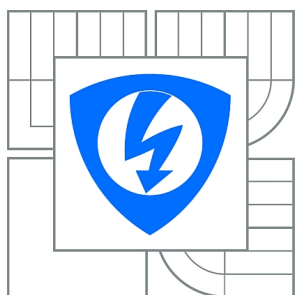


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

# **AUTOMATIZOVANÉ MĚŘENÍ INFRAČERVENÝCH ČIDEL PRO SANITÁRNÍ TECHNIKU**

AUTOMATED MEASUREMENTS OF INFRARED SENSORS FOR SANITARY EQUIPMENT

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. JAROMÍR AMBROŽ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. JAROSLAV KADLEC, Ph.D.**

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Mikroelektronika**

**Student:** Bc. Jaromír Ambrož

**ID:** 133368

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

**Automatizované měření infračervených čidel pro sanitární techniku**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte možnosti řešení systému pro automatizované měření infračervených čidel využitelných v aplikacích sanitární techniky s cílem navrhnout pracoviště určené pro automatické testování infračervených čidel, které bude součástí výrobního procesu sanitární techniky. Součástí práce je stanovení požadavků na systém automatizovaného měření infračervených čidel, návrh mechanického, elektronického a programového řešení, spolu s vytvořením specifikace jednotlivých částí systému a prostudováním legislativních požadavků na případnou certifikaci měřicího stanoviště. Výsledné řešení pak musí splňovat podmínky stanovené příslušnými normami.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 10.2.2015

**Termín odevzdání:** 28.5.2015

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jaroslav Kadlec, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:**

**prof. Ing. Vladislav Musil, 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 práce se zabývá možnostmi řešení automatizovaného měření infračervených senzorů pro sanitární elektroniku. Realizované pracoviště je plně automatické a veškerá data jsou párována a vyhodnocována ERP systémem.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Infračervený senzor, ERP, sanitární elektronika, mikrokontrolér

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the realization options of automatic measuring device for infrared sensors used in sanitary electronic. The device is designed to work automatically and save all measured data to ERP system.

## **KEYWORDS**

Infrared sensor, ERP, sanitary electronic, microcontroller

AMBROŽ, Jaromír *Automatizované měření infračervených čidel pro sanitární techniku*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2015. 49 s. Vedoucí práce byl doc.Ing. Jaroslav Kadlec, Ph.D

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Automatizované měření infračervených čidel pro sanitární techniku“ 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu doc. Ing. Jaroslavu Kadlecovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

Úvod	10
<b>1 Cíl</b>	<b>11</b>
<b>2 Teoretický rozbor</b>	<b>12</b>
2.1 První verze měřícího pracoviště	12
2.1.1 Elektrická část	12
2.1.2 Mechanická část	14
2.1.3 Programová část	15
<b>3 Návrh měřícího pracoviště</b>	<b>17</b>
3.1 Elektrická část	17
3.1.1 Elektronika karuselu	18
3.1.2 Elektronika pro ovládání mechanické části	23
3.1.3 Optická komunikace	24
3.1.4 Budič krokového motoru	25
3.1.5 Převodník komunikace	26
3.2 Mechanická část	27
3.2.1 Řešení pohybu terče	27
3.2.2 Řešení měření většího počtu kusů	29
3.2.3 Umístění měřících karet	33
3.3 Programová část	35
3.3.1 Obslužný software	35
3.3.2 Software pro mikrokontroléry	37
3.3.3 Software pro IQRF moduly	41
3.3.4 Databáze	44
<b>Závěr</b>	<b>47</b>
<b>Literatura</b>	<b>48</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>49</b>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Měřicí karta . . . . .	13
2.2	Optická závora . . . . .	13
2.3	Mechanická část . . . . .	14
2.4	Mechanická část model . . . . .	14
2.5	Obslužný software . . . . .	16
3.1	Blokové schéma pracoviště . . . . .	18
3.2	bezdrátový modul IQRF . . . . .	19
3.3	Napájecí obvod karuselu . . . . .	19
3.4	zapojení relé . . . . .	21
3.5	Elektronika karuselu . . . . .	22
3.6	Reflexní snímač . . . . .	23
3.7	Elektronika pro ovládání mechanické části . . . . .	24
3.8	Karta optické komunikace . . . . .	25
3.9	Budič krokového motoru . . . . .	26
3.10	Převodník rozhraní RS232 na RS485 . . . . .	26
3.11	Sestava měřícího pracoviště . . . . .	27
3.12	Mechanické řešení pohybu terče . . . . .	28
3.13	Karusel . . . . .	29
3.14	Odstraněná pozice . . . . .	30
3.15	Přístup k hrotovým kontaktům . . . . .	31
3.16	Smontovaný karusel . . . . .	32
3.17	Výsledná sestava měřícího pracoviště . . . . .	33
3.18	Rozvodnice . . . . .	34
3.19	Umístění karet . . . . .	34
3.20	Blokové schéma obslužného softwaru . . . . .	35
3.21	Uživatelské rozhraní měřícího programu . . . . .	36
3.22	Uživatelské rozhraní měřícího programu pro nastavení . . . . .	37
3.23	protokol pro UART komunikaci . . . . .	38
3.24	Karusel vývojový diagram . . . . .	40



3.25	Vývojový diagram přijmače dat pro karusel . . . . .	41
3.26	protokol pro RF komunikaci . . . . .	42
3.27	protokol pro SPI komunikaci . . . . .	43
3.28	vývojový diagram FW pro IQRF modul ve funkci koordinátora . . . .	43
3.29	vývojový diagram FW pro IQRF modul ve funkci uzlu . . . . .	44
3.30	Tabulky databáze . . . . .	45
3.31	Tabulka databáze v programu AMP . . . . .	46

# ÚVOD

V dnešní době je kladen důraz na vysokou kvalitu výsledných produktů, ale jejich konkurenceschopnost na trhu je dána především cenou. Z tohoto důvodu se do výrobních procesů stále častěji zařazují automatizovaná pracoviště. Ta výrazně snižují chybovost danou lidským faktorem a současně snižují výslednou cenu výrobku. Proto se tato práce zabývá jak návrhem automatizovaného pracoviště, tak i sběrem a způsobem vyhodnocování naměřených dat. Toto zařízení by mělo nahradit stávající poloautomatické měřicí pracoviště, které neumožňuje vícenásobné měření, pokročilé nastavení parametrů měření, komunikaci s větším množstvím měřících pracovišť, nebo sběr a práci s naměřenými daty. Ty by měly být evidovány v systému ERP (Enterprise Resource Planning – Podnikový informační systém) pod unikátním výrobním číslem mikrokontroléru.

# 1 CÍL

Cílem diplomové práce je sestavení univerzálního automatického měřicího pracoviště pro optické senzory. Zařízení bude navrženo dle následujících požadavků.

1. Univerzální pro všechny základní typy elektronik z produkce
  - Bateriové napájení 6 -9V DC/ bistabilní ventil
  - Zdroj. napájení 12 – 24V DC/ monostabilní ventil
  - Univerzální 6 – 24V DC / bistabilní ventil
2. V součinnosti s konstrukcí SEAL ELECTRONIC s.r.o. úprava SW elektronik pro spolupráci s měřicím pracovištěm
  - Komunikace čidla s přípravkem
  - Volitelná nastavení parametrů v továrním nastavení
  - Identifikace elektroniky podle sériového čísla procesoru
3. Ovládací SW pro PC
  - Intuitivní ovládání
  - Interaktivní tabulky pro nastavení parametrů a tovární nastavení
  - Ovládání měřicího přípravku přes sběrnici RS485, výstup dat na Ethernet
  - Výstupní data ve formátu pro SQL databázi
4. Statistické vyhodnocování měřených parametrů
  - Napojení dat a jejich zpracování v ERP systému
  - Vytvoření základních rámců pro vyhodnocování jakosti
  - Specifikace elektroniky – měřicí protokoly
5. Mechanické řešení
  - Vyhodnotit výhodnost použití násobného měření (karusel..) vzhledem k pracnosti, vytížení pracovníka a stroje.
  - Navrhnout a realizovat mechanické řešení. Předpokladem je práce v jednosměnném provozu
  - Důraz na rychlé zakládání měřených elektronik do přípravku
6. Elektrické řešení
  - Odpovídá příslušné normě ČSN-EN pro elektrickou bezpečnost
  - Napájení 230V AC/50Hz, pohyblivý přívod

## 2 TEORETICKÝ ROZBOR

Teoretická část práce se zabývá popisem nedostatků současného měřícího pracoviště a zdůvodňuje proč byl požadován návrh plně automatizovaného autonomního zařízení. Kapitola byla rozdělena do několika částí z důvodu popisu nedokonalostí v mechanické, elektrické a programové části.

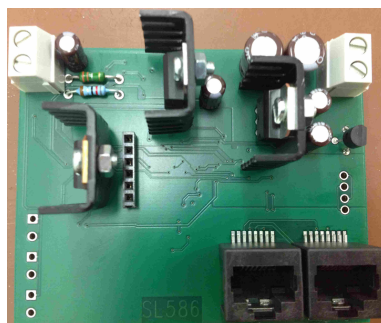
### 2.1 První verze měřícího pracoviště

Jak již bylo zmíněno v úvodu, tato práce se zabývá měřením infračervených senzorů, které jsou dnes v sanitární elektronice nejrozšířenější. Důvodem jejich využití je velmi nízký příkon a s tím související životnost napájecích baterií, kompaktní rozměry, odolnost vůči vnějšímu rušení, bezdotykové ovládání a v neposlední řadě cena. Tyto senzory vyvíjí a využívá i firma SEAL ELECTRONIC s.r.o.. V současné době je však většina měřena ručně nebo pomocí experimentálního měřícího pracoviště. Toto měřící pracoviště však není schopno pracovat zcela autonomně a nepokryje celé portfolio vyráběných senzorů. Slouží především pro vývojové účely. Základní principy a jednotlivé měřené parametry byly již popsány v předcházející bakalářské práci [1], a proto nebudou znovu popisovány. Tato práce navazuje na navržený poloautomat a klade si za cíl řešit jeho současné nedostatky.

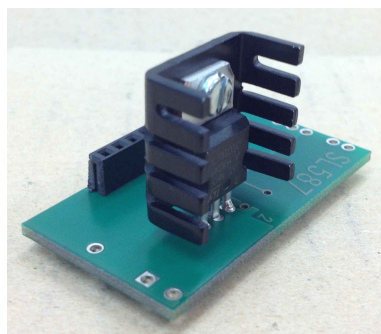
#### 2.1.1 Elektrická část

V první fázi budou popsány nedokonalosti týkající se elektrického návrhu samotného zařízení. Prvním z nedostatků byl návrh samotné DPS (Deska plošných spojů) měřící karty 2.1 a optické závory 2.2. Jedná se o dvě oddělená zařízení, která nebylo možné umístit do standardizované krabičky pro upevnění na DIN lištu. Ve stávajícím zařízení, takto namontovány jsou, ale k jejich montáži bylo nutné použít další mechanické prvky. Další nevýhodou je, že se jedná o dvě samostatné DPS. To prodlužuje a prodražuje výrobní proces. Pro každou desku bylo nutné zhotovit vlastní tiskovou šablonu a obě DPS bylo nutné osazovat zvlášť. Proto v nové verzi bude obě tyto funkce provádět sama měřící karta. Každá z DPS měla pro připojení jednotlivých

vstupů a periférií pouze pájecí body. To působilo výrazné komplikace při samotné montáži a následném testování. Případný servis by byl komplikovaný, protože pro výjmutí zařízení z rozvodnice bylo nutné odpájet jednotlivé vodiče. V původní verzi měřicí karty byly také silové výstupy pro spínání elektromagnetických ventilů užívaných v mechanické části. Protože tyto výstupy nebyly ve výsledném mechanickém řešení využity a s jejich využitím se dále nepočítá, budou v nové verzi zařízení odstraněny. Na následujících obrázcích jsou první verze měřicí karty a optické závory.

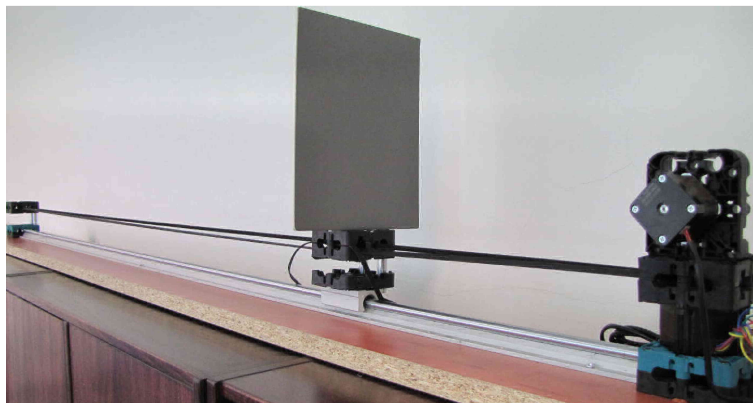


Obr. 2.1: Měřicí karta

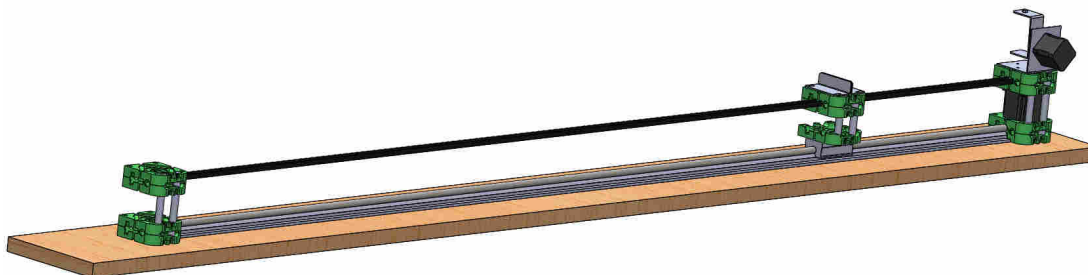


Obr. 2.2: Optická závora

## 2.1.2 Mechanická část



Obr. 2.3: Mechanická část



Obr. 2.4: Mechanická část model

Původní zařízení mělo sloužit především jako experimentální a kladlo si za cíl spíše ověření funkce samotného automatizačního proces. Tomu odpovídá i mechanické řešení. Nejedná se tedy o zařízení, které by bylo možné průmyslově využívat. Základní nevýhodou současného mechanického řešení je jeho velikost a tuhost. Původní měřicí pracoviště disponovalo lineárním posuvem o délce 2000 mm. Základna byla tvořena dřevěnou deskou. Na tuto základnu byly na každou stranu přišroubovány univerzální plastové bloky. Ty sloužily k uchycení krokového motoru a držáku na měřený sensor viz. obrázek 2.3, 2.4. Nevýhoda spočívala v umístění motoru i držáku na sensor na jedné straně. To způsobilo, že bylo nutné umístit plastový blok s ozubeným kolem pro řemen nad blok přišroubovaný k podložce. To bylo realizováno pomocí ocelových tyčí umístěných v postranních otvorech bloků. Při napnutí

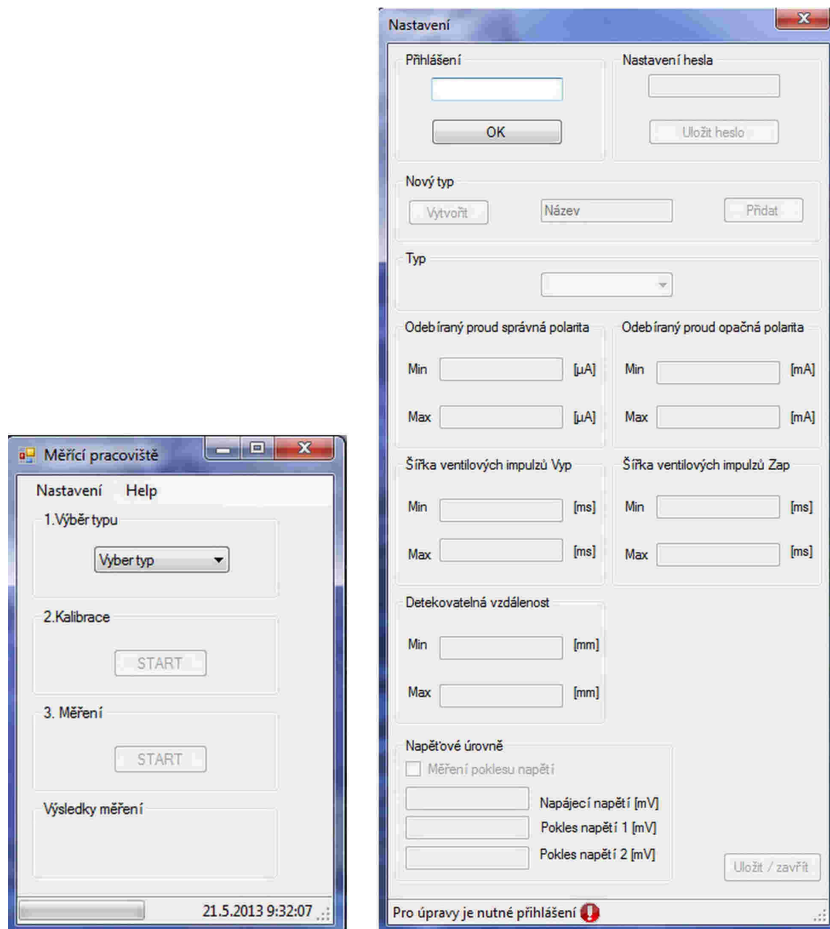
řemenu se však tento element měl tendenci kroutit. Pojezd byl realizován pouze pomocí jedné podepřené tyče, což mělo spolu se zvýšeným těžištěm výrazný vliv na plynulost pohybu vozíku. Druhý krokový motor sloužil k nastavení elevace senzoru při jeho kalibraci. Krokový motor byl umístěn blízko měřeného senzoru a optoprvků pro IR (Infra Red – infra červený) komunikaci. Následkem bylo výrazné rušení a to jak optické komunikace, tak i samotného senzoru. Tyto problémy by měly být vyřešeny kompletním přepracováním mechanického řešení. Samotné zařízení bylo schopno měřit vždy jen jeden senzor. To vedlo k tomu, že se pracovník nemohl plně věnovat žádné další komplikovanější práci a musel pouze měnit senzory v zařízení. Tento problém by měl řešit otočný karusel s větším počtem měřených senzorů. Na obrázku je mechanické řešení původního zařízení.

### 2.1.3 Programová část

Programová část je druhá nejdůležitější a od původního návrhu se bude výrazně lišit. Nejen po stránce obslužného softwaru nebo zpracování dat, ale i z pohledu softwaru, kterým je řízen samotný optický senzor. V první verzi tohoto zařízení byl senzor pouze pasivně měřen, stejně jako při ručním testování. Mezi jednotlivými příkazy poslanými pomocí IR komunikace byly nutné dlouhé prodlevy. Pro sepnutí ventilu nebo měření poklesu napětí byl nutný pohyb odrazným terčem do vzdálenosti kdy ho senzor detekuje. Nebylo možné vybrat konkrétní měřenou vzdálenost a senzor nebyl připraven na to, že by se do něj pomocí IR komunikace nahrávala veškerá důležitá data. Všechny tyto parametry výrazně ovlivňovaly rychlost měření, jeho univerzálnost a efektivitu. I přes tato omezení probíhalo rychleji než kdyby bylo prováděno ručně. Proto bylo rozhodnuto, že software v senzorech bude kompletně přepracován aby umožňoval spouštění jednotlivých měřících sekvencí pouze zasláním příkazu. Senzor by tak měl kontinuálně komunikovat s měřícím pracovištěm.

Další částí je samotný obslužný software. Viz obrázek 2.5

Jeho zásadní nevýhodou byla absence některých parametrů, proto nebylo možné měřit kompletní portfolio vyráběných senzorů. Například některé senzory napájené pomocí zdrojů SELV (Safety Extra Low Voltage – bezpečné malé napětí) (12 V - 24 V) Původní software byl navržen primárně pro senzory jejichž měření bylo



Obr. 2.5: Obslužný software

zdlouhavé a komplikované. Tyto senzory byly napájeny z baterie a proto obslužný software, také z důvodu navržených DPS, nedovoloval zvýšit napájecí napětí. Tento problém by měla již nová verze vyřešit. Dalším problémem bylo zpracování dat. Uživatelské rozhraní sice zobrazovalo aktuální měřená data, ale nedocházelo k jejich ukládání. Obsluha tedy měla přehled o hodnotách měřených parametrů, ale nebylo je možné archivovat. Proto nová verze bude napojena na Firebird a později SQL databázi a bude měřená data ukládat a dále zpracovávat. Ukázka původního obslužného softwaru je na obrázku 2.5.



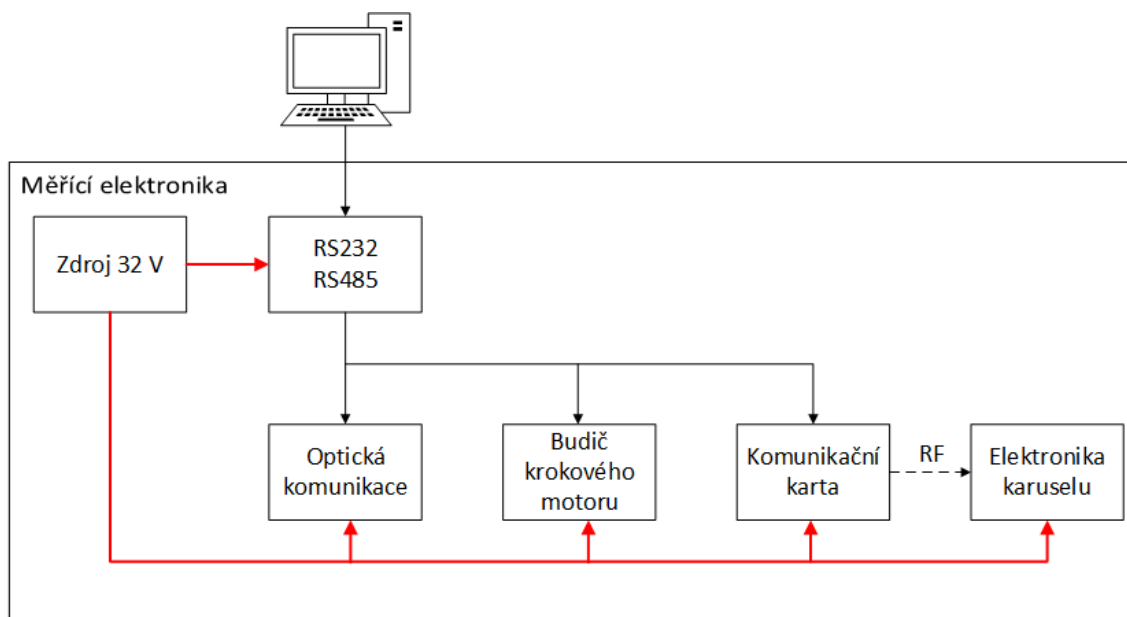
## 3 NÁVRH MĚŘÍCIHO PRACOVISTĚ

Hlavním úkolem této práce je návrh automatického měřícího pracoviště, které by mělo nahradit současný experimentální poloautomat. Ten sloužil především k otestování schopnosti automatizovat měřící proces. V současné době je využíván především k experimentálním účelům.

Základní požadavky na funkci zařízení jsou tyto: Celé pracoviště by mělo pracovat zcela autonomně. Všechna data, jako například měřící profil, počet kusů, číslo zakázky a podobně by měla být načítána z ERP systému ENTRY. Obsluha pouze přečte čárový kód na průvodce pomocí čtečky čárových kódů. Všechna změřená data se ukládají do SQL databáze na vzdáleném serveru. Výsledkem měření je specifikace senzoru pro zákazníka, která obsahuje všechny nastavené parametry a funkci, ve které je senzor expedován. Změřené parametry jsou do databáze ukládány pod unikátním číslem mikrokontroléru senzoru. Technologický úsek má tak kontrolu nad jednotlivými měřenými parametry. Je možné sledovat jejich trendy a na jejich základě přizpůsobovat výrobní proces.

### 3.1 Elektrická část

První část návrhu bude zaměřena na obvodové řešení a základní bloky celého zařízení 3.1. Bloky budou rozebrány jednotlivě spolu s podrobnějším popisem jejich funkce. Blokové schéma celého zařízení je patrné z následujícího obrázku. Jednotlivé bloky zařízení spolu komunikují pomocí průmyslové sběrnice RS-485 a jsou řízeny pracovní stanicí s příslušným obslužným softwarem, který bude popsán později. Sběrnice RS-485 byla vybrána z důvodu vysoké odolnosti vůči průmyslovému rušení a také proto, že vybrané budiče krokových motorů pomocí této sběrnice komunikují.

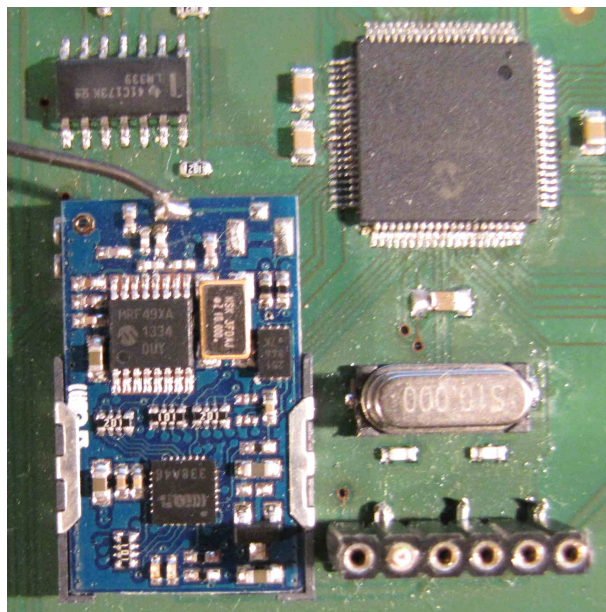


Obr. 3.1: Blokové schéma pracoviště

### 3.1.1 Elektronika karuselu

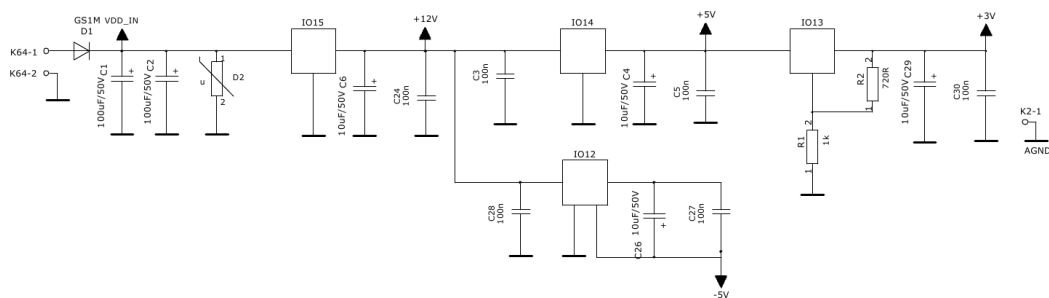
Prvním blokem celého zařízení je elektronika umístěná v karuselu. V první fázi vývoje, byl karusel určen pouze pro připojování jednotlivých senzorů a k signalizaci stavu stavu měření. Jednotlivé senzory by byly vybírány pomocí pružných kontaktů umístěných v pevné části karuselu, ty by pomocí plošek na DPS připojovaly senzory k měřicí kartě umístěné v boxu. Toto řešení by bylo realizovatelné, ale díky obavám z mechanického opotřebení plošek a pružných kontaktů, se od jeho realizace upustilo.

Druhé řešení využívá vyšší míry integrace a zvyšuje spolehlivost a životnost jednotlivých komponent. V tomto případě je elektronika pro měření všech elektrických veličin a napájení senzoru umístěna v karuselu. Měřené senzory jsou pak vybírány pomocí relé. Další změnou je komunikace karuselu s počítačem a zbylými komponentami. Z důvodu snížení počtu vodičů, které je nutné přivést do karuselu, je zařízení připojeno pomocí bezdrátového RF modulu TR-52D od firmy IQRF 3.2. Tím jsou nutné pouze dva vodiče pro napájení a jeden pro vyvolání párování bezdrátového modulu umístěného v karuselu s modulem v boxu. Tato procedura bude blíže popsána v kapitole týkající se softwaru.



Obr. 3.2: bezdrátový modul IQRF

Základní částí elektroniky je napájecí obvod. Vstupní napájení je 32 V. Toto napětí je transformováno na 12 V pomocí LDO regulátoru MC7812, z důvodu snížení výkonového zatížení dalších regulátorů. Dále bylo nutné vytvořit symetrické napájení pro operační zesilovač INA146. To je realizováno pomocí NCP1117DT50G a DC/DC měniče AM1S-2405SZ. Poslední napájecí větvi jsou 3 V pro mikrokontrolér, relé a RF modul. Schéma je patrné z obrázku 3.3.



Obr. 3.3: Napájecí obvod karuselu

Srdcem karuselu je procesor firmy Microchip PIC18F87K90, který byl vybrán primárně z důvodu velkého počtu vývodů, dvojici seriových rozhraní SPI a integrované paměti EEPROM. Pracuje na frekvenci 40 MHz, což je pro danou aplikaci

dostačující. K mikrokontroléru je pomocí SPI sběrnice připojen bezdrátový modul TR-52D. Jedná se o RF modul pracující na frekvenci 868 MHz. K jeho montáži není nutné realizovat RF síť na DPS. Modul je umístěn v osmipinovém konektoru pro SIM kartu. Jako anténa postačí drátek o délce  $\lambda/4$ . Komunikační protokol a software pro IQRF modul je popsán v kapitole o softwaru. Pomocí druhé SPI sběrnice je připojen DA převodník AD5504 firmy Analog devices. DA převodník generuje napěťové úrovně pro měření ventilových impulsů (typ. 6 V a 1 V), pro napájení senzoru (typ. 6 V, 9 V, 24 V) a pro napájení operačního zesilovače určeného k měření odebraného proudu senzoru. Výstupy A a D, které slouží jako napájení, jsou posílány tranzistorem v zapojeném jako emitorový sledovač, protože výstupy samotného DA převodníku lze zatížit maximálně proudem 2 mA.

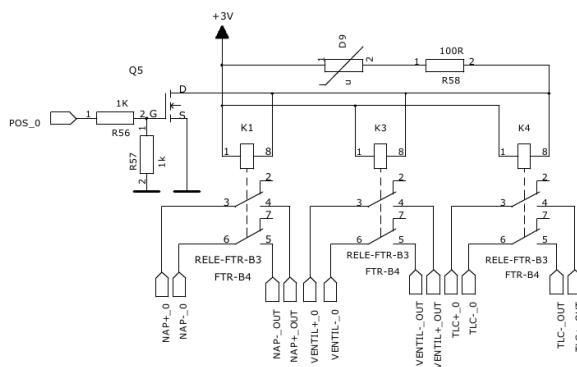
Měření proudu je realizováno pomocí měrných rezistorů, na kterých procházející proud tvoří úbytek napětí. V obvodu jsou umístěny dva rezistory, jeden o hodnotě  $1800 \Omega$  (1 - 160  $\mu\text{A}$ ) a druhý  $1.8 \Omega$  (1 - 160 mA). Mezi rezistory je možné přepínat pomocí MOS tranzistorů. Úbytek na rezistoru, je následně 10x zesilován operačním zesilovačem OPA340. Ten byl vybrán z důvodu velice malého biasovacího proudu (typ. 1 pA) a provedení Rail-to-Rail. Aby bylo možné ho použít bylo nutné nastavit správně jeho napájecí napětí. Operační zesilovač je zapojen mezi napájecí napětím senzoru a o 3 V nižším napětím, které je generováno DA převodníkem. Toto zapojení umožňuje operační zesilovač využít i při napájecím napětí 24 V. Na jeho výstupu je, ale stále vysoké napětí, proto je za ním umístěn druhý operační zesilovač INA146, který umožňuje i při nízkém napájecím napětí (typ. 5 V), připojit na vstup 40 V. Tento zesilovač zesiluje rozdíl mezi napájecím napětím senzoru a výstupem ze zesilovače OPA340. Výsledný výstup se pak pohybuje v rozmezí 0 - 3 V. Operační zesilovač INA146 je napájen ze symetrického napájení 5V. To je zvoleno z důvodu linearity v oblasti nízkých proudů, kde při nesymetrickém napájení dochází k zakřivení. Výsledný signál je pak vzorkován AD převodníkem mikrokontroléru.

Měření ventilových impulsů je realizováno pomocí komparátoru LM339, kde vždy dva komparátory jsou zapojeny jako logický součin. Komparační úrovně jsou definovány pomocí DA převodní AD5504. Tento obvod byl využit především z důvodu možnosti napájení vyšší napětím a jeho výstup je proveden jako otevřený kolektor.

Není nutné využívat další obvody pro případnou změnu úrovně.

Proti původní verzi je tato měřicí elektronika doplněna i o možnost simulace sepnutí externího tlačítka senzoru. Slouží k tomu SSR (Solid State Relay – relé bez pohyblivých částí) TLP172A. Jeho vstup je sepnut mikrokontrolérem, což vede k sepnutí vstupu pro externí tlačítko.

Jak již bylo zmíněno, měřené senzory jsou připínány pomocí relé. K tomuto účelu byla vybrána relé FTR-B3 firmy Fujitsu. Jedná se o malosignálová relé pro SMD montáž s cívkou na napětí 3V a kontakty dimenzovanými na 30 V v provedení 2C. Měřené senzory mohou mít maximálně šest vodičů, proto jsou pro každou pozici nutná tři relé. Ta jsou zapojena paralelně a spínána jedním MOS tranzistorem TSM2302. Zapojení je patrné z obrázku 3.4. Z důvodu ušetření počtu pinů na procesuru, byl pro spínání jednotlivých trojic relé využit demultiplexer 74HC4514. Jeho vstupy jsou následně připojeny k mikrokontroléru.



Obr. 3.4: zapojení relé

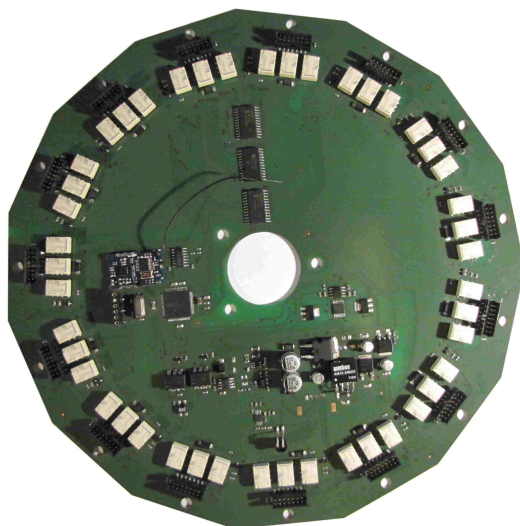
Obdobným způsobem je realizována i signalizace stavu měření pomocí RGB LED. Jednotlivé katody jsou přes rezistory připojeny na výstup logického obvodu 74HCT154. Jedná se o identický obvod jako 74HC4514, pouze s invertovanými výstupy. Další výstupy procesoru bylo možné ušetřit tak, že jsou jednotlivé anody RGB LED spojeny. Tím jsou na nutné pouze tři I/O porty. Samotné zobrazení je realizováno pomocí multiplexování jednotlivých LED.

Druhý demultiplexer 74HC4514 slouží ke spínání obvodu SFH9245. Jedná se o reflexní snímač, který je připojen za každým senzorem. Snímač je umístěn na malé DPS spolu s budícím obvodem. Ten je nutný z důvodu, že zadní část měřených

senzorů je černá a pohlcuje záření. Snímač je spínán tranzistorem a buzen signálem s šířkou pulzu typ.  $5 \mu\text{s}$ . Výstupy snímačů jsou spojeny a přivedeny na mikrokontrolér. Tyto snímače umožňují detekovat přítomnost senzoru v karuselu. Není nutné osazovat všechny pozice karuselu senzory, je možné kontrolovat zda nejsou senzory vyjímány dříve než jsou změřeny, nebo mohou být libovolně rozmístěny.

Dalším blokem je obvod pro vyhodnocení signálu z infračervené optozávory. Protože je před měřením nutné karusel zkalibrovat a nastavit na nulovou pozici, je na DPS umístěna IR dioda. Ta přijímá pulzní signál z druhé infračervené diody umístěné v nepohyblivé části karuselu. Příjmač je realizován pomocí operačního zesilovače MCP6L2. Ten zesiluje přijmaný infračervený signál. Pokud není žádný signál přijmán, je na výstupu zesilovače konstantní napětí. Pokud dojde k příjmu, není nutné signál vzorkovat AD převodníkem, protože se jedná o logický signál.

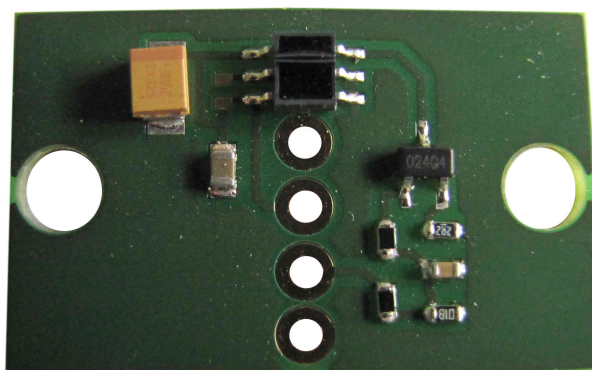
Důležitým prvkem celé elektroniky je připojení jednotlivých periférií k DPS. Důvodem je snadná přístupnost při opravách nebo výměně hrotových kontaktů. Základním parametrem je snadné vyjmutí elektroniky z karuselu, proto nebyly využity pájené spoje, ale pro každý segment je na kraji desky umístěn 14 pinový dvouřadý konektor MOLEX 87832. Druhý konektor MOLEX 560020 je umístěn u středu DPS. Slouží pro připojení napájení a zatěžovacího elektromagnetického ventilu pro měření vetilových impulsů. Navržená DPS je na obrázku 3.5.



Obr. 3.5: Elektronika karuselu

## Elektronika pro detekci senzoru

Jak již bylo zmíněno, z důvodu lepší kontroly při manipulaci se senzory v zařízení a možnosti nenaplnění celého karuselu, bylo nutné za každou pozici umístit snímač. Jedná se o reflexní snímač SFH9245, který je buzen tranzistorem pro zvýšení optického dosahu a citlivosti na černou barvu vkládaných senzorů. K DPS s reflexním snímačem připojené ke karuslu je přivedeno napájecí napětí a vstup budicího signálu. Logické výstupy jednotlivých snímačů jsou na karuslu propojeny. Návrh snímače je uveden na obrázku 3.6.



Obr. 3.6: Reflexní snímač

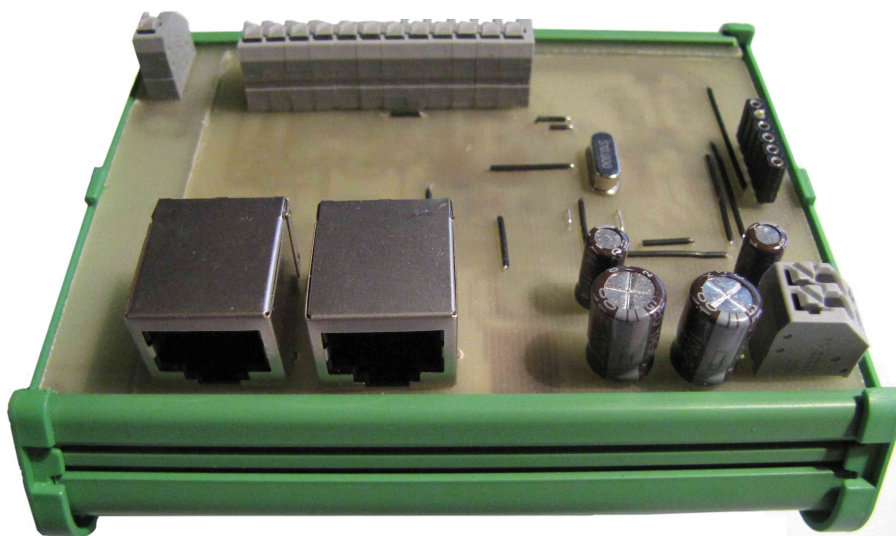
### 3.1.2 Elektronika pro ovládání mechanické části

Jak již bylo zmíněno, karusel není k boxu připojen pomocí seriového rozhraní RS-485, ale pomocí bezdrátového modulu. Proto bylo nutné umístit druhý modul do měřicího boxu. Tento modul, je umístěn na desce sloužící k ovládání mechanické části a převodu RF komunikace na seriové rozhraní. Základní funkcí bloku, je spínání dvou elektromagnetů. Jeden slouží k elevaci karuselu a druhý k jeho aretaci, aby nedocházelo k samovolnému otáčení. Magnety jsou spínány k napájecímu napětí 24 V pomocí MOS tranzistorů SUD50N04.

Další funkce spočívá v generování pulsního signálu do IR diody, sloužící k nastavení nulové polohy karuselu a odrazného terče. Tento výstup je společný pro obě optické závory. Díky umístění a vzdálenosti není možné, aby docházelo k vzájemnému rušení. Dalším důvodem je fakt, že obě kalibrace nebudou nikdy probíhat

ve stejnou dobu. Příjmací obvod je zdvojen. Jeden je umístěn na této DPS, ale jen pro nastavení nulové polohy odrazného terče. Pro karusel je příjmací obvod umístěn v samotném karuselu, ale zapojení je obdobné. Jediným rozdílem mezi optickou závorou pro karusel a pro lineární posuv je ten, že nulovací signál je v prvním případě vyslán při detekci signálu. V druhém případě je vyslán při jeho přerušení. To je dáno konstrukcí. Vyslaný signál má podobu napětového impulsu o délce 30 ms. Ten je přijat kartou krokového motoru. Tím dojde k zastavení motoru a zároveň je uložena nulová poloha. Tento výstup je opět sdílen sdílen oběma kartami. Karta krokového motoru na tento signál nereaguje, pokud není přepnuta do módu referování, nastavování nulové polohy.

Poslední funkcí obvodu je převod RF komunikace na seriovou komunikaci. RF modul je opět připojen pře SPI rozhraní k mikrokontroléru PIC 16F1938. Ten je zároveň spojen pomocí UART komunikace s obvodem MAX3070. Ten převádí UART komunikaci na rozhraní RS-485. Navržená DPS je na obrázku 3.7.



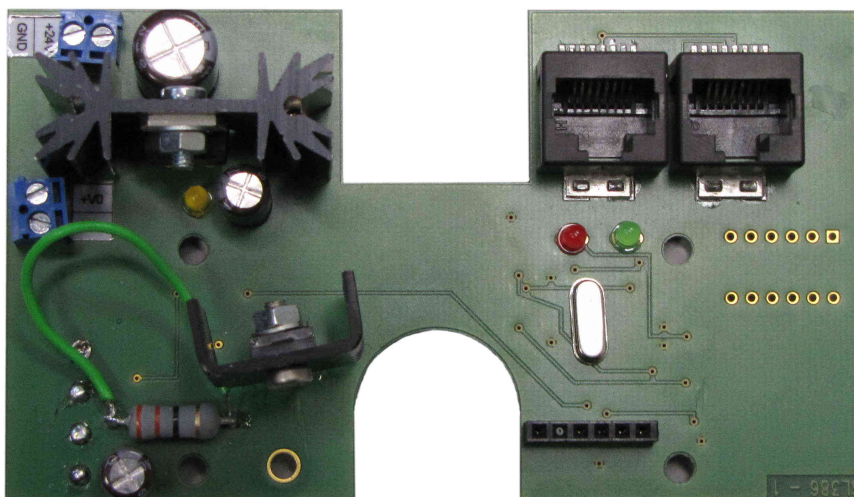
Obr. 3.7: Elektronika pro ovládání mechanické části

### 3.1.3 Optická komunikace

Dalším blokem zařízení je karta optické komunikace 3.8 . Ta slouží ke komunikaci počítače se senzorem. Pomocí ní je možné zasílat jednotlivé příkazy přímo senzoru. Je řízena signálovým procesorem firmy Microchip, který pracuje na frekvenci



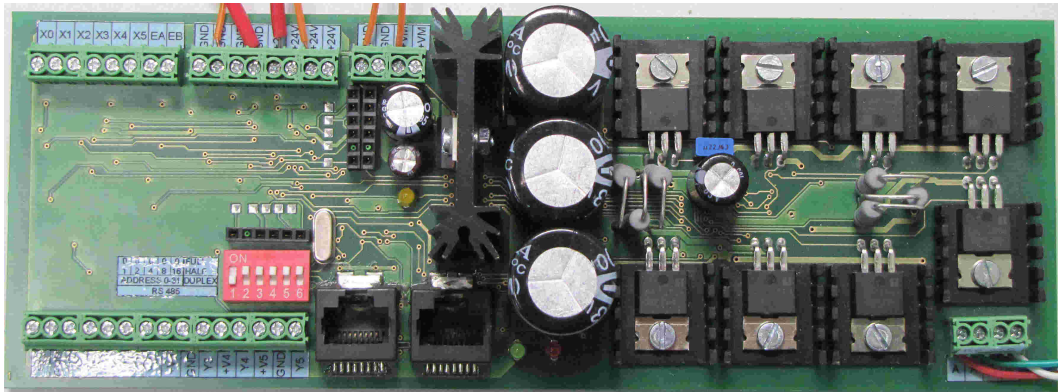
80 MHz. Karta je vybavena rozhraním pro komunikace v IR spektru. Jedná se o jednu vysílací a jednu přijmací diodu. Protože senzor při běžném měření indikuje přítomnost předmětu, nebo pokles napětí a jiné akce pouze červenou diodou a ta by se špatně detekovala. Pro automatické měření jsou data posílána pomocí infračervené komunikace. V tomto případě není nutný velký vysílací výkon, protože vysílací dioda je umístě v blízkosti optoprvků měřeného senzoru. Umístění je patrné z modelu mechanického řešení, které bude popsáno níže. Stejně jako princip a protokol optické komunikace, který bude blíže osvětlen v kapitole týkající se softwaru. Dále už je na této DPS pouze převodník komunikace UART na RS-485.



Obr. 3.8: Karta optické komunikace

### 3.1.4 Budič krokového motoru

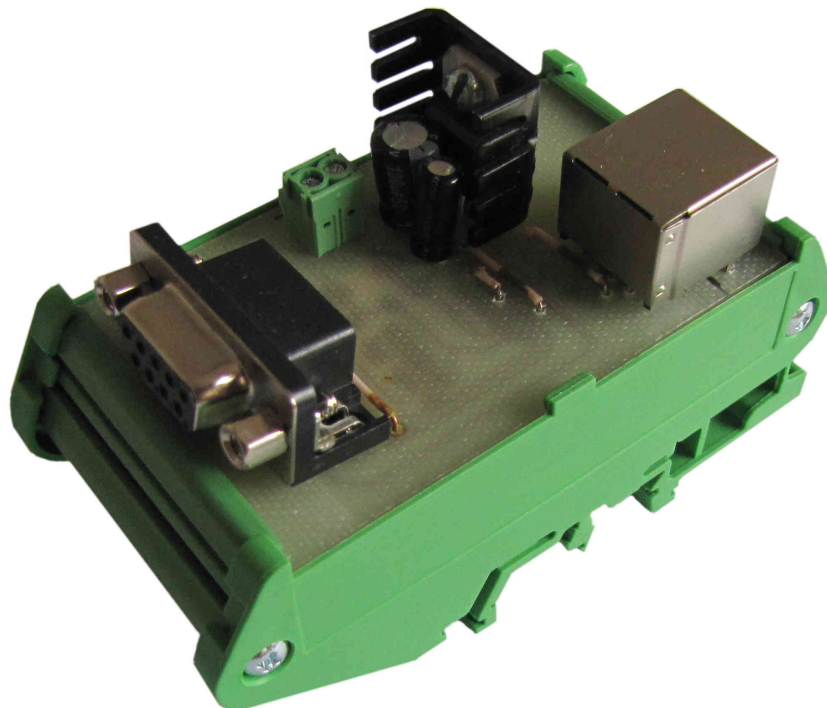
Díky způsobu realizace pohybu odrazného terče a karuselu pomocí krokového motoru, je nutné použít tento driver 3.9. Tento blok již byl navržen dříve a proto nebude popisován podrobněji. Umožňuje řídit bipolární krokové motory a to jak absolutně tak i relativně. Pomocí sběrnice RS-485 je spojen s počítačem a dalšími bloky. Dále je připojen jedním ze vstupů k elektronice pro ovládání mechanické části, která v případě kalibrace nulové polohy při přerušení optické závory vygeneruje na tento vstup impuls. Ten má amplitu 24 V a zastaví krokový motor.



Obr. 3.9: Budič krokového motoru

### 3.1.5 Převodník komunikace

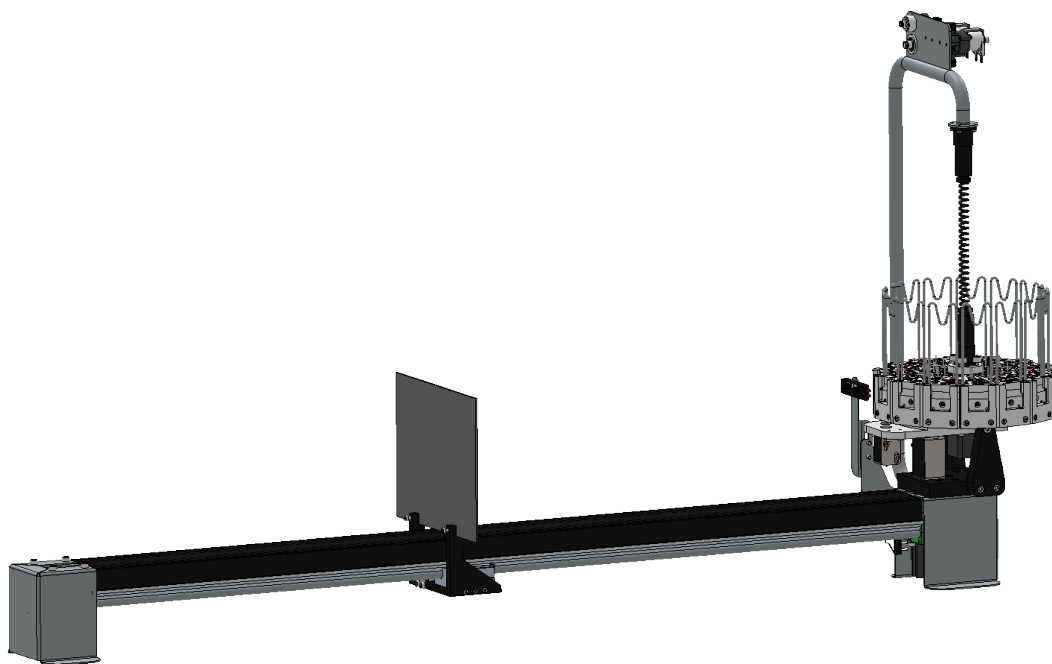
Dalším blokem je převodník rozhraní RS-485 na rozhraní RS-232. Tento převodník je zařazen z důvodu možnosti připojení k počítači bez RS-485 rozhraní. na DPS je osazen pouze lineární regulátor LM7805 složící k napájení převodníků. Jedná se o MAX489, převodník RS-485 na TTL a MAX232, převodník TTL na RS232. Celý blok je napájen z centrálního zdroje 32 V. Realizovaná DPS je na obrázku 3.10.



Obr. 3.10: Převodník rozhraní RS232 na RS485

## 3.2 Mechanická část

Další částí pracoviště je jeho samotné mechanické řešení 3.11. To bylo navrhováno s ohledem na průmyslové standardy, jak z hlediska norem bezpečnosti, tak i z hlediska mechanické odolnosti. Základním požadavkem byly kompaktní rozměry, jednoduchá konstrukce, vysoká mechanická odolnost a jednoduchá manipulace. Mechanické řešení, bylo rozděleno do několika základních bloků, které budou pro vyšší přehlednost podrobněji popsány jednotlivě.

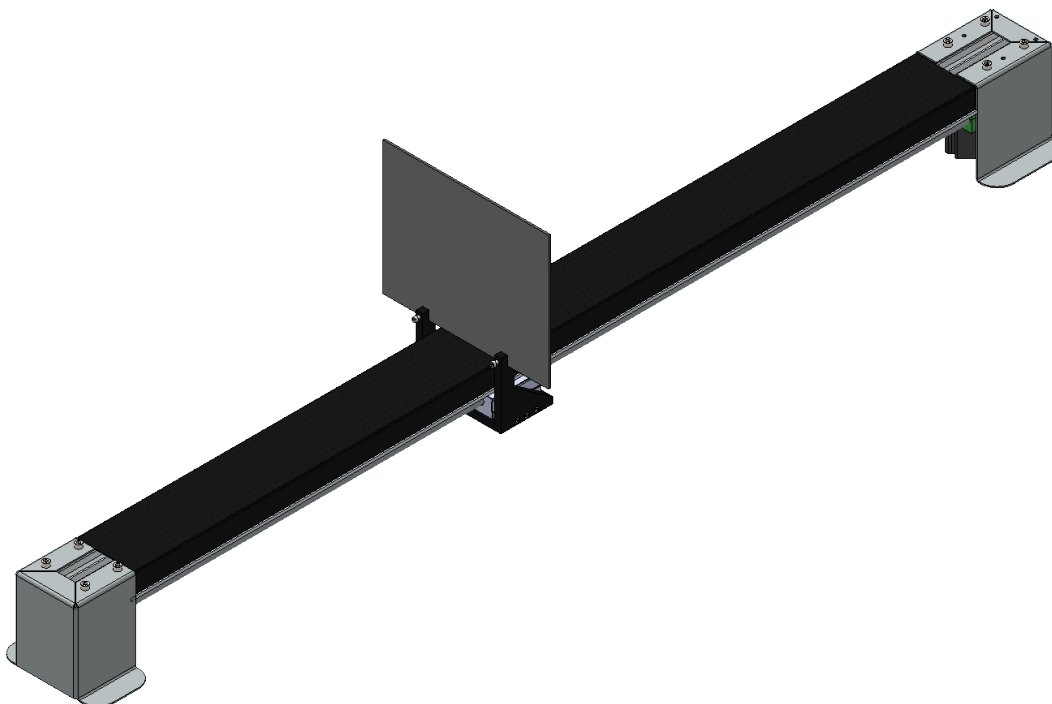


Obr. 3.11: Sestava měřicího pracoviště

### 3.2.1 Řešení pohybu terče

Jak již bylo zmíněno v teoretickém rozboru, je nutné měřit detekovatelnou vzdálenost senzoru. Dříve tento pohyb zajišťoval pracovník, což nezaručovalo konstatní rychlost ani kolmost terče. V tomto zařízení je pohyb terče realizován pomocí krokového motoru a ozubeného řemene. Základ mechanického řešení tvoří dva hliníkové profily. Na každém z nich je upevněna podepřená ocelová tyč, která slouží jako lineární vedení. Po každé z tyčí se pohybuje vozík. Vozíky jsou spojeny obrobkem z materiálu PA (Polyamid). Ten byl vybrán z důvodu vysoké odolnosti, používá

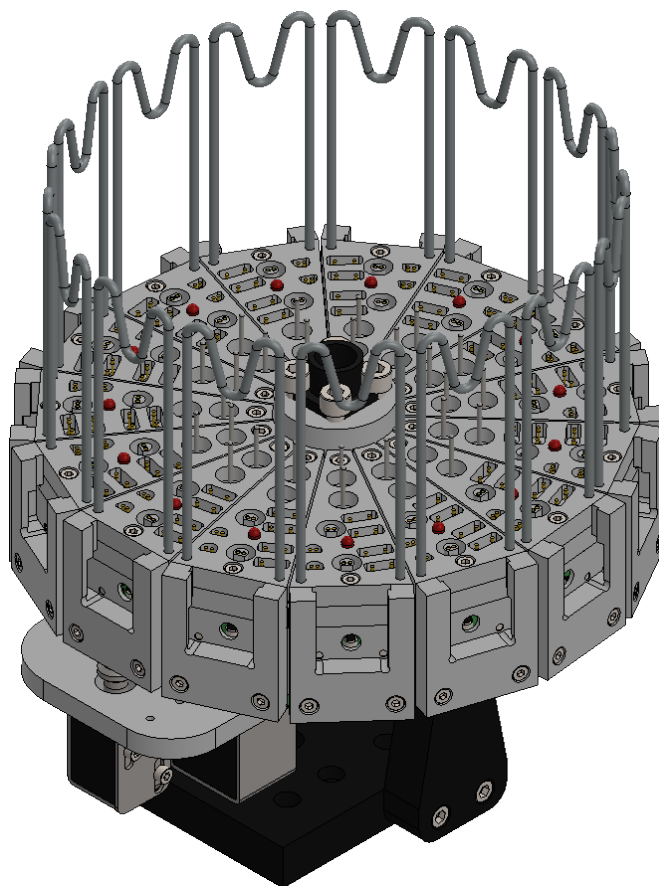
se i jako samomazný materiál, a z důvodu snadné obrobiteľnosti a dostupnosti. Tento vozík slouží k upevnění odrazného terče. Ze spodní části je umístěna clona, sloužící k přerušení optické závory při nastavení nulové polohy. K jejímu tělu jsou zároveň upevněny oba konce ozubeného řemene. Na obou stranách pojezdu jsou umístěny plastové profily sloužící k upevnění krokového motoru a napnutí ozubeného řemene. Na jedné straně pojezdu je upevňák krokový motor s ozubeným kolem a na druhém konci pouze ozubené kolo. Vodiče sloužící vednouce k bezpečnostnímu kontrolnímu spnači jsou vedeny uvnitř hliníkového profilu. Jak je patrné z obrázku 3.12, lineární vedení je umístěno po bocích hliníkových profilů. V minulosti se totiž ukázalo, že lesklé kalené tyče mohou při měření vzdálenost vyšších než 400 mm, výrazně ovlivňovat kalibraci a měření detekovatelné vzdálenosti. Proto byl také celý prostor ve kterém se pohybuje odrazný terč zakryt černým matným plechem. Tato úprava by měla zajistit vyšší stabilitu parametrů. Na zadní straně pojezdu je pouze konektor CENTRONICS pro připojení mechanické části k měřicímu boxu.



Obr. 3.12: Mechanické řešení pohybu terče

### 3.2.2 Řešení měření většího počtu kusů

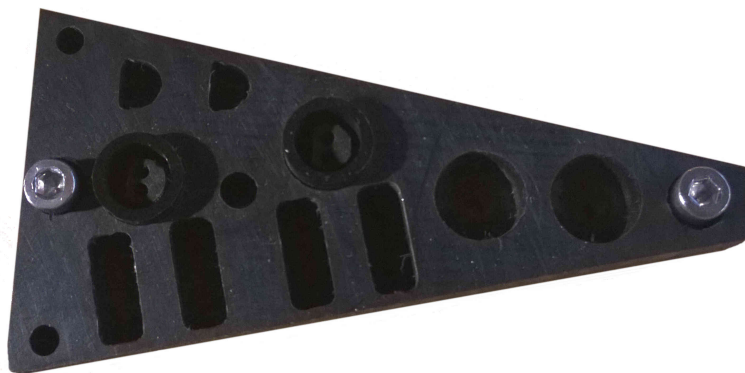
Z důvodu zvýšení propustnosti výroby bylo rozhodnuto o zavedení vícenásobného měření. V tomto případě to znamená využití rotačního karuselu. Rotační karusel byl zvolen z důvodu připojování senzorů pomocí vodičů. Jednotlivé senzory je nutné měřit s připojenými vodiči, aby bylo zaručeno správné zapájení, polarita, nebo zda není připájený vodič přerušen. Karusel je navržen se zásobníkem na patnáct kusů senzorů. Tento počet není fixně daný, není nutné ho vždy celý naplnit. Samotný počet senzorů rozpozná zařízení díky reflexním čidlům v každém zásobníku. Počet senzorů v karuselu byl spočten z průměrné pracovní doby měření jednoho senzoru. Ta činí u složitějších výrobků až 3 minuty. Při počtu deseti kusů, tak 30 minut, kdy se pracovník může věnovat jiné práci, která vyžaduje větší pozornost. Pokud by pracovník musel každé tři minuty měnit senzor v zařízení, žádnou další práci by efektivně nestihl.



Obr. 3.13: Karusel

Karusel je složen z patnácti pozic pro umístění senzorů. Každá pozice disponuje sadou konektorů pro připojení, reflexním senzorem pro kontrolu přítomnosti kusu a RGB LED diodou, pro indikaci stavu měření. Konektory jsou realizovány pomocí hrotových kontaktů. Každá pozice je vybavena větším počtem konektorů z důvodu pokrytí všech kabelových variant jednotlivých senzorů. U každé z pozic je možné měnit upevňovací mechanismus v závislosti na pouzdru měřených čidel. Tímto způsobem nebude karusel modifikován před každým měřením, ale tato funkce umožňuje vyrobit stejný karusel pro různé typy senzorů. Pouze se zamění úchyty za jiný typ. Sensory jsou v zásobníku fixovány pomocí speciálně ohýbané pružiny. Jedná se o kovový pasek ohnutý tak, že ho pracovník při vkládání kusu lehce přetlačí, následně je jím sensor fixován a při výměně pružina usnadňuje jeho vyjmutí.

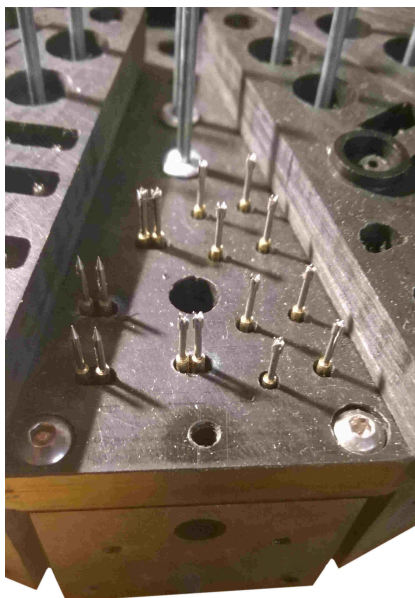
Z důvodu snadné opravitelnosti, je každá pozice po odstranění dvojice šroubů samostatně vyjmutelná. Tímto jsou přístupné všechny hrotové kontakty, které je tak možné snadno vyměnit. Pro kompletní výměnu pinů je nutné odmontovat DPS ze spodní strany karuselu. Po odpojení konektorů pro jednotlivé pozice, je možné snadno vyměnit jakýkoli pin. Princip je patrný z obrázků 3.14, 3.15.



Obr. 3.14: Odstraněná pozice

Některé senzory mohou mít připojovací vodiče dlouhé až 400mm, z tohoto důvodu je možné karusel doplnit o systém, kdy jsou vodiče vedeny přes hrazdu z ohnutého drátu, jak je patrné z obrázku 3.13.

Rotace karuselu je realizována pomocí krokového motoru s přírubou NEMA 17. Motor není napájen nepřetržitě z důvodu možného rušení. Proto je v přední části



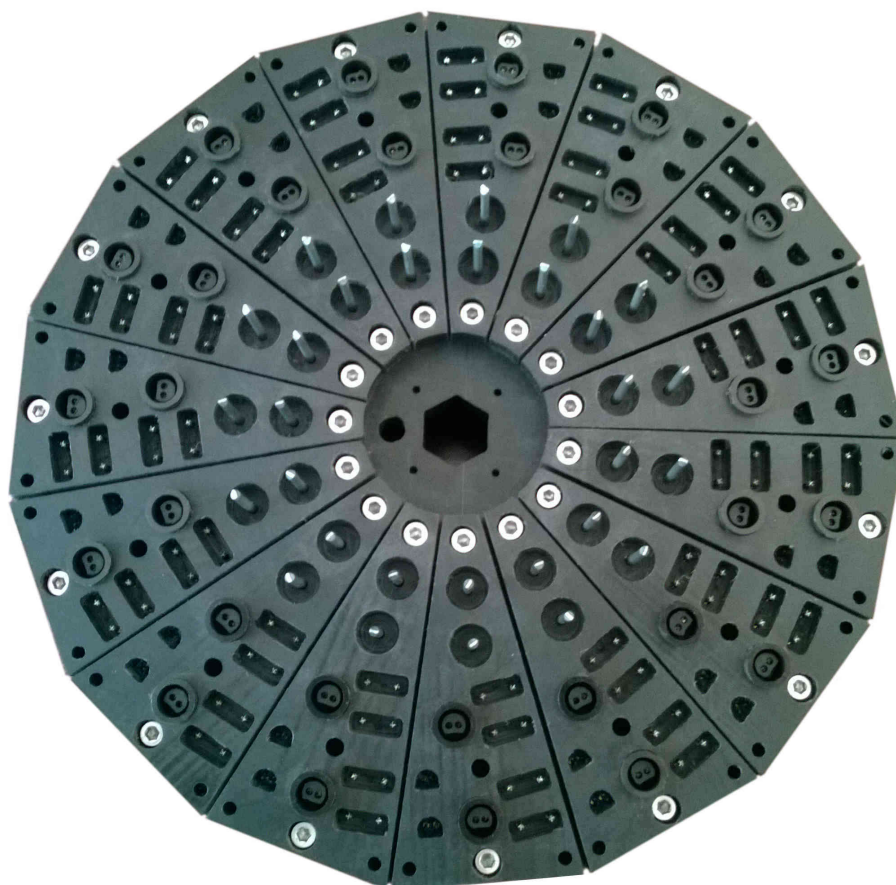
Obr. 3.15: Přístup k hrotovým kontaktům

umístěn elektromagnet, který slouží k aretaci karuselu. Před otočením karuselu elektromagnet přetlačí pružinu, která udržuje jádro magnetu vysunuté, to zapadá do otvoru na spodní straně karuselu. Poté motor otočí karuselem a dojde k uvolnění elektromagnetu a aretaci. Aby bylo možné měnit při měření celý karusel a ne pouze senzory, je aretován na hřídeli motoru pomocí šestihranné hřídele. Ze stejného důvodu je ze spodní části chráněna deska plošných spojů, protože hřídel prochází jejím středem. Ochrana je realizována pomocí osazení, vyrobeného z odolného plastu. To kryje střed DPS a díky zkosení na vnitřní straně, usnadňuje usazení karuselu.

Druhý elektromagnet slouží k elevaci karuselu při kalibraci vzdálenosti měřeného senzoru. Důležitým krokem návrhu bylo umístění osy otáčení do těžiště aby síla, kterou elektromagnet musí vyvinout byla co nejmenší. Tlumení nárazů při zdvihání a navracení karuselu zpět do původní polohy je realizováno pomocí PWM. "Duty cycle", byl zjištěn empiricky. Díky této realizaci nebylo nutné využít dalších tlumících prvků.

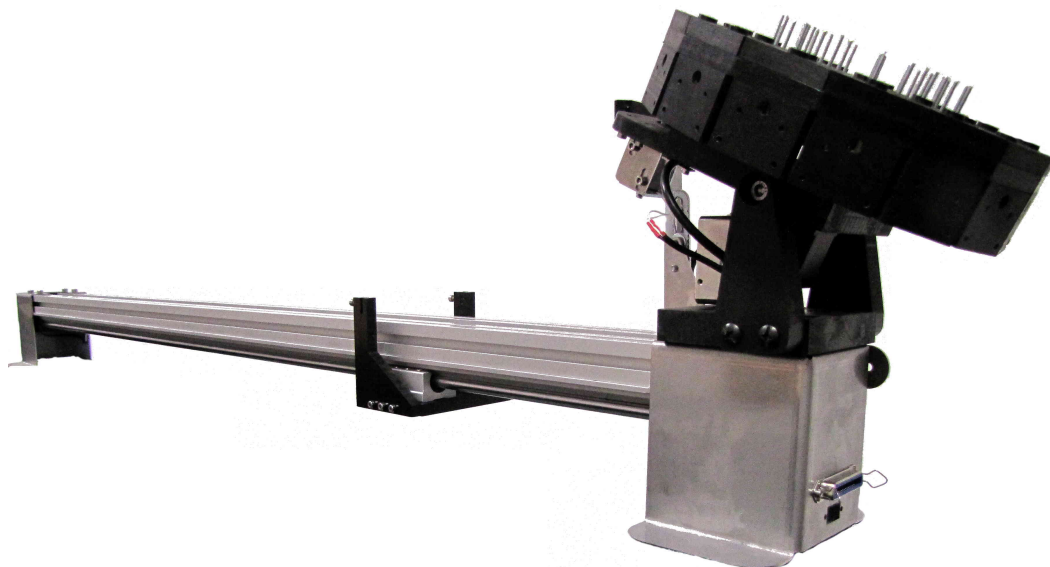
Jednotlivé vodiče pro ovládání elektromagnetů, krokového motoru, IR komunikaci, jsou vedeny a fixovány ve vyfrézovaném kanálku v pevné části karuselu. Napájecí napětí je do karuselu přivedeno pomocí spirálového vodiče zvoleného z důvodu vyšší spolehlivosti. Spirálový kabel je totiž méně náchylný na překroucení, i když

v tomto případě se karusel neotočí více než o jednu otáčku. Na svrchní straně karuselu je umístěn konektory firmy Hirschmann, který slouží k připojení spirálového kabelu. Celý návrh je patrný z následujících obrázků 3.13, 3.11, 3.17. Na obrázku 3.16 je vyrobený karusel.



Obr. 3.16: Smontovaný karusel





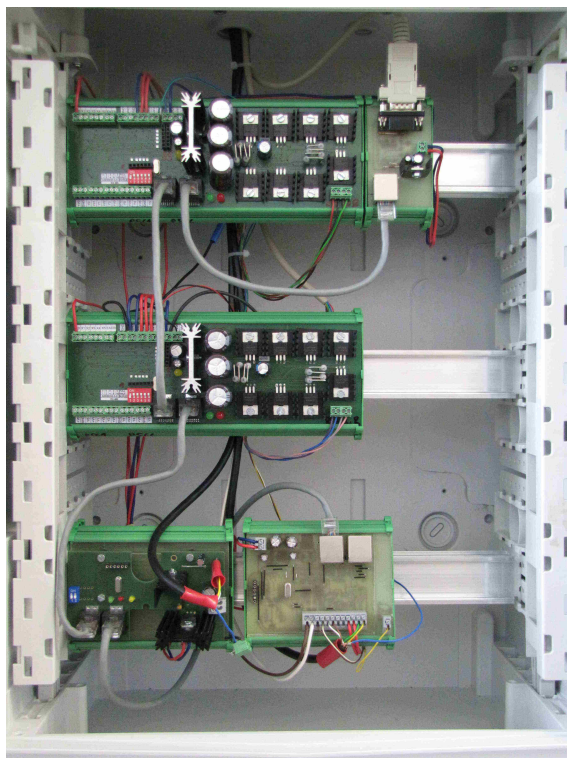
Obr. 3.17: Výsledná sestava měřícího pracoviště

### 3.2.3 Umístění měřících karet

Z důvodu odolnosti vůči vnějším vlivům, bezpečnosti a jednoduché manipulaci je elektronika pracoviště umístěna v rozvodném boxu. Základním požadavkem byla mechanická odolnost a IP minimálně 4x. K tomuto účelu byla vybrána rozvodná skříň ABB GEMINI 3.18. Jedná se o modulární systém, zákazník si skříň sestaví dle svých požadavků. V tomto případě je ve skříni umístěna trojice DIN lišt. Na každou DIN lištu lze umístit 18 modulů. Navržená elektronika zabírá ve skříni 43 modulů. Rozmístění je patrné z obrázku 3.19. Ty slouží k upevnění napájecího zdroje a ostatních elektrických komponent. Při zavření vnějších dveří má skříň IP 65. Jednotlivé vodiče jsou vyvedeny pomocí kabelových průchodek. Jeden kabel je určen pro krokové motory, byl volen s větším průřezem a stíněním. Jedná se o produkt firmy Lapp Kabel z řady Servo, která je pro tyto účely určena. Dále jsou z rozvodnice vyvedeny dva stíněné kabely sloužící pro optickou komunikaci. Poslední kabel zajišťuje seriovou komunikaci zařízení s počítačem. Ten je zakončen konektorem CANON. Ostatní vodiče jsou spojeny do jediného konektoru CENTRONICS. Elektronika a všechny živé části umístěné v boxu jsou přístupné pouze po otevření skříně speciálním nástrojem. Na následujících obrázcích je uvedena rozvodná skříň a rozmístění elektronických bloků.



Obr. 3.18: Rozvodnice

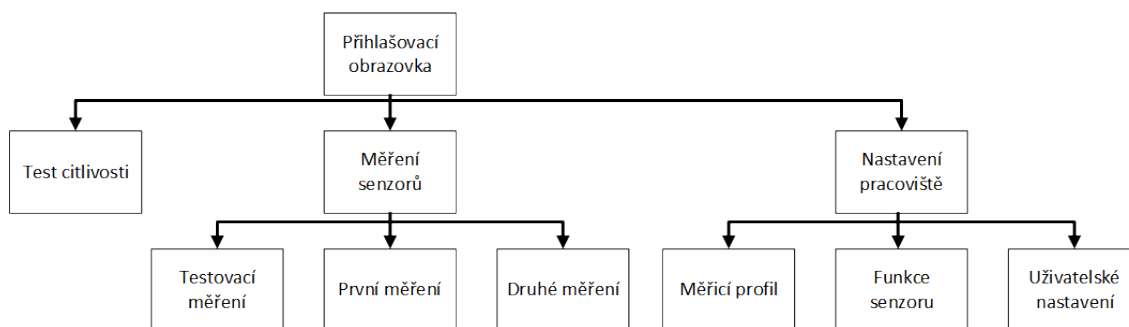


Obr. 3.19: Umístění karet

### 3.3 Programová část

Součástí návrhu je i programová část. Jedná se o obslužný software, FW pro jednotlivé mikrokontroléry a databázový systém pro ukládání naměřených dat. Pro větší přehlednost bude softwarové řešení rozděleno do několika sekcí. Ty budou popsány podrobněji dále.

#### 3.3.1 Obslužný software



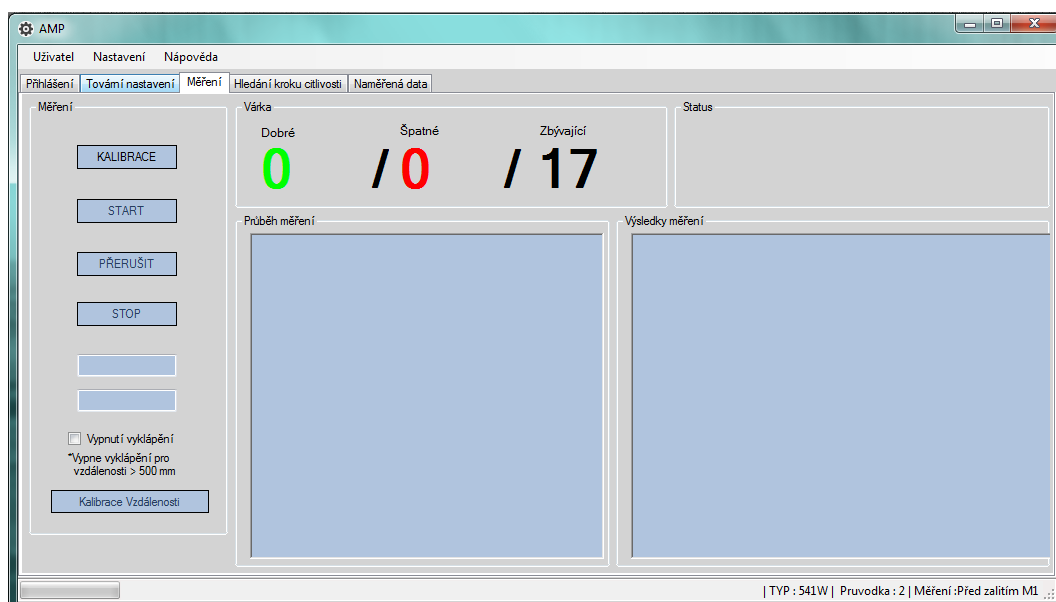
Obr. 3.20: Blokové schéma obslužného softwaru

Součástí návrhu je i uživatelské rozhraní pro počítač 3.20. Toto rozhraní slouží jak pro samotné měření, tak i pro nastavení měřících profilů, vytváření nových uživatelských účtů a podobně. Tento software by měl být realizován ve vývojovém prostředí Microsoft Visual Studio v jazyce C#. Uživatelské rozhraní je rozděleno do tří úrovní 0 - 2. Ty slouží k rozlišení přístupu k jednotlivým nastavením. Úroveň dva je pouze pro vývojové přístupy a je pouze jedna. Má přístup ke všem pověřením a může vytvářet ostatní úrovně pověření. Úroveň jedna je pro vedoucího výroby nebo mistra, kteří mohou přidávat a upravovat uživatelské účty i měřicí profily. Poslední úroveň slouží pro řadové pracovníky, kteří mohou pouze měřit ne však parametry měnit. Slouží především k jednoduchému párování zakázky s pracovníkem, který ji měřil. Dále je rozhraní možno rozdělit do tří sekcí z hlediska pracovní úlohy. První sekce je určena k nastavení a vytváření měřících profilů. Ty v sobě obsahují nejen základní nastavení měřícího pracoviště, jako jsou rychlosti posuvu terče nebo napěťové úrovně, ale i nastavení jednotlivých měřených parametrů, jejich hodnot a výsledné sekvence měření. Druhá vrstva slouží pro samotné měření. Po načtení

čárového kódu si pracoviště z databáze načte profil měření, zobrazí nastavené parametry a dovolí obsluze spustit měřicí proces. Poslední vrstvou je testovací měření, které slouží ke zjištění, na který krok citlivosti je nutné daný senzor nastavit, aby měl požadovanou detekovatelnou vzdálenost. Pracovník vloží senzor do zařízení, zvolí typ, funkci, vzdálenost na kterou má být senzor nastaven a spustí měření. Po sekvenci měření vrátí pracoviště hodnotu citlivosti.

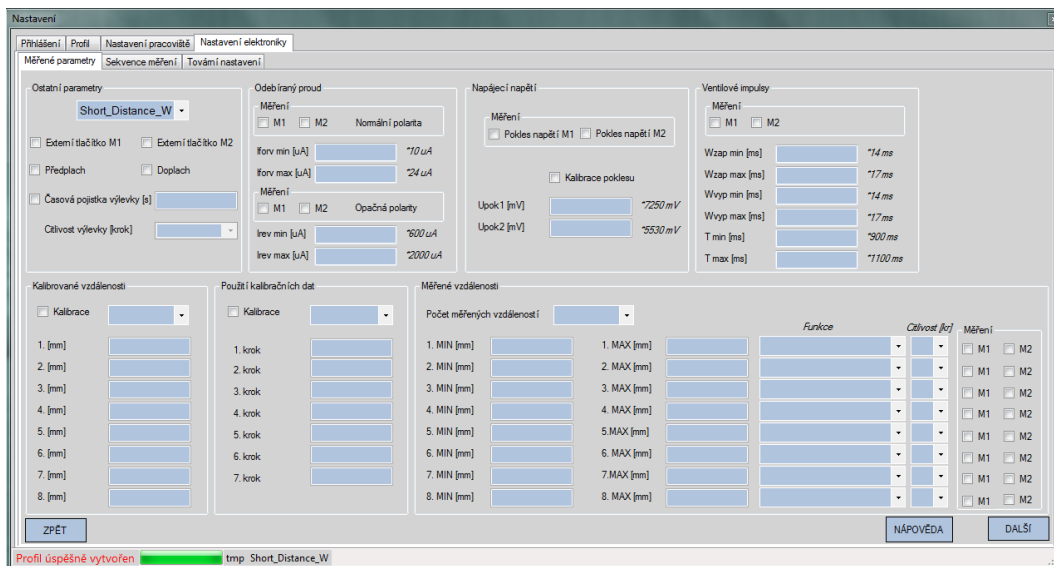
Mezi těmito sekcemi je možné libovolně přecházet. Přecházení je podmíněno přihlášením a v případě přecházení z měřicí sekvence i přerušením měření a uložením dosavadních naměřených dat. V případě ukončení nastavení pracoviště je pracovník automaticky odhlášen. Nemůže tak dojít k neoprávněnému přístupu k naměřeným datům nebo nastavení.

Vzhled uživatelského rozhraní je uveden na následujícím obrázku 3.21. Jedná se o měřicí okno, kde obsluha může v reálném čase sledovat jednotlivé kroky měření. Průběh měření je zaznamenáván do levé části okna. Rozhraní uvádí každý provedený krok a pokud se jedná o chybu, případně varování, je zpráva označena červeně. Pokud by se jednalo o nestandardní, nebo neočekávanou chybu, je zaznamenána do souboru spolu s datem a časem jejího vzniku. Tato funkce byla doplněna z důvodu lepší kontroly zařízení v nepřítomnosti.



Obr. 3.21: Uživatelské rozhraní měřicího programu

Jak již bylo zmíněno, vytváření měřících profilů 3.22 je umožněno jenom pracovníkům s vyšším pověřením. Při vytváření profilů připojení pracoviště není nutné, ale po připojení je možné testování některých nastavených parametrů v reálném čase. Tímto způsobem by mělo být možné předejít, častým úpravám měřících profilů.



Obr. 3.22: Uživatelské rozhraní měřícího programu pro nastavení

### 3.3.2 Software pro mikrokontroléry

Další částí softwarového řešení je FW pro jednotlivé mikrokontroléry. Všechny mikrokontroléry byly vybrány od firmy Microchip. Pro návrh softwaru slouží vývojové prostředí Microchip MPLAB-X. FW je nutné relizovat pro kartu optické komunikace, karusel a kartu pro ovládání mechanické části. Návrh probíhal v jazyce C a byly navrženy následující komponenty.

- UART komunikace pro rozhraní RS-485
- SPI komunikace pro DA převodník
- SPI komunikace s IQRF modulem
- Měření proudu AD převodníkem
- Rozhraní IR komunikace
- Optozávora
- Kontrola vloženého senzoru v karuselu

- Ovládání RGB LED na karuselu
- Měření šířky ventilových impulzů
- Testování přítomnosti senzoru v karuselu
- Indikace stavu senzoru v karuselu
- Pohyb karuselem

Některé z těchto komponent byly již realizovány pro poloautomatické měřící pracoviště. Z důvodu rozšíření množství typů senzorů, které budou na tomto pracovišti měřeny, bylo nutné provést úpravu i těchto komponent. V následující kapitole budou blíže popsány některé stěžejní funkce.

Prvím blokem je komunikace přes rozhraní RS-485. Na straně mikrokontroléru se jedná o sběrnici UART. Mikrokontrolér se chová jako stavový automat, který čeká na konkrétní sekvenci dat dle následujícího komunikačního protokolu viz. tabulka 3.23. Kontrolní součet je spočítán jako součet všech bytů a poslední dvě čísla součtu jsou reprezentována jako ASCII znak, tzn. pokud by byl výsledný součet 0x5A jsou zaslány dva byty 0x35 a 0x41. Protokol je identický pro všechny bloky, které komunikují po této sběrnici. Příkazy jsou následně zpracovány pomocí struktury switch.

Příkaz							
UART	1	2	3	4	5	6	7
<b>start</b>	<b>cmd</b>	<b>data<sub>1</sub></b>	<b>data<sub>2</sub></b>	<b>data<sub>n</sub></b>	<b>stop</b>	<b>Checksum</b>	<b>Checksum</b>
0x02	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x03	0x30 - 0x46	0x30 - 0x46

Odpověď							
start	cmd	data <sub>1</sub>	data <sub>2</sub>	data <sub>n</sub>	stop	Checksum	Checksum
0x02	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x03	0x30 - 0x46	0x30 - 0x46

Obr. 3.23: protokol pro UART komunikaci

## Bondování IQRF modulů

Funkce bondování je inicializováno kartou s IQRF modulem umístěnou v měřicím boxu. Tento modul je nastaven jako koordinátor. Po přijetí příkazu po RS-485 karta vygeneruje napěťový impuls, který je přiveden do elektroniky karuselu. Tento impuls slouží jako spouštěcí pro bondovací sekvenci. Spuštění bondovací sekvence je zároveň podmíněno příznakem uloženým v paměti EEPROM. Pokud je v paměti uložen

byte, který určí, že karusel zobrazuje pouze stav změřených kusů, nelze bondovací sekvenci vyvolat. Přepsání tohoto bytu je vyvoláno příkazem zaslaným koordinátorem v měřícím boxu.

### **Měření proudu**

Měření proudu je jedna z nejdůležitějších funkcí. Využívá interního 12 bitového AD převodníku. Jak již bylo zmíněno proud je měřen jako úbytek napětí na rezistoru. Proud však není konstantní, ale pulsní. Jeho průběh je dán periodou vysílacích pulsů IR diody. Princip spočívá v prvním rychlém vzorkování, kdy mikrokontrolér najde dvě po sobě jdoucí minima, tím zjistí periodu vysílacích pulsů. Následné vzorkování probíhá vždy mezi těmito minimy. Výsledná hodota proudu je dána jeho střední hodnotou. Výsledná přesnost je kompromisem z hlediska časové náročnosti. Běžná perioda vysílacích pulsů není meší než 500 ms.

### **Měření ventilových impulsů**

Měření ventilových impulsů je z pohledu přesnosti nenáročné. Hlavním důvodem testování je spolehlivé sepnutí zátěže. Měření probíhá pomocí sledování změny logické úrovně na portu mikrokontroléru. Důležitým krokem je nastavení rozhodovacích úrovní pro komparátory. Pokud jsou napětí nevhodně zvolena, může dojít k vygenerování většího množství impulsů na výstupu komparátoru. Software musí být vůči těmto falešným impulsům imunní, protože čím nižší úroveň se pro ventil využívá, tím vyšší je úroveň šumu, která zkresluje měřený impuls.

### **Testování přítomnosti senzoru v karuselu**

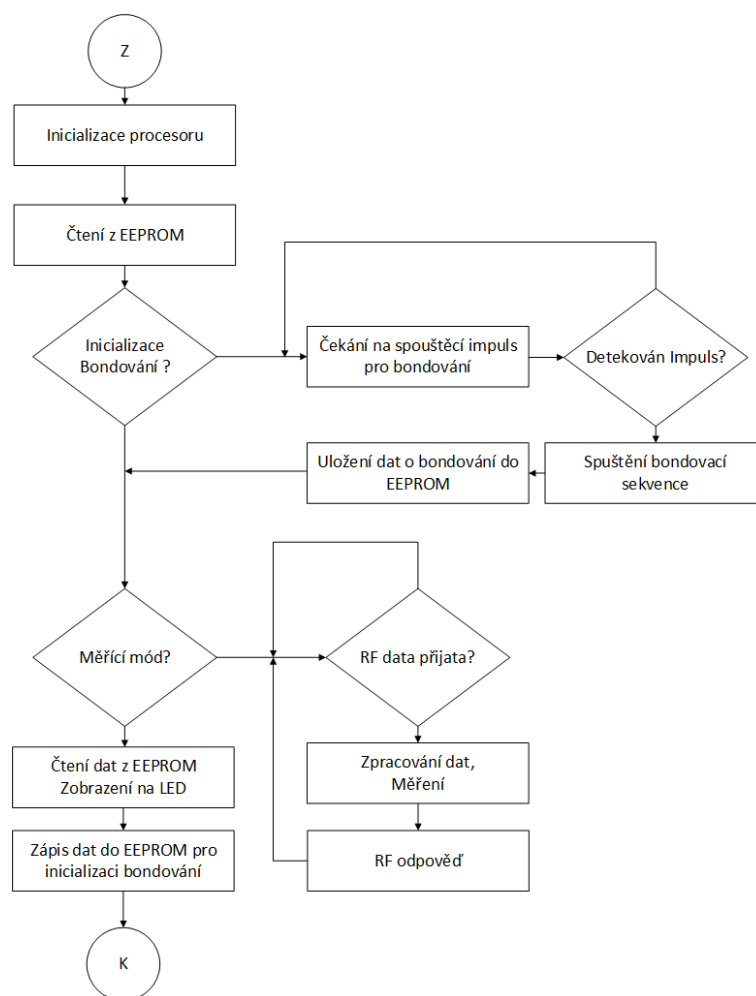
V minulosti se ukázalo, že obsluha má tendenci změřený kus znovu vložit do měřícího pracoviště, pokud byl změřen s chybou. Další možností je, že zapomene zda vložený senzor je už změřený nebo ne. Proto je do této nové verze implementována kontrola přítomnosti a manipulace se senzorem. Tato funkce generuje sérii impulsů o délce 5  $\mu$ s, kterými budí reflexní snímač. Ten pokud před svými optoprvky detekuje předmět, změní logickou úroveň na výstupu do logické nuly. Tato funkce cyklicky

testuje všech patnáct pozic a nakonec vrátí číslo, které reprezentuje které pozice jsou obsazeny senzory. Jednička na dané pozici značí umístěný senzor.

### Indikace měření

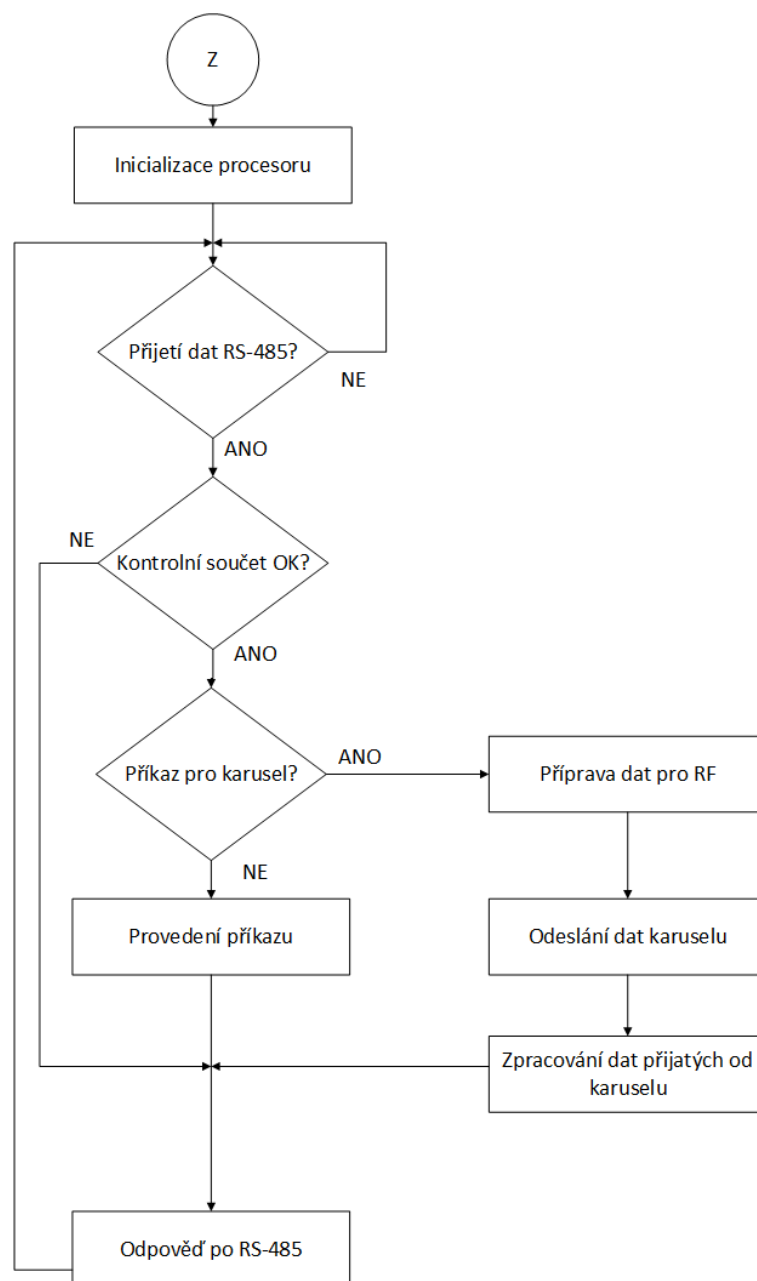
Hlavním úkolem této funkce je zobrazování stavu jednotlivých senzorů pomocí RGB LED. Ty jsou zapojeny se polečnou katodou. Stavový automat pak cyklicky spíná postupně katody a následně sepne příslušný výstup pro danou barvu diody. Multiplexování probíhá při frekvenci 10 kHz.

Schematická funkce jednotlivých karet je uvedena na následujících blokových schématech 3.24 , 3.25 .



Obr. 3.24: Karusel vývojový diagram





Obr. 3.25: Vývojový diagram přijmače dat pro karusel

### 3.3.3 Software pro IQRF moduly

Protože pro komunikaci karuselu s boxem s měřicí elektronikou byla zvolena bezdrátová komunikace pomocí IQRF modulů, bylo nutné doplnit SW i pro tyto moduly. Moduly je možné využívat v peer to peer síti, kdy spolu komunikují pouze dva moduly, které mají nastavenou pevnou adresu. Uživatel přidělí modulům adresu a doplní

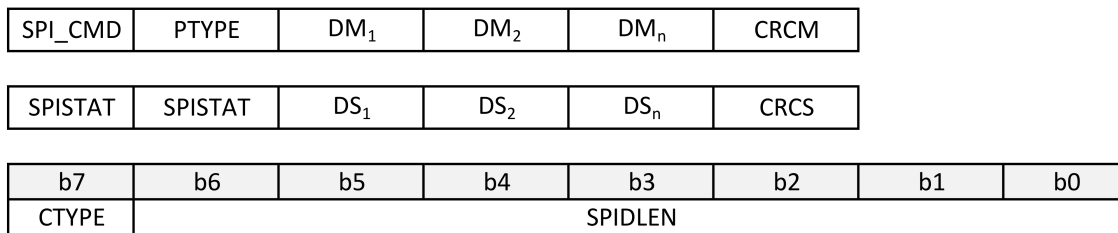
FW modulů o funkci, která kontroluje, zda jsou přijatá data určena danému modulu. Tento typ komunikace není pro tuto aplikaci zcela vhodný. Problém spočívá v pevné adrese, která je přidělena modulu. V této aplikaci může nastat případ, že budou na jednu napájeny dva karusely, jeden zrovna měřený a druhý, ze kterého jsou senzory odebírány, ten je připojen na napájení z důvodu signalizace stavu senzoru. Druhým důvodem je požadavek aby bylo možné karusely měnit mezi různými pracovišti, což by pevná adresa neumožnila. Proto byla zvolen druhý typ komunikace a to mesh. Jedná se o komunikaci, kdy spolu může komunikovat větší množství modulů. V síti je vždy jeden koordinátor a minimálně jeden uzel. Připojení do sítě probíhá pomocí bondování, kdy se v obou modulech aktivuje příslušná funkce a moduly se spolu spárují. V tomto případě není nutné FW doplňovat o kontrolu adresy, o to se stará operační systém modulu. Bondování v tomto případě probíhá vždy, když je karusel vložen do měřicího pracoviště. Modul v karuselu je nastaven jako uzel a modul v měřicím boxu jako koordinátor.

Jak již bylo zmíněno výše, v tomto případě je v síti umístěn jeden koordinátor a jeden uzel. I když se jedná o identické moduly, je nutné vytvoření dvou různých softwarů. Návrh probíhal v návrhovém prostředí IQRF IDE v jazyce C. V obou případech se jedná o stavový automat, který nepřetržitě kontroluje SPI a RF komunikaci. Oba protokoly jsou uvedeny v obrázcích 3.26, 3.27. SPI protokol byl vytvořen výrobcem, protokol pro RF komunikaci byl navržen uživatelsky. Vývojové diagramy obou programů jsou uvedeny na následujících obrázcích 3.28, 3.29.

Příkaz						
0	1	2	3	4	5	6
start	cmd	data <sub>1</sub>	data <sub>2</sub>	data <sub>n</sub>	stop	Checksum
0x02	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x00 - 0xFF	0x03	0x00 - 0xFF

Odpověď					
start	cmd	state	state	stop	Checksum
0x02	0x00 - 0xFF	O/'E'	K/'R'	0x03	0x00 - 0xFF

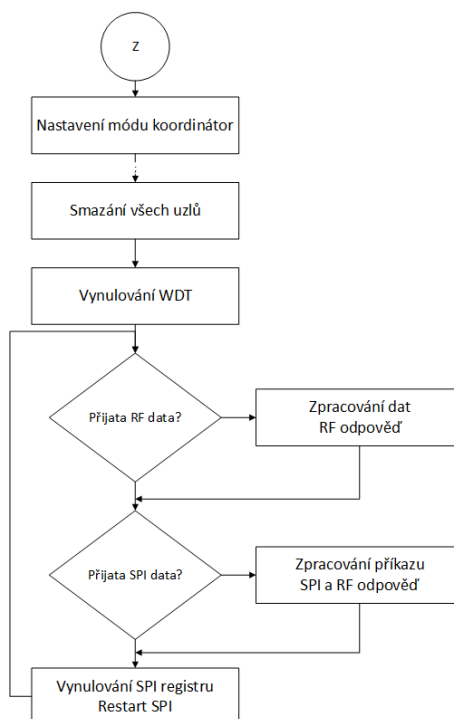
Obr. 3.26: protokol pro RF komunikaci



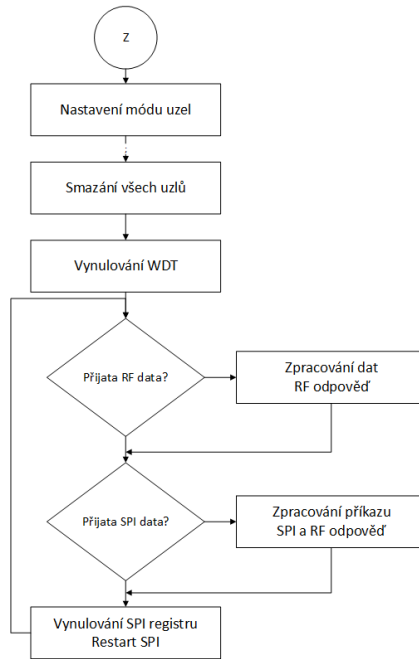
Obr. 3.27: protokol pro SPI komunikaci

Vysvětlení jednotlivých bytů v SPI komunikaci.

- SPICMD.....Data čtení nebo zápis
- SPISTAT.....Odpověď uzlu se stavem SPI
- PTYPE.....Informace o paketu
- DM,DS.....Data koordinátora a uzlu
- CRCM,CRCS...Kontrolní součet koordinátora a uzlu
- SPIDLEN.....Počet bytů v paketu
- CTYPE.....Typ komunikace - zda změna probíhá se změnou nebo beze změny komunikačního bufferu



Obr. 3.28: vývojový diagram FW pro IQRF modul ve funkci koordinátora

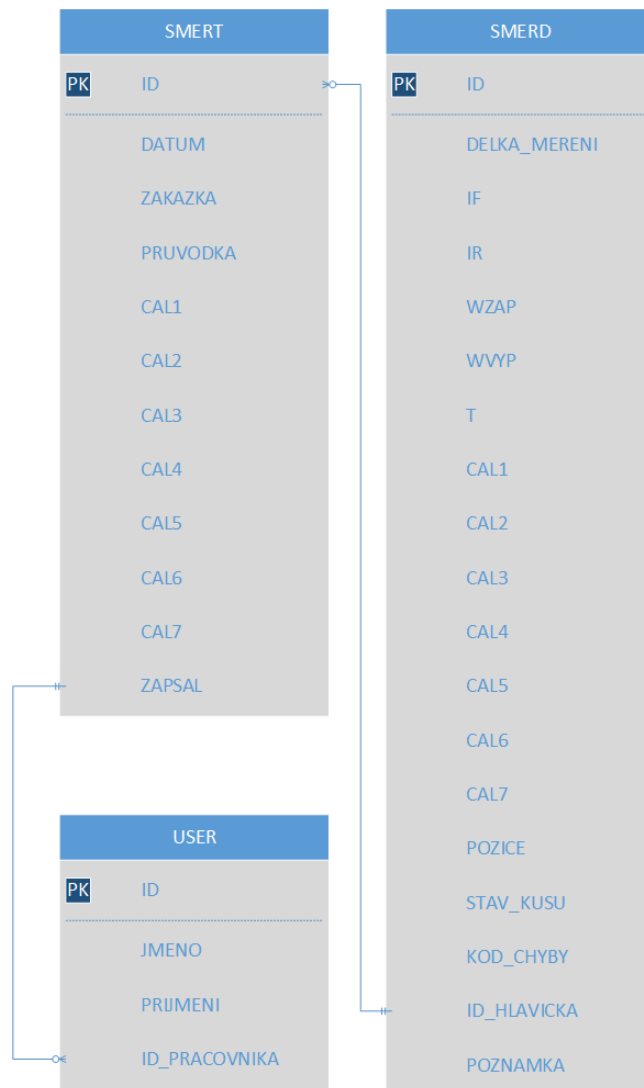


Obr. 3.29: vývojový diagram FW pro IQRF modul ve funkci uzlu

### 3.3.4 Databáze

Poslední částí zařízení je samotný databázový systém. Firma SEAL ELECTRONIC s.r.o. využívá ERP systém ENTRY, který pracuje s daty ve Firebird databázi. Do této databáze zapisuje i navrhované automatické měřící pracoviště. V systému ENTRY jsou uložena všechna data, týkající se výroby. Je možné zde dohledat počty vyrobených kusů dle čísla průvodek nebo externích zakázek. Pro toto měření byla přidána další databáze 3.30 vázaná na číslo průvodka. Ke každé průvodce jsou přiřazeny následující parametry.

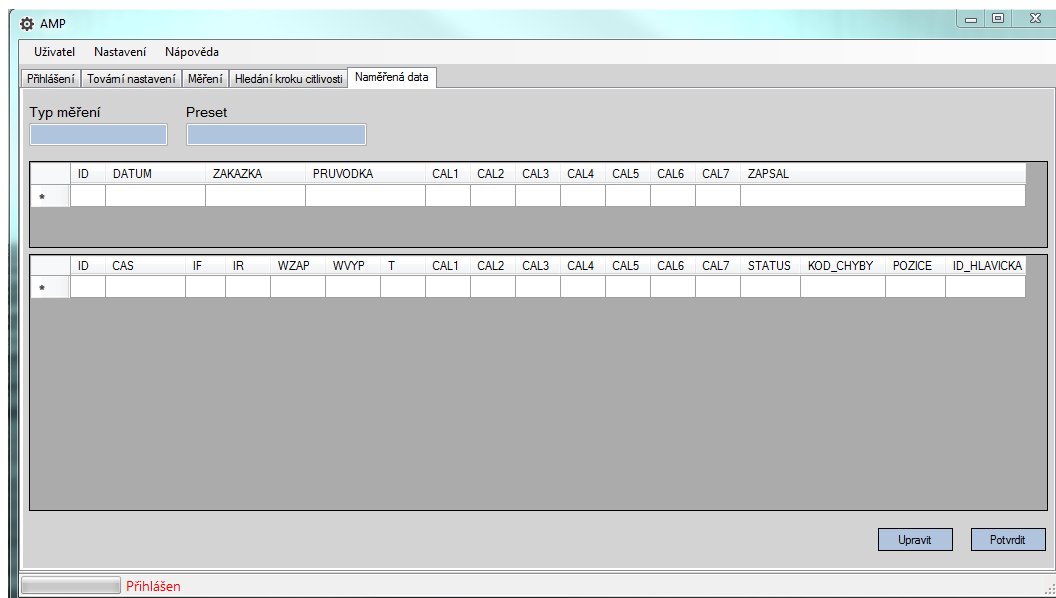
- Měřený typ senzoru
- ID operátora
- Čas měření každého kusu
- Odebíraný proud při správné polaritě
- Odebíraný proud při opačné polaritě
- Šířka ventilových impulzů
- Perioda ventilových impulzů
- Kalibrační data



Obr. 3.30: Tabulky databáze

Pro pracoviště byly do systému ENTRY zavedeny dvě nové databáze. Jedna obsahující výše zmíněná měřená data a druhá seznam uživatelů. Každý zaměstnanec má v ENTRY své unikátní ID, k této položce bylo přidáno přihlašovací jméno, heslo a stupeň pověření, který stanovuje příslušná přístupová práva. Výsledná naměřená data nejsou ukládána s každým změřeným parametrem, ale jsou uložena v paměti a po dokončení měření celého kusu, je do databáze přidán další záznam 3.31. V tomto případě se jedná o XML soubor, který je s každým změřeným kusem doplněn o další řádek a z bezpečnostních důvodů uložen. Data z tohoto souboru jsou fyzicky uložena do databáze až po doměření celé várky. Pracovník pouze zkontroluje

zda je v pořádku číslo zakázky a průvodky, aby do databáze byla zapsána korektní data. V případě chyby je možné tyto dva parametry upravit v editačním módu. V tabulce jsou vyplněny všechny změřené parametry, ale ty není možné editovat.



Obr. 3.31: Tabulka databáze v programu AMP

Přidáním podrobnějších parametrů měření je možné lépe sledovat výrobní proces a na jejich základě jej dle potřeby měnit. Při vyšší chybovosti senzorů v jedné pozici, je možné díky informaci o pozici, ve které byl senzor změřen, snadně vadu identifikovat a pozici opravit. Dále je možné dlouhodobě sledovat jednotlivé parametry. Pozorovat vliv šarže součástek na stabilitu měřených parametrů. Těmito kroky je snadné sledovat nejčastější poruchy optických senzorů a na základě nasbíraných dat navrhnout adekvátní opatření.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout plně automatické měřicí pracoviště pro měření optických senzorů pro sanitární elektroniku. V první fázi práce bylo nutné zhodnotit nedostatky předcházejícího modelu, který sloužil především jako experimentální pracoviště. Jeho jednotlivé nedostatky jsou popsány v první kapitole práce. Je uvedeno, proč je nutné se jich při nadcházejícím návrhu vyvarovat. V druhé části jsem se zabýval návrhem plně automatického pracoviště a to jak po elektrické, tak i mechanické a programové stránce. Jako konečné obvodové řešení jsem zvolil variantu s integrovaným měřicím systémem v karuselu na patnáct optických senzorů. Z důvody vyšší spolehlivosti, lepší ovladatelnosti, menšího množství mechanických kontaktů a kabelů. Z hlediska mechanické části zůstal princip sice obdobný, ale lineární vedení jsem umístil ze spodní části profilů z důvodu eliminace odlesků. Další změna spočívá v elevaci celého karuselu, nikoli pouze jednoho senzoru, a to pomocí elektromagnetu. Celé řešení bylo realizováno s ohledem na normy pro elektrickou bezpečnost ČSN 343100 a ČSN EN 50110-1-ED2. V další části návrhu jsem se zaměřil na obslužný software, který jsem kompletně přepracoval a doplnil o další možná nastavení. Hlavním rozdílem je možnost testování nastavených parametrů v reálném čase a ukládání naměřených dat do databáze. V rámci programového vybavení pro mikrokontroléry jsem dále zpracoval software pro IQRF moduly sloužící ke komunikaci počítače s karuselem. V diplomové práci jsem navrhl software pro tři různé bloky, karusel, optickou komunikaci a blok pro ovládání mechanické části. Ve všech případech se jednalo o mikrokontroléry PIC. Poslední část práce se zabývá návrhem databázového systému, do kterého měřicí pracoviště ukládá data. Tato databáze je součástí ERP systému Entry. Celý systém je plně funkční a po odladění softwaru, které bude v současné době následovat, je možné jej zařadit do výroby.

## LITERATURA

- [1] AMBROŽ, Jaromír. Tester pro výstupní kontrolu spouštěče splachování. Brno, 2013. 66864. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/26975?show=full>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Michal Pavlík, Ph.D.
- [2] Analog Devices. ANALOG DEVICES INC. [online]. [cit. 2014-26-11]. Dostupné z: <http://www.analog.com/en/digital-to-analog-converters/da-converters/ad5504/products/product.html>.
- [3] Microchip. MICROCHIP TECHNOLOGY INC. [online]. [cit. 2014-26-11]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/8bit/>.
- [4] SEAL ELECTRONIC S.R.O. Všeobecný kontrolní předpis. 6. vyd. Lanškroun, 2012.
- [5] SEAL ELECTRONIC S.R.O. Technická dokumentace SL541. 1. vyd. Lanškroun, 2012.
- [6] SEAL ELECTRONIC S.R.O. Technická dokumentace SL297. 2. vyd. Lanškroun, 2014.
- [7] SEAL ELECTRONIC S.R.O. Technická dokumentace SL567. 1. vyd. Lanškroun, 2014.
- [8] MICRORISC S.R.O. IQRF OS Operating System Version 3.06D for TR-5xD: Reference Guide [online]. 2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=support&id=download>.



## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

ERP	Enterprise Resource Planning – Podnikový informační systém
SELV	Safety Extra Low Voltage – bezpečné malé napětí
IR	Infra Red – infra červený
AD	Analog Digital – Analogově digitální
ICSP	In Circuit Serial Programming – Programování v obvodu
DPS	Deska plošných spojů
LED	Light Emitting Diod – Svítivá Dioda
SMD	Surface Mount Device – Povrchová montáž
DA	Digital Analog – Digitálně analogový
ESD	Electrostatic Discharge – Elektrostatický výboj
RGB	Red Green Blue
PA	Polyamid
SPI	Serial Peripheral Interface – Seriové periferní rozhraní
FW	Firmware – programové vybavení
SSR	Solid State Relay – relé bez pohyblivých částí
LDO	Low Drop Out – Malý úbytek

# SEZNAM PŘÍLOH

- A Schéma karuselu
- B Schéma obvodu pro ovládání mechanické části
- C Schéma reflexního snímače
- D Schéma budiče krokového motoru
- E Schéma optické komunikace
- F Návrh DPS karuselu TOP
- G Návrh DPS karuselu BOTTOM
- H Návrh DPS obvodu pro ovládání mechanické části
- I Návrh DPS reflexního snímače