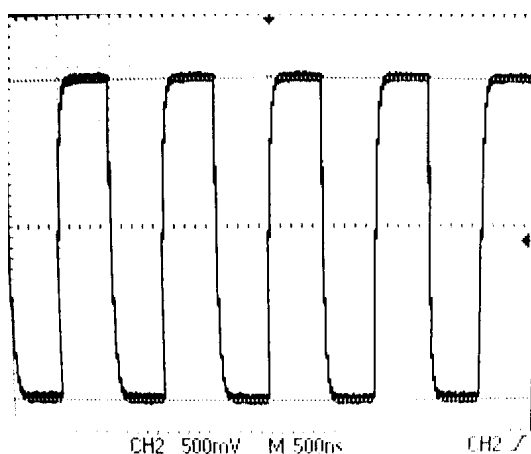
Rezistor R1 impedančně přizpůsobuje koaxiální kabel, přejímá funkci terminátoru v koaxiálních sítích. Signál vstupuje do obvodu přes kondenzátor C1, jež filtruje SS složku na bázi tranzistoru Q1. Soustava 2 tranzistorů Q1 a Q2 je zesilovač s velkým zesílením s názvem Limiter. Jeho vlastností je, že při velkém vstupním signálu "rovně" ořízne amplitudu výstupního, podobně jako zapojení s operačním zesilovačem. Nenastane tedy zkreslení signálu v čase jako na jednotranzistorovém zesilovači



v zapojení se společným emitorem (v důsledku saturace). Dvojice rezistorů R6, R7 nastavují pracovní bod preemfáze u tranzistorů. C7 a R8 zabráňují průchodu napětí, neprochází-li žádný signál (ani 1 MHz). Signál se zesiluje pěti paralelně zapojenými invertory, aby bylo možno přivést do vysílací LED diody o velkém odběru strmé pulsy. Procházející proud se nastaví rezistorem R9. Paralelně spojené inventory IC1 jsou napájeny 5 V.

### 4.3 Vysílací část

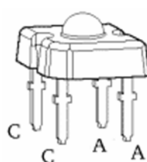
Vysílací LED dioda D1 je speciální supersvítivá čtyř vývodová superrychlá dioda HPWT-BD00-E4000, která se obvykle používá do brzdových světel automobilů. Ronja je navržena pro funkčnost až na vzdálenost 900 m, kdežto v laboratoři budou od sebe vzdáleny konzole pouhých pár metrů. Je tedy zapotřebí snížit intenzitu vysílacího paprsku tak, aby se tím nasimuloval delší spoj. Proudový odběr LED diody je v plném režimu cca 68 mA, o jeho dodání se stará integrovaný obvod IC1 74HC04N. Rezistor R9 se stará o přesné nastavení tohoto proudu. Pro snížení intenzity svítivosti vysílací diody upravilo původní schéma zapojení tak, aby se přes NPN tranzistor T1 omezoval proud vysílací diodou a tím zeslaboval její svítivost. Tento tranzistor je připojen mezi katodu vysílací diody a zem. Pomocí zvyšujícího odporu na bázi tranzistoru se tranzistor uzavírá a tím se snižuje protékající proud diodou a tak se zeslabuje její svítivost. Vývod REG\_I\_LED slouží pro připojení potenciometru nebo kaskády rezistorů s potenciometrem s napětím SS 5 V. Na obr. 4.2 je zobrazen průběh signálu na LED diodě bez probíhající komunikace. Vývodem NO\_REG lze přemostit T1 a tak odpojit regulaci proudu LED diodou.



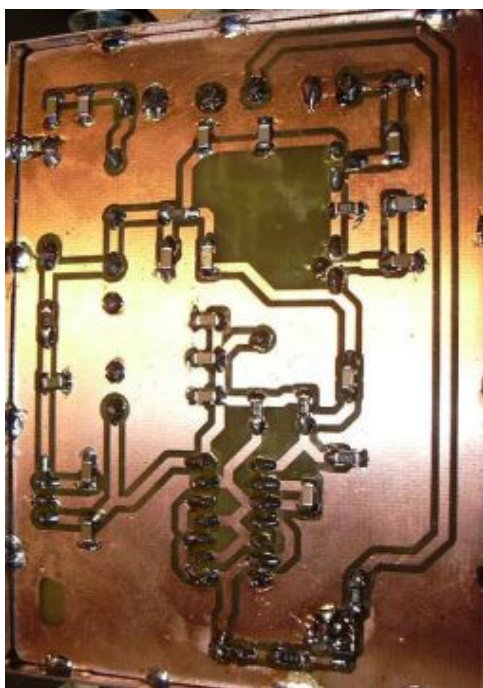
Obr. 4.2: Napěťový průběh na vysílací LED diodě

## 4.4 Osazení desky

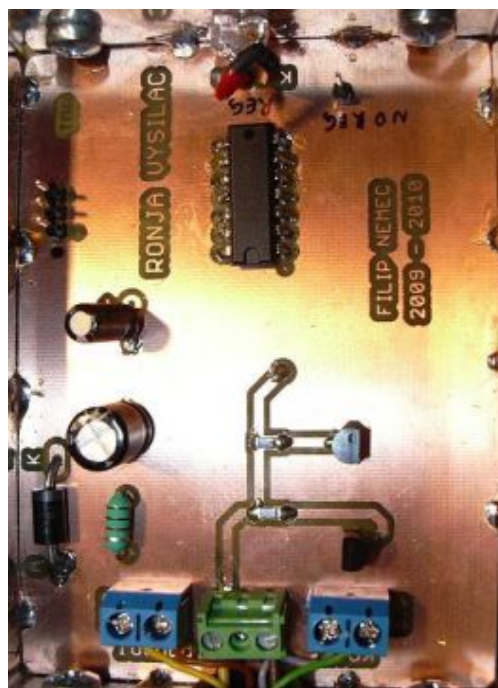
Deska plošného spoje má rozlévanou zem až do krajů, protože jsou pro lepší stínění na několika místech připájené k plechové krabici U-AH102. DPS se vyrobily ve škole u Lukáše Pazdery, bohužel došel materiál na prokovení propojek, takže se musely udělat pomocí drátu. Předloha desky plošného spoje vysílače je v příloze na obr. B.3 pro vrchní stranu a obr. B.4 pro spodní stranu. Seznam použitých součástek je v příloze v tab. D.2. Umístění součástek na vrchní straně desky je zobrazeno na obr. C.4, na spodní části na obr. C.5. Na obr. 4.3 je zobrazena červená LED dioda HPWT-BD00-F4000 použitá pro vysílání dat atmosférou. Osazená deska vysílače v krabici je na obr. 4.4.



Obr. 4.3: Zobrazení katody a anody vysílací LED diody



(a) Pohled zhora

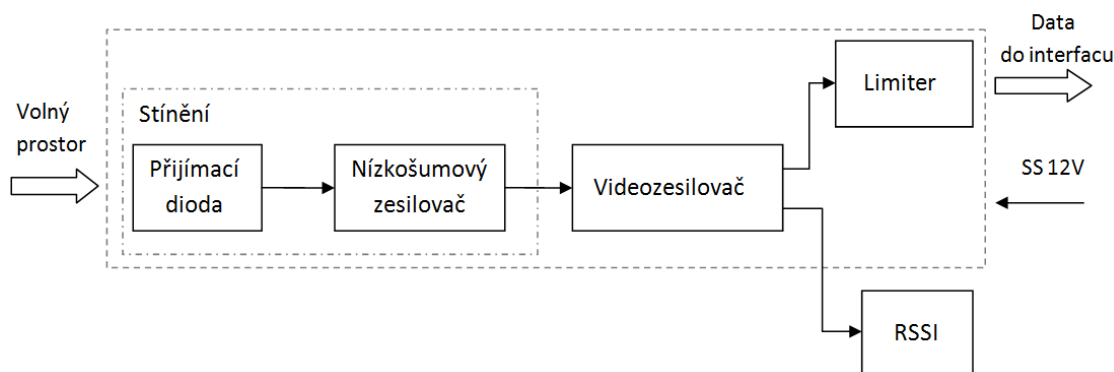


(b) Pohled zespodu

Obr. 4.4: Deska vysílače v krabici

## 5 PŘIJÍMAČ

Toto zařízení přijímá signál z volného prostoru od vysílače. Data procházejí sérií zesilovačů, než se pošlou do Interfacu. Blokové schéma je na obr. 5.1



Obr. 5.1: Blokové schéma přijímače

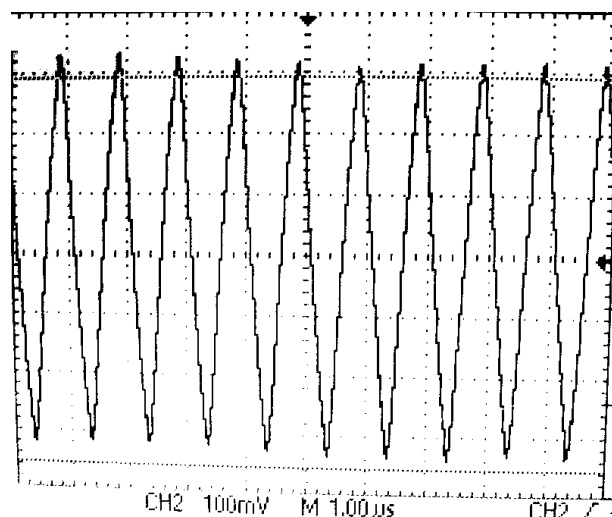
Elektrické schéma přijímače je v příloze na obr. A.3. Následující text bude popisovat, k čemu slouží jednotlivé bloky ve schématu.

### 5.1 Napájecí obvody

Dioda D2 zabrání při přepólování napětí destrukci přijímače. Cívka L2 filtruje nežádoucí šum okolo 50 Hz, tvořící se v napájecích cestách. Oproti ostatním modulům, v přijímači není potřeba stabilizátoru, vystačí si s 12 V. Kondenzátory C7, C8, C9, C10, C19, C20, C22, C25, C29 jsou blokové filtry, ty odstraňují nežádoucí střídavou složku v napájecích cestách. Možná se zdá použití tolika filtrů jako zbytečné, ale celý přijímač je extrémně náchylný k okolním šumům.

### 5.2 Přijímací sekce

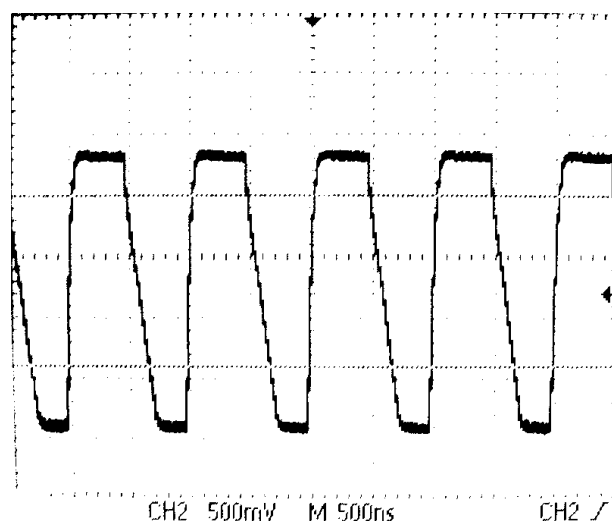
Přijímací součástkou je PIN fotodioda SFH 2030 D101 pracující ve zdrojovém režimu s velmi krátkou reakční dobou 5 ns. To dovoluje její použití i při signálech o frekvenci 10 MHz. Na výstupu diody vzniká bez procházejících dat pilový průběh o frekvenci 1 MHz, který je veden přes horní RC propust' C1, R3 a zesílen na nízkošumovém tranzistorovém zesilovači BF998. Pracovní bod se na něm nastavuje na G2 pomocí rezistorů R5, R6 a kondenzátoru C4. Na obr. 5.2 je zobrazen průběh signálu na BF998 bez probíhající komunikace.



Obr. 5.2: Napěťový průběh na výstupu tranzistorového zesilovače BF998

### 5.3 Úprava signálu

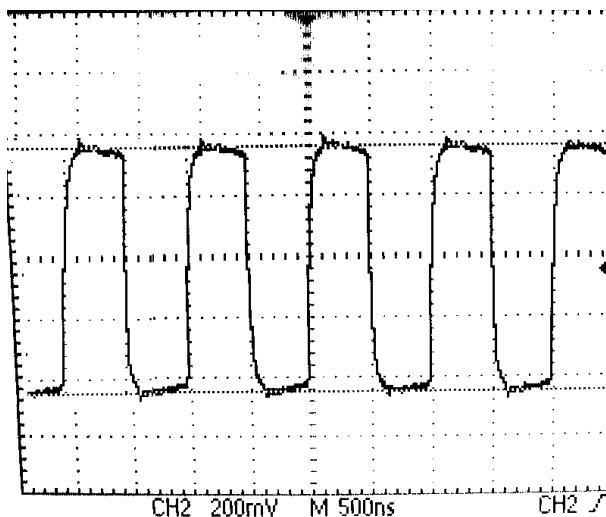
Výstup ze zesilovače je kondenzátorem C5 připraven o možnou rušivou SS složku a přiveden do videozesilovače NE592. Zde je signál zesílen. Nezapojené vývody videozesilovače jsou uzemněny pro lepší stabilitu. Kondenzátor C23 plní funkci přizpůsobení videozesilovače frekvenční charakteristice signálu. Na obr. 5.3 je zobrazen průběh signálu na videozesilovači NE592 bez probíhající komunikace.



Obr. 5.3: Napěťový průběh na výstupu videozesilovače NE592

Z výstupu na pinu 7 je signálové napětí usměrněno a zdvojeno diodami D5 a D6 pro využití měření kvality signálu RSSI, to se pohybuje v rozmezí 0 V až 4 V v závislosti na intenzitě signálu. Výstup na pinu 8 jde na bázi tranzistoru Q1 přes kondenzátor C15, který filtruje nežádoucí SS složku.

Soustava dvou tranzistorů Q1 a Q2 je zesilovač s velkým zesílením s názvem Limiter. Jeho vlastností je, že při velkém vstupním signálu "rovně" ořízne amplitudu výstupního, podobně jako zapojení s operačním zesilovačem. Nenastane tedy zkreslení signálu v čase jako na jednotranzistorovém zesilovači v zapojení se společným emitorem (v důsledku saturace). Výstup prochází přes kondenzátor C16, který odstraní v signálové cestě rušivé SS složky. Na obr. 5.4 je zobrazen průběh signálu za Limiterem bez probíhající komunikace.



Obr. 5.4: Napěťový průběh na výstupu Limiteru v přijímači

## 5.4 Osazení desky

Jelikož je přijímač velmi citlivý na návrh desky a rozložením součástek, zvolila se varianta převzetí již navržené a vyzkoušené DPS ze stránek:

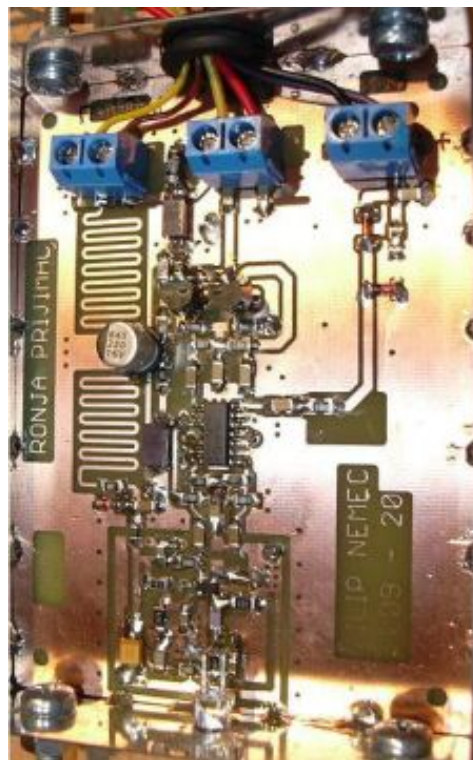
<http://laser.webpark.cz/download.html>

Deska plošného spoje má rozlévanou zem až do krajů, kde se pro lepší stínění na několika místech připájí k plechové krabici U-AH102. DPS se vyrobily ve škole u Lukáše Pazdery, bohužel došel materiál na prokovení propojek, takže se musely udělat pomocí drátu. Předloha desky plošného spoje přijímače je v příloze na obr. B.5 pro vrchní stranu a obr. B.6 pro spodní stranu. Seznam použitých součástek je v příloze v tab. D.3. Umístění součástek na vrchní straně desky je zobrazeno na obr. C.6,

na spodní části na obr. C.7. Osazená deska přijímače v krabičce je na obr. 5.5.



(a) Pohled zhora

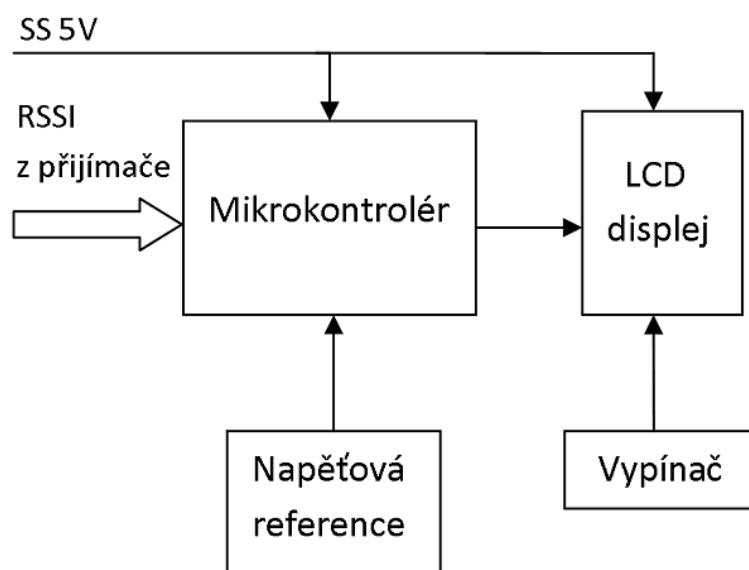


(b) Pohled zespodu

Obr. 5.5: Deska přijímače v krabičce

## 6 VOLTMETR U PŘIJÍMAČE

Blokové schéma zařízení je na obr. 6.1



Obr. 6.1: Blokové schéma voltmetru

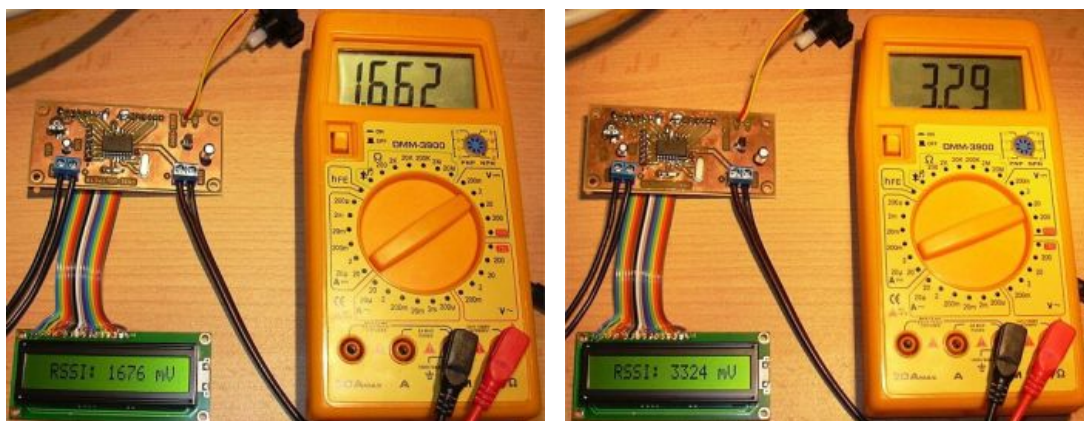
Elektrické schéma voltmetru je na obr. A.4, vzhledem k jeho rozměrům se nachází v příloze. Následující text bude popisovat, k čemu slouží jednotlivé důležité součástky ve schématu.

Pro zobrazení aktuální hodnoty RSSI se zvolil voltmetr s LCD displejem zabudovaný přímo do víček přijímačů. Tím je zaměřování konzole daleko uživatelsky příjemnější. Pro zobrazení hodnot se zvolil jednořádkový LCD displej MC1601A-SYL/H o šestnácti znacích s podsvícením, které se rozsvítí stisknutím vypínače S1 umístěného na horní straně víčka roury. Zapojení je převzato z internetové stránky zabývající se znakovými LCD displeji [5]. Napájení je přivedeno z vysílače o hodnotě SS 5 V, je to z důvodu ušetření místa na desce. O zpracování hodnoty napětí RSSI a řízení displeje se stará mikrokontrolér ATtiny26 od firmy Atmel. Vybral jsem tento mikrokontrolér z důvodu, že se programuje pomocí jazyka C. Používal jsem také mikrokontrolér od této firmy v rámci bakalářské práce a jsem obeznámen s jeho funkcemi. Programuje se přes rozhraní SPI a pro jeho funkci je použit 4 MHz oscilátor. Je zde použita napěťová reference VR1 na 4,0373 V pro určení přesné hodnoty napětí pro AD převodník v mikrokontroléru. Displej je zapojen k desce přes patici JUM2. Pro komunikaci displeje s mikrokontrolérem je použita 4 bitová sběrnice z důvodu ušetření vývodů na procesoru. Komunikace je sice pomalejší než klasická 8 bitová sběrnice, protože se data posílají nadvakrát, ale to nám v tomto případě



nevadí. Nejdříve se pošlou do displeje vyšší 4 bity a zapíše se enable a pak nižší 4 bity a zapíše se enable. Potenciometr P1 slouží pro nastavení kontrastu na displeji.

Rozdíl v zobrazované hodnotě oproti kalibrovanému multimetru je v rozmezí 0,5 - 1,2 %. Dané měření je zobrazeno na obr. 6.2



(a) Nižší rozsah

(b) Vyšší rozsah

Obr. 6.2: Přesnost zobrazení hodnoty RSSI voltmetru oproti multimetru

Rezistorem R2 se reguluje protékající proud podsvícením displeje, ten se vypočítal pomocí této rovnice:

$$R = \frac{5 - 4,2(V)}{I_{LED}(A)} \quad (6.1)$$

kde  $I_{LED}$  je 80 mA podle katalogového listu displeje MC1601A-SYL/H [9]. Z výpočtu má být hodnota rezistoru v rozmezí 62,5  $\Omega$  - 52,5  $\Omega$  tudíž jsem rezistor vybral 56  $\Omega$  podle řady E12.

## 6.1 Osazení desky

DPS se vyrobily ve škole u Lukáše Pazdery, bohužel došel materiál na prokovení propojek, takže se musely udělat pomocí drátu. Předloha desky plošného spoje voltmetru je v příloze na obr. B.7 pro vrchní stranu a obr. B.8 pro spodní stranu. Seznam použitých součástek je v příloze v tab. D.4. Umístění součástek na vrchní straně desky je zobrazeno na obr. C.8, na spodní části na obr. C.9.

Osazená deska voltmetru ve víčku roury přijímače je na obr. 6.3.





Obr. 6.3: Voltmetr umístěný ve víčku roury přijímače

## 6.2 Popis programu v Attiny26

Pro programování mikrokontroléru jsem použil volně stažitelné AVR studio od Atmelu. Velkou výhodou je programování v jazyce C s mnoha knihovnami pro usnadnění používání speciálních funkcí mikrokontroléru. Pomocí funkce CodeWizzardAVR je možné rychle a jednoduše nastavit výstupní porty mikrokontroléru, AD převodníky, komunikaci přes USART rozhraní, výstup na LCD displej, atd. Díky tomu je při novém projektu již mikrokontroler nakonfigurován s nastavenými funkcemi, které bude člověk využívat.

Kvůli těmto aspektům je naprogramování mikrokontroléru pro zobrazování hodnoty napětí velmi jednoduché. V CodeWizzardAVR se nastavila rychlost hodin na 4 MHz, LCD displej na portA, napěťová reference na AREF pin a povolilo se používání AD převodníku. Poté stačilo zaznamenat napětí na AD převodníku číslo 9 a poslat ho na LCD displej. To se v nekonečné smyčce provedlo následujícími příkazy:

```
for (citac = 0; citac < 100; citac++)
{
    vysledek = read_adc(9); //ctení hodnoty RSSI na ADC číslo 9
    prumer += vysledek; //do promenne prumer se vždy přičte nameraná hodnota
}
```

```

realne = prumer / 100; // vypocet napeti z prumerovane hodnoty
citac = 0; prumer = 0; //nulovani citace a prumerne hodnoty
realne = (int) (4037 / 1024); //vypocitani hodnoty napeti na jeden bit prevodniku
realne = (int) realne * vysledek; //prevod napeti na skutecnou hodnotu
itoa(realne,napeti); //prevod napeti na hodnotu typu Integer

lcd_clear(); //vymazani lcd displeje
lcd_gotoxy(0,0); //prvni znak se zobrazi na na pozici 0
lcd_putsf(" RSSI: "); //vypis textu "RSSI" na lcd displej
lcd_gotoxy(0,1); //prepnuti displeje na druhy radek
lcd_puts(napeti); //vypsani hodnoty rssi na displej
lcd_putsf(" mV"); //vypis textu "mV" na lcd displej
delay_ms(100); //cekani po dobu 100ms

```

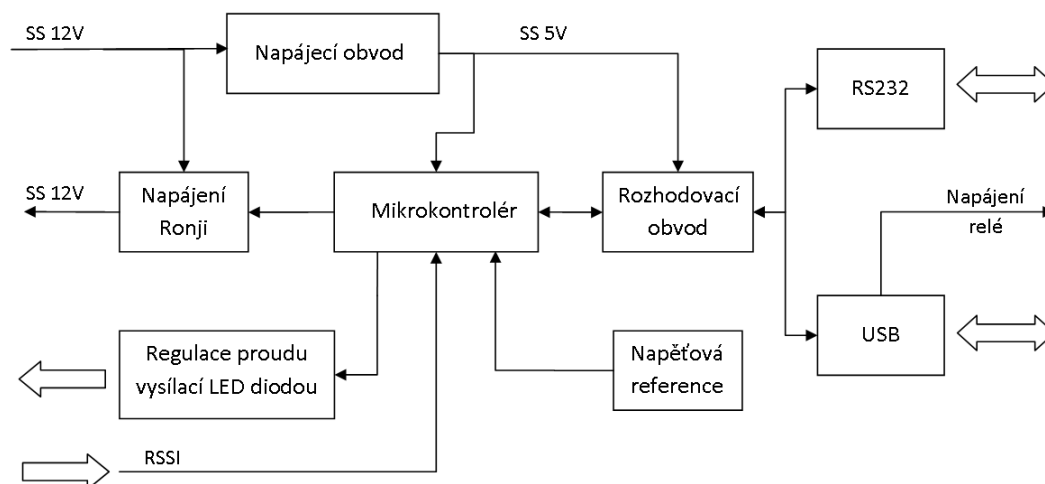
V cyklu *for* se stokrát změří hodnota RSSI, poté se zprůměruje a uloží do proměnné *realne*. Je to udělané z důvodu zvýšení přesnosti AD převodníku, kdy bude náhodná změna napětí pouze v rámci nejnižšího bitu převodníku. Poté se toto číslo převede na číslo typu Integer. Pomocí příkazu *lcd\_putsf* je hodnota napětí zobracena na LCD displeji, který ač je jednořádkový, chová se jako 2x8 displej. Toto měření se opakuje každých 100 ms. Na obr. 6.4 je vyfocen voltmetr s hodnotou napětí na displeji.



Obr. 6.4: Ukázka zobrazení LCD displeje voltmetru

## 7 MĚŘÍCÍ PŘÍPRAVEK

Blokové schéma zařízení je na obr. 7.1



Obr. 7.1: Blokové schéma měřícího přípravku

Elektrické schéma měřícího přípravku je na obr. A.5.

Tento přístroj je navržený pro potřeby laboratorní úlohy, má za úkol měřit napětí RSSI na obou přijímačích a posílat jejich hodnoty do PC přes USB nebo sériový port. Pomocí přípravku se ovládá proud vysílací diodou u jednoho vysílače. Hodnota proudu se nastavuje v programu Hyperterminál v PC. Přípravek je napojen na napájecí zdroj Ronji, takže když se vypne PC, vypne se s ním i celá Ronja. Popřípadě lze pomocí tohoto přípravku vypínat Ronja přes počítačovou klávesnici. Pro ovládání měřícího přípravku je také použit mikrokontrolér od firmy Atmel.

### 7.1 Mikrokontrolér

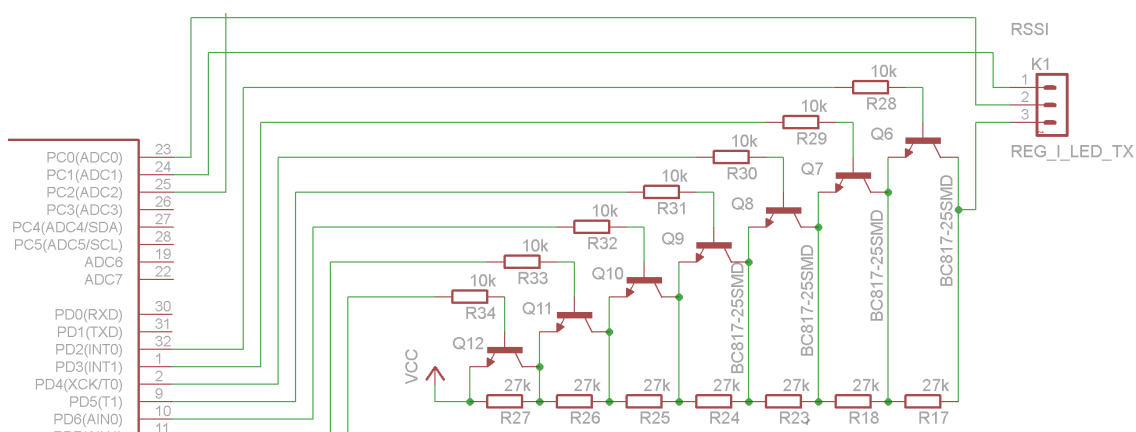
Ovládáním celého zařízení se stará mikrokontrolér Atmega8. Ve schématu na obr. 7.2 je zobrazeno zapojení mikrokontroléru včetně další obvodů důležitých pro jeho funkci. Některá zapojení jsou převzata z výrobku „Inteligentní, univerzální rychlonabíječ AVR128“ z časopisu A Rádio 05/2007 [6]. Na konektoru JUM5 je rozhraní SPI pomocí kterého se programuje mikrokontrolér. Krystal k mikroprocesoru Q2 pracuje na kmitočtu 4 MHz. Důležitou částí je obvod napěťové reference VR1, který je rezistory R14, R15, R16 nastaven na hodnotu napětí 4,0373 V. Toto napětí je přivedeno na vstup AREF procesoru pro potřeby AD převodníku.



## 7.3 Obvody pro regulaci proudu LED diodou a měření RSSI

Nastavení proudu vysílací diodou je realizováno pomocí kaskády rezistorů o hodnotě 27 k $\Omega$  a potenciometrem o hodnotě 180 k $\Omega$  na víčku roury vysílače. Výstup je připojen na konektor REG\_I\_LED u vysílače, kde je signál přiveden na bázi tranzistoru T1 ve vysílači. Přivedením napětí na bázi tranzistoru Q6 - Q12 v měřícím přípravku se daný rezistor obejde, odpor na bázi tranzistoru T1 ve vysílači se zmenší a tím pádem se proud diodu se zvedne.

Na ADC vstupy PC0 a PC1 mikrokontroléru jsou přivedeny hodnoty RSSI z obou přijímačů z konektoru K1, ty dosahují hodnot 0 V - 4 V, kdy díky nastavené napěťové referenci je možné měřit tyto hodnoty v plném rozsahu. Na obr. 7.4 je zobrazeno schéma zapojení těchto obvodů.

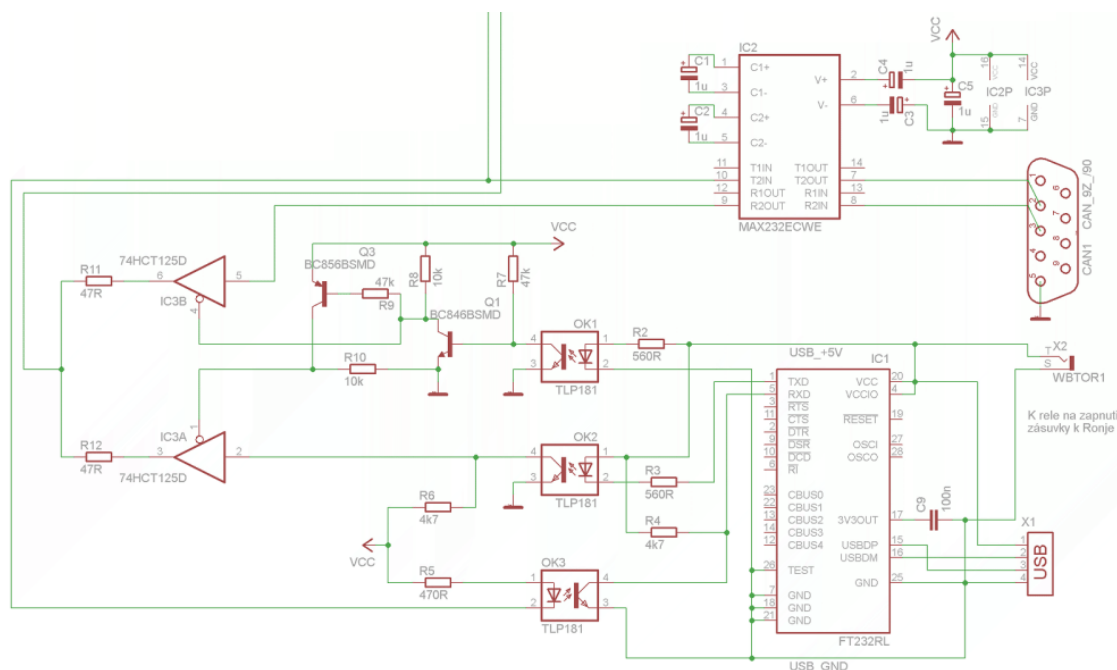


Obr. 7.4: Schéma zapojení obvodu regulace proudu LED diodou a RSSI

## 7.4 Komunikace s PC

Sériový obvod IC2 MAX232 slouží pro komunikaci přípravku s počítačem přes rozhraní RS232 (sériový port). Hlavní funkcí je posílání naměřených hodnot RSSI, ovládání regulace proudu vysílacími diodami do počítače a ovládání napájení do Ronji. Schéma zapojení MAX232 je vytvořeno podle výrobcem předepsaného zapojení [8]. Pro komunikaci s PC také slouží USB port, o jeho funkci se stará obvod IC1 FT232RL, ten je galvanicky oddělen od zbytku zařízení pomocí obvodů TLP181 (OK1, OK2, OK3). Červený cinch konektor X2 slouží pro automatické zapnutí/vypnutí Ronji při zapnutí/vypnutí PC. Obvod IC3 74HCT125D rozhoduje o tom, který

z portů bude posílat vstupní data do mikrokontroléru. Při zapojeném USB konektoru není možné vysílat data do měřícího přípravku přes sériový port. Zapojení USB portu je převzato z výrobku „Inteligentní, univerzální rychlonabíječ AVR128“ z časopisu A Rádio 05/2007 [6]. Na obr. 7.5 je zobrazeno schéma zapojení obou komunikačních zařízení.



Obr. 7.5: Schéma zapojení RS232 a USB

Ovladač na USB konektor je nejdříve zapotřebí následujícím postupem nainstalovat do PC s použitým operačním systémem Windows XP:

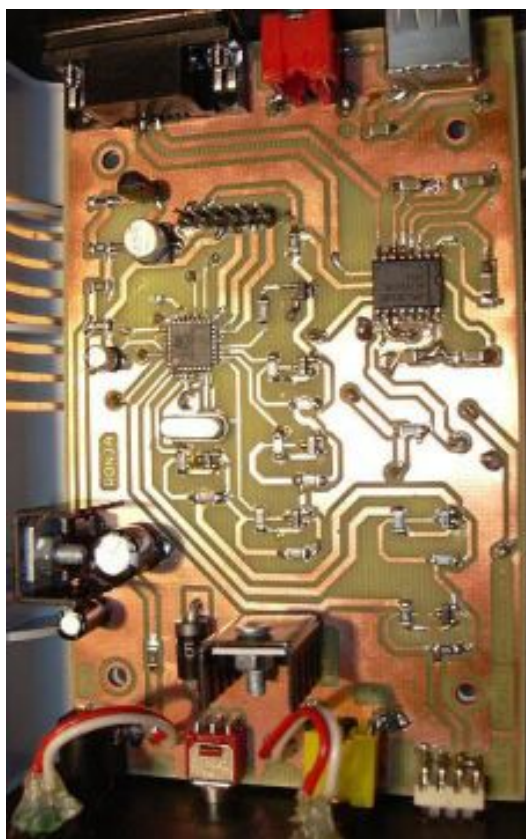
1. Stáhněte a rozbalte soubor s ovladači "Virtual COM Port Drivers" na webu <http://www.ftdichip.com/Drivers/VCP.htm>.
2. Připojte USB konektor do měřícího přípravku a PC. Přípravek zapněte.
3. Objeví se nové okno s upozorněním na nainstalovaný nový Hardware. Pokud se žádné neobjeví, klikněte na: tento počítač/vlastnosti/hardware/správce zařízení, kde se objeví nenainstalovaný hardware pod názvem "usb serial converter". U něho zvolte možnost aktualizovat ovladač.
4. Při instalaci zvolte instalovat z jiného umístění a v dalším okně zvolte ovladač ze souboru a najděte cestu k rozbalenému souboru z prvního kroku.
5. Pokud se bude program ptát na kompatibilitu se systémem, povolte pokračování v instalaci ovladače.



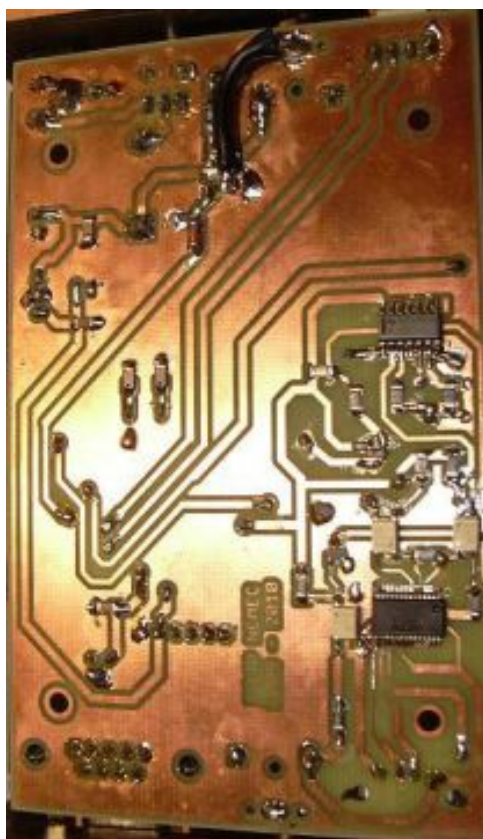
6. Po úspěšném nainstalování ovladače se v:  
tento počítač/vlastnosti/hardware/správce zařízení/porty(COM a LPT)  
objeví nový port pod názvem USB serial port.
7. Nyní se USB chová jako klasický COM port, například v programu hyperterminal se objeví jako COM port s nejvyšším číslem.

## 7.5 Osazení desky

DPS je vyleptána ve škole u Lukáše Pazdery bez prokovu. Předloha desky plošného spoje měřicího přípravku je v příloze na obr. B.9 a obr. B.10. Seznam použitých součástek je v příloze v tab. D.5. Umístění součástek na vrchní straně desky je zobrazeno na obr. C.10, na spodní části na obr. C.11. Osazená deska je na obr. 7.6.



(a) Pohled zhora

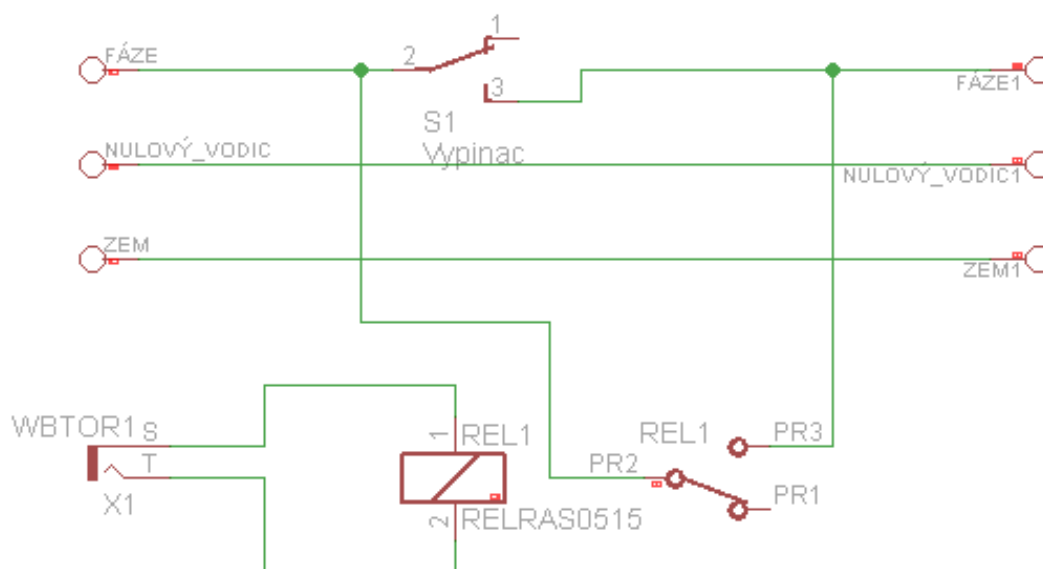


(b) Pohled zespodu

Obr. 7.6: Osazená deska měřicího přípravku

## 7.6 Relé v prodlužovačce

Konektor X2 v měřicím přípravku (červený cinch konektor) slouží pro automatické zapnutí/vypnutí Ronji při zapnutí/vypnutí PC. Toto funguje tak, že v upravené prodlužovačce se nachází 15 A relé REL-RAS-0515V. Pro správnou funkci musí být vypínač v prodlužovačce v poloze vypnuto. Pokud se do cívky relé přivede SS 5 V napětí z USB, tak se zapne zásuvka s napájecím zdrojem k měřicímu přípravku a celé Ronje. Pokud není zapojené USB a komunikuje se přes sériový port, je zapotřebí na prodlužovačce přepnout vypínač do polohy zapnuto, čímž se obejde instalované relé. Relé je 2x izolováno od zbytku prodlužovačky pomocí gumových stahovacích bužírek. Vevnitř prodlužovačky se vůbec nehýbe. Schéma zapojení relé v zásuvce je na obr. 7.7.



Obr. 7.7: Zapojení relé v prodlužovačce

Upravená prodlužovačka je vyfocena na obr. 7.8.





(a) Vnější pohled



(b) Vnitřní uspořádání

Obr. 7.8: Upravená prodlužovačka s cinch konektorem pro spínání relé

V příloze na obr. E.1 je schématicky zobrazeno vedení kabelů do všech modulů v tomto zařízení.

## 7.7 Popis programu v Atmega8

V programu AVR studio se pomocí CodeWizzardAVR nastavila rychlost hodin na 4 MHz, napěťová reference na AREF pin, povolilo se používání AD převodníku a USART s vysíláním a příjmem, kde se u příjmu povolilo přerušení. Zaznamenání napětí na AD převodnících je stejné jako u voltmetru, ale místo poslání na LCD displej se pošle na výstup USART rozhraní pomocí příkazu:

```
printf("RSSI_%d: %s mV ",i+1,napeti);
```

Při zapnutí měřicího přípravku se do Hyperterminálu v PC vypíše menu s možnostmi ovládání zařízení:

'z' se zapíná napájení Ronji

'v' se vypíná napájení Ronji

'7-1' se reguluje svítivost vysílače, vyšší číslo má větší váhu

'mezerník' se spouští měření RSSI s odstupem 1 s

'c' se resetuje číslování řádku v měření RSSI

Pro detekování stisku klávesy je použita funkce *getchar()*. Funkci k přiřazené klávese zajišťuje *switch*. Pokud se zmáčkne nedefinovaná klávesa, je to zobrazeno na obrazovce chybovým hlášením *Klávesa není definována*.

Po startu zařízení je napěťový výstup k Ronje automaticky zapojen. Při zmáčknutí klávesy "v" nebo "V" přestane být napětí na gate mosfetu T1 a výstup k Ronje se odpojí. Vypnutí provede příkazem *PORTC.2 = 0*, při zapnutí se na tomto portu nastaví jednička.

Po startu zařízení je nastavena nejvyšší svítivost vysílací LED diody se všemi zapnutými tranzistory. Při nastavování regulace proudu vysílací diodou se používá stejného systému jako u vypínání a zapínání mosfetu T1, jediný rozdíl je v tom, že klávesa funguje jako přepínač. Například u klávesy 7 se zapínání/vypínání tranzistoru Q6 provede následujícím příkazem:

```
case '7': //tranzistor Q6
```

```
if (reg7 == 1) reg7 = 0; //pokud je reg7 v 1, nastav na nem 0
```

```
else reg7 = 1; // v jinem pripade 1
```

```
reg_tx(); //volani podprogramu s vypisem hodnot jednotlivych portu a rssi
```

```
break;
```

Takto se to analogicky opakuje pro klávesy 1 až 6. Podprogram *reg\_tx()* zobrazí

na obrazovce Hyperterminálu stavy jednotlivých tranzistorů, kdy je první zleva 7 a poslední 1. Zapnutí tranzistoru je indikováno 1, vypnutí 0. Dále se zobrazí aktuální hodnota RSSI přijímače připojeného na portu PC0, na který ovládaný vysílač svítí. Takže je ihned vidět změna velikosti intenzity vysílacího paprsku na velikosti RSSI v přijímači. Podprogram vypadá takto:

```
printf("Reg-tx: %d",reg7); //vypis jakou hodnotu ma vystup reg7 - reg1
printf("%d",reg6);
printf("%d",reg5);
printf("%d",reg4);
printf("%d",reg3);
printf("%d",reg2);
printf("%d ",reg1);
rssi(0); //rssi na portu PC0
printf("\n \r"); //odradkovani
```

Při zmáčknutí mezerníku se přibližně každou sekundu zobrazí na obrazovce číslo měření a hodnota RSSI na obou přijímačích. Číslo měření se inkrementuje každé další měření, napětí jsou uvedeny v mV. Po zmáčknutí jakéhokoliv tlačítka kromě mezerníku se vyvolá přerušování a výpis hodnot se ukončí. Program je takto napsán:

```
case ' ':
while (rx_buffer_overflow == 0) //bude se provadet tato smycka, dokud nedorazí
k preruseni z klavesnice
{
printf("%i ",cas); //cislo radku
cas++; //pri dalsim behu se cislo radku inkrementuje
rssi(0); //rssi na portu PC0
rssi(1); //rssi na portu PC1
printf("\n \r"); //odradkovani
delay_ms(218); //zpozdeni do dalsiho cyklu, celkove cca 1 s
}
rx_buffer_overflow = 0; //vynulovani preruseni pro dalsi beh smysky v dalsim spus-
teni
break;
```

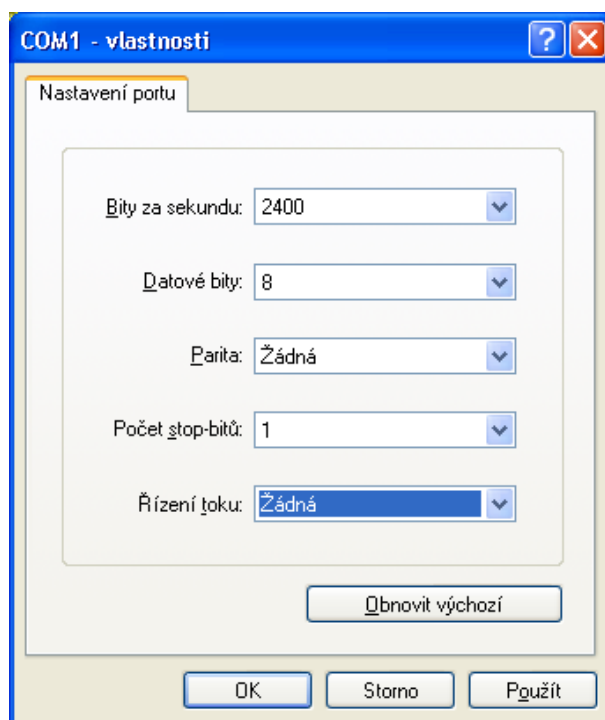
Reset číslování řádku s hodnotami RSSI se již provede naprosto jednoduše. Při stisku klávesy "c" se do proměnné "cas" zapíše 1.

## 8 PROGRAM V PC

Pro komunikaci s měřícím přípravkem slouží program Hyperterminál, který je součástí každého operačního systému od firmy Microsoft.

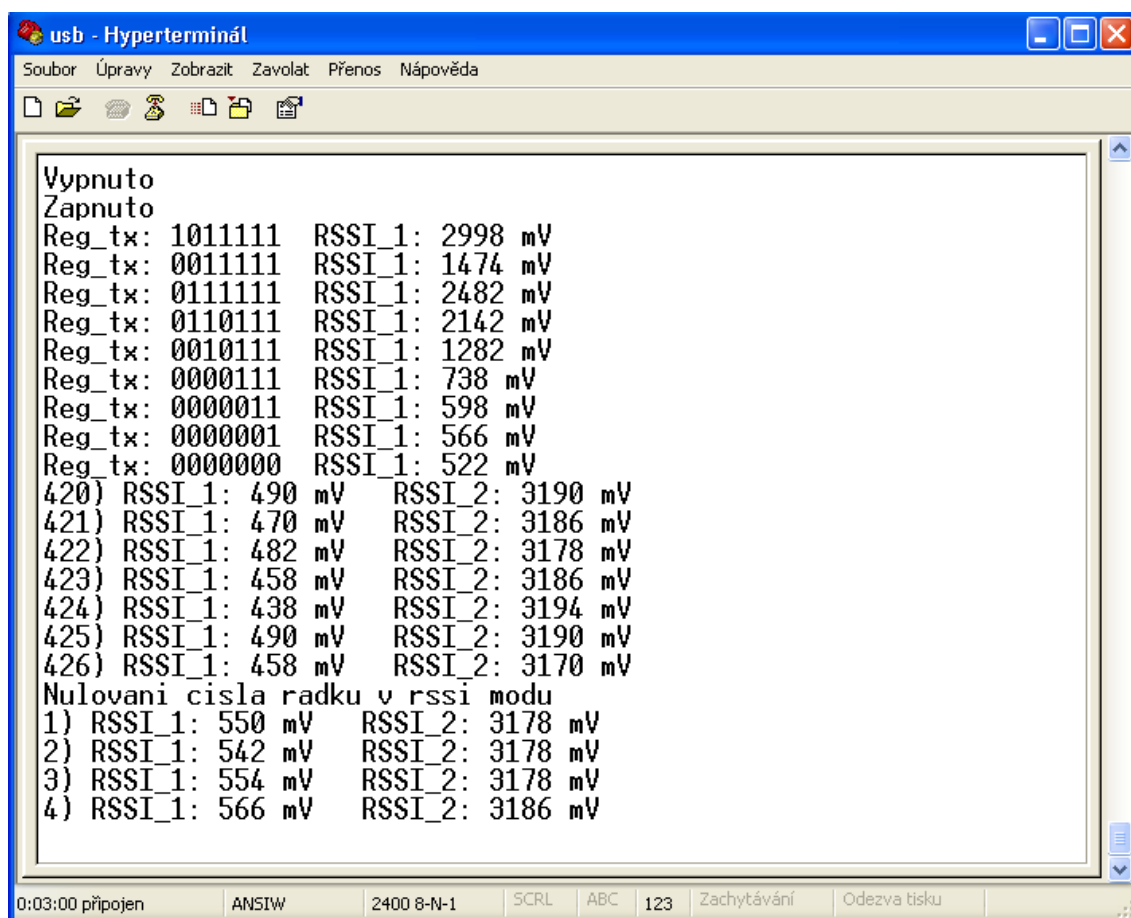
Program je umístěn v: start/programy/příslušenství/komunikace

Po jeho spuštění se napíše název dané relace, v dalším okně se zvolí komunikační port, v našem případě COM port s nejvyšším číslem pro USB komunikaci. V posledním okně se zvolí rychlost 2400 b/s, 8 datových bitů, žádná parita, 1 stop bit, žádné řízení toku. Toto nastavení je zobrazeno na obr. 8.1.



Obr. 8.1: Nastavení komunikace v programu Hyperterminál

Hyperterminál má za úkol monitorovat a zaznamenávat hodnoty RSSI na obou přijímačích, které jsou posílány z měřícího přípravku. Přibližně každou sekundu probíhá měření RSSI, které se zobrazuje v okně Hyperterminálu. Data lze logovat, takže je možné po delším provozu vytvořit, např. v programu Excel, graf velikosti RSSI na obou přijímačích v závislosti na čase. V programu se nastavuje proud vysílací LED diodou v jednom vysílači, který je reprezentován sedmi čísly za sebou. Každé z čísel nabývá hodnoty 0 a 1, kdy s 1 zvýší intenzitu světla z diody. Číslo nejvíce nalevo má nejvyšší vliv na svítivost diody, číslo napravo zase nejmenší. Lze také pomocí klávesy "z" zapnout napájení Ronji a klávesou "v" ho zase vypnout. Ukázka zobrazení dat v Hyperterminálu je na obr. 8.2.



```
Vypnuto
Zapnuto
Reg_tx: 1011111 RSSI_1: 2998 mV
Reg_tx: 0011111 RSSI_1: 1474 mV
Reg_tx: 0111111 RSSI_1: 2482 mV
Reg_tx: 0110111 RSSI_1: 2142 mV
Reg_tx: 0010111 RSSI_1: 1282 mV
Reg_tx: 0000111 RSSI_1: 738 mV
Reg_tx: 0000011 RSSI_1: 598 mV
Reg_tx: 0000001 RSSI_1: 566 mV
Reg_tx: 0000000 RSSI_1: 522 mV
420) RSSI_1: 490 mV RSSI_2: 3190 mV
421) RSSI_1: 470 mV RSSI_2: 3186 mV
422) RSSI_1: 482 mV RSSI_2: 3178 mV
423) RSSI_1: 458 mV RSSI_2: 3186 mV
424) RSSI_1: 438 mV RSSI_2: 3194 mV
425) RSSI_1: 490 mV RSSI_2: 3190 mV
426) RSSI_1: 458 mV RSSI_2: 3170 mV
Nulovani cisla radku v rssi modu
1) RSSI_1: 550 mV RSSI_2: 3178 mV
2) RSSI_1: 542 mV RSSI_2: 3178 mV
3) RSSI_1: 554 mV RSSI_2: 3178 mV
4) RSSI_1: 566 mV RSSI_2: 3186 mV
```

0:03:00 připojen    ANSIW    2400 8-N-1    SCRL    ABC    123    Zachytávání    Odezva tisku

Obr. 8.2: Zobrazená data v Hyperterminálu

Pro velikost přenášených dat je možné použít freewarový program Bandwidth Monitor, který měří aktuální, průměrnou a maximální přenosovou rychlost, jak ve směru download, tak i ve směru upload. Naměřená data průběžně zobrazuje v grafu.

Pro testování funkčnosti spoje se můžou přes příkazový řádek posílat zprávy "ICMP echo request" pomocí příkazu "PING".

## 9 MECHANICKÁ KONSTRUKCE

Mechanická stránka Ronji je velmi důležitá, protože je zapotřebí mít pevnou konstrukci pro vysílač a přijímač, kdy se nesmí pohybovat při nepříznivých povětrnostních podmínkách. Je také zapotřebí mít systém pro precizní zaměření vysílače a přijímače na obou koncích spoje. Samotný vysílač musí být umístěn přesně do středu roury a do ohniskové vzdálenosti čočky, která usměrní jeho paprsek do velmi úzkého světelného kužele. Přijímač je také v ohnisku čočky pro maximální možné zesílení intenzity přijímaného paprsku. Roury s vysílačem a přijímačem je nutné hermeticky uzavřít (v laboratoři uvnitř budovy toto není zapotřebí dělat). Tímto opatřením se zabrání vniknutí vody či vzdušného kyslíku dovnitř roury a zamezí se tak rosení čočky a korodování modulu vevnitř roury.

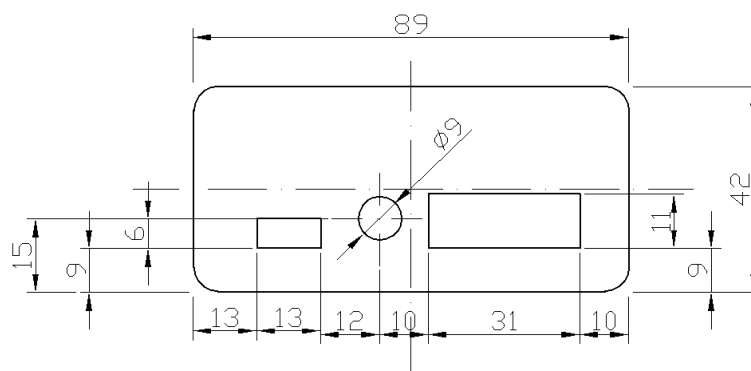
Na obr. 9.1 je pohled na již kompletně sestavenou Ronju.



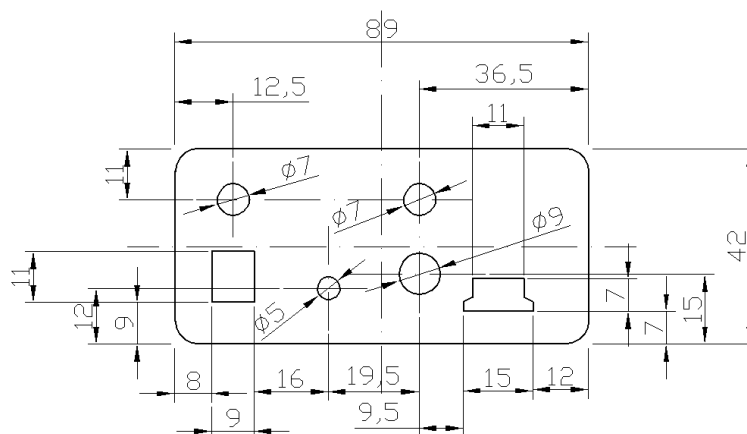
Obr. 9.1: Celkový pohled na mechanickou část Ronji

## 9.1 Krabička pro měřicí přípravek

Měřicí přípravek je umístěn do plastové krabičky KG B15 o rozměrech 95x135x45 mm. Do panelů se musí provrtat několik otvorů pro konektory. V panelu na obr. 9.2 je nalevo umístěn USB konektor, uprostřed se nachází červený cinch konektor pro napájení relé v prodlužovacím kabelu. Napravo je umístěn RS232 konektor. V panelu na obr. 9.3 se nalevo se nachází napájecí konektor 5,5/2,1 mm pro přivedení SS 12 V napájení ze zdroje. Nad ním se zelená led dioda indikující napájení měřícího přípravku. Napravo od napájecího konektoru je umístěn vypínač pro měřicí přípravek. Nalevo od prostředku panelu je žlutý cinch konektor pro napájení zbytku Ronji, žlutá led dioda nad ním indikuje jeho zapojení. V krajní pravé části panelu se nachází datový konektor pro měření RSSI na obou přijímačích a nastavování proudu vysílacími diodami ve vysílačích.



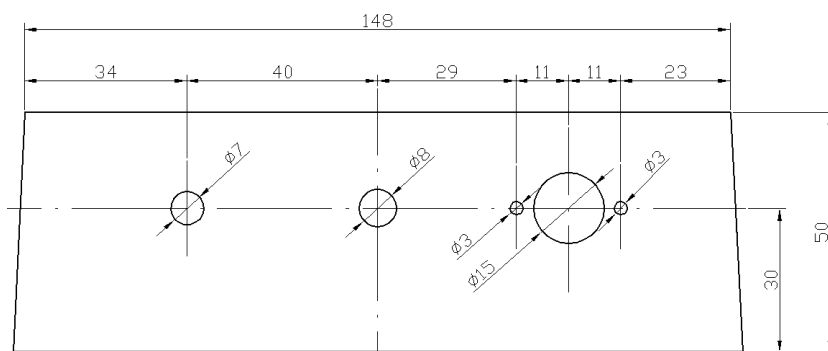
Obr. 9.2: Výkres umístění děr v panelu s datovými konektory v krabičce KG B15



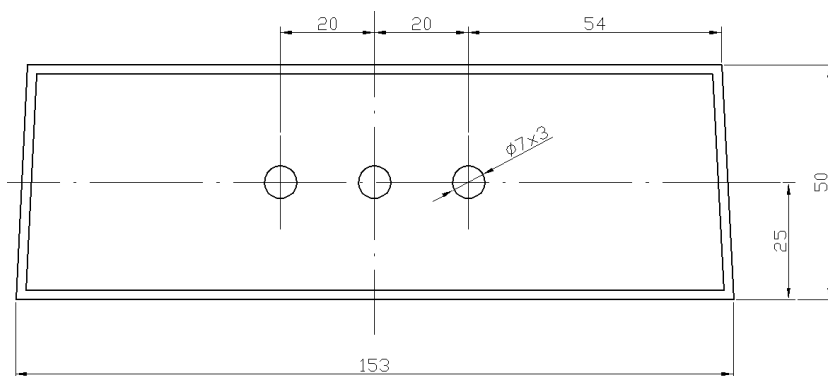
Obr. 9.3: Výkres umístění děr v panelu s napájením a datovými vývody k Ronje v krabičce KG B15

## 9.2 Krabíčka pro Interface

Interface je umístěn do plastové krabíčky KM50. Musí se v ní provrtat několik otvorů pro kabely a indikační LED diody. V zadní části krabíčky je nalevo umístěn datový kabel pro připojení Ronji do PC. Uprostřed se nachází SS 12 V vstup napájení ze zdroje. V pravé části je DIN konektor pro vedení signálu k vysílači, přijímači a k jejich napájení. Na přední straně interfacu jsou uprostřed 3 různě barevné LED diody. Nalevo je umístěna červená pro vysílání, uprostřed žlutá pro indikaci napájení a napravo zelená pro příjem. Díry pro LED diody a UTP kabel jsou ošetřeny kabelovou průchodkou, která zamezuje viklaní LED diod a lámání UTP kabelu. Umístění děr v předním panelu je na výkresu 9.4. Umístění děr vzadu na krabíčce je na výkresu 9.5.



Obr. 9.4: Výkres umístění děr pro Interface v předním panelu na krabíčce KM50

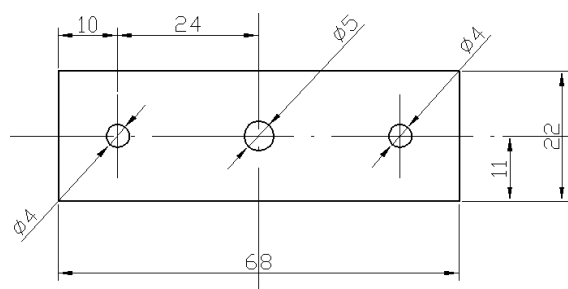


Obr. 9.5: Výkres umístění děr pro Interface vzadu na krabíčce KM50

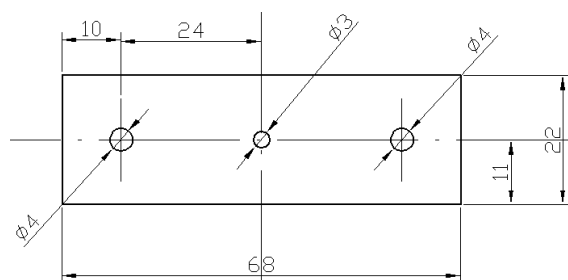


## 9.3 Krabičky pro vysílač a přijímač

Vysílač (respektive přijímač) je zadělán do pocínované kovové krabičky U-AH102 z důvodu lepší ochrany proti vnějším rušivým vlivům. Na horním víčku vysílače je připevněn stabilizátor L7805 kvůli použití krabičky jako chladiče. V přední části krabičky je přesně uprostřed vyvrtaná 3 mm díra pro vysílací LED diodu a u přijímače 5 mm pro přijímací fotodiodu. U obou zařízení se nachází v zadní části 10 mm kabelová průchodka. U modulů jsou poblíž krajů (vepředu i vzadu) dva 4 mm šrouby pro připevnění stabilizačních táček. Umístění děr je na výkresech 9.6(a), 9.6(b), 9.7.

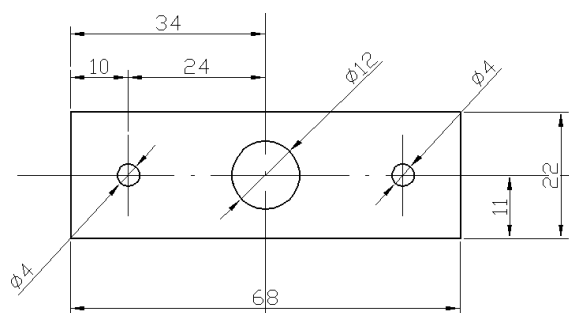


(a) Přijímač



(b) Vysílač

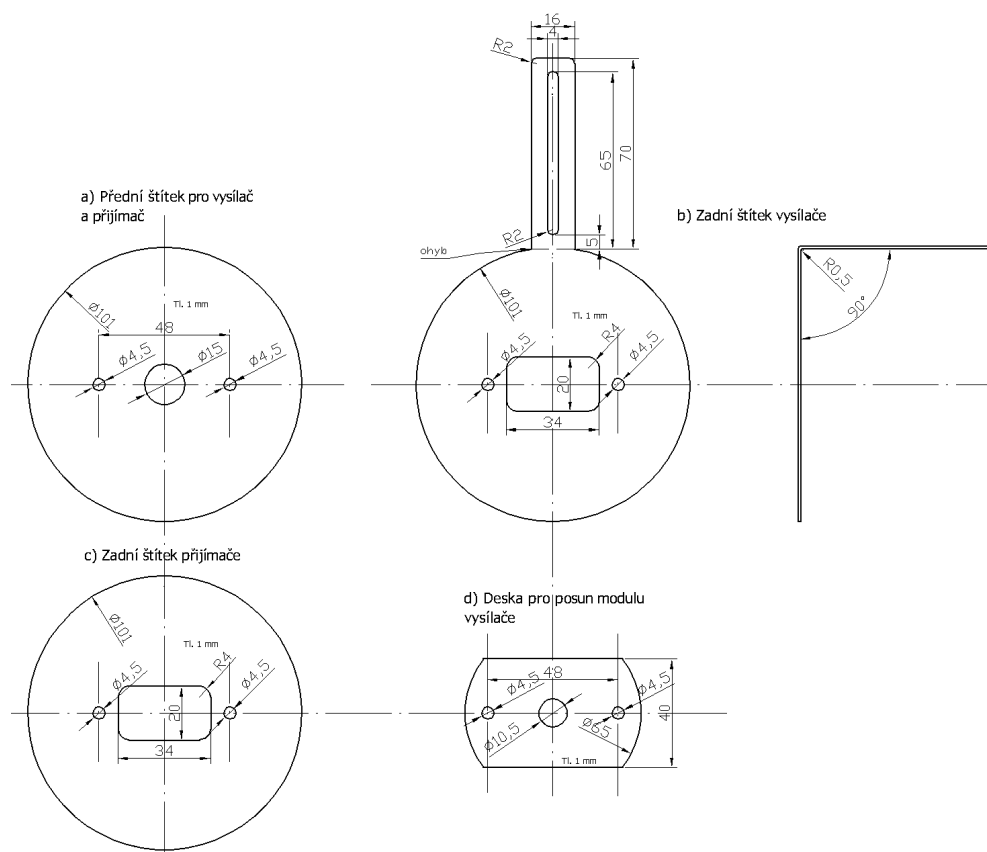
Obr. 9.6: Výkres umístění děr v přední straně na krabičce U-AH102



Obr. 9.7: Výkres umístění děr v zadní straně Tx a Rx na krabičce U-AH102

## 9.4 Vymezovací tácky

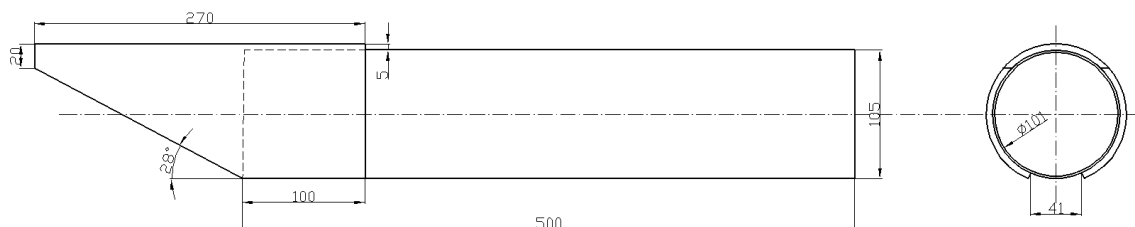
Laserem řezané kovové tácky slouží pro umístění diod přesně doprostřed 105 mm plastové roury, ve které se modul pohybuje pro dosažení ohniskové vzdálenosti diody od čočky. Čočka u vysílače plní funkci k vytvoření co neuzšího paprsku světla. U přijímače se naopak toto světlo zmenší na co nejmenší bod, pro dosažení co nejsilnější intenzity signálu. Přijímač se v rouře pouze jednou zaměří, a proto je jeho konstrukce jednoduchá. Tácky u vysílače jsou složitější, protože lze ohnisková vzdálenost měnit pomocí točení závitové tyče M10, aniž by se rozmontovala roura. Horní ližina spolu s šroubem slouží pro zamezení otáčení vysílače při posunu. Deska pro posun vysílače je pomocí dvou kovových distančních sloupků o délce 2 cm připevněna před zadním štítkem vysílače. Je v ní volně uložena závitová tyč, která se protáhne na místě a drží pomocí kontrujících matek. Rozměry táček jsou na výkresu 9.8. Tácky jsou nastříkány matnou černou barvou, která pohlcuje odražené světlo.



Obr. 9.8: Tácky pro Tx a Rx a) Přední štítek pro vysílač a přijímač, b) Zadní štítek přijímače, c) Deska pro posun modulu vysílače, d) Zadní štítek vysílače

## 9.5 Roury pro umístění vysílače a přijímače

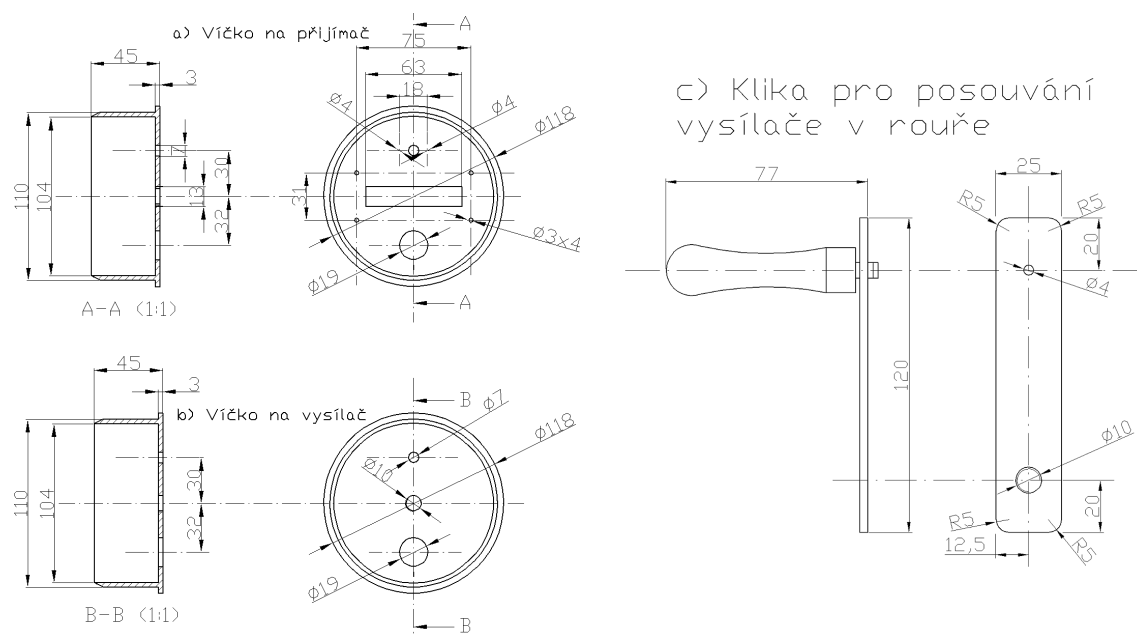
V přední části roury je vsazena 100 mm čočka z lupy. Před ní je vyroben kšilt, který zabraňuje jak osvitlu čočky od slunce, tak zanesením čočky dešťovými kapkami či sněhem. Výkres je na obr 9.9.



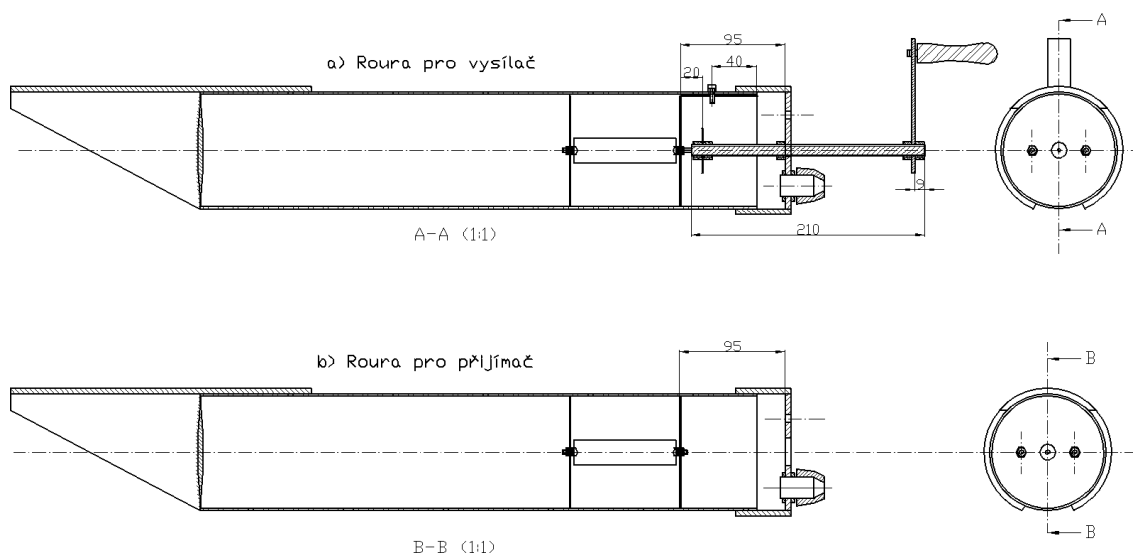
Obr. 9.9: Výkres roury s kšiltem pro posun vysílače či přijímače

Na konci roury je vsazeno víčko, kterým vespodu procházejí kabely skrz stahovatelnou průchodku. U přijímače je uprostřed víčka vsazen LCD displej 1x16 znaků, který zobrazuje aktuální hodnotu RSSI přijímače v rouře. V horní části víčka je vypínač pro podsvětlení displeje. Prostředkem víčka u vysílače prochází závitová tyč M10, kde je umístěna matka M10. V horní části víčka se nachází potenciometr pro manuální regulaci svítivosti vysílací LED diody. Výkres víček je na obr. 9.10 a) a 9.10 b). U vysílače je vytvořen systém posuvu pomocí závitové tyče s dřevěnou klikou, z důvodu komfortnějšího zaměření vysílače do ohniskové vzdálenosti, aniž by se muselo cokoli rozebírat. Rozměry této kliky jsou na obr. 9.10 c). Fotka tohoto posunovacího systému je v příloze na obr. I.6. Celý systém s rourou pro vysílač je znázorněn na výkresu 9.11 a).

Přijímač se zaměří pouze jednou a poté se na několika místech zadní tácek zaaretuje na svém místě pomocí silikonového tmelu. U přijímače je ve víčku umístěn displej na měření RSSI s vypínačem na podsvícení displeje, rozměry jsou na obrázku 9.11 b). Pro přichycení čoček k rourám byl použit bezbarvý univerzální silikon. Kšilty jsou přilepeny pomocí speciálního lepidla na novodurové plasty L20. Vnitřek rour je nastříkán matnou černou barvou, která pohlcuje odražené světlo. Vnější povrch rour je nastříkán stříbrně kvůli odrazu slunečního světla. Tímto se zabrání přílišnému zahřátí vnitřku rour vlivem slunečních paprsků. Byla použita speciální základová barva na plasty, aby se vrchní barva časem neoloupala.



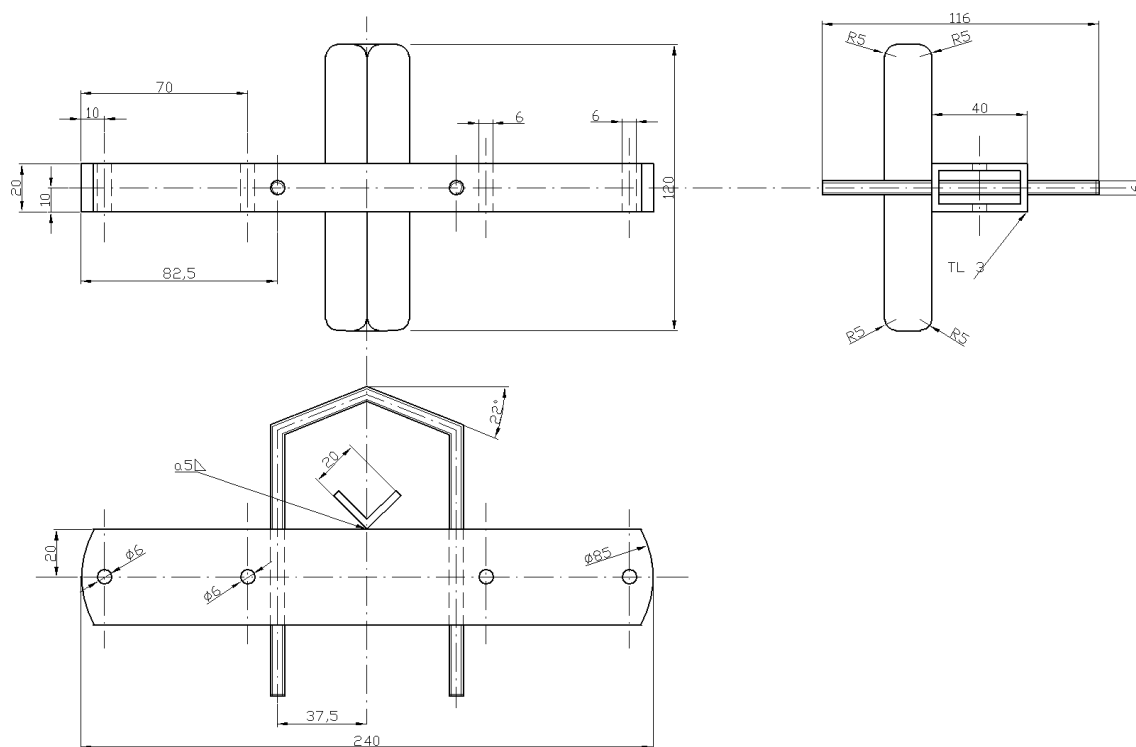
Obr. 9.10: Výkres víček na koncích rour, a) Víčko na přijímač, b) Víčko na vysílač, c) Klika pro posouvání vysílače v rouře



Obr. 9.11: Výkres sestavené roury s tácky, a) Pro vysílač, b) Pro přijímač

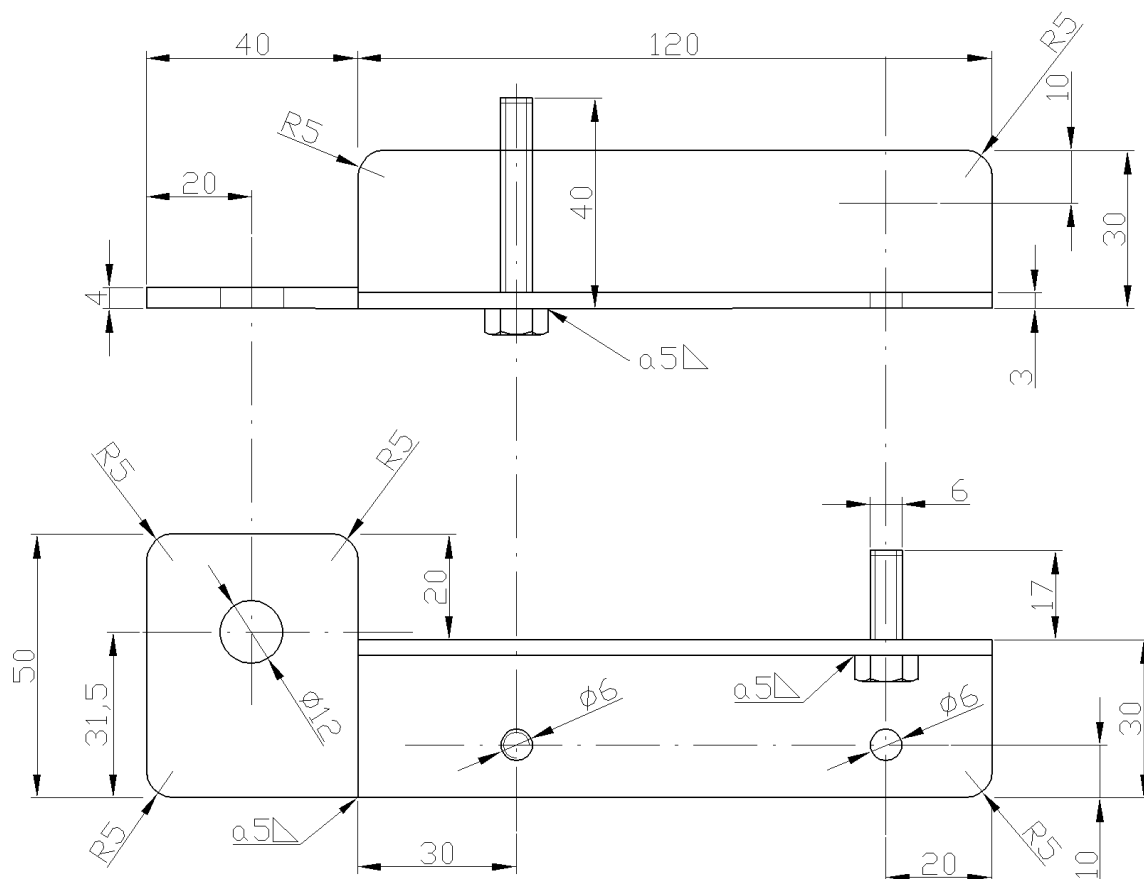
## 9.6 Zaměřovací systém

Ke konzole se přiděluje centrální díl, který slouží jako základna pro zaměřovací systém rour. Připevňují se na ní boční díly a horizontální závitové tyče. Zaoblení na krajích slouží pro větší polohovatelnost rour v horizontálním směru. Rozměry centrálního dílu jsou ve schématu 9.12.



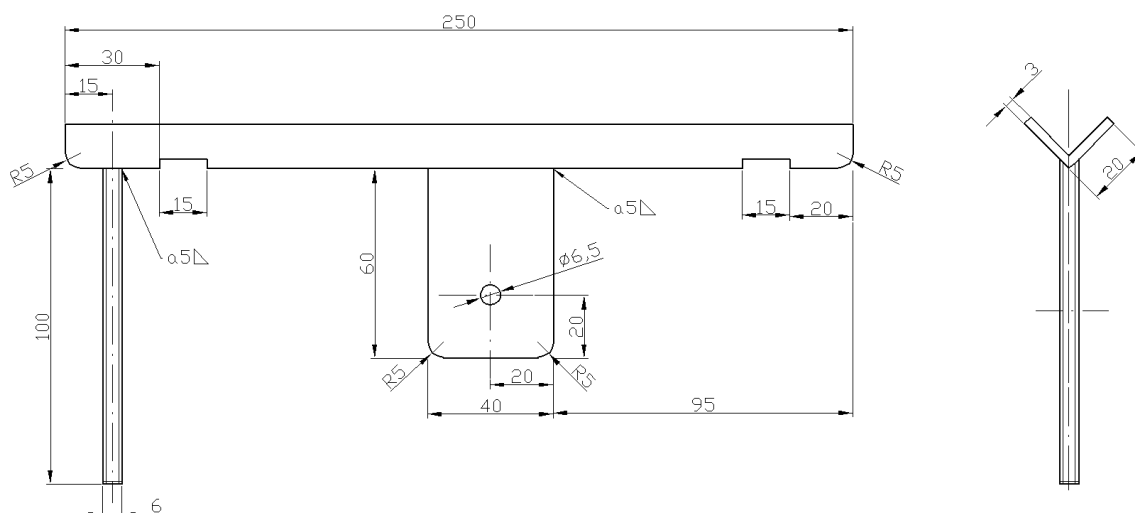
Obr. 9.12: Výkres centrálního dílu, který slouží jako základna pro zaměřovací systém

Boční díl slouží jako podpora horizontálních a vertikálních závitových tyčí pro zaměřování roury. Jeho funkce je tzv. kloub celého zaměřovacího systému, kdy se na přivařených šroubech roura otáčí. Při výrobě bočních dílů je zapotřebí myslet na zrcadlové otočení ve vodorovném směru druhé části bočního dílu v zaměřovacím systému. Výkres dílu je na obr. 9.13.

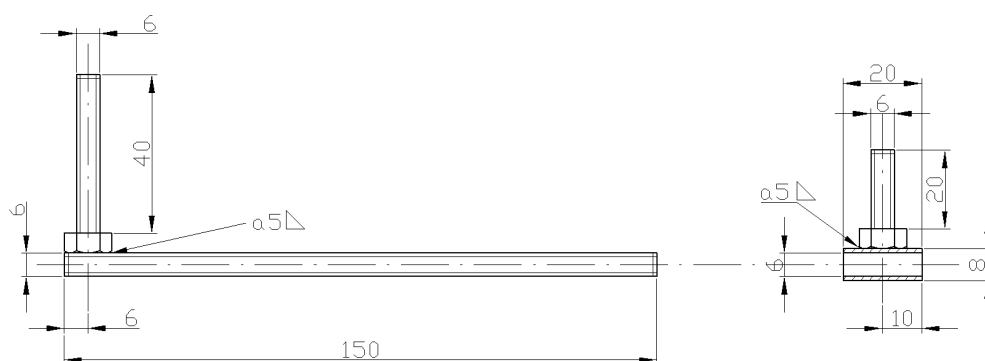


Obr. 9.13: Výkres boční části systému pro horizontální a vertikální zaměřování roury

Pod každou rourou je vytvořen velmi jemný zaměřovací systém, který se skládá ze dvou závitových tyčí pro každou rouru. Svislá závitová tyč s železným jeklem slouží pro uchycení a vertikální seřízení roury (viz výkres 9.14), zatímco vodorovná závitová tyč slouží pro horizontální seřízení roury (viz výkres 9.15). Tato tyč se připevňuje mezi centrální a boční díl.



Obr. 9.14: Výkres součástky pro uchycení roury a její vertikální seřizování



Obr. 9.15: Výkres závitové tyče sloužící pro horizontální seřízení roury

Pro zafixování polohy roury slouží vždy dvě matky na závitové tyči, které po do-tažení proti sobě kontrují, proto není možné, aby se zafixování samo povolilo. K tomu se také utáhnou matky s pérovou podložkou v kloubech a tím se ještě lépe zafixuje nastavená poloha. Roury s moduly a zaměřovacím systémem se nasazují na železnou konstrukci a lze tak s nimi hrubě vodorovně otáčet o 360°. Hrubé vertikální zaměřování není, protože ve většině případů není zapotřebí. Samotný vertikální zaměřovací

system má tak veliký rozsah, že i na malou vzdálenost může mít mezi body převýšení o hodnotě několika desítek metrů. Roura je připevněna ke konzole pomocí železného jeklu 20x20 mm a dvou ocelových stahovacích pásek, které ji na konzoly dostatečně pevně udrží. V jeklu je vybroušen zářez, aby pásek držel na svém místě. Přimontované roury jsou vyfoceny na obr. 9.16



Obr. 9.16: Pohled na připevněnou rouru k zaměřovacímu systému

Veškeré vnější ocelové části jsou profesionálně pozinkované, aby nedošlo k jejich korozi. Složený zaměřovací systém je vyfocen na obr. 9.17



(a) Pohled z boku



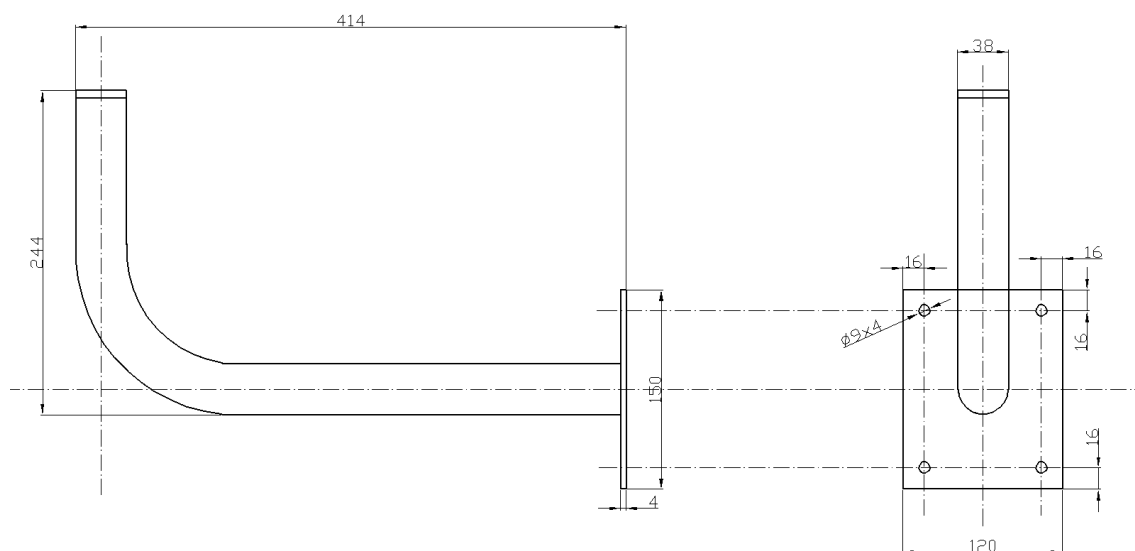
(b) Pohled zespodu

Obr. 9.17: složený zaměřovací systém rour Ronji



## 9.7 Konzole

Na konzoly je kladen největší důraz pro stabilní uchycení na zeď a stabilitu zaměřovacího systému připevněného na konzoly. Proto byla koupena konzole pro uchycení satelitu z robustní železné konstrukce, která se přichycuje ke stěně pomocí čtyř šroubů. Povrchová úprava je rovněž pozinkováním. Její rozměry jsou na výkresu 9.18.



Obr. 9.18: Výkres koupené konzole pro připevnění Ronji ke stěně

Celkový pohled na složenou mechanickou konstrukci je nakreslen v příloze na výkresu F.1, kde jsou jednotlivé popisované díly barevně odlišeny pro lepší orientaci ve výkresu. Další fotky mechanické části jsou v příloze v sekci fotogalerie.

## 10 TESTOVÁNÍ RONJI

Před umístěním Ronji na určené místo je zapotřebí prověřit její správnou funkčnost. Ta se provádí v několika krocích, které jsou podrobně popsány v následujících podkapitolách.

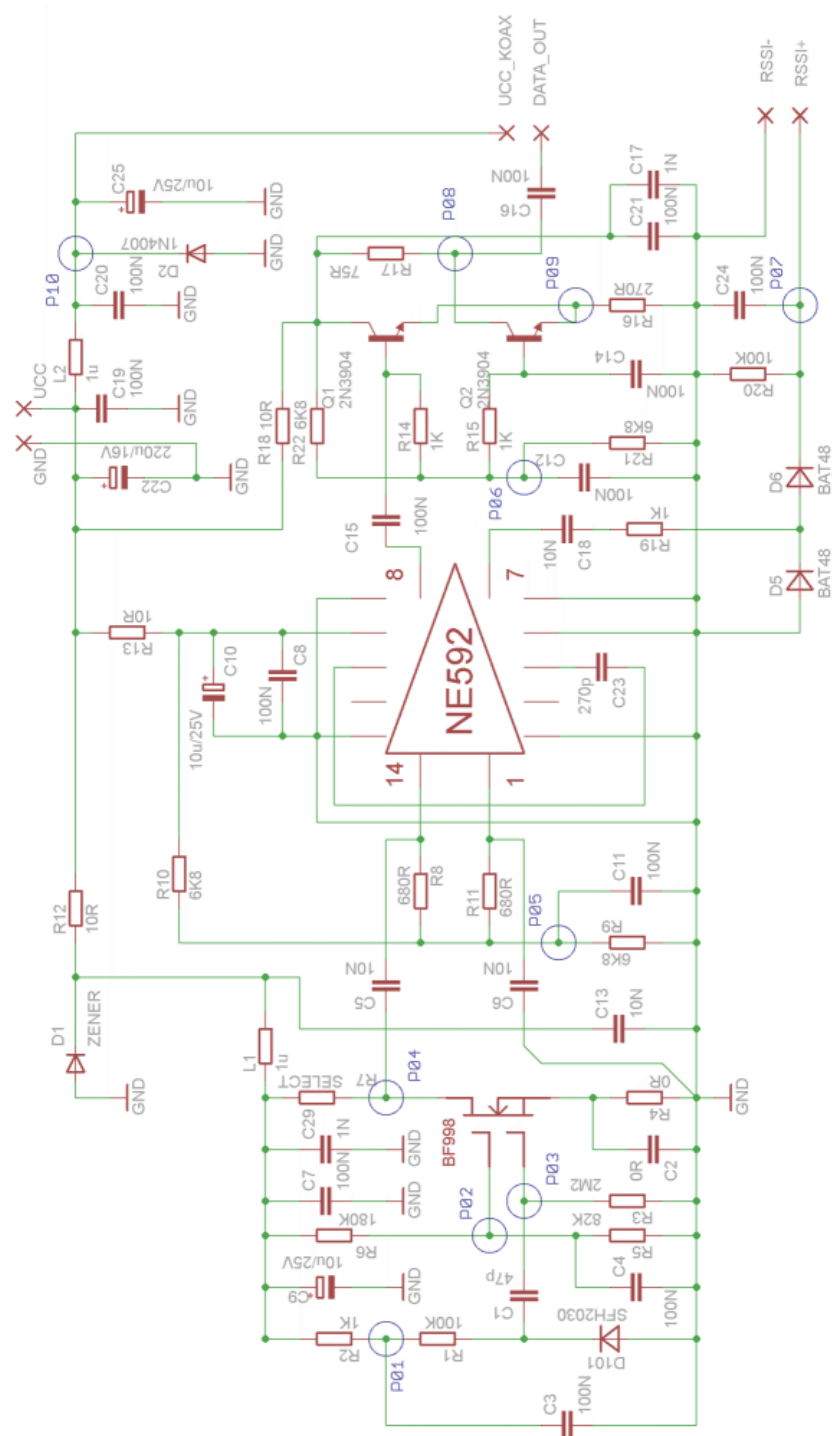
### 10.1 Měřicí body na přijímači a vysílači

První testy Ronji se dělaly hned po osazení desek vysílačů a přijímačů. Tím bylo změřeno hodnoty napětí na klíčových bodech v obou zařízeních. Správné hodnoty jsou převzaty z oficiálních stránek Ronji [2]. Stačí pouze zapojit samostatný modul do napájení a začít měřit.

V tab. 10.1 jsou uvedené povolené rozsahy napětí pro přijímač pro modře označené body P01 - P10 ve schématu na obr. 10.1. Na správné nastavení hodnoty napětí v bodě P04 se u přijímače 1 zvolila hodnota rezistoru R7 1 k $\Omega$ . U přijímače 2 byl odpor tohoto rezistoru 680  $\Omega$ , sice je to mírně nad povoleným rozsahem, nicméně při volbě hodnoty odporu 560  $\Omega$  již napětí kleslo těsně pod 5 V a jelikož bylo napájecí napětí mírně vyšší, zvolil jsem právě tu první hodnotu odporu.

Tab. 10.1: Hodnoty napětí na klíčových bodech přijímače.

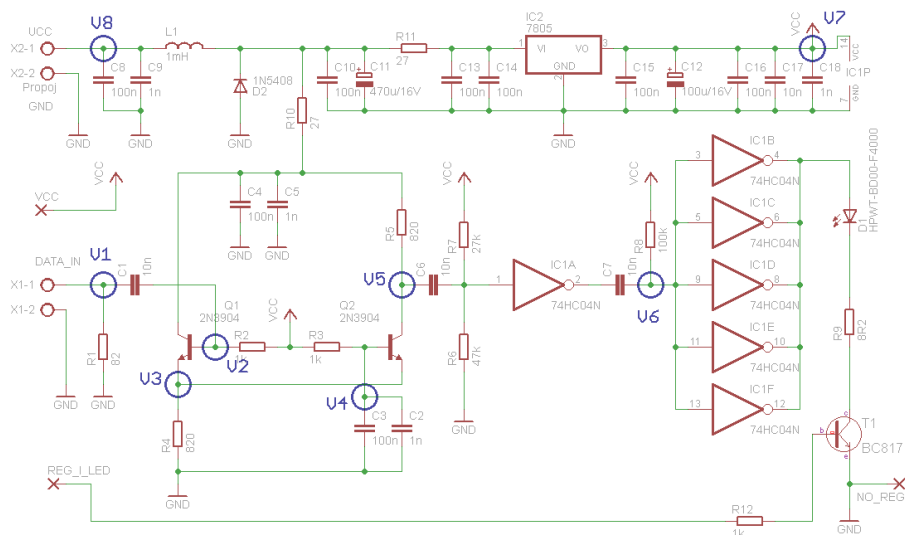
| Bod | Teoretické SS napětí |                  | Naměřené SS napětí |            |
|-----|----------------------|------------------|--------------------|------------|
|     | Minimální napětí     | Maximální napětí | Přijímač 1         | Přijímač 2 |
|     | [V]                  | [V]              | [V]                | [V]        |
| P01 | P10 - 0,7            | P10              | 12,15              | 12,05      |
| P02 | 3,5                  | 4                | 3,78               | 3,73       |
| P03 | 0                    | 0,1 m            | 0                  | 0          |
| P04 | 5                    | 6                | 5,23               | 6,20       |
| P05 | (P10/2) - 0,5        | (P10/2) + 0,5    | 5,95               | 5,95       |
| P06 | (P10/2) - 0,7        | (P10/2) + 0,5    | 5,76               | 5,82       |
| P07 | 0                    | 4                | 0                  | 0          |
| P08 | P10 - 1,3            | P10 - 0,9        | 11,94              | 11,93      |
| P09 | P06 - 0,8            | P06 - 0,6        | 5,17               | 5,19       |
| P10 | 11,5                 | 12,5             | 12,23              | 12,23      |



Obr. 10.1: Elektrické schéma přijímače s body pro měření

Tab. 10.2: Hodnoty napětí na klíčovém bodech vysílače.

| Bod | Teoretické SS napětí |                  | Naměřené SS napětí |            |
|-----|----------------------|------------------|--------------------|------------|
|     | Minimální napětí     | Maximální napětí | Vysílač 01         | Vysílač 02 |
|     | [V]                  | [V]              | [V]                | [V]        |
| V1  | 0                    | 0                | 0                  | 0          |
| V2  | V7 - 0,1             | V7               | 5,01               | 5,07       |
| V3  | V7 - 0,8             | V7 - 0,6         | 4,32               | 4,40       |
| V4  | V7 - 0,1             | V7               | 5,05               | 5,10       |
| V5  | V8 - 4,4             | V8               | 11,18              | 11,45      |
| V6  | V7 - 0,2             | V7               | 4,95               | 5,01       |
| V7  | 4,8                  | 5,2              | 5,09               | 5,11       |
| V8  | 11,5                 | 12,5             | 12,23              | 12,23      |



Obr. 10.2: Elektrické schéma vysílače s body pro měření

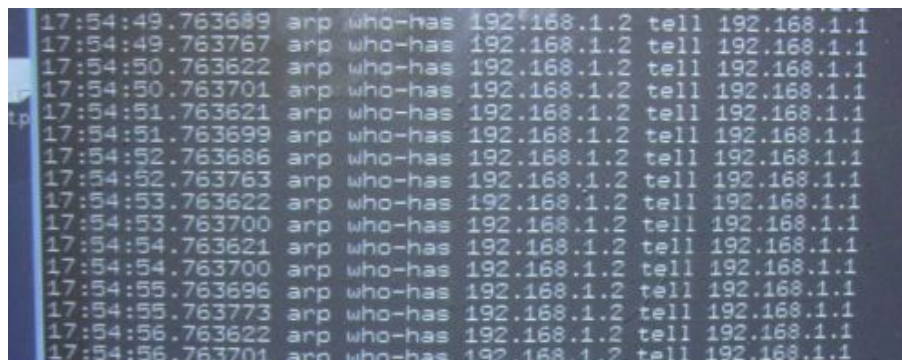
## 10.2 Loopback v linuxu

První funkční test proběhl pouze s jedním interfacem, kdy se signál z vysílače pomocí drátové propojky připojil na vstup signálu z přijímače. Tím se vytvořila zpětná smyčka, tzv. loopback. Pro ověření správné funkčnosti Interfacu se využívá program TCPDump, který sleduje provoz na síťovém rozhraní. Pokud program zaznamená přijetí dvou záznamů *ICMP echo request* za jednu sekundu, tak Interface správně funguje.

Následujícím postupem se dosáhne kýženého výsledku:

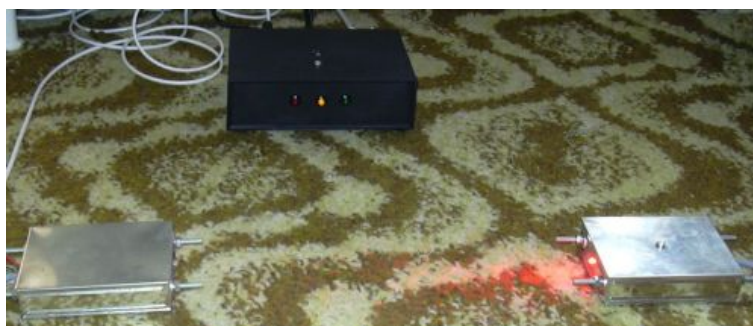
1. Interface zapojte to ethernetové síťovky, přiveďte k němu napájení a pomocí drátové propojky spojte na Interfacu datový výstup pro vysílač se vstupem pro přijímač (prostřední kontakty ve spodu DIN konektoru).
2. Na počítači spusťte některou z grafických distribucí Linuxu. Stačí i použít life CD, např. s Knoppixem.
3. Spusťte v linuxu terminál a přepněte se na superuživatele. Příkaz: *su*
4. V terminálu napište příkaz *ethtool*, kterým zjistíte počet a parametry síťových rozhraní v počítači. Zapamatujte si název rozhraní, ke kterému je připojen Interface. V tomto případě se zvolilo rozhraní *eth0*.
5. Nastavte na síťovém rozhraní přenosovou rychlost 10 Mb/s full duplex a vypněte funkci autonegotiation pomocí příkazu:  
*ethtool -s eth0 speed 10 duplex full autoneg off*
6. Ověřte správné nastavení síťového rozhraní pomocí příkazu *ethtool eth0*
7. Pokud to nebude správně nastaveno, nelze příkazem *ethtool* nastavit tuto konkrétní síťovou kartu, můžete použít alternativní příkaz k bodu 4:  
*mii-tool -F 10baseT-FD*
8. Pokud ani toto nepomůže, je zapotřebí vložit do PC jinou síťovou kartu. Velmi dobře se nastavují nejlevnější síťové karty od firmy Edimax.
9. Po nakonfigurování parametrů karty je zapotřebí nastavit její IP adresu a masku, to se provede příkazem: *ifconfig eth0 192.168.1.1 netmask 255.255.255.0*
10. Poté spusťte program TCP dump, který monitoruje provoz na síťovém rozhraní, příkazem: *tcpdump -i eth0*

11. V posledním kroku zapnete nový terminál (původní zůstane stále otevřený) a zadejte do něj příkaz: *ping 192.168.1.2*
12. Nyní se v původním okně terminálu zobrazují zachycené zprávy. Pokud Interface nefunguje, zobrazí se pouze jedna zpráva každou sekundu. Ukázka správně fungujícího interfacu je na obr. 10.3 , kdy jsou ve třetím sloupci vidět vždy dva pakety přicházející každou sekundou.



Obr. 10.3: Okno terminálu při správně fungujícím Interfacu

Druhý loopback test se provedl s polovinou Ronji, tj. s vysílačem, přijímačem a Interfacem. Kdy se na testování použila stejná metoda jako u prvního funkčního testu. To probíhalo bez optické soustavy, která má pouze vliv na dosaženou vzdálenost mezi oběma body. Zde se již může vyzkoušet, při jakých mezních hodnotách RSSI přijímač přestává fungovat a na jakou maximální vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem může ještě Ronja komunikovat. V našem případě byla maximální dosažená vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem 197 cm. Na Obr. 10.4 je fotka z testování této poloviny Ronji.



Obr. 10.4: Zapojení poloviny Ronji při loopback testu

## 10.3 Kompletní Ronja

Test probíhal v OS Windows XP mezi dvěma počítači s ethernetovými adaptéry manuálně nastavenými na 10 Mb/s full duplex. IP adresy se zvolily 192.168.1.1 s maskou podsítě 255.255.255.0 na PC1 a 192.168.1.2 s maskou podsítě 255.255.255.0 na PC2. Testování probíhalo bez optické soustavy. Na obr. 10.5 je fotka z testování Ronji mezi dvěma PC.



Obr. 10.5: Testování Ronji mezi dvěma PC

### 10.3.1 Ping mezi dvěma PC

Testu je zaměřen na spolehlivost spoje v závislosti na změně RSSI na jednom z přijímačů. Měnila se vzdálenost mezi jedním vysílačem a přijímačem. Měřilo se zpoždění odezvy v závislosti na velikosti zprávy a porovnávalo se to se zpožděním na UTP kabelu ve standardu 10Base-T. Test se prováděl tak, že se z PC1 posílaly ICMP zprávy echo request na síťové rozhraní PC2. Ten odpovídal na tyto dotazy zprávou ICMP echo reply. Pokud je PC1 v pořádku přijal, byla funkčnost Ronji v pořádku. Toho se dosáhlo tak, že se v příkazové řádce (cmd) zadal následující příkaz:  
*ping [ip adresa druhého PC] -l [velikost paketu] -n [počet paketů] -w [časový limit]*  
kde:

- ip adresa je v našem případě: 192.168.1.2 pro PC1 nebo 192.168.1.2 pro PC2
- -l číselně udává velikost ICMP zprávy v B, maximální velikost je 65500

- -n udává počet opakování odeslání pingu, udává se v celých číslech
- -w udává maximální čas čekání na odpověď (echo reply) v ms, je to z důvodu ušetření času, při výpadku, kdy se normálně čeká na odpověď 1 s

Pro různou velikost paketů se u každého přijímače snažila najít zlomová hodnota RSSI, kdy již přestává přijímač správně fungovat. Rozdíl mezi jednotlivými hodnotami RSSI je 5 mV pro minimální napětí a 25 mV pro maximální napětí, bylo to z důvodu lepší přesnosti měření v rámci velmi nízkých hodnot napětí a v praxi je důležitá pouze spodní hranice funkčnosti přijímače. Přijímač, který se netestoval, byl umístěn tak, aby měl dostatečně silný signál, během kterého nemůže nastat výpadek spojení. Počet opakování ping příkazu bylo nastaveno na 50 pro danou hodnotu RSSI, z důvodu dostatečného počtu vzorků.

Při posílání zpráv o velikosti 1024 B bylo průměrné zpoždění na Ronje 1 ms, přes UTP kabel bylo zpoždění menší jak 1 ms. Přenos zpráv bez výpadku byl na přijímači 2 v rozmezí 50 mV až 3500 mV, na přijímači 1 v rozmezí 25 mV až 4000 mV. V tab. 10.3 jsou vypsány počty úspěšně přenesených posílání zpráv o velikosti 1024 B v závislosti na RSSI přijímače. Na obr. 10.6 je zobrazen graf spolehlivosti přenosu na obou přijímačích při posílání zpráv o velikosti 1024 B.

Při posílání zpráv o velikosti 16384 B bylo průměrné zpoždění na Ronje 28 ms, přes UTP kabel 3 ms. Přenos zpráv bez výpadku byl na přijímači 2 v rozmezí 50 mV až 3525 mV, na přijímači 1 v rozmezí 25 mV až 4000 mV.

Při posílání zpráv o velikosti 16384 B bylo průměrné zpoždění na Ronje 55 ms, přes UTP kabel 6 ms. Přenos zpráv bez výpadku byl na přijímači 2 v rozmezí 50 mV až 3500 mV, na přijímači 1 v rozmezí 20 mV až 3950 mV.

Z naměřených výsledků vyplývá, že velikost paketu nemá vliv na spolehlivost spoje v krajních mezích. Spolehlivost Ronji je stoprocentní v ohromném rozpětí intenzity přijímaného signálu. Signál je nejvíce zpožděn v Interfacu, nicméně velikost zpoždění není oproti UTP kabelu pro drtivou většinu aplikací znatelný. 100% výpadek spojení nastává při změně RSSI v řádu jednotek až desítek mV. Relativně velké odchylky parametrů obou přijímačů mohou být dány výrobními tolerancemi součástek, velikostí a kvalitou napájecího napětí, kvalitou síťových zařízení v obou přijímačích. Parametry přijímače dokáže také negativně ovlivnit pouhé odkrytování kovového víčka krabičky v přijímači.



Tab. 10.3: Ping mezi přijímačem a vysílačem

| RSSI 2 | Ztracené<br>pakety | Ztracené<br>pakety | RSSI 1 | Ztracené<br>pakety | Ztracené<br>pakety |
|--------|--------------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|
| [mV]   | [počet]            | [%]                | [mV]   | [počet]            | [%]                |
| 30     | 50                 | 100                | 10     | 50                 | 100                |
| 35     | 21                 | 42                 | 15     | 3                  | 6                  |
| 40     | 6                  | 12                 | 25     | 0                  | 0                  |
| 50     | 0                  | 0                  | 50     | 0                  | 0                  |
| 100    | 0                  | 0                  | 100    | 0                  | 0                  |
| 200    | 0                  | 0                  | 200    | 0                  | 0                  |
| 600    | 0                  | 0                  | 600    | 0                  | 0                  |
| 1000   | 0                  | 0                  | 1000   | 0                  | 0                  |
| 2000   | 0                  | 0                  | 2000   | 0                  | 0                  |
| 3000   | 0                  | 0                  | 3000   | 0                  | 0                  |
| 3500   | 0                  | 0                  | 3500   | 0                  | 0                  |
| 3550   | 2                  | 4                  | 4000   | 0                  | 0                  |
| 3575   | 25                 | 50                 | 4050   | 7                  | 14                 |
| 3600   | 50                 | 100                | 4100   | 50                 | 100                |



Obr. 10.6: Graf spolehlivosti přenosu při pingu o velikosti 1024 B

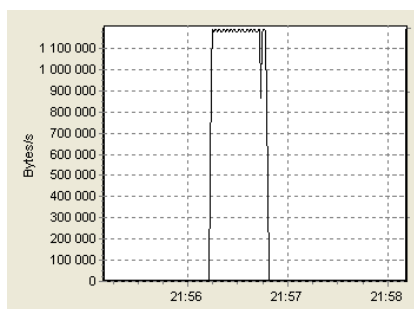
### 10.3.2 Přenos dat po Ronje

Tento test je zaměřen na přenosovou rychlost Ronji, kdy se mezi počítači přenášel asi 40 MB (přesně 40309927 B) soubor pomocí FTP protokolu. Měřila se průměrná rychlost přenosu v závislosti na přenosu dat jedním směrem, či oběma směry naráz. Dále se měřil vliv zpoždění ping zpráv během přenosu souboru. Na přijímačích bylo RSSI 2000 mV, aby přenos neovlivnily výpadky linky.

Průměrná přenosová rychlost v tab. 10.4 není přesně 10 Mb/s, kterou deklaruje specifikace Ronji, je to způsobeno režijními protokoly FTP protokolu. Maximální přenosová rychlost byla 1,2 MB/s, tj. 9,6 Mb/s. Na obr. 10.7 je vidět téměř neměnná přenosová rychlost, její pokles těsně před ukončením přenosu souboru uměle ovlivnil FTP protokol. Porovnáním tab. 10.4 s tab. 10.5 je zřejmé, že Ronja je zařízení pracující v plném duplexu, kdy jsou hodnoty přenosové rychlosti v tab. 10.5 sníženy pouze o režii FTP přenosu.

Tab. 10.4: Přenos souboru jedním směrem

|          | Rychlost [MB/s] | Rychlost [Mb/s] | Trvání přenosu [s] |
|----------|-----------------|-----------------|--------------------|
| Upload   | 1093            | 8744            | 36                 |
| Download | 1093            | 8744            | 36                 |



Obr. 10.7: Průběh stahování souboru v jenom směru

Tab. 10.5: Přenos souboru oběma směry naráz

|              | Rychlost [MB/s] | Rychlost [Mb/s] | Trvání přenosu [s] |
|--------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| Download PC1 | 1063            | 8504            | 37                 |
| Download PC2 | 1063            | 8504            | 37                 |

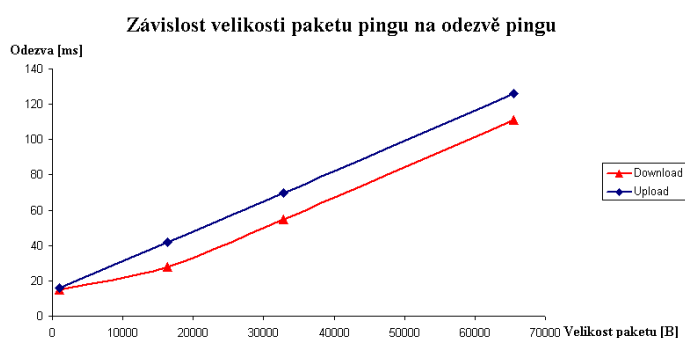
Při srovnání tab. 10.6 s tab. 10.7 vyplývá, že při stahování souboru je vyšší přenosová rychlost souboru a menší zpoždění odezvy na ping oproti nahrávání přenosu, kdy je zpoždění většinou vyšší o 15 ms.

Tab. 10.6: Ping z PC1 na PC2 a zároveň upload souboru z PC2 na PC1

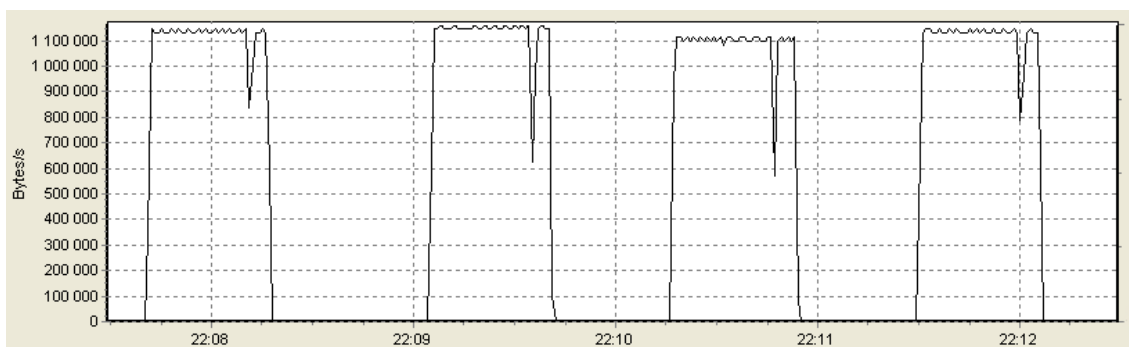
| Velikost pingu | Rychlost | Rychlost | Trvání přenosu | Odezva pingu |
|----------------|----------|----------|----------------|--------------|
| [B]            | [MB/s]   | [Mb/s]   | [s]            | [ms]         |
| 1024           | 1093     | 8744     | 34             | 16           |
| 16384          | 1124     | 8992     | 35             | 42           |
| 32768          | 1063     | 8504     | 37             | 70           |
| 65500          | 1009     | 8072     | 39             | 126          |

Tab. 10.7: Ping z PC1 na PC2 a zároveň download souboru z PC2 na PC1

| Velikost pingu | Rychlost | Rychlost | Trvání přenosu | Odezva pingu |
|----------------|----------|----------|----------------|--------------|
| [B]            | [MB/s]   | [Mb/s]   | [s]            | [ms]         |
| 1024           | 1157     | 9256     | 34             | 15           |
| 16384          | 1124     | 8992     | 35             | 28           |
| 32768          | 1093     | 8744     | 36             | 55           |
| 65500          | 1035     | 8280     | 38             | 111          |

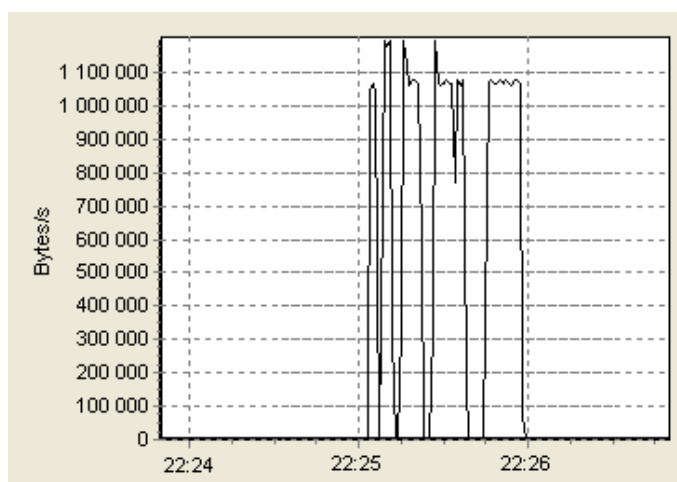


Obr. 10.8: Graf závislosti velikosti paketu pingu na jeho odezvě



Obr. 10.9: Průběh stahování souboru v jenom směru s pingem na druhý PC. V prvním sloupci zleva je ping o velikosti 1024 B, ve druhém 16384 B, ve třetím 65500 B a ve čtvrtém 32768 B

Obr. 10.10 zobrazuje průběh přenosu souboru, během kterého se zakrytím vysílacího paprsku na jednom z vysílačů Ronji simuloval dočasný výpadek linky. Díky potvrzovacím mechanismům správného přijetí dat, v rámci specifikace FTP protokolu, se po obnovení spojení znovu rozběhl přenos dat. Soubor nebyl po stáhnutí nijak poškozen.



Obr. 10.10: Průběh stahování souboru, během kterého došlo k přerušení vysílacího paprsku Ronji

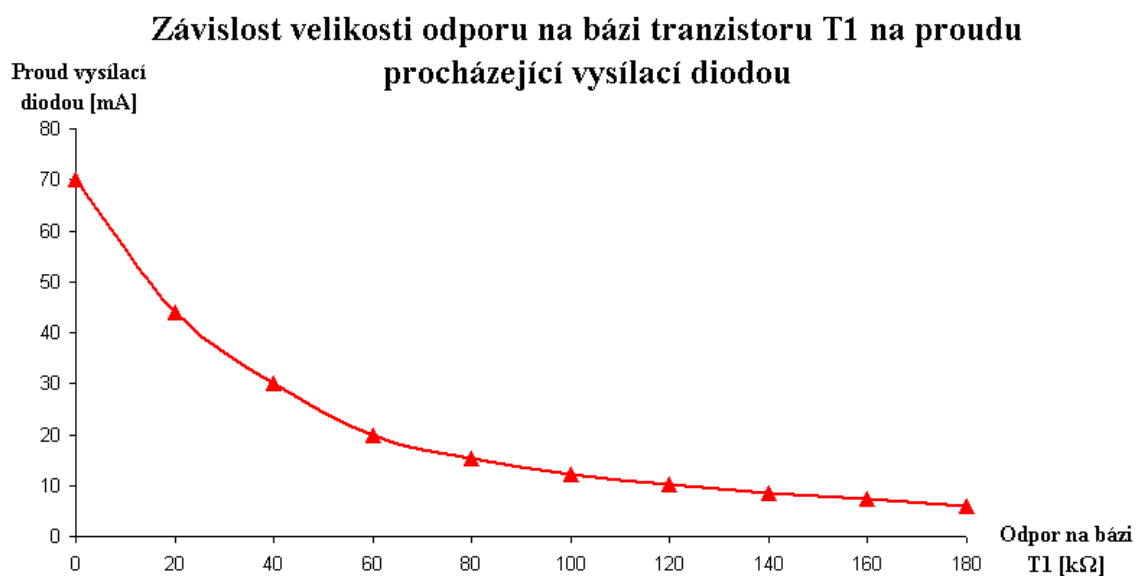
### 10.3.3 Regulace proudu vysílací diodou

Toto měření mělo za úkol zjistit, jakým způsobem regulace proudu vysílací LED diodou ovlivní velikost přijímaného signálu. Proud vysílací LED diodou se snižoval pomocí zvyšujícího se odporu na bázi tranzistoru T1 ve schématu vysílače. V tab. 10.8 jsou vidět tyto závislosti. Ve všech měřených případech nenastal výpadek linky.

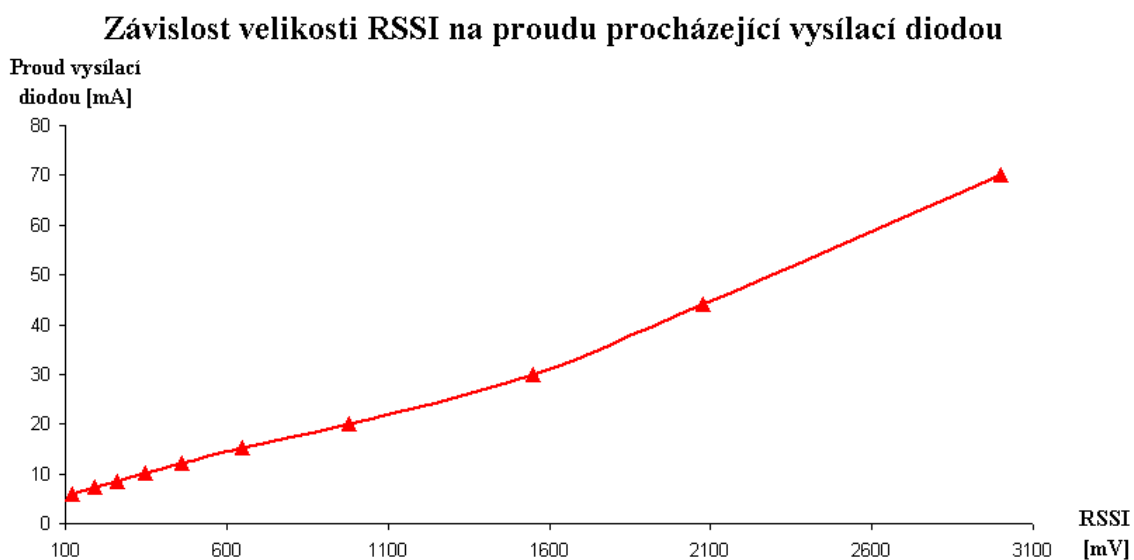
Graf na obr. 10.11 zobrazuje závislost velikosti odporu na bázi tranzistoru T1 na proudu procházející vysílací diodou, která má při nižším odporu strmější charakteristiku. Graf na obr. 10.12 ukazuje velikosti napětí na přijímači v závislosti na proudu procházejícím vysílací diodou, kde je charakteristika téměř lineární.

Tab. 10.8: Regulace svítivosti vysílací LED diody

| <b>Odpor na bázi T1</b> | <b>Proud TX diodou</b> | <b>RSSI na přijímači 01</b> |
|-------------------------|------------------------|-----------------------------|
| [kΩ]                    | [mA]                   | [mV]                        |
| 0                       | 70                     | 3000                        |
| 20                      | 44                     | 2075                        |
| 40                      | 30                     | 1550                        |
| 60                      | 20                     | 980                         |
| 80                      | 15,2                   | 650                         |
| 100                     | 12,1                   | 460                         |
| 120                     | 10,1                   | 350                         |
| 140                     | 8,6                    | 260                         |
| 160                     | 7,3                    | 192                         |
| 180                     | 5,9                    | 120                         |



Obr. 10.11: Graf závislosti velikosti odporu na bázi tranzistoru T1 na proudu procházející vysílací diodou



Obr. 10.12: Graf závislosti velikosti RSSI na proudu procházející vysílací diodou

Na obr. 10.13 jsou fotky intenzity vysílací led diody, která je zaměřená v ohnisku čočky. Levá sada obrázků zobrazuje maximální intenzitu, pravá naopak minimální s odporem na bázi tranzistoru T1 ve vysílači o hodnotě  $180\text{ k}\Omega$ . Horní obrázek ukazuje intenzitu těsně u čočky, prostřední tři metry od čočky a poslední zobrazuje usměrněný paprsek na zdi.



Obr. 10.13: Svítivost vysílací diody. Nalevo odpor  $0\ \Omega$ , napravo odpor  $180\text{ k}\Omega$

### 10.3.4 Polopropustné překážky

V poslední části testů se zkoušel vliv polopropustných překážek na útlum přijímaného signálu. Test se prováděl bez optické soustavy, vždy se vycházelo z RSSI 3000 mV pro signál bez překážek. Překážky se umístily vždy těsně před přijímač. Tab. 10.9 ukazuje, pokles napětí RSSI na obou přijímačích. Ve všech případech Ronja stále fungovala. V budoucí laboratorní úloze by tento test mohl posloužit studentům pro zjištění, na jakém druhu polopropustné překážky má Ronja nejvyšší útlum.

Tab. 10.9: Útlum přijímače v závislosti na přiložené překážce. Výchozí napětí 3000 mV

| Název překážky  | RSSI na přijímači 1 | RSSI na přijímači 2 |
|-----------------|---------------------|---------------------|
|                 | [mV]                | [mV]                |
| Papír 80g/m2    | 30                  | 35                  |
| Papír 30g/m2    | 185                 | 205                 |
| Pauzovací papír | 890                 | 930                 |
| Hnědá fólie     | 1880                | 1950                |
| Červená fólie   | 2410                | 2570                |
| Žlutá fólie     | 2800                | 2900                |

### 10.3.5 Příkon zařízení

Nakonec se změřil příkon k jednotlivým zařízením Ronji, které jsou přehledně roze-psány v tab. 10.10. Při sečtení všech hodnot je příkon celého zařízení 8 W s proudem 712 mA. Pro napájení je použit spínaný SS zdroj 12 V s výstupním proudem 1 A. Na napájení celého zařízení je více než dostatečný.

Tab. 10.10: Příkon jednotlivých typů zařízení

| Název zařízení   | Napájecí napětí | Napájecí proud | příkon |
|------------------|-----------------|----------------|--------|
|                  | [V]             | [mA]           | [mW]   |
| Interface        | 12              | 171            | 2052   |
| Vysílač          | 12              | 80             | 960    |
| Přijímač         | 12              | 44             | 528    |
| Voltmetr         | 5               | 34             | 170    |
| Měřicí přípravek | 12              | 54             | 648    |



## 11 ZÁVĚR

Tato diplomová práce krátce pojednala o obecných principech bezdrátového optického spoje, s jeho výhodami i nevýhodami. Porovnaly se reálné parametry profesionálního zařízení Canobeam DT-150 HD s levným pojítkem Ronja.

Jako základ pro FSO se do laboratoří vybralo bezdrátové pojítko Ronja, které je již ve světě rozšířené. Studenti se tak seznámí s FSO, s kterým mohou v budoucím životě přijít do styku. Ronja se zvolila z důvodu bezplatné a plně otevřené dokumentace, nízkým nákladům na výrobu, bezpečného napájecího napětí SS 12 V a vysílacím paprskem s nekoherentním světlem z LED diody o vlnové délce 625 nm.

Úprava optického pojítka rozšířila možnosti různých druhů měření na Ronje a zlepšila práci s celým zařízením. Velmi dobře poslouží studentům při výuce v laboratoři optických sítí. Kde si budou moci vyzkoušet práci s Ronjou, její chování v limitních stavech a ovlivnění různými vnějšími vlivy. V praxi si tak vyzkouší komplexní problematiku bezdrátového optického přenosu. Tato diplomová práce může velmi dobře posloužit jako zdroj pro vytvoření návodu do laboratorní úlohy. Jsou zde naznačeny konkrétní možnosti testování Ronji. Návrh mechanické konstrukce kladl veliký důraz na co největší odolnost a intuitivní ovládání.

Stavba této Ronji byla koncipována jako plně funkční ve volné atmosféře do vzdálenosti 900 m, muselo by se na ní udělat pár jednoduchých úprav. Přemostila by se regulace proudu vysílací LED diodou pomocí konektoru NO.REG. Paralelně by se připájely dva integrované obvody 74HC04N na integrovaný obvod IC1 ve vysílači, které by zvýšily proud procházející vysílací LED diodou. V mechanické části by bylo pouze zapotřebí vyměnit víčka rour za nová pouze s kabelovou průchodkou a poté tato víčka utěsnit silikonovým tmelem. Stávající by totiž nedokázala dlouhodobě ochránit vnitřek rour proti vzdušnému kyslíku a vodě. Pokud by se v budoucnu zrušila laboratorní úloha na tomto zařízení, mohla by Ronja sloužit pro dlouhodobé testování optického spoje mezi dvěma vzdálenými body.

Optické pojítko bylo Karlem Kulhavým vytvořeno před několika lety a dnes je již velmi dobře odladěné a k poruchám téměř nedochází. V laboratořích nebude zařízení vystaveno vnějším atmosférickým vlivům, které způsobují drtivou většinu poruch. Všechny části zařízení jsou velmi dobře popsány, pokud by došlo k poruše, může ji najít a opravit i člověk, který nemá zkušenosti se stavbou Ronji. Životnost elektrické části zařízení je v řádu desítek tisíc hodin nepřetržitého provozu, takže by v laboratořích mohla bez problému fungovat i více jak jednu dekádu.

# LITERATURA

- [1] KOLKA, Z. - BILOKOVÁ, v. Model of atmospheric optical transmission channel. In *New information and multimedia technologies NIMT - 2009*. SEI-UTKO, NIMT 2009 : VUT brno, 2009. Model of atmospheric optical transmission channel. s. 48-50. ISBN 978-8-214-3930.
- [2] Kulhavý, K. *Projekt Ronja – optické datové spoje* [online]. [cit. 14.11. 2009]. Dostupné z URL: <<http://ronja.twibright.com/>>.
- [3] *Profesionální laserové optické pojítko Canobeam DT-150 HD* [online]. [cit. 14.11. 2009]. Dostupné z URL: <[http://www.usa.canon.com/html/industrial\\_bctv/canobeam\\_DT-150HD\\_spec.shtml](http://www.usa.canon.com/html/industrial_bctv/canobeam_DT-150HD_spec.shtml)>.
- [4] *Optické datové spoje vedené vzduchem – firma MRV* [online]. [cit. 19. 11. 2009]. Dostupné z URL: <<http://www.mrv.com/optical-transport/terlescope/>>.
- [5] Strolený J. *Znakové LCD displeje* [online] [cit. 05. 12. 2009]. Dostupné z URL: <<http://www.cmail.cz/doveda/lcd/>>.
- [6] Tábor R. *Inteligentní, univerzální rychlonabíječ AVR128* Praktická elektronika A Radio, Praha 05/2007.
- [7] *UNIS COMPUTERS: FSO - optika bez kabelů* [online]. [cit. 19. 11. 2009]. Dostupné z URL: <[www.uniscomp.cz/free-space-optics/page.php?def=hi\\_technology&idmenu=63&idtext=46](http://www.uniscomp.cz/free-space-optics/page.php?def=hi_technology&idmenu=63&idtext=46)>.
- [8] Datasheet *Max232* [online] [cit. říjen 2002]. Dostupné z URL: <<http://www.ortodoxism.ro/datasheets/texasinstruments/max232.pdf>>.
- [9] Datasheet *LCD displej MC1601A-SYL/H* [online] [cit. 11. 12. 2009]. Dostupné z URL: <[http://www.gme.cz/\\_dokumentace/dokumenty/513/513-082/dsh.513-082.1.pdf](http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/513/513-082/dsh.513-082.1.pdf)>.
- [10] *Mezinárodní norma IEC 60825-1* edice 1.2, 2001-08 [online]. [cit. 19. 11. 2009]. Dostupné z URL: <[webstore.iec.ch/p-preview/info\\_iec60825-1%7Bed1.2%7Den.pdf](http://webstore.iec.ch/p-preview/info_iec60825-1%7Bed1.2%7Den.pdf)>.

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

DPS Deska plošných spojů

Full-duplex Nezávislý přenos dat dvěma směry

FSO Free space optics, v překladu: Optika bez kabelů

Half-duplex Přenos dat pouze jedním směrem (buď vysílání nebo příjem)

ISI Intersymbol interference, v překladu: mezisymbolové rušení

LAN Local area network, v překladu: lokální počítačová síť

OOK On-Off Keying, v překladu: klíčování signálu vše nebo nic

PSI Power scintillation index

PWM Pulse width modulation, v překladu: pulsně šířková modulace

Ronja Reasonable Optical Near Joint Access

RSSI Received signal strenght indication, v překladu: síla přijímaného signálu

Rx Receive, v překladu: příjem

SS Stejnoseměrný

Tx Transmission, v překladu: vysílání

UTP Unshielded Twisted Pair, v překladu: nestíněná kroucená dvojlinka

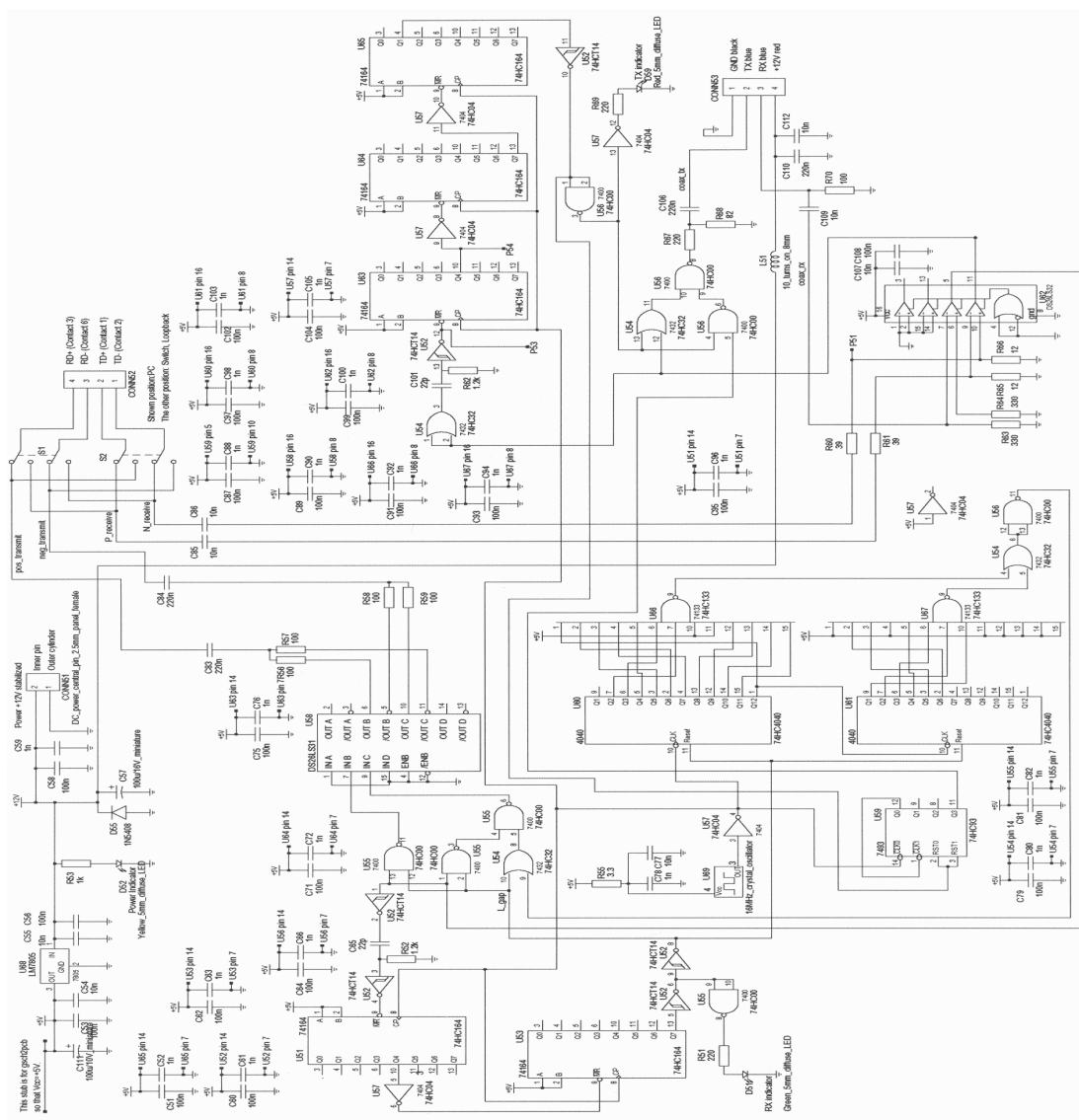
Wi-Fi Wireless Fidelity, v překladu: komunikační standard pro elektromagnetický bezdrátový přenos dat

# SEZNAM PŘÍLOH

|          |                                                 |            |
|----------|-------------------------------------------------|------------|
| <b>A</b> | <b>Elektrická schémata</b>                      | <b>77</b>  |
| A.1      | Interface . . . . .                             | 77         |
| A.2      | Vysílač . . . . .                               | 78         |
| A.3      | Přijímač . . . . .                              | 79         |
| A.4      | Voltmetr . . . . .                              | 80         |
| A.5      | Měřicí přípravek . . . . .                      | 81         |
| <b>B</b> | <b>Předlohy desek plošných spojů</b>            | <b>82</b>  |
| B.1      | Interface . . . . .                             | 82         |
| B.2      | Vysílač . . . . .                               | 83         |
| B.3      | Přijímač . . . . .                              | 84         |
| B.4      | Voltmetr . . . . .                              | 85         |
| B.5      | Měřicí přípravek . . . . .                      | 86         |
| <b>C</b> | <b>Rozmístění součástek na deskách zařízení</b> | <b>88</b>  |
| C.1      | Interface . . . . .                             | 88         |
| C.2      | Vysílač . . . . .                               | 90         |
| C.3      | Přijímač . . . . .                              | 91         |
| C.4      | Voltmetr . . . . .                              | 92         |
| C.5      | Měřicí přípravek . . . . .                      | 93         |
| <b>D</b> | <b>Seznam součástek</b>                         | <b>95</b>  |
| D.1      | Interface . . . . .                             | 95         |
| D.2      | Vysílač . . . . .                               | 99         |
| D.3      | Přijímač . . . . .                              | 101        |
| D.4      | Voltmetr . . . . .                              | 103        |
| D.5      | Měřicí přípravek . . . . .                      | 104        |
| <b>E</b> | <b>Zapojení zařízení</b>                        | <b>107</b> |
| <b>F</b> | <b>Výkres sestavené mechaniky</b>               | <b>108</b> |
| <b>G</b> | <b>Seznam materiálu na mechaniku</b>            | <b>109</b> |
| <b>H</b> | <b>Popisky na krabičkách</b>                    | <b>111</b> |
| <b>I</b> | <b>Fotogalerie</b>                              | <b>112</b> |

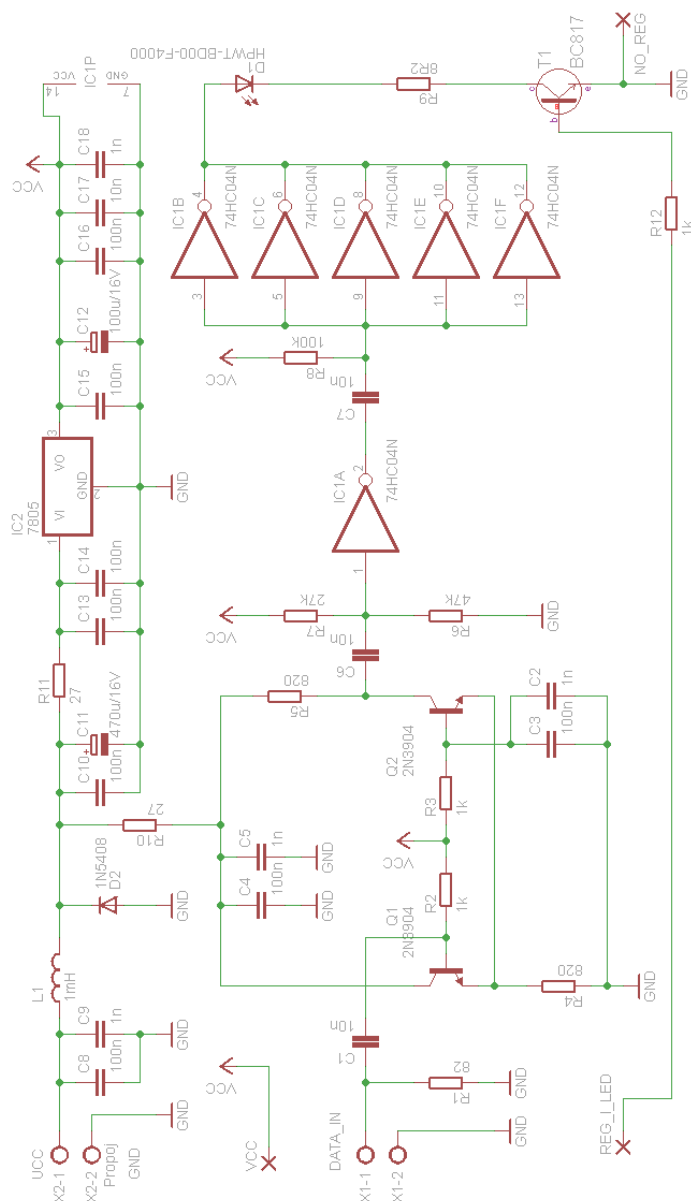
# A ELEKTRICKÁ SCHÉMATA

## A.1 Interface



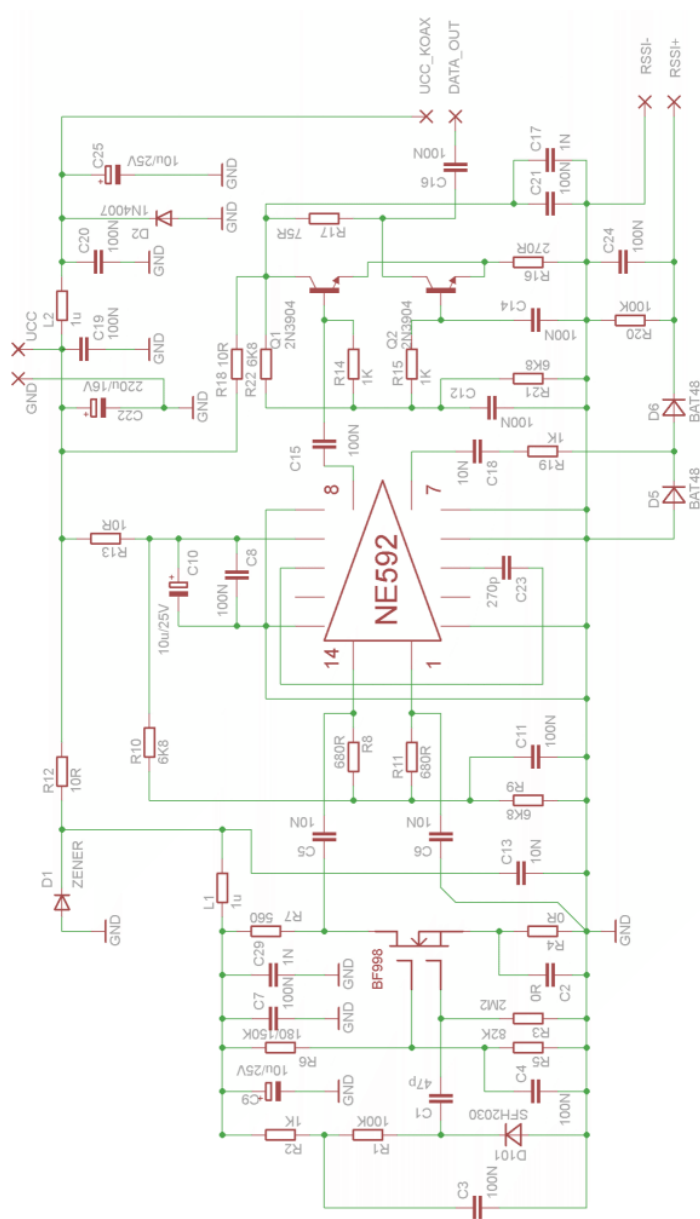
Obr. A.1: Elektrické schéma Interfacu

## A.2 Vysílač



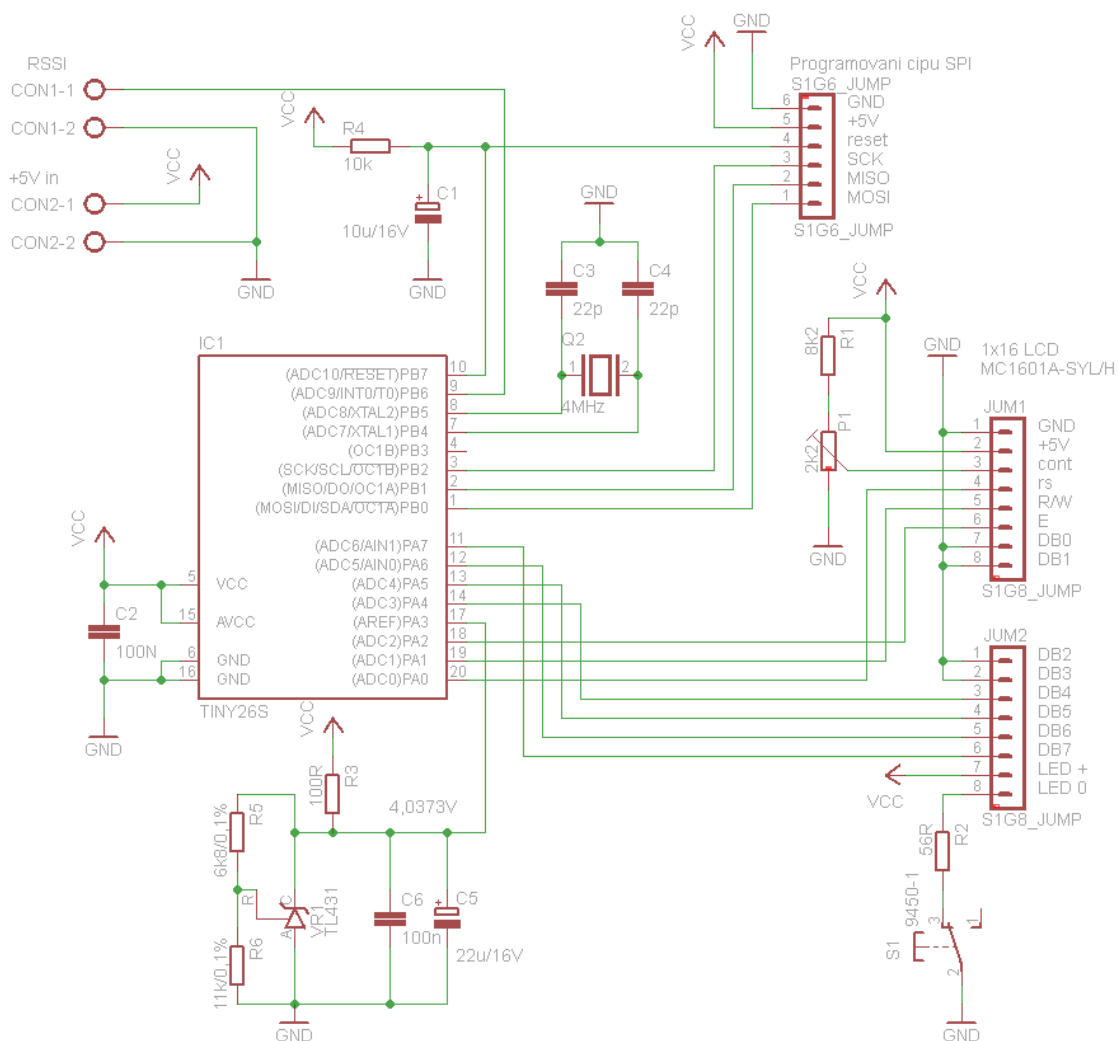
Obr. A.2: Elektrické schéma vysílače

## A.3 Přijímač



Obr. A.3: Elektrické schéma přijímače

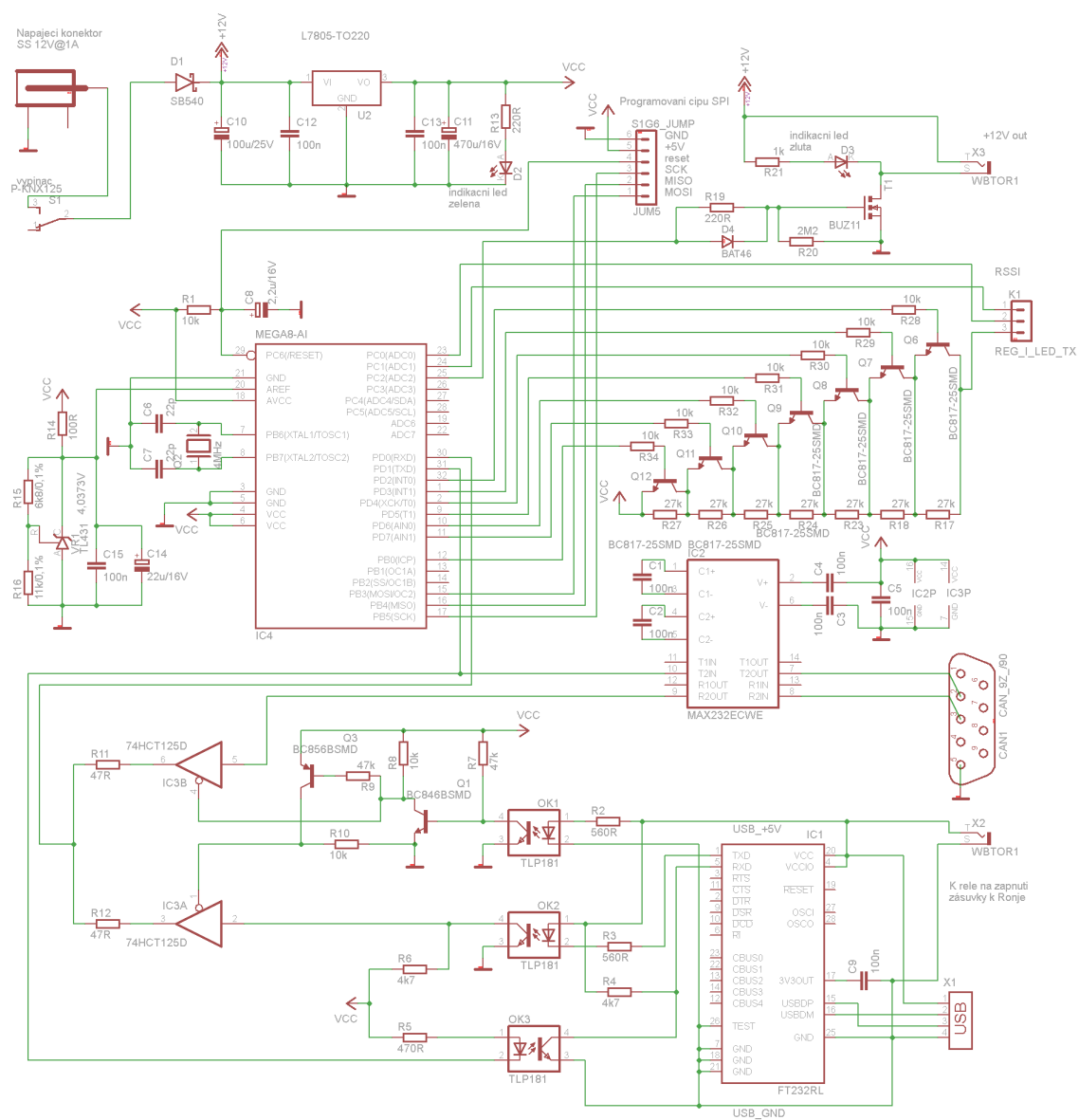
## A.4 Voltmetr



Obr. A.4: Elektrické schéma voltmetru umístěného na víčku roury u přijímače



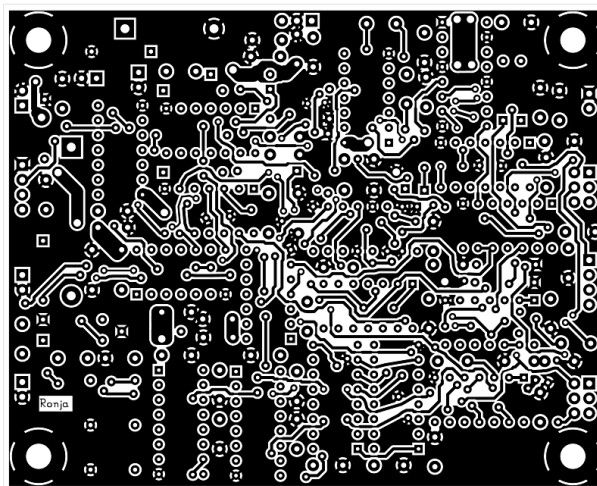
## A.5 Měřicí přípravek



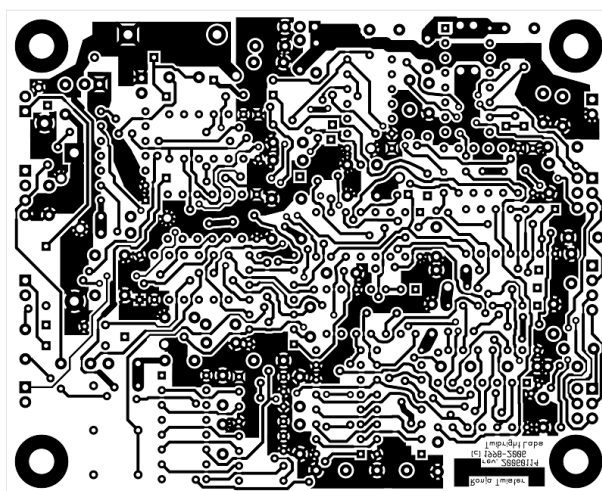
Obr. A.5: Elektrické schéma měřícího přípravku pro laboratorní úlohu

## B PŘEDLOHY DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ

### B.1 Interface

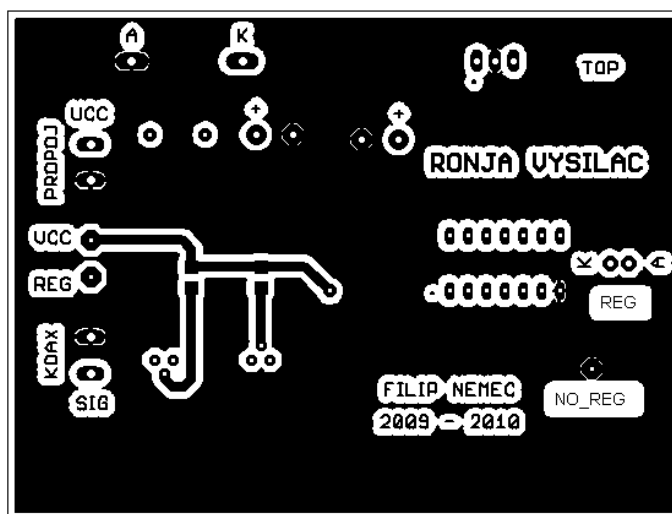


Obr. B.1: Horní strana DPS interfacu

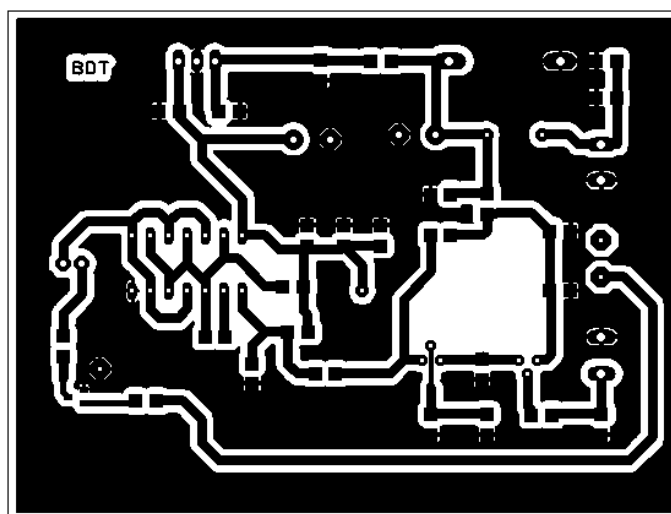


Obr. B.2: Spodní strana DPS interfacu

## B.2 Vysílač

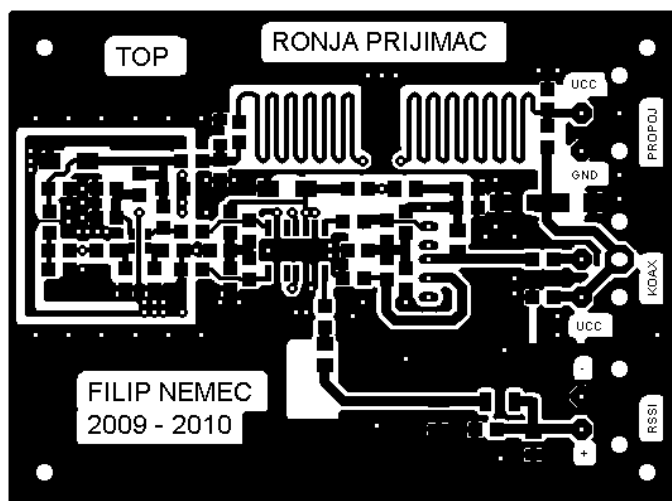


Obr. B.3: Horní strana DPS vysílače

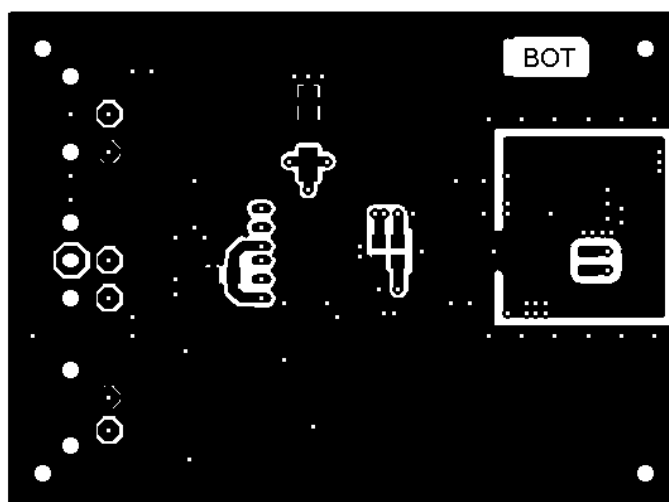


Obr. B.4: Spodní strana DPS vysílače

## B.3 Přijímač

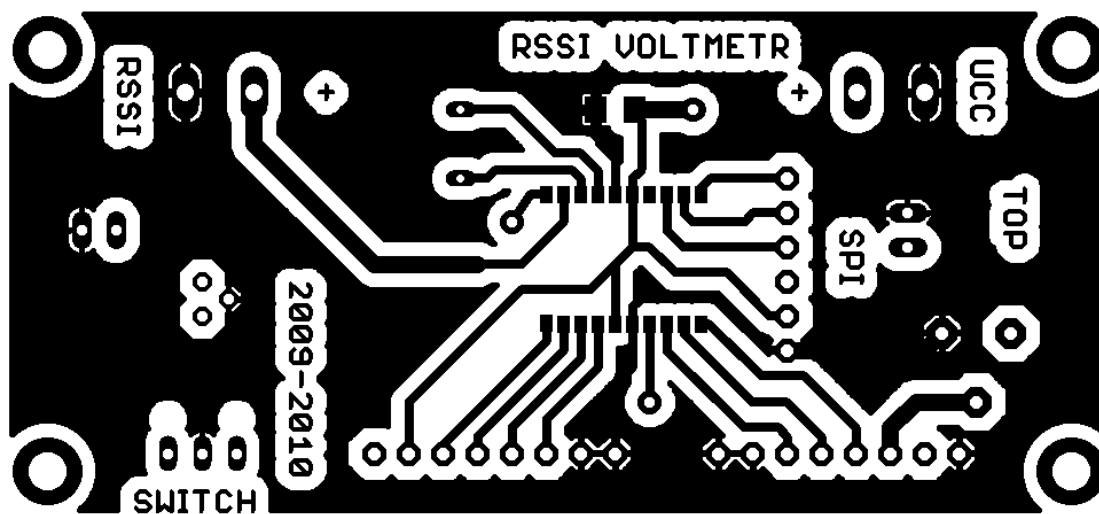


Obr. B.5: Horní strana DPS přijímače

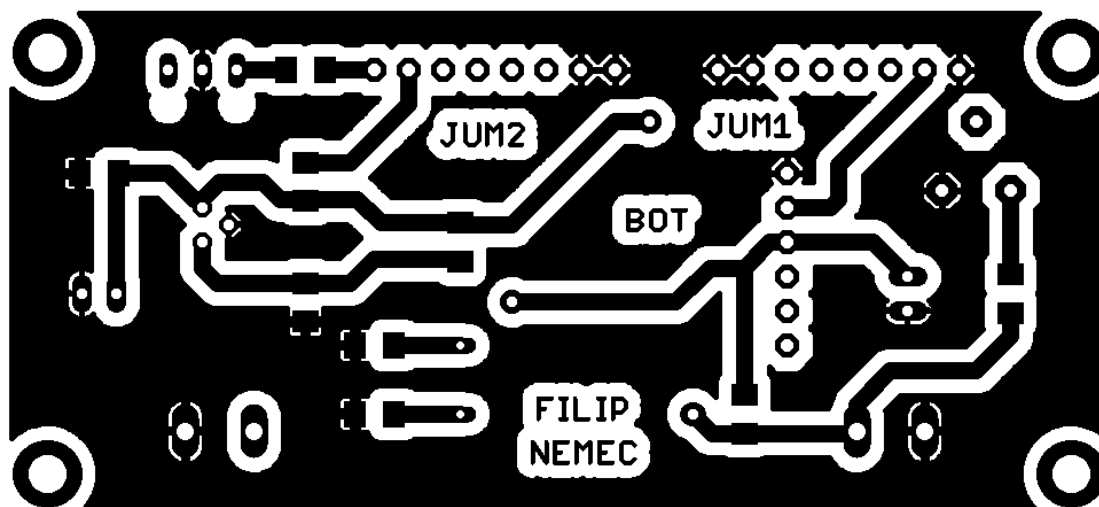


Obr. B.6: Spodní strana DPS přijímače

## B.4 Voltmetr

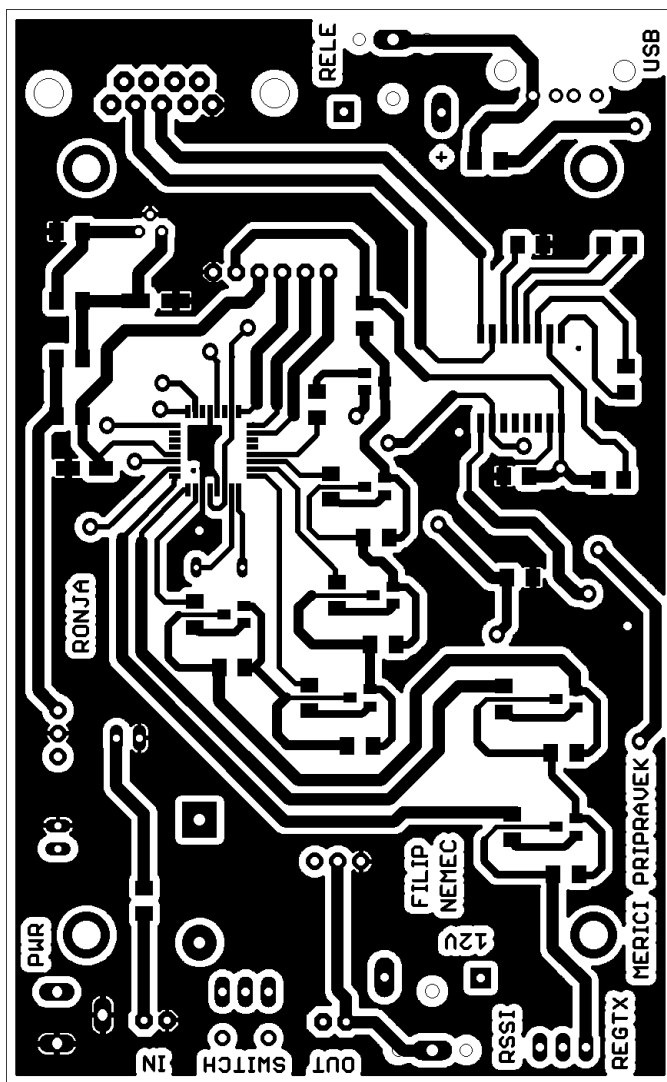


Obr. B.7: Horní strana DPS voltmetru

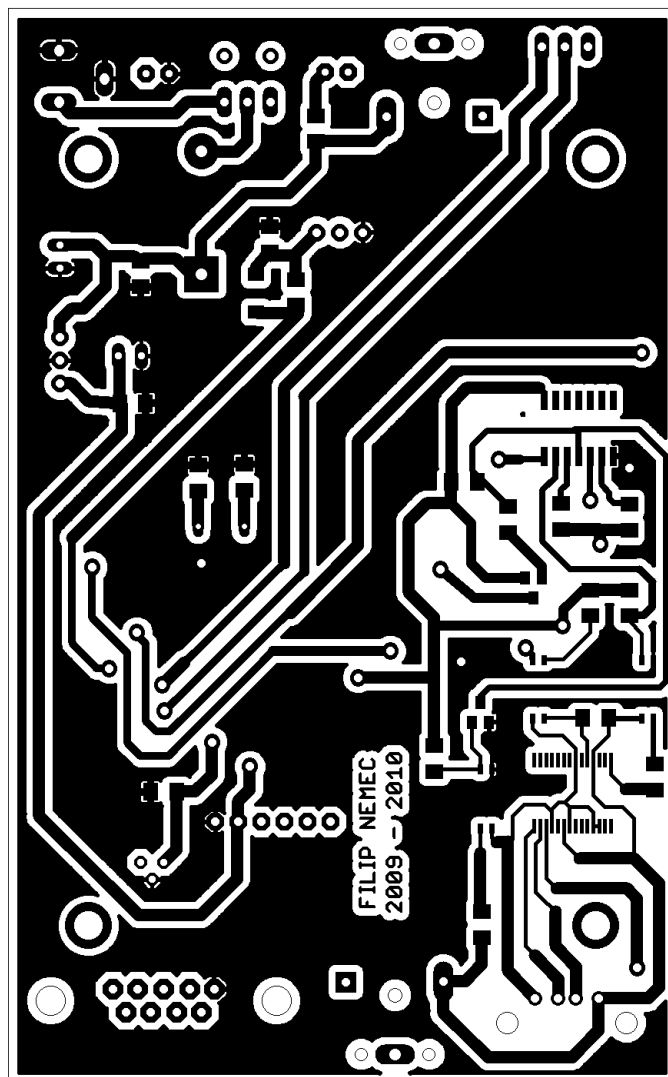


Obr. B.8: Spodní strana DPS voltmetru

## B.5 Měřicí přípravek



Obr. B.9: Horní strana DPS měřícího přípravku

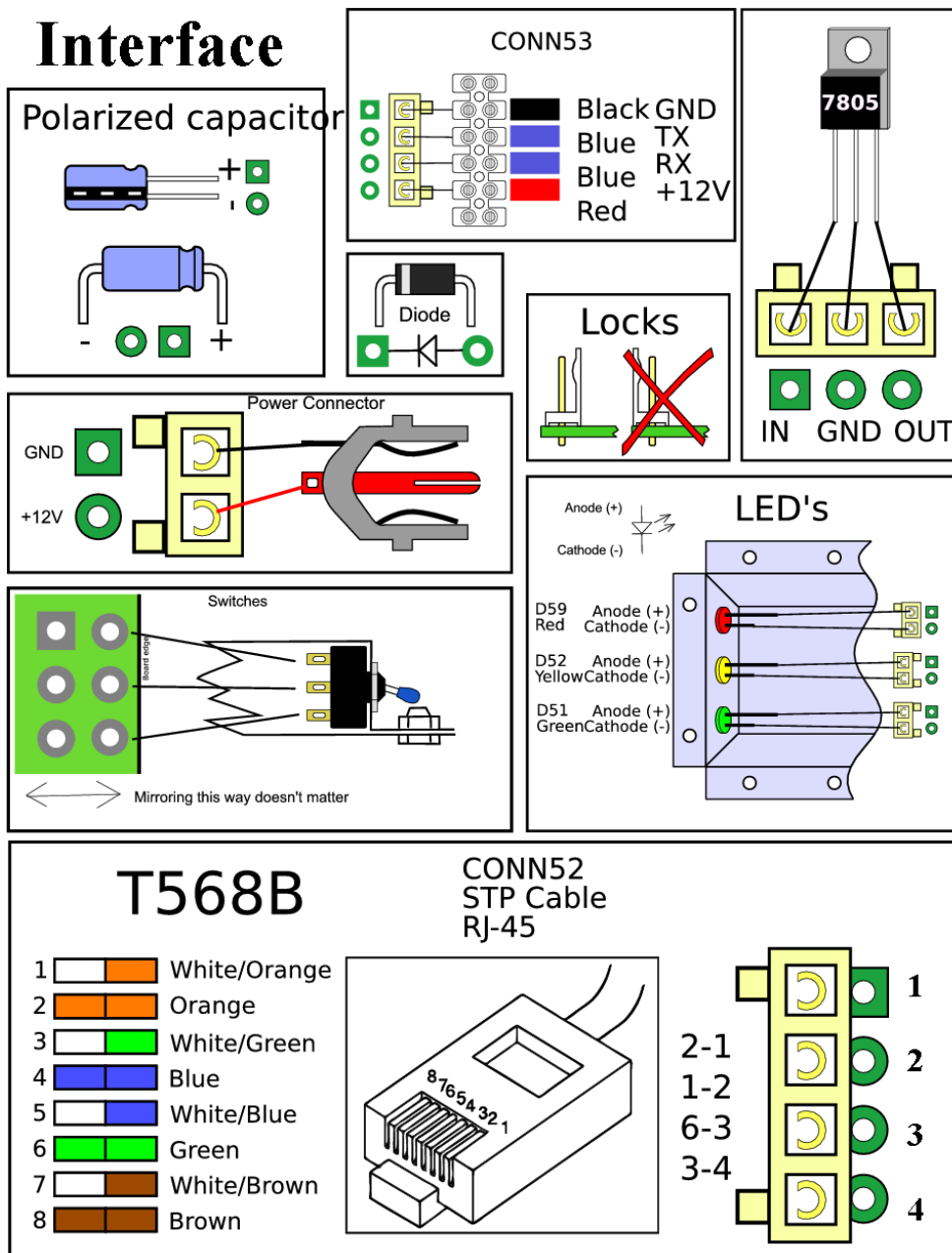


Obr. B.10: Spodní strana DPS měřícího přípravku



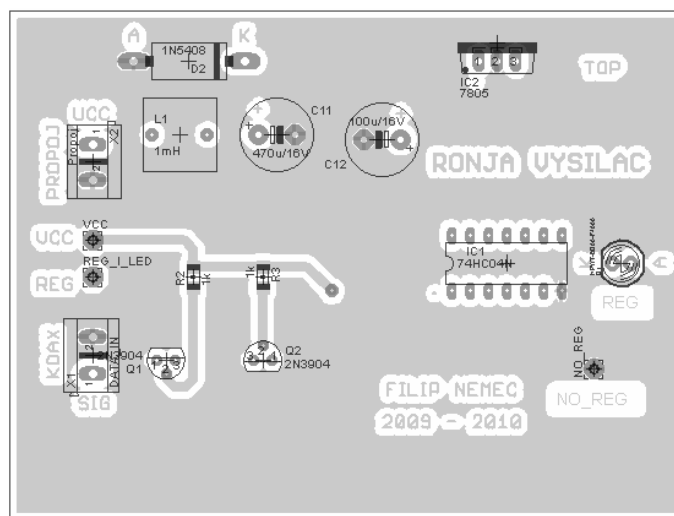


# Interface

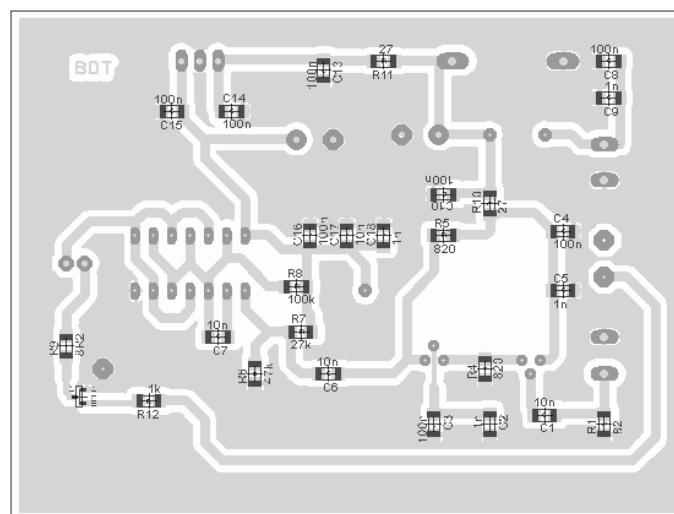


Obr. C.3: Popis zapojení součástek na desku Interfacu

## C.2 Vysílač

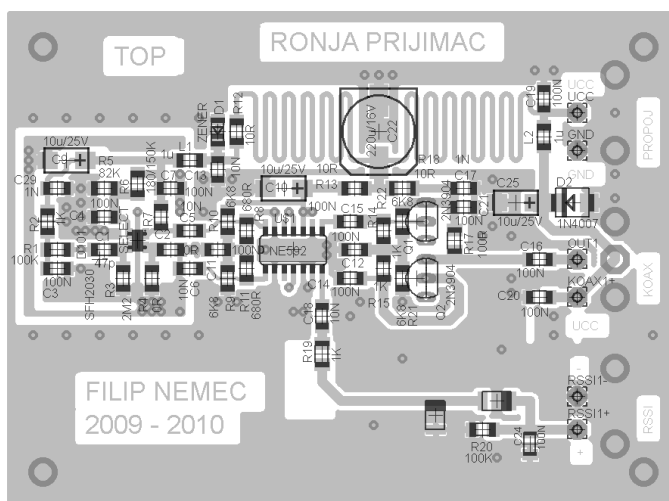


Obr. C.4: Rozmístění součástek na horní straně vysílače

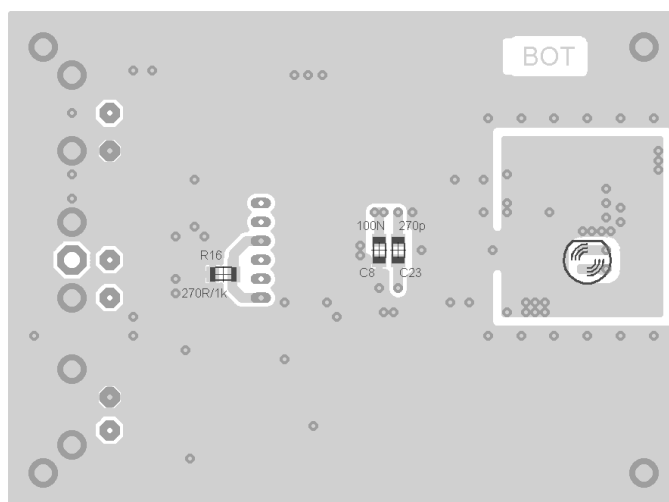


Obr. C.5: Rozmístění součástek na spodní straně vysílače

## C.3 Přijímač

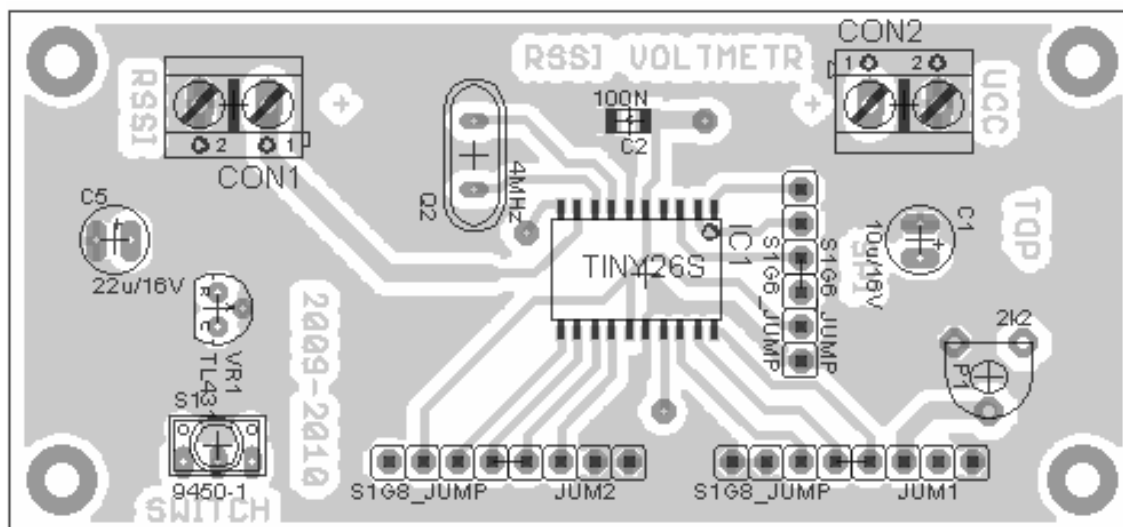


Obr. C.6: Rozmístění součástek na horní straně přijímače

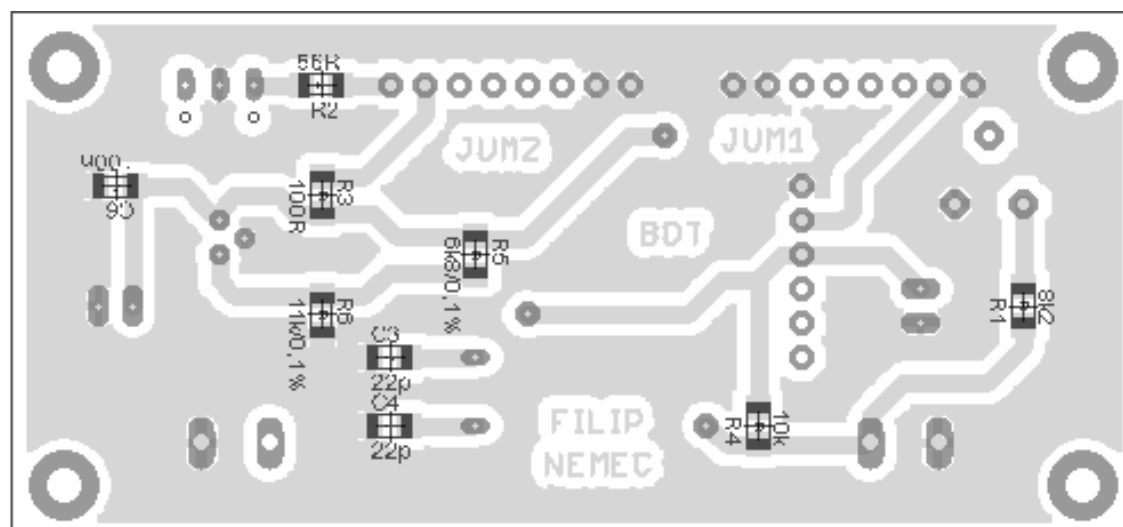


Obr. C.7: Rozmístění součástek na spodní straně přijímače

## C.4 Voltmetr

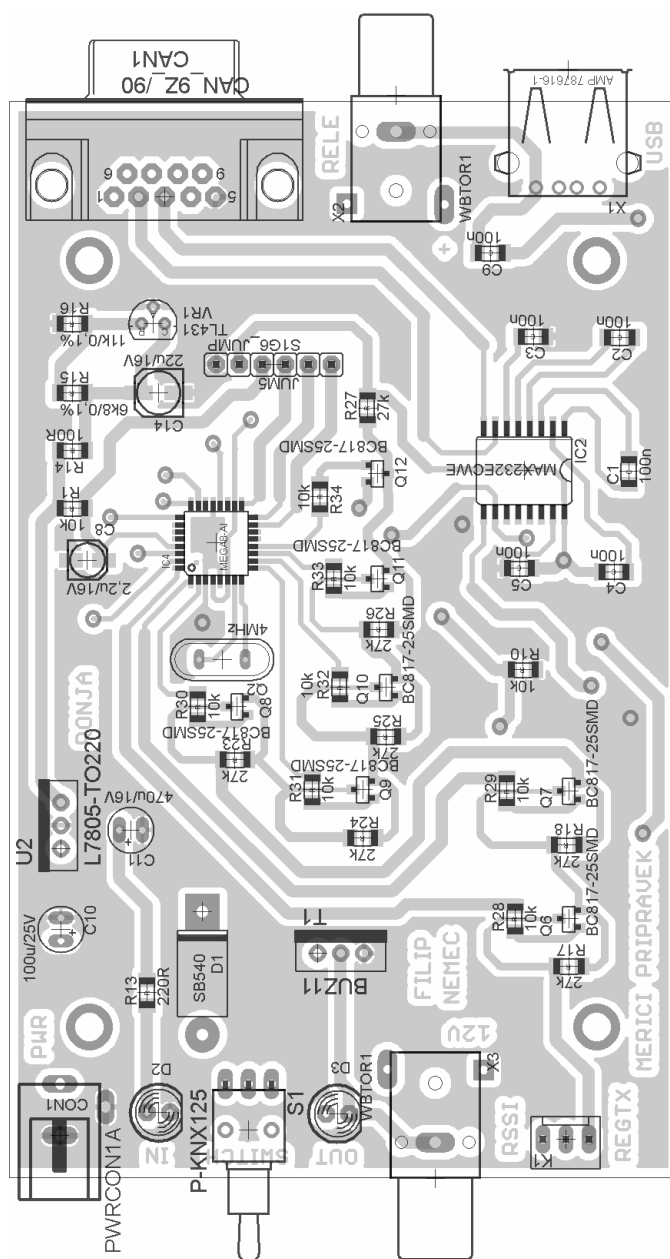


Obr. C.8: Rozmístění součástek na horní straně voltmetru

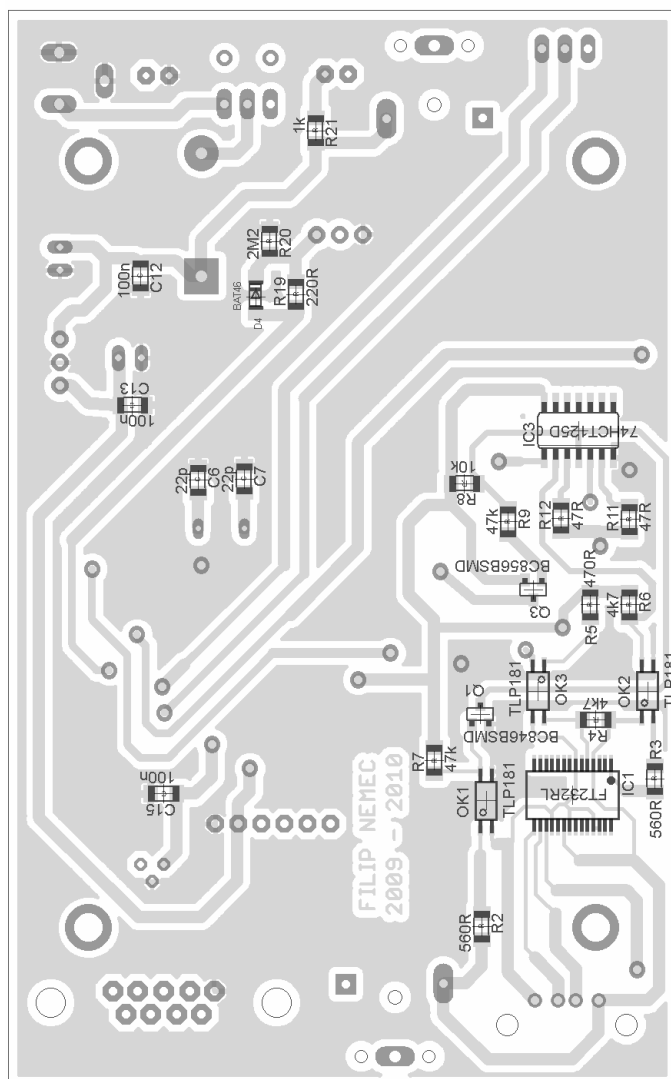


Obr. C.9: Rozmístění součástek na spodní straně voltmetru

## C.5 Měřicí přípravek



Obr. C.10: Rozmístění součástek na horní straně měřicího přípravku



Obr. C.11: Rozmístění součástek na spodní straně měřícího přípravku

## D SEZNAM SOUČÁSTEK

### D.1 Interface

Tab. D.1 – Seznam součástek pro Interface, vše v počtu 2ks.

| Označení                     | Hodnota         | Název       | Pouzdro        |
|------------------------------|-----------------|-------------|----------------|
| C51                          | 100N            | Kondenzátor | Keramický      |
| C52                          | 1N              | Kondenzátor | Keramický      |
| C53                          | 100N            | Kondenzátor | Keramický      |
| C54                          | 10N             | Kondenzátor | Keramický      |
| C55                          | 10N             | Kondenzátor | Keramický      |
| C56                          | 100N            | Kondenzátor | Keramický      |
| C57                          | 100 $\mu$ /16 V | Kondenzátor | Elektrolytický |
| C58                          | 100N            | Kondenzátor | Keramický      |
| C59                          | 1N              | Kondenzátor | Keramický      |
| C60                          | 100N            | Kondenzátor | Keramický      |
| C61                          | 1N              | Kondenzátor | Keramický      |
| C62                          | 100N            | Kondenzátor | Keramický      |
| C63                          | 1N              | Kondenzátor | Keramický      |
| C64                          | 100N            | Kondenzátor | Keramický      |
| C65                          | 22P             | Kondenzátor | Keramický      |
| C66                          | 1N              | Kondenzátor | Keramický      |
| C71                          | 100N            | Kondenzátor | Keramický      |
| C72                          | 1N              | Kondenzátor | Keramický      |
| C75                          | 100N            | Kondenzátor | Keramický      |
| C76                          | 1N              | Kondenzátor | Keramický      |
| C77                          | 10N             | Kondenzátor | Keramický      |
| C78                          | 1N              | Kondenzátor | Keramický      |
| C79                          | 100N            | Kondenzátor | Keramický      |
| C80                          | 1N              | Kondenzátor | Keramický      |
| C81                          | 100N            | Kondenzátor | Keramický      |
| C82                          | 1N              | Kondenzátor | Keramický      |
| C83                          | 220N            | Kondenzátor | Keramický      |
| C84                          | 220N            | Kondenzátor | Keramický      |
| C85                          | 10N             | Kondenzátor | Keramický      |
| C86                          | 10N             | Kondenzátor | Keramický      |
| C87                          | 100N            | Kondenzátor | Keramický      |
| Pokračování na další stránce |                 |             |                |

**Tab. D.1 – Součástky Interface - pokračování z předchozí stránky**

| Označení                     | Hodnota            | Název       | Pouzdro           |
|------------------------------|--------------------|-------------|-------------------|
| C88                          | 1N                 | Kondenzátor | Keramický         |
| C89                          | 100N               | Kondenzátor | Keramický         |
| C90                          | 1N                 | Kondenzátor | Keramický         |
| C91                          | 100N               | Kondenzátor | Keramický         |
| C92                          | 1N                 | Kondenzátor | Keramický         |
| C93                          | 100N               | Kondenzátor | Keramický         |
| C94                          | 1N                 | Kondenzátor | Keramický         |
| C95                          | 100N               | Kondenzátor | Keramický         |
| C96                          | 1N                 | Kondenzátor | Keramický         |
| C97                          | 100N               | Kondenzátor | Keramický         |
| C98                          | 1N                 | Kondenzátor | Keramický         |
| C99                          | 100N               | Kondenzátor | Keramický         |
| C100                         | 1N                 | Kondenzátor | Keramický         |
| C101                         | 22P                | Kondenzátor | Keramický         |
| C102                         | 100N               | Kondenzátor | Keramický         |
| C103                         | 1N                 | Kondenzátor | Keramický         |
| C104                         | 100N               | Kondenzátor | Keramický         |
| C105                         | 1N                 | Kondenzátor | Keramický         |
| C106                         | 220N               | Kondenzátor | Keramický         |
| C107                         | 10N                | Kondenzátor | Keramický         |
| C108                         | 100N               | Kondenzátor | Keramický         |
| C109                         | 10N                | Kondenzátor | Keramický         |
| C110                         | 220N               | Kondenzátor | Keramický         |
| C111                         | 100 uF/10 V        | Kondenzátor | Elektrolytický    |
| C112                         | 10N                | Kondenzátor | Keramický         |
| D51                          | Zelená             | Dioda LED   | difúzní 5mm       |
| D52                          | Žlutá              | Dioda LED   | difúzní 5mm       |
| D55                          | 1N5408             | Dioda       | -                 |
| D59                          | Červená            | Dioda LED   | difúzní 5mm       |
| L51                          | 1 u                | Cívka N=10  | D=8 mm            |
| CONN51                       | 2pin, 1řada, rovná | Vidlice     | Bez zámku, lámací |
| CONN52                       | 4pin, 1řada, rovná | Vidlice     | Bez zámku, lámací |
| CONN53                       | 4pin, 1řada, rovná | Vidlice     | Bez zámku, lámací |
| R51                          | 220R               | Rezistor    | Uhlíkový          |
| R52                          | 1,2k               | Rezistor    | Uhlíkový          |
| Pokračování na další stránce |                    |             |                   |



**Tab. D.1 – Součástky Interface - pokračování z předchozí stránky**

| Označení                     | Hodnota            | Název              | Pouzdro           |
|------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| R53                          | 1k                 | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R55                          | 3,3R               | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R56                          | 100R               | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R57                          | 100R               | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R58                          | 100R               | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R59                          | 100R               | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R60                          | 39R                | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R61                          | 39R                | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R62                          | 1,2k               | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R63                          | 330R               | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R64                          | 330R               | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R65                          | 12R                | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R66                          | 12R                | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R67                          | 220R               | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R68                          | 82R                | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R69                          | 220                | Rezistor           | Uhlíkový          |
| R70                          | 100R               | Rezistor           | Uhlíkový          |
| S1                           | 3pin, 2řady, rovná | Vidlice            | Bez zámku, lámací |
| S2                           | 3pin, 2řady, rovná | Vidlice            | Bez zámku, lámací |
| U51                          | 74HC164            | 8 b pos. reg.      | DIP14             |
| U52                          | 74HCT14            | Sch. Invertor      | DIP14             |
| U53                          | 74HC164            | 8 b pos. reg.      | DIP14             |
| U54                          | 74HC32             | 4x OR              | DIP14             |
| U55                          | 74HC00             | 4x 2NAND           | DIP14             |
| U56                          | 74HC00             | 4x 2NAND           | DIP14             |
| U57                          | 74HC04             | Hex invertor       | DIP14             |
| U58                          | AM26LS31           | Line driver        | DIP16             |
| U59                          | 74HC93             | 4 b bin. Čítač     | DIP14             |
| U60                          | 74HC4040           | 12 b binární čítač | DIP16             |
| U61                          | 74HC4040           | 12 b binární čítač | DIP16             |
| U62                          | AM26LS32           | Line receiv.       | DIP16             |
| U63                          | 74HC164            | 8 b pos. reg.      | DIP14             |
| U64                          | 74HC164            | 8 b pos. reg.      | DIP14             |
| U65                          | 74HC164            | 8 b pos. reg.      | DIP14             |
| U66                          | 74HC133            | 13 in NAND         | DIP16             |
| Pokračování na další stránce |                    |                    |                   |

**Tab. D.1 – Součástky Interface - pokračování z předchozí stránky**

| <b>Označení</b> | <b>Hodnota</b> | <b>Název</b> | <b>Pouzdro</b> |
|-----------------|----------------|--------------|----------------|
| U67             | 74HC133        | 13 in NAND   | DIP16          |
| U68             | LM7805         | Stabilizátor | TO220          |
| U69             | 16MHz          | Krystal      | AQO14          |
| -               | MAB 4TBL       | Konektor     | DIN 4 kolíky   |
| -               | 5,5/2,1 mm     | Konektor     | Napájecí       |
| -               | UTP            | Kabel        | RJ45 konektor  |
| -               | V7143          | Chladič      | Pro TO220      |
| 4 Ks            | F0720GM-0705   | Průchodka    | Gumová         |
| -               | U-KM50         | Krabička     | Plastová       |

## D.2 Vysílač

Tab. D.2 – Seznam součástek pro vysílač, vše v počtu 2ks.

| Označení                     | Hodnota         | Název          | Pouzdro               |
|------------------------------|-----------------|----------------|-----------------------|
| C1                           | 10n             | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C2                           | 1n              | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C3                           | 100n            | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C4                           | 100n            | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C5                           | 1n              | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C6                           | 10n             | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C7                           | 10n             | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C8                           | 100n            | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C9                           | 1n              | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C10                          | 100n            | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C11                          | 470u/16V        | KONDENZÁTOR    | Elektrolytický        |
| C12                          | 100u/16V        | KONDENZÁTOR    | Elektrolytický        |
| C13                          | 100n            | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C14                          | 100n            | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C15                          | 100n            | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C16                          | 100n            | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C17                          | 10n             | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| C18                          | 1n              | KONDENZÁTOR    | SMD1206               |
| D1                           | HPWT-BD00-F4000 | LED3MM         | Červená, supersvitivá |
| D2                           | 1N5408          | BY550          | DO27-15               |
| IC1                          | 74HC04N         | 6xINVERTOR     | DIL14                 |
| IC2                          | 7805            | Stabilizátor   | TO220V                |
| L1                           | 1mH             | Tlumivka       | L1X1CM                |
| NO_REG                       | 2,54/0,8        | AK500          | Svorkovnice           |
| Q1                           | 2N3904          | NPN tranzistor | TO92                  |
| Q2                           | 2N3904          | NPN tranzistor | TO92                  |
| R1                           | 82R             | REZISTOR       | R1206                 |
| R2                           | 1k              | REZISTOR       | R1206                 |
| R3                           | 1k              | REZISTOR       | R1206                 |
| R4                           | 820R            | REZISTOR       | R1206                 |
| R5                           | 820R            | REZISTOR       | R1206                 |
| R6                           | 47k             | REZISTOR       | R1206                 |
| Pokračování na další stránce |                 |                |                       |

**Tab. D.2 – Součástky vysílač - pokračování z předchozí stránky**

| Označení | Hodnota    | Název          | Pouzdro      |
|----------|------------|----------------|--------------|
| R7       | 27k        | REZISTOR       | R1206        |
| R8       | 100k       | REZISTOR       | R1206        |
| R9       | 8R2        | REZISTOR       | R1206        |
| R10      | 27R        | REZISTOR       | R1206        |
| R11      | 27R        | REZISTOR       | R1206        |
| R12      | 1k         | REZISTOR       | R1206        |
| REG_ILED | 2,54/0,8   | AK500          | Svorkovnice  |
| T1       | BC817      | NPN tranzistor | SOT-23       |
| VCC      | 2,54/0,8   | AK500          | Svorkovnice  |
| X1       | 2,54/0,8   | AK500          | Svorkovnice  |
| X2       | 2,54/0,8   | AK500          | Svorkovnice  |
| -        | KDF10      | Průchodka      | Gumová       |
| -        | U-AH102    | Krabička       | Kovová       |
| -        | P4M 220k   | Potenciometr   | Mono lin 4mm |
| -        | MC-131-6,4 | Knoflík        | Červený      |

## D.3 Přijímač

Tab. D.3 – Seznam součástek pro přijímač, vše v počtu 2ks.

| Označení                     | Hodnota  | Název         | Pouzdro        |
|------------------------------|----------|---------------|----------------|
| BF998                        | BF998    | N-MOS FET     | SOT143         |
| C1                           | 47p      | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C2                           | 0        | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C3                           | 100N     | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C4                           | 100N     | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C5                           | 10N      | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C6                           | 10N      | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C7                           | 100N     | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C8                           | 100N     | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C9                           | 10u/25V  | KONDENZÁTOR   | Elektrolytický |
| C10                          | 10u/25V  | KONDENZÁTOR   | Elektrolytický |
| C11                          | 100N     | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C12                          | 100N     | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C13                          | 10N      | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C14                          | 100N     | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C15                          | 100N     | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C16                          | 100N     | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C17                          | 1N       | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C18                          | 10N      | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C19                          | 100N     | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C20                          | 100N     | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C21                          | 100N     | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C22                          | 220u/16V | KONDENZÁTOR   | Elektrolytický |
| C23                          | 270p     | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| C24                          | 100N     | KONDENZÁTOR   | C1206K         |
| C25                          | 10u/25V  | CPOL-EUCT6032 | CT6032         |
| C29                          | 1N       | KONDENZÁTOR   | C1206          |
| D1                           | 16 V     | BZV55C16SMD   | SOD80C         |
| D2                           | 1N4007   | DIODA         | SMB            |
| D5                           | BAT48    | DIODA         | MINIMELF       |
| D6                           | BAT48    | DIODA         | MINIMELF       |
| D101                         | SFH2030  | Fotodioda     | 5mm            |
| DATA_OUT                     | 2,54/0,8 | AK500         | Svorkovnice    |
| Pokračování na další stránce |          |               |                |

**Tab. D.3 – Součástky přijímač - pokračování z předchozí stránky**

| Označení | Hodnota  | Název          | Pouzdro     |
|----------|----------|----------------|-------------|
| GND      | 2,54/0,8 | AK500          | Svorkovnice |
| L1       | 1uH      | Tlumivka       | R1206       |
| L2       | 1u H     | Tlumivka       | R1206       |
| Q1       | 2N3904   | NPN tranzistor | TO92        |
| Q2       | 2N3904   | NPN tranzistor | TO92        |
| R1       | 100K     | REZISTOR       | R1206       |
| R2       | 1K       | REZISTOR       | R1206       |
| R3       | 2M2      | REZISTOR       | R1206       |
| R4       | 0R       | REZISTOR       | R1206       |
| R5       | 82K      | REZISTOR       | R1206       |
| R6       | 180K     | REZISTOR       | R1206       |
| R7       | SELECT   | REZISTOR       | R1206       |
| R8       | 680R     | REZISTOR       | R1206       |
| R9       | 6K8      | REZISTOR       | R1206       |
| R10      | 6K8      | REZISTOR       | R1206       |
| R11      | 680R     | REZISTOR       | R1206       |
| R12      | 10R      | REZISTOR       | R1206       |
| R13      | 10R      | REZISTOR       | R1206       |
| R14      | 1K       | REZISTOR       | R1206       |
| R15      | 1K       | REZISTOR       | R1206       |
| R16      | 270R     | REZISTOR       | M1206       |
| R17      | 75R      | REZISTOR       | M1206       |
| R18      | 10R      | REZISTOR       | M1206       |
| R19      | 1K       | REZISTOR       | M1206       |
| R20      | 100K     | REZISTOR       | R1206       |
| R21      | 6K8      | REZISTOR       | R1206       |
| R22      | 6K8      | REZISTOR       | R1206       |
| RSSI+    | 2,54/0,8 | AK500          | Svorkovnice |
| RSSI-    | 2,54/0,8 | AK500          | Svorkovnice |
| U\$1     | NE592    | Videozesilovač | SO14        |
| UCC      | 2,54/0,8 | AK500          | Svorkovnice |
| UCC_KOAX | 2,54/0,8 | AK500          | Svorkovnice |
| -        | KDF10    | Průchodka      | Gumová      |
| -        | U-AH102  | Krabička       | Kovová      |

## D.4 Voltmetr

Tab. D.4 – Seznam součástek pro voltmetr, vše v počtu 2ks.

| Označení  | Hodnota            | Název          | Pouzdro           |
|-----------|--------------------|----------------|-------------------|
| C1        | 2,2u/16V           | KONDENZÁTOR    | Elektrolytický    |
| C2        | 100N               | KONDENZÁTOR    | SMD1206           |
| C3        | 22p                | KONDENZÁTOR    | SMD1206           |
| C4        | 22p                | KONDENZÁTOR    | SMD1206           |
| C5        | 22M/16V            | KONDENZÁTOR    | Elektrolytický    |
| C6        | 100n               | KONDENZÁTOR    | SMD1206           |
| CON1      | 2,54/0,8           | AK500/2        | Svorkovnice       |
| CON2      | 2,54/0,8           | AK500/2        | Svorkovnice       |
| IC1       | TINY26S            | Mikrokontrolér | SO20L             |
| JUM1      | 8pin, 1řada, rovná | Vidlice        | Bez zámku, lámací |
| JUM2      | 8pin, 1řada, rovná | Vidlice        | Bez zámku, lámací |
| P1        | 2k2                | Potenciometr   | PT6V              |
| Q2        | 4MHz               | Krystal        | QS                |
| R1        | 8k2                | REZISTOR       | R1206             |
| R2        | 56R                | REZISTOR       | R1206             |
| R3        | 100R               | REZISTOR       | R1206             |
| R4        | 10k                | REZISTOR       | R1206             |
| R5        | 6k8/0,1%           | REZISTOR       | R1206             |
| R6        | 11k/0,1%           | REZISTOR       | R1206             |
| S1        | P-P810S1D          | Vypínač        | Tlačítkový        |
| S1G6_JUMP | 6pin, 1řada, rovná | Vidlice        | Bez zámku, lámací |
| VR1       | TL431              | Nap. Reference | TO92-CLP          |

## D.5 Měřicí přípravek

Tab. D.5 – Seznam součástek pro měřicí přípravek.

| Označení                     | Hodnota            | Název           | Pouzdro           |
|------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| C1                           | 100n               | KONDENZÁTOR     | SMD1206           |
| C2                           | 100n               | KONDENZÁTOR     | SMD1206           |
| C3                           | 100n               | KONDENZÁTOR     | SMD1206           |
| C4                           | 100n               | KONDENZÁTOR     | SMD1206           |
| C5                           | 100n               | KONDENZÁTOR     | SMD1206           |
| C6                           | 22p                | KONDENZÁTOR     | SMD1206           |
| C7                           | 22p                | KONDENZÁTOR     | SMD1206           |
| C8                           | 2,2u/16V           | KONDENZÁTOR     | Elektrolytický    |
| C9                           | 100n               | KONDENZÁTOR     | SMD1206           |
| C10                          | 100u/25V           | KONDENZÁTOR     | Elektrolytický    |
| C11                          | 470u/16V           | KONDENZÁTOR     | Elektrolytický    |
| C12                          | 100n               | KONDENZÁTOR     | SMD1206           |
| C13                          | 100n               | KONDENZÁTOR     | SMD1206           |
| C14                          | 22u/16V            | KONDENZÁTOR     | Elektrolytický    |
| C15                          | 100n               | KONDENZÁTOR     | SMD1206           |
| CAN1                         | RS232              | Konektor        | CAN9Z/90          |
| CON1                         | 5,5/2,1 mm         | Konektor        | Napájecí do DPS   |
| D1                           | SB540              | Dioda           | DO201             |
| D2                           | Zelená             | Dioda LED       | difúzní 5mm       |
| D3                           | Žlutá              | Dioda LED       | difúzní 5mm       |
| D4                           | BAT46              | Dioda           | SOD-80            |
| IC1                          | FT232RL            | USB převodník   | SSOP28            |
| IC2                          | MAX232ECWE         | RS232 převodník | SO16L             |
| IC3                          | 74HCT125D          | 74HCT125D       | SO14              |
| IC4                          | MEGA8-AI           | mikrokontrolér  | TQFP32-08         |
| JUM5                         | 6pin, 1řada, rovná | Vidlice         | Bez zámku, lámací |
| K1                           | 3pin, 1řada, 90°   | Vidlice         | Se zámkem         |
| OK1                          | TLP181             | Optočlen        | MINI-FLAT-4       |
| OK2                          | TLP181             | Optočlen        | MINI-FLAT-4       |
| OK3                          | TLP181             | Optočlen        | MINI-FLAT-4       |
| Q1                           | BC846BSMD          | NPN tranzistor  | SOT23             |
| Q2                           | 4MHz               | Krystal         | QS                |
| Q3                           | BC856BSMD          | PNP tranzistor  | SOT23-BEC         |
| Pokračování na další stránce |                    |                 |                   |



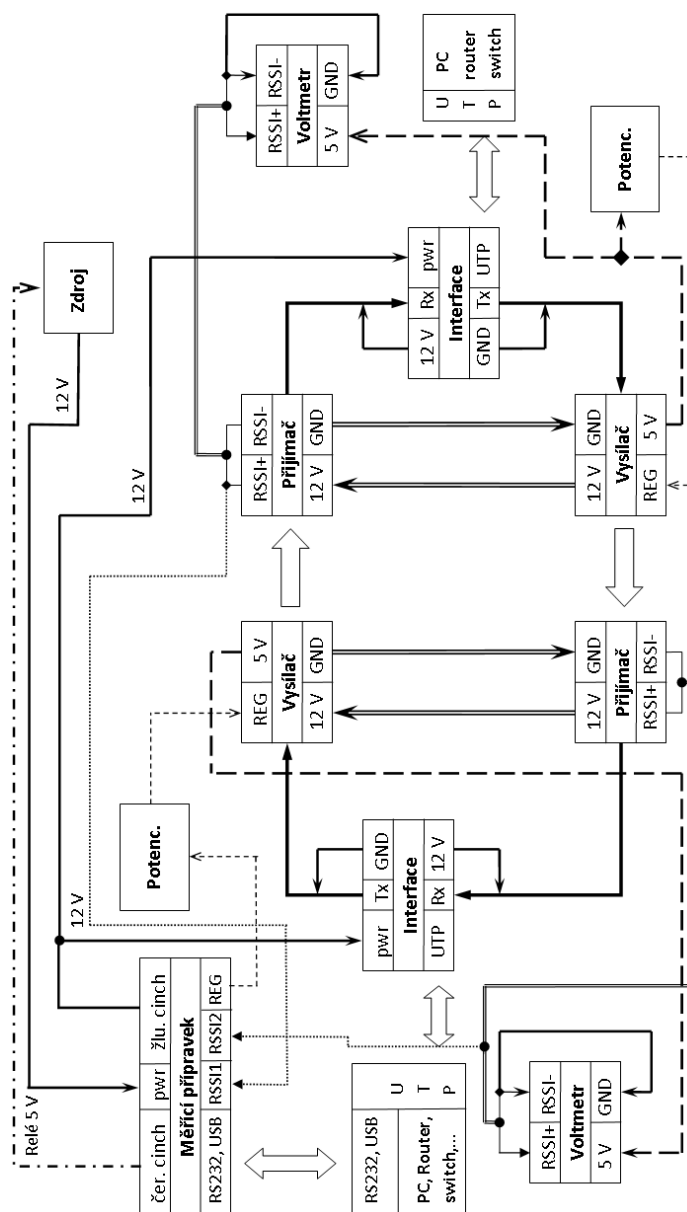
**Tab. D.5 – Součástky měř. přípravek - pokračování z předchozí str.**

| Označení                     | Hodnota     | Název          | Pouzdro   |
|------------------------------|-------------|----------------|-----------|
| Q6                           | BC817-25SMD | NPN tranzistor | SOT23-BEC |
| Q7                           | BC817-25SMD | NPN tranzistor | SOT23-BEC |
| Q8                           | BC817-25SMD | NPN tranzistor | SOT23-BEC |
| Q9                           | BC817-25SMD | NPN tranzistor | SOT23-BEC |
| Q10                          | BC817-25SMD | NPN tranzistor | SOT23-BEC |
| Q11                          | BC817-25SMD | NPN tranzistor | SOT23-BEC |
| Q12                          | BC817-25SMD | NPN tranzistor | SOT23-BEC |
| R1                           | 10k         | REZISTOR       | R1206     |
| R2                           | 560R        | REZISTOR       | R1206     |
| R3                           | 560R        | REZISTOR       | R1206     |
| R4                           | 4k7         | REZISTOR       | R1206     |
| R5                           | 470R        | REZISTOR       | R1206     |
| R6                           | 4k7         | REZISTOR       | R1206     |
| R7                           | 47k         | REZISTOR       | R1206     |
| R8                           | 10k         | REZISTOR       | R1206     |
| R9                           | 47k         | REZISTOR       | R1206     |
| R10                          | 10k         | REZISTOR       | R1206     |
| R11                          | 47R         | REZISTOR       | R1206     |
| R12                          | 47R         | REZISTOR       | R1206     |
| R13                          | 220R        | REZISTOR       | R1206     |
| R14                          | 100R        | REZISTOR       | R1206     |
| R15                          | 6k8/0,1%    | REZISTOR       | R1206     |
| R16                          | 11k/0,1%    | REZISTOR       | R1206     |
| R17                          | 27k         | REZISTOR       | R1206     |
| R18                          | 27k         | REZISTOR       | R1206     |
| R19                          | 220R        | REZISTOR       | R1206     |
| R20                          | 2M2         | REZISTOR       | R1206     |
| R21                          | 1k          | REZISTOR       | R1206     |
| R23                          | 27k         | REZISTOR       | R1206     |
| R24                          | 27k         | REZISTOR       | R1206     |
| R25                          | 27k         | REZISTOR       | R1206     |
| R26                          | 27k         | REZISTOR       | R1206     |
| R27                          | 27k         | REZISTOR       | R1206     |
| R28                          | 10k         | REZISTOR       | R1206     |
| R29                          | 10k         | REZISTOR       | R1206     |
| Pokračování na další stránce |             |                |           |

**Tab. D.5 – Součástky měř. přípravek - pokračování z předchozí str.**

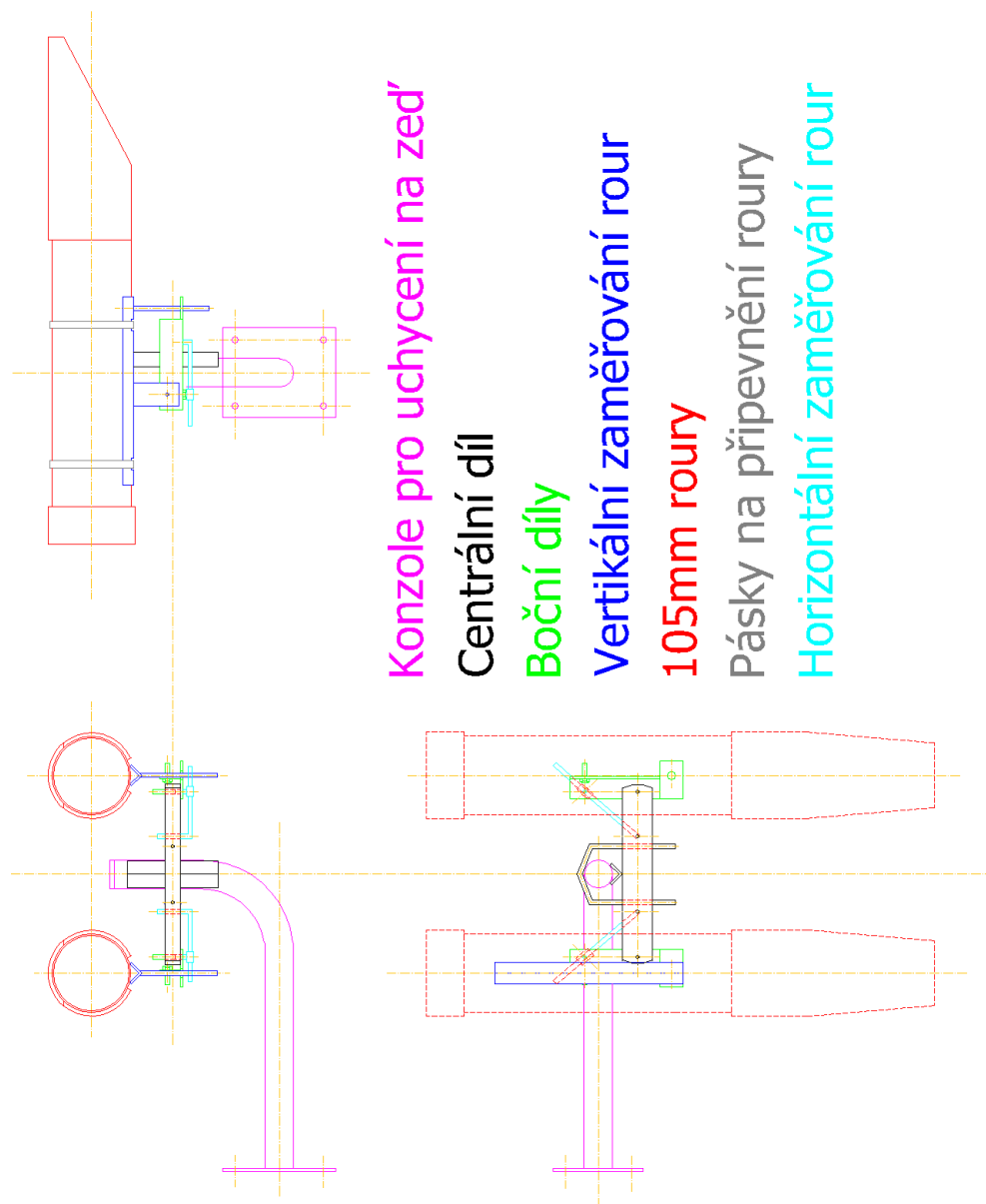
| Označení | Hodnota      | Název          | Pouzdro      |
|----------|--------------|----------------|--------------|
| R30      | 10k          | REZISTOR       | R1206        |
| R31      | 10k          | REZISTOR       | R1206        |
| R32      | 10k          | REZISTOR       | R1206        |
| R33      | 10k          | REZISTOR       | R1206        |
| R34      | 10k          | REZISTOR       | R1206        |
| S1       | P-KNX125     | Přepínač       | TL3XWO       |
| T1       | BUZ11        | N-mosfet       | TO-220S      |
| U2       | L7805        | Stabilizátor   | TO-220       |
| VR1      | TL431        | Nap. Reference | TO92-CLP     |
| X1       | USB          | Konektor       | Do desky 90° |
| X2       | Cinch        | Konektor       | Žlutý        |
| X3       | Cinch        | Konektor       | Červený      |
| -        | KG B15       | Krabička       | Plastová     |
| 2 Ks     | F0720GM-0705 | Průchodka      | Gumová       |

## E ZAPOJENÍ ZAŘÍZENÍ



Obr. E.1: Blokové schéma vedení kabelů v celém zařízení

## F VÝKRES SESTAVENÉ MECHANIKY



Obr. F.1: Celkový pohled na složenou mechanickou konstrukci

## G SEZNAM MATERIÁLU NA MECHANIKU

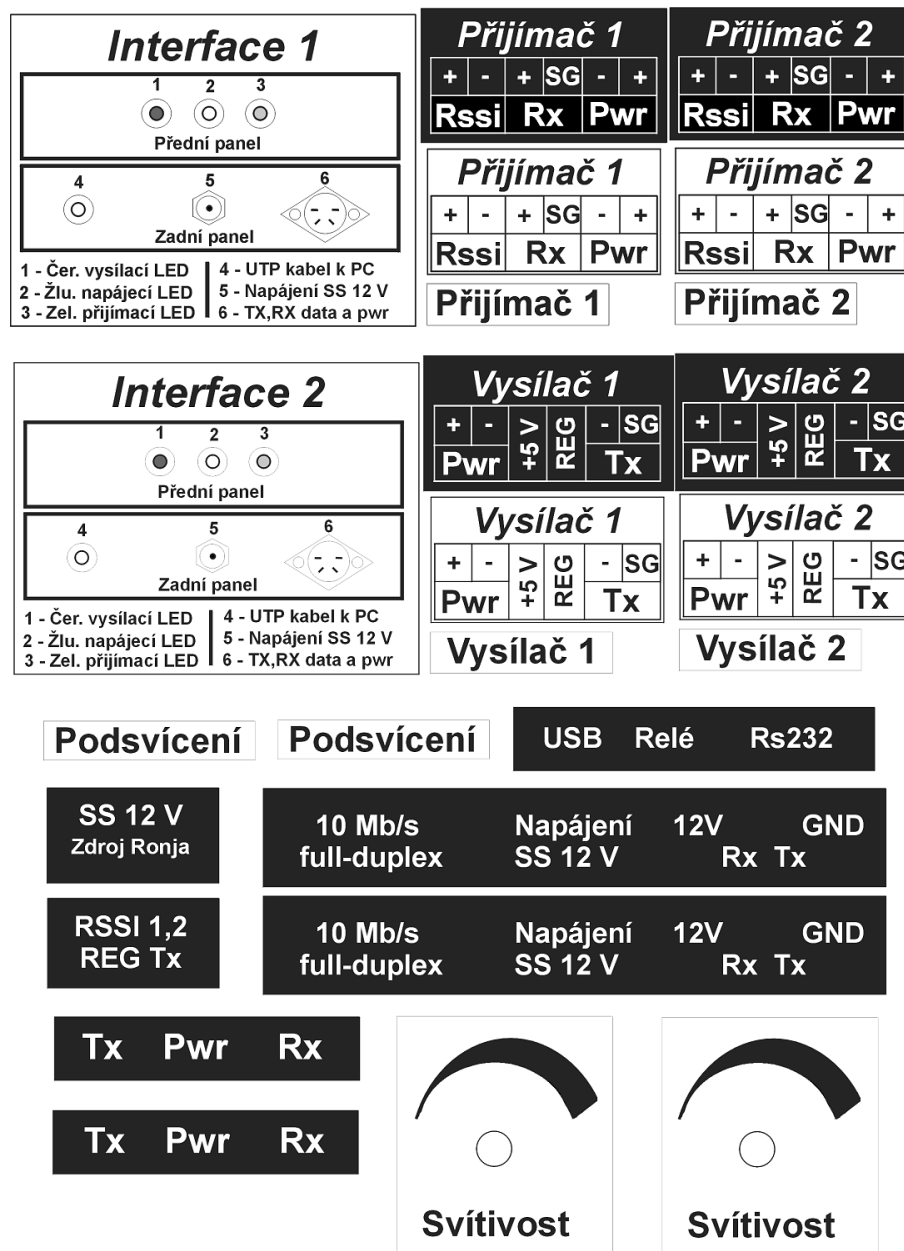
**Tab. G.1 – Rozpiska mechanické části**

| Název                        | Rozměr  | Délka/  |
|------------------------------|---------|---------|
|                              | [mm]    | Počet   |
| Ocelový jelek                | 20x40x3 | 500 mm  |
| Ocel uhlová                  | 20x20x3 | 1250 mm |
| Ocel uhlová                  | 30x30x3 | 500 mm  |
| Ocel plochá                  | 40x3    | 440 mm  |
| Ocel plochá                  | 25x3    | 240 mm  |
| Ocelová trubka               | Ø10x2   | 80 mm   |
| Závitová tyč M6 ocelová      | M6      | 1000 mm |
| Závitová tyč M6 pozinkovaná  | M6      | 1000 mm |
| Závitová tyč M10 pozinkovaná | M10     | 420 mm  |
| Šroub M3 s vypouklou hlavou  | 3x20    | 12 ks   |
| Šroub M3 s vypouklou hlavou  | 3x10    | 6 ks    |
| Šroub M4 s vypouklou hlavou  | 4x20    | 34 ks   |
| Šroub M6 na klíč železný     | 6x40    | 8 ks    |
| Šroub M6 na klíč železný     | 6x20    | 8 ks    |
| Šroub s vrutovým závitem     | M6x30   | 8 ks    |
| Matka M3                     | M3      | 20 ks   |
| Matka M4                     | M4      | 50 ks   |
| Matka M6                     | M6      | 36 ks   |
| Matka M10 úzká               | M10     | 4 ks    |
| Matka M10                    | M10     | 10 ks   |
| Podložka M3                  | Ø10     | 20 ks   |
| Podložka M4                  | Ø12     | 30 ks   |
| Podložka M4                  | Pérová  | 30 ks   |
| Podložka M6                  | Ø12     | 36 ks   |
| Podložka M6                  | Ø18     | 24 ks   |
| Podložka M6                  | Pérová  | 16 ks   |
| Podložka M10                 | Ø20     | 4 ks    |
| Podložka M10                 | Pérová  | 4 ks    |
| Hmoždinky do zdi             | M6      | 8 ks    |
| Okapní plastový svod         | 105x2   | 2000 mm |
| Odpadní plastová roura       | 110x3   | 1100 mm |
| Lepidlo na plasty L20        | 100 ml  | 1 ks    |
| Pokračování na další stránce |         |         |

**Tab. G.1 – Mechanické součástky - pokračování z předchozí str.**

| Název                               | Rozměr    | Délka/ |
|-------------------------------------|-----------|--------|
|                                     | [mm]      | Počet  |
| Lupa                                | Ø100      | 4 ks   |
| Ocelový stahovatelný pasek          | 100 - 120 | 8 ks   |
| Víčko k odpadní rouře               | 125x45    | 4 ks   |
| Silikonový tmel průhledný           | 250 ml    | 1 ks   |
| Matná černá barva ve spreji         | 500 ml    | 1 ks   |
| Stříbrná barva ve spreji            | 500 ml    | 1 ks   |
| Základová barva na plasty ve spreji | 500 ml    | 1 ks   |
| Základová barva na železo ve spreji | 250 ml    | 1 ks   |
| Kabelová průchodka stahovatelná     | Ø10       | 4 ks   |
| Laserem řezané tácky                | Ø101      | 8 ks   |
| Dřevěná rukojeť                     | 100       | 2 ks   |
| Konzole zahnutá do L                | Ø38x414   | 2 ks   |

## H POPISKY NA KRABÍČKÁCH



Obr. H.1: Náhled popisků pro umístění na krabičky

# I FOTOGALERIE



Obr. I.1: Fotka všech vyrobených zařízení





(a) Pohled dovnitř



(b) Popsané krabičky

Obr. I.2: Krabička interfacu



Obr. I.3: Vysílač a přijímač s připevněnými tácky a s popisky



Obr. I.4: Popsaná krabička měřícího přípravku



(a) S vysílačem z boku



(b) Pohled skrz rouru

Obr. I.5: Pohled na čočku v rouře



Obr. I.6: Systém posuvu vysílače v rouře

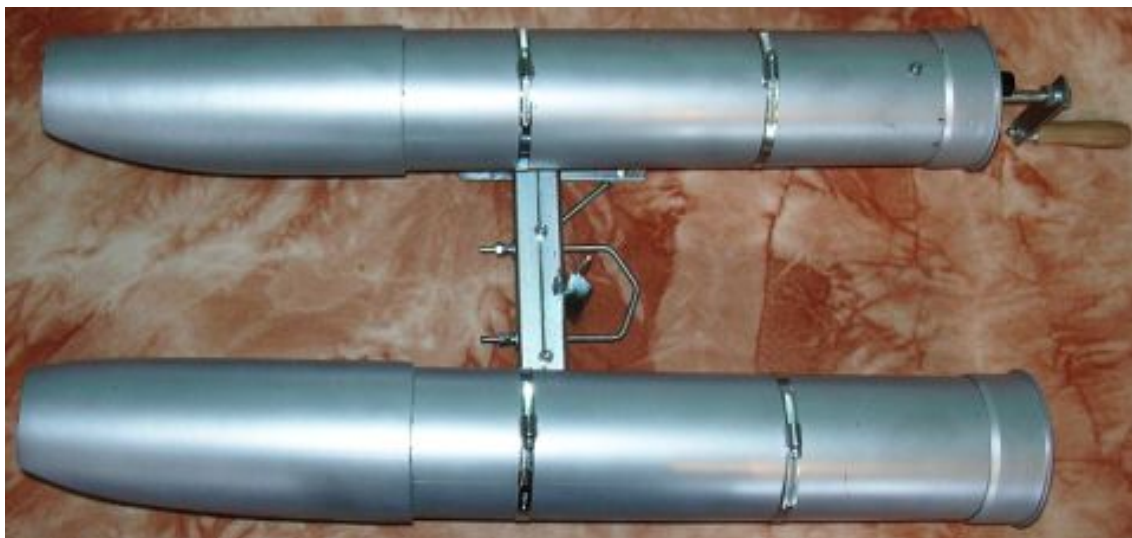


Obr. I.7: Fotka víčka na rouře s vysílačem



Obr. I.8: Sestavené roury zepředu





Obr. I.9: Sestavené roury ze shora



Obr. I.10: Kšilt chránící čočku