



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra telekomunikační techniky

Polohovací systém pro měření citlivosti RFID UHF tagů

Positioning system for RFID UHF tag sensitivity measurement

Bakalářská práce

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Studijní obor: Síťové a informační technologie

Autor práce: **Petr Sviták**

Vedoucí práce: Ing. Bc. Lukáš Vojtěch, Ph.D.



Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Bc. Lukáši Vojtěchovi, Ph.D. za jeho rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 18. května 2015

.....

Podpis



České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

katedra telekomunikační techniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Sviták Petr**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika

Obor: Síťové a informační technologie

Název tématu: **Polohovací systém pro měření citlivosti RFID UHF tagů**

Pokyny pro vypracování:

Proveďte průzkum současného stavu v oblasti hardwaru pro měření citlivosti RFID UHF tagů. Zaměřte se na způsoby polohování RFID UHF tagů při těchto VF měřeních. Navrhněte a zrealizujte polohovací systém s využitím řízení krokových motorů včetně ovládacího softwaru.

Seznam odborné literatury:

- [1] Finkenzeller, K.: RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification (3rd Edition). John Wiley & Sons, Inc., New York 2010. ISBN: 978-0-470-69506-7.
- [2] RFID Measurement Cabinet. Dostupné na: http://www.voyantic.com/rfid_meas_cabinet [on-line].

Vedoucí: Ing. Lukáš Vojtěch, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016



prof. Ing. Boris Šimák, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 12. 12. 2014



Anotace:

Tato bakalářská práce je zaměřena na konstrukci polohovacího systému pro měření citlivosti RFID UHF tagů. Obsahuje potřebnou teorii pro vytvoření této konstrukce, stručné zdůvodnění použitých materiálů a ostatních komponentů. Mechanická konstrukce byla vytvořena z plexiskla. Pro polohování byly použity krokové motory, které jsou ovládané za pomoci mikrokontroléru Arduina a krokových stepper driverů RAMPS 1.4. Celé zařízení je navrženo jako příslušenství pro RFID čtečku vyvíjenou na ČVUT, fakultě elektrotechnické. Komunikace s RFID čtečkou probíhá po sběrnici SPI (Serial Peripheral Interface).

Klíčová slova:

RFID

Polohovací systém

Krokové motory

Indukční senzory

Summary:

This bachelor thesis is focused on the design and construction of a positioning system for measuring the sensitivity of UHF RFID tags. The thesis contains a theoretical part that explains the construction of the system, brief description and justification of used materials and other components. The mechanical construction was created from plexiglass. For the positioning part, stepper motors that are controlled by the Arduino microcontroller and stepper drivers RAMPS 1.4 were used. The entire device is designed as a component of the RFID reader which is being developed at the Czech Technical University, Faculty of Electrical Engineering. For communication with the RFID reader the SPI (Serial Peripheral Interface) is used.

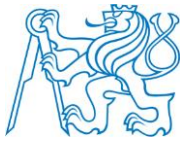
Index terms:

RFID

Positioning system

Stepper motors

Inductive sensors



Obsah

1	Úvod.....	1
2	Teorie radiofrekvenční identifikace.....	2
2.1	Základní princip RFID.....	2
2.2	Výhody RFID.....	2
2.3	Druhy RFID.....	3
2.4	Jak se přenáší data.....	4
2.5	Citlivost identifikátorů.....	4
2.6	Kmitočtová pásma.....	5
2.7	RFID tag.....	6
3	Teorie krokových motorů.....	7
3.1	Obecné vlastnosti krokových motorů.....	7
3.2	Princip funkce krokového motoru.....	7
3.3	Definice pojmu krokového pohonu.....	10
3.4	Druhy krokových motorů.....	11
3.5	Způsob ovládní.....	11
4	Indukční senzory.....	12
4.1	Indukční senzor z pohledu historie a vývoje.....	12
4.2	Princip indukčního senzoru.....	12
4.3	Druhy použití a mechanická konstrukce.....	12
5	Mechanická část konstrukce zařízení.....	14
5.1	Zvolení tvaru a materiálu konstrukce.....	14
5.2	Vytvoření konstrukce.....	14
6	Komponenty pro řízení zařízení.....	17
7	Komunikace pomocí sběrnice SPI.....	20
7.1	Vlastnosti sběrnice SPI.....	20
7.2	Klady a zápory sběrnice SPI.....	20
7.3	Princip komunikace po sběrnici SPI.....	21
7.4	SPI a Arduino.....	22
8	Zhodnocení.....	23
9	Závěr.....	27
10	Fotodokumentace.....	28
11	Reference.....	31
12	Seznam použitých zkratk.....	32



1 Úvod

Technologie RFID (Radio Frequency Identification - Radiofrekvenční identifikace) slouží k rychlé bezdrátové radiofrekvenční identifikaci objektů na krátké vzdálenosti pomocí radiofrekvenčních vln. Tento způsob identifikace se používá v nejrůznějších odvětvích a oblastech jako je například zabezpečení budov, identifikace zboží na paletách, identifikace dobytka, elektronické průkazy, elektronická identifikace výrobků na výrobním pásu a podobně. Jeho největší výhodou je rychlost a přesnost zpracování informací. Pro bezdrátovou komunikaci je potřeba identifikátor a čtecí zařízení. Informace jsou uloženy v identifikátoru, z kterého vyčítá čtecí zařízení informace. Čtecí zařízení načte informace po částech, nýbrž je čte všechny najednou. Proto lze načíst mnoho RFID identifikátorů najednou např. více zboží na paletě. Při komunikaci mezi těmito zařízeními velmi záleží na polarizaci antény, na prostředí mezi identifikátorem a čtecím zařízením, na rychlosti pohybu identifikátoru a podobně.

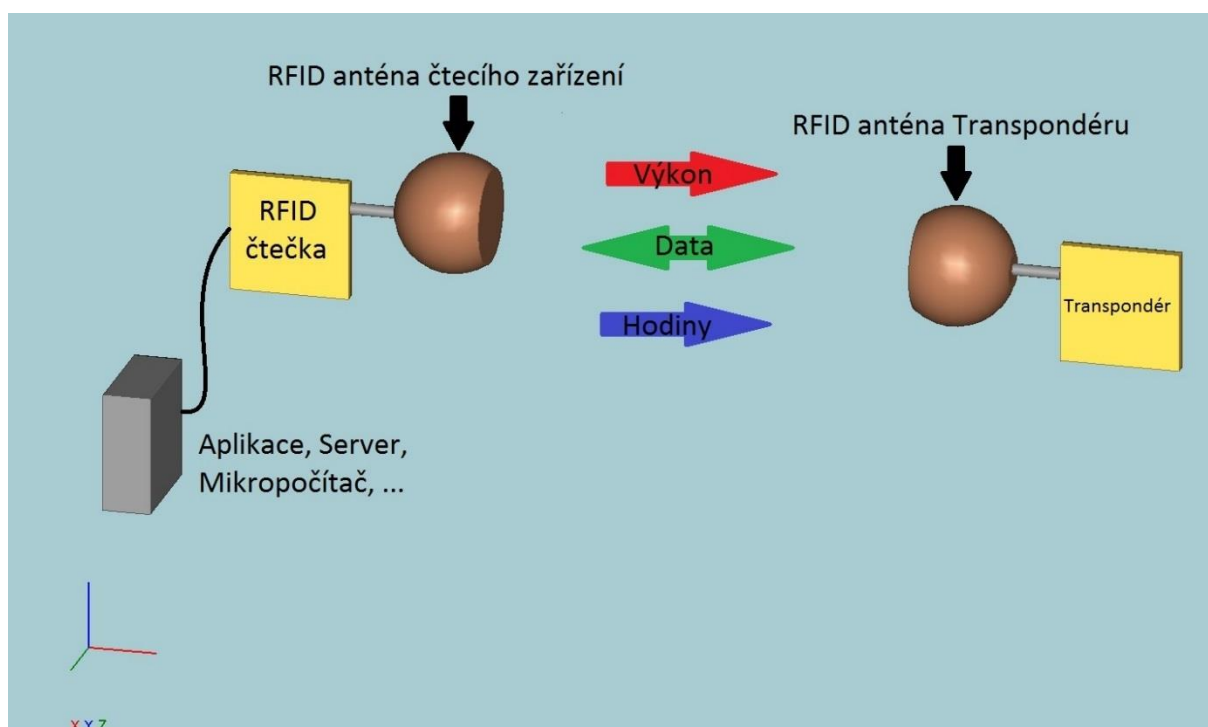
Tato práce se zabývá hlavně úrovní přijatého výkonu v závislosti na úhlu natočení identifikátoru. Pro tuto práci bylo zkonstruováno zařízení, které dokáže tento úhel měnit a průběžně měřit přijatý výkon. Pro polohovací systém byly zvoleny krokové motory. Krokové motory lze díky jejich vlastnostem použít pro velmi přesné polohování při relativně nízké pořizovací ceně. Byly zvoleny takové krokové motory, které mají v sobě zabudovanou převodovku, díky které mají vysoký přídržný moment.



2 Teorie radiofrekvenční identifikace

2.1 Základní princip RFID

Pro komunikaci pomocí RFID je potřeba dvou základních složek. Jednou složkou je Transpondér neboli RFID tag (dále jen „RFID tag“) a druhou složkou je RFID čtečka. RFID čtečka musí umět vyčíst informace z RFID tagu a některé mohou umět i zapisovat data do RFID tagu. Princip funkce pasivního RFID tagu je takový, že se vyšle radiofrekvenční signál, z kterého se zprvu využije jen vyslaná energie, díky které se nabije kondenzátor v RFID tagu a RFID tag začne být aktivní. V dalším kroku už je tag napájený a tím pádem umožní RFID čtečce vyčíst obsažená data ve své paměti. U aktivního RFID tagu je princip stejný, jen odpadá krok s nabitím kondenzátoru pro napájení celého systému RFID tagu, jelikož samotný RFID tag obsahuje akumulátor. Podrobněji jsou rozdíly mezi aktivním a pasivním tagem vysvětleny v kapitole 2.3.



Obrázek 2.1. Základní princip RFID:

2.2 Výhody RFID

Nejdůležitějšími výhodami radiofrekvenční identifikace jsou rychlost přenosu dat, množství načtených dat v jednom kroku, možnost identifikace objektu na větší vzdálenosti a i přímé viditelnosti a možnost přepisu uložené informace v RFID tagu.



2.3 Druhy RFID

Základní dělení RFID tagů je podle toho, jakým způsobem jsou napájené. Dělí se na aktivní a pasivní tagy.

Pasivní tag se uvádí v činnost přiložením k RFID čtečce, která vyzařuje do okolí energii, díky které se nabije kondenzátor v tagu a tím začne být tag aktivní a začne vysílat informace do okolí. Tento tag je výrobně jednodušší, levnější, má dlouhou životnost a čtecí vzdálenost je od cca 0,5 m do 10 m. Čtecí vzdálenost výrazně závisí na použitém kmitočtu, výkonu čtečky a jaký typ RFID tagu je použit, zda aktivní nebo pasivní RFID tag. V této práci se zabývám UHF RFID tagy. Frekvence těchto UHF RFID tagů je pro Evropu a Afriku 865 – 869 MHz, kde je čtecí vzdálenost od 3 m do 10 m. Tyto tagy jsou oblíbenější z důvodů nízké ceny a dlouhé životnosti. Mívají velikost paměti od 64 bitů do 256 bitů.

Aktivní tag je napájený baterií a vysílá údaje ze své paměti nepřetržitě. Má větší paměť, která může být až 100 kbit a větší čtecí vzdálenost, která může být řádově až stovky metrů. Aktivní tag má vyšší pořizovací cenu a také je u tohoto tagu dražší provoz než u pasivního tagu. Baterie má životnost okolo 1 až 5-ti let. Tyto tagy mají však nevýhodu právě v baterii, díky které je omezena jejich odolnost. Baterie má omezené rozmezí provozních teplot. Tyto RFID tagy se používají hlavně v oblastech, kde je potřeba čtení RFID tagů na větší vzdálenosti a tam, kde je možno RFID tagy využívat opakovaně.

Dále můžeme RFID dělit dle tříd:

Class 0 – pouze pro čtení, programování ve výrobě, 64 nebo 96 bit, čtení 1000 tagů/sec

Class 1 – zápis jednou/zápis mnohokrát, programováno při použití, 64 nebo 96 bit, čtení 200 tagů/sec

Class 0+ – čtení/zápis, programování kdykoliv, 256 bit, čtení 1000 tagů/sec

Class 2 – čtení/zápis, programování kdykoliv, 256 bit, čtení 1600 tagů/sec

Rozdělení RFID tagů dle použití:

RFID tagy mohou být rozděleny dle způsobu využití. Někdy potřebujeme RFID tag nalepit přímo na objekt a někdy vložit do objektu, kde vyžadujeme vyšší pevnost a menší pravděpodobnost poškození RFID tagu. Proto se dělí na typ Inlays (nalepí se dodatečně na objekt) a na RFID tagy zabudované neboli zapouzdřené (používají se při zabudování ihned při výrobě nebo v okamžiku, kdy je zapotřebí zvýšit odolnost antén od rušivého podkladu jako je kov, kdy oddálíme RFID tag od rušivého kovu) [1], [2].



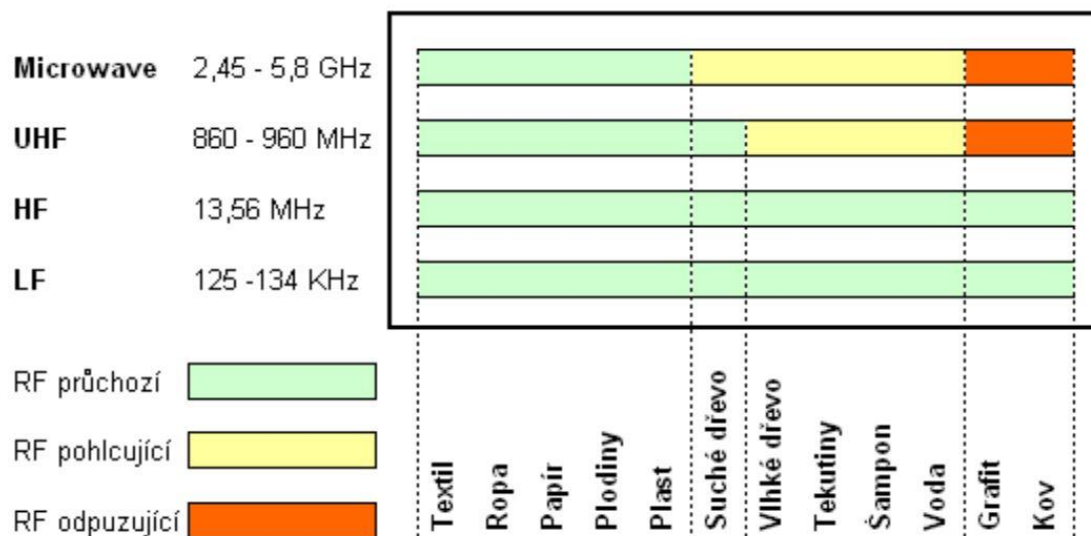
2.4 Jak se přenáší data

Čtecí část zařízení nepřetržitě a v periodicky opakujícím se ději vysílá do svého okolí elektromagnetickou vlnu na určité nosné frekvenci. Přiložením RFID tagu do aktivní vzdálenosti od čtecího zařízení aktivujeme RFID tag. RFID tag musí být pro správnou funkci naladěn na shodnou nosnou frekvenci, jako má čtecí zařízení, poté je tato vlna naindukována do RFID tagu přes vazební člen (anténu). V zařízení se tedy naindukuje napětí a toto napětí vyvolá střídavý proud. Tento proud je dále usměrněn a přiveden na kondenzátor v RFID tagu, který následně slouží pro uložení energie. Touto uloženou energií jsou dále napájeny všechny prvky, které jsou obsaženy v RFID tagu, včetně radiového obvodu a logických prvků. Napětí na kondenzátoru je ale neustále sledováno. Jakmile dojde k poklesu napětí na kondenzátorech, které je minimální přípustné pro napájení prvků v RFID tagu, zaktivují se řídicí obvody a začnou odesílat odpověď čtecímu zařízení. Komunikace mezi čtecím zařízením a RFID tagem je zpravidla zrealizována dvoustavovou modulací ASK (Amplitude Shifting Key). Modulace je realizována pomocí proměnné zakončovací impedance na anténě RFID tagu. Tato změna se fyzicky realizuje za pomoci zapojení antény a to tak, že jednou je plně přizpůsobena a jednou je zakončena nakrátko (zkratována). Modulací lze do RFID tagu číst a pokud to RFID tag umožňuje, dokážeme do něho i zapisovat. Vlny, které dopadnou na RFID tag, konkrétně na jeho anténu, jsou detekovány jako změna jejího nepřizpůsobení (změna impedance) [1], [3], [4].

2.5 Citlivost identifikátorů

Citlivost tagu je definována jako minimální dopadající výkon v poloze tagu, potřebný pro čtení nebo nahrávání dat [5].

Každý bezdrátový systém podléhá rušení jak od okolních bezdrátových systémů, tak od různých elektromagnetických polí vytvářených blízkými vodiči a podobně. Rušících prvků může být mnoho a někdy jsou špatně rozpoznatelné. U RFID zařízení to platí dvojnásob, jelikož se pohybují na vysokých frekvencích. Elektromagnetické vlny RFID nemohou proniknout přes různé kovy nebo přes různé příměsi kovů v ostatních materiálech. RFID systém bude negativně ovlivněn i přes průchody mokřými povrchy a mokřými předměty, nebo různými kapalinami. Největší problémy nastávají v okamžiku, kdy jsme na mikrovlnných frekvencích (Microwave), které jsou v rozmezí 2,45 – 5,8 GHz a na ultra krátkých vlnách (UHF – Ultra High Frequency), které jsou v rozmezí 860 – 960 MHz [1].



Obrázek 2.5. Interakce systému RFID se vzorovými materiály [1]

2.6 Kmitočtová pásma

V předchozí kapitole již bylo okrajově zmíněno, že existuje několik druhů RFID. Systémy RFID pracují na různých vlnových délkách. Hlavními rozdíly mezi jednotlivými frekvenčními pásmy jsou ve čtecí vzdálenosti, v přenosové rychlosti, ve vyzařené energii, v rychlosti čtení více počtu tagů, a tím pádem se různé vlnové délky hodí na odlišné aplikace technologie.

LF (Low Frequency) – Nízké kmitočty jsou v rozmezí 125 – 134 kHz, tato část přenosového pásma se hodí pro přenos informací na krátkou vzdálenost, asi do 20 cm. Využívá se například k identifikaci pivních sudů, k evidenci komponentů v továrnách během výroby, k evidenci domácích zvířat a podobně.

HF (High Frequency) - Vysoké kmitočty, 13,56 MHz, mají v tomto pásmu o něco vyšší čtecí vzdálenost než u nízkých kmitočtů, ale pořád jsme na čtecí vzdálenosti maximálně 1 m. Využívá se nejčastěji pro docházkový systém, elektronické peněženky, přístupové systémy a podobně.

UHF (Ultra High Frequency) – Velmi vysoké kmitočty, které jsou v rozmezí 860 – 960 MHz. Právě na tuto skupinu je zaměřena tato bakalářská práce. Na těchto frekvencích je možno číst až na vzdálenost jednotek metrů a díky této vlastnosti se nejvíce hodí pro průmyslové použití, jako je například identifikace zboží na rozměrných paletách nebo knihovní systém identifikace knih v policích a podobně. Toto kmitočtové pásmo má jako jediné přiděleny různé kmitočty v různých zemích. Například v Evropě je to 865,6 – 867,6 MHz, v Číně 920,5 – 924,5 MHz a 840,5 – 844,5 MHz a v USA a Kanadě je to 902 – 928 MHz. Celkový přehled frekvencí lze nalézt v mezinárodních normách [6].



MW (Microwave) – Mikrovlnné pásmo, pracuje v blízkosti frekvenčního pásma Wi-Fi, a to v pásmu 2,458 GHz. Zde je ještě větší čtecí vzdálenost než u UHF, ale velmi špatný výkon v přítomnosti kovu a tekutin. Využívá se například pro identifikaci vozidel a pohybujících se předmětů [2], [7], [8].

2.7 RFID tag

RFID tag neboli transpondér vznikl složením ze dvou anglických slovíček, a to transmit a response. Transmit znamená přenos a response znamená odpověď. Tento překlad vystihuje funkci RFID tagu neboli transpondéru doslova [1].

RFID tag může být pasivní nebo aktivní. V případě aktivního tagu obsahuje paměť informace, které do okolí vysílá nepřetržitě. Jakmile je tag pasivní, vysílá uložené informace do okolí až po přijetí energie od čtečky, kterou využije pro své napájení (detailně popsáno v kapitole 2. 4.) [3], [4].

Největší část tagu tvoří anténa. Obecně platí, že velikost antény je nepřímo úměrná využívané frekvenci.

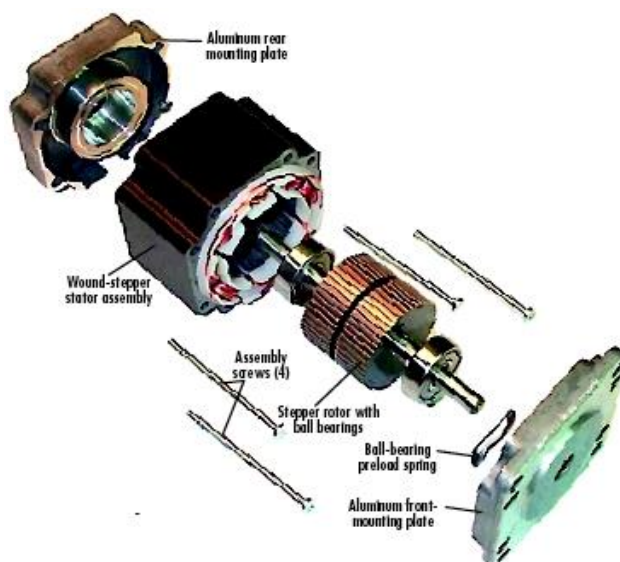


3 Teorie krokových motorů

3.1 Obecné vlastnosti krokových motorů

Krokové motory jsou velmi vhodné pro jednoduché polohování s možností ovládní různých zařízení, kde požadujeme vysokou přesnost a opakovatelnost pohybu. Krokový motor je speciální synchronní točivý motor, který napájíme impulzy stejnosměrného proudu. Tyto pulzy však mají za příčinu to, že krokový motor velmi vibruje, zahřívá se a v provozu je velmi hlasitý. Tyto nepříznivé vlastnosti vyrovná nízká pořizovací cena motoru, oproti jiným řešením, takže ve výsledku jsou tyto krokové motory vhodnější [9], [10], [11].

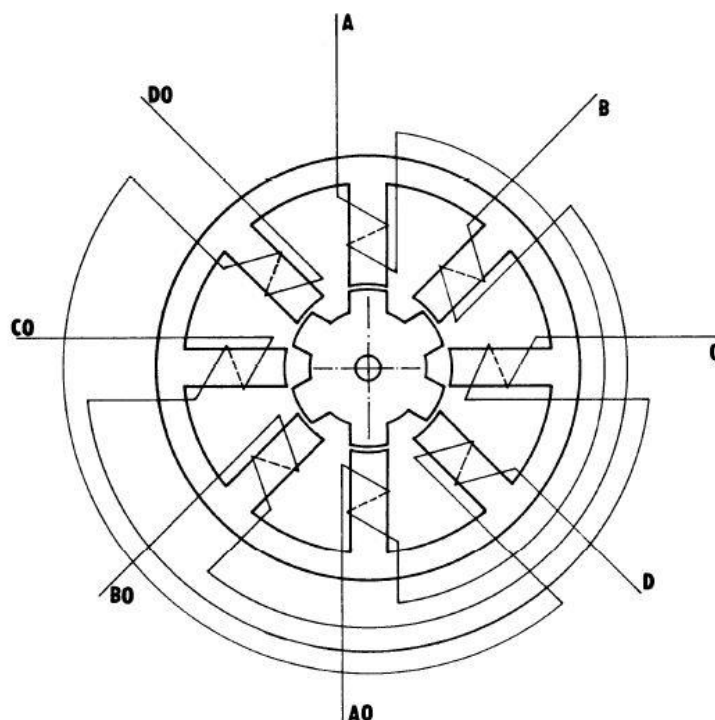
Většina krokových motorů má 2 cívky, které musí být pro správný chod zařízení řízeny elektronicky. Princip činnosti krokového motoru spočívá ve střídavém přepínání polarity napájecího stejnosměrného proudu [9].



Obrázek 3.1. Části krokového motoru [12]

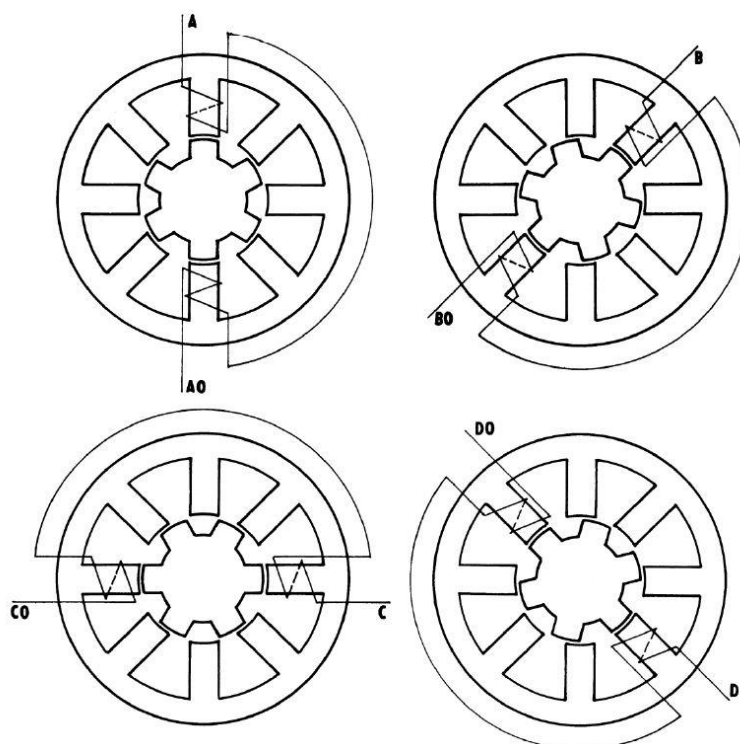
3.2 Princip funkce krokového motoru

Krokových motorů existuje celá řada. Jednoduché vysvětlení je na krokovém motoru s pasivním rotorem. Rotor je tvořen plechy nalisovanými na hřídeli. V ukázkovém případě má rotor směrem do vzduchové mezery 6 zubů bez vinutí a na statoru se nachází dvojice cívek navinutých na osmi pólech (zubech). Dvě protilehlé cívky tvoří jednu fázi. Jednotlivé fáze jsou označeny A, B, C a D. Tyto jednotlivé fáze jsou připojeny k výstupům výkonového zesilovače (driveru). Tento výkonový zesilovač zajišťuje spínání v určitém pořadí dle použitého druhu řízení. V ukázkovém případě je použito unipolární buzení fází. Proud tedy protéká jenom jedním směrem. Řez magnetickým obvodem je zobrazen na následujícím obrázku [13], [11].



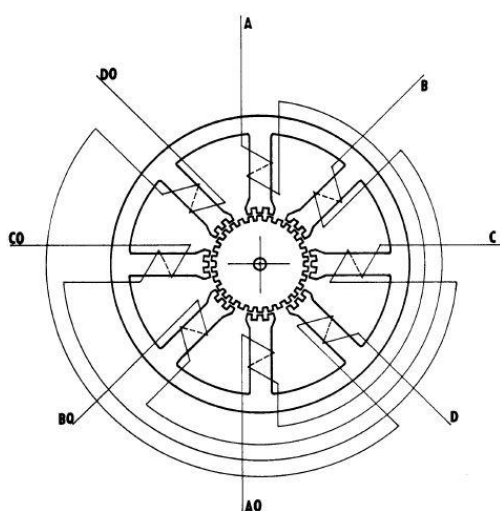
Obrázek 3. 2. 1. Magnetický obvod krokového motoru s pasivním rotorem [13]

Po připojení motoru se rotor nachází v náhodné poloze. Po zapnutí napájení driveru se nejméně jedna fáze motoru nabudí a vytvoří magnetické pole. U krokových motorů s pasivním rotorem se rotor natočí tak, aby výsledný magnetický odpor byl co nejmenší. V tomto případě tak, aby se nejbližší rotorové zuby srovnaly pod póly právě buzené fáze. Na následujícím obrázku jsou zobrazeny situace, kdy jsou sepnuté jednotlivé fáze. Na obrázku je vidět posun po pólech dál od aktuálně vybuzeného pólu, rotorové zuby se nekryjí se statorovými čím dál tím více. Také je z obrázku viditelné, že jednotlivé fáze se musí spínat postupně a nemohou tedy přeskočit z fáze A na fázi C. Při přehození sledu fází by se mohl točit krokový motor jakýmkoli směrem [13], [11].



Obrázek 3. 2. 2. Znáornění pohybu rotoru při přepínání fází [13]

Motor použitý pro vysvětlení základního principu má však relativně velkou velikost kroku. V tomto případě je to 15° . Ve většině aplikací je ale nutné dosáhnout jemnějšího kroku. Jemnějšího kroku dosáhneme drážkováním hlav pólů směrem do vzduchové mezery a také drážkováním na rotoru. Na následujícím obrázku je zobrazen magnetický obvod čtyřfázového krokového motoru s pasivním rotorem, kde na základě uspořádání hlav pólů a rotoru je minimální dosažitelný úhel natočení krokového motoru 3° .



Obrázek 3. 2. 3. Magnetický obvod motoru s jemnější velikostí kroku [13]



3.3 Definice pojmu krokového pohonu

V následující části jsou definice některých důležitých pojmů, které byly kompletně převzaty z publikace Krokové motory [13]:

Krokový pohon – je zařízení, které se skládá z ovladače (driveru) a krokového motoru, mezi nimiž je elektrické spojení.

Elektronický ovladač krokového motoru – je elektronický přístroj, který řídí pohyb a režimy chodu krokového motoru v závislosti na přivedené vstupní informaci. Hlavní částí ovladače jsou, zpravidla elektronický komutátor a výkonový spínací zesilovač. Další může být řídicí logika, jejíž rozsah je velice variabilní, závislý na konkrétním použití krokového pohonu.

Elektronický komutátor – je funkční část ovladače sestavená z elektronických obvodů, ve které se mění vstupní impulsní řídicí signál na sled cyklicky se opakujícího napětí na výstupech komutátoru. Výstupní signál komutátoru je nevýkonový. Pořadí kombinací napětí na výstupech komutátoru lze měnit v opačné pomoci elektrického reverzačního signálu. Tím se prakticky dosáhne změny smyslu otáčení krokového motoru.

Výkonový spínací zesilovač (driver) - je část ovladače, která výkonově zesiluje výstupní signál z elektronického komutátoru a přímo napájí vinutí krokového motoru, které je tak částí koncového obvodu výkonového spínacího obvodu.

Řídicí signál – je elektrický signál vhodného tvaru a polarity, přivedený k řídicímu vstupu ovladače.

Reverzační signál – je elektrický signál vhodného tvaru a polarity, přivedený k reverzačnímu vstupu ovladače.

Výstupní proud ovladače – je proud tekoucí obvodem výkonového spínacího zesilovače, v němž je zapojena jedna fáze vinutí krokového motoru.

Výstupní napětí ovladače – je napětí zdroje, kterým je napájen výkonový spínací zesilovač.

Krokový motor – je impulsně napájený motor, jehož pohyb je nespojitý a děje se po jednotlivých úsecích (krocích). K řízení krokového motoru slouží ovladač. Krok je pro každý krokový motor konstantou danou tvarem magnetického obvodu motoru.

Krok – je mechanická odezva krokového motoru (jeho rotoru) na jeden řídicí impuls, při níž rotor vykoná z výchozí magnetické klidové polohy do nejbližší magnetické klidové polohy.

Velikost kroku – je jmenovitý úhel, daný konstrukcí a způsobem ovládání motoru, který odpovídá změně polohy rotoru po zpracování jednoho řídicího impulsu, jestliže motor není zatížen. Značí se v α [°].

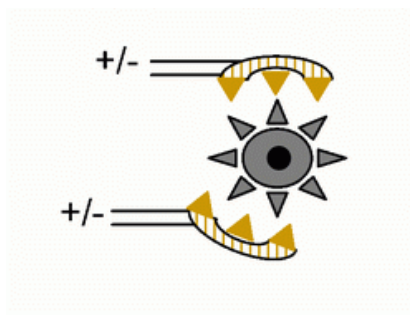


Magnetická klidová poloha – je poloha, kterou zaujímá rotor nabuzeného krokového motoru, jestliže je statický úhel zátěže roven nule. To znamená, že rotor je ideálně sesouhlasen s polohou statorového magnetického pole.

3.4 Druhy krokových motorů

Krokové motory se dělí hlavně podle konstrukce:

- Bipolární krokový motor – u tohoto druhu krokového motoru je stator tvořen 2 vnutími a rotor je tvořen permanentními magnety s póly (zuby), které se přitahují dalšími zuby, které se nacházejí na statorovém vinutí. Tento typ krokového motoru byl použit i v této bakalářské práci a je možné jej poznat podle toho, že na rozdíl od unipolárního krokového motoru umožní chod vpřed i vzad [10].



Obrázek 3.1. Bipolární krokový motor - statorového vinutí a rotor [10]

- Unipolární krokový motor – je tvořen 6 vodiči, vně zařízení už jsou jen 4 vodiče, protože mají jeden společný vodič, neumožňuje zpětný chod [10]

3.5 Způsob ovládání

Ovládání krokového motoru je poněkud složitější, neobejde se bez ovladače zvaného driver. Tento driver ovládá spínání jednotlivých cívek, které se nacházejí na krokovém motoru. Správný sled spínání jednotlivých fází rozpojuje motor. Pokud otočíme sled fází, motor se začne točit na druhou stranu.

V této konstrukci byl použit driver krokového motoru DRV 8825, který má na sobě potenciometr, kterým dokážeme ještě doladit proud dodávaný na cívku do krokového motoru a tím ovlivnit rychlost otáčení motoru. Tyto drivery jsou primárně určeny pro 3D tiskárny otevřené platformy RepRap. Zvoleny byly, protože jsou ověřené a je to otevřená platforma. Je k dispozici velké množství volně šiřitelných dokumentací k zapojení a použití v nejrůznějších aplikacích. K těmto driverům existoval i návrh desky. Ta se dá zapojit přímo do Arduina, které bylo zvoleno jako řídicí mikroprocesor. Tato nastavbová deska byla navržena tak, aby nezpůsobovala rušení do okolní elektroniky. Jelikož se krokový motor vyznačuje přerušovaným trhavým pohybem, má tedy tato nastavbová deska funkci tlumení vibrací krokového motoru.



4 Indukční senzory

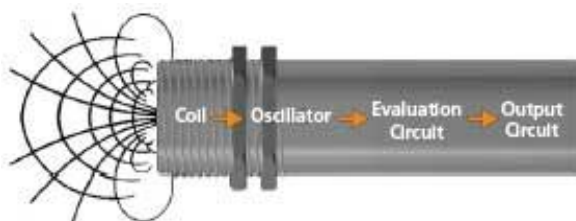
4.1 Indukční senzor z pohledu historie a vývoje

Indukční senzor byl vyvinut asi před padesáti lety Waltrem Pepperlem a Wilfriedem Gehlem ze společnosti BASF. Tito pánové chtěli nahradit mechanické koncové spínače, které byly nespolehlivé, měly relativně malou životnost a někdy bylo zapotřebí větších spínacích proudů. Tito pánové na počátku dostali zadání, že musí vyvinout odolné zařízení, které bude spolehlivě pracovat po několik tisíc spínacích cyklů a při malých spínacích proudech, a bude vhodné pro velmi agresivní a výbušné provozy v chemickém průmyslu. Tento krok vývoje bezkontaktního spínání byl významnou revolucí, přínosem a ohromně ovlivnil následný vývoj v elektrotechnice [14].

4.2 Princip indukčního senzoru

Indukční snímač pracuje na principu změny činitele jakosti jádra Q při přiblížení elektricky vodivého materiálu. V okamžiku, kdy tato změna nastane, nastává útlum kmitů oscilátoru a oscilátor přestává kmitat. Vysazení kmitů oscilátoru vyhodnotí prahový detektor, který řídí klopný obvod ovládající výkonový koncový stupeň. Odstraníme-li elektricky vodivý materiál ze spínací zóny senzoru, dochází k opětovnému kmitání oscilátoru a klopný obvod tedy vypne [15].

Indukční senzor je tvořen cívkou, která je doplněna kondenzátorem a společně vytvářejí paralelní rezonanční obvod, který vytváří oscilátor. Oscilátor generuje vysokofrekvenční střídavý proud a ten protéká cívkou a vytváří magnetické pole. Toto magnetické pole vystupuje do aktivní plochy senzoru (část reagující na elektricky vodivé materiály). Vložíme-li do této části elektricky vodivý materiál, dojde vlivem vzájemné indukčnosti ke změně impedance a tím pádem k deformaci magnetického pole. Vzájemná indukčnost, respektive impedance, se výrazně mění až ve velmi malých vzdálenostech mezi cívkou a elektricky vodivým materiálem (jednotek až desítek mm) [15].



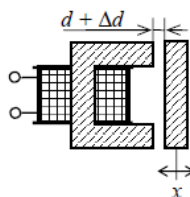
Obrázek 4. 2. Řazení bloků uvnitř běžného indukčního snímače [15]

4.3 Druhy použití a mechanická konstrukce

Jak již bylo zmíněno, indukční senzory pracují na změně vlastní či vzájemné indukčnosti. Změny tedy lze dosáhnout dvěma druhy mechanických uspořádání.

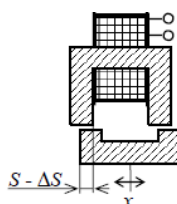


- a) Změny indukčnosti lze dosáhnout změnou vzduchové mezery



Obrázek 4. 3. 1. Změna indukčnosti pomocí změny vzduchové mezery [16]

- b) Změny indukčnosti lze dosáhnout změnou její aktivní plochy



Obrázek 4. 3. 1. Změna indukčnosti pomocí změny aktivní plochy [16]

Senzory mohou být realizovány v různých konstrukčních řešeních. Příklady konstrukčních řešení jsou na následujícím obrázku:

Indukčnostní senzory - realizace



snímače s pouzdry z plastů
(vazební - flush device)



snímače s pouzdry z kovu
(nevazební - Non-flush device)



senzor s upevňovacím závitem



senzor bez závitu - hladké

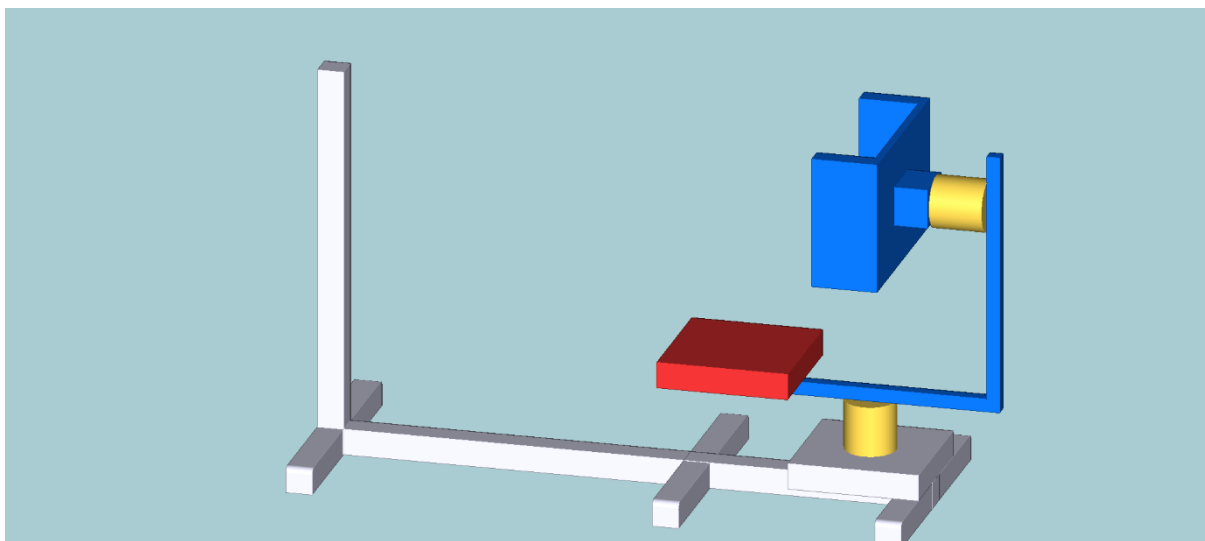
Obrázek 4. 3. 1. Indukční senzory – realizace [16]



5 Mechanická část konstrukce zařízení

5.1 Zvolení tvaru a materiálu konstrukce

Nejprve bylo nutné zvolit tvar konstrukce. Jelikož chceme změnit vyzářovací charakteristiku RFID tagu, potřebujeme tedy rotovat měřený objekt ve dvou osách X a Y. V první fázi byl vytvořen prvotní návrh zařízení.



Obrázek 5.1. Prvotní návrh konstrukce zařízení

Následně bylo potřeba zvolit materiál, který by byl frekvenčně neutrální, a tedy neovlivňoval měřené frekvenční pásmo UHF RFID. Navrhována byla konstrukce ze dřeva nebo z plastových lišt. U dřevěné konstrukce nastal problém ve spojové technologii, kdy by nebylo možné spojit všechny části pouze lepením, a tedy frekvenčně neutrálními materiály. Plastové lišty by se daly spojit lepidlem, které by bylo frekvenčně neutrální, ale chyběla by potřebná pevnost. Nakonec byla zvolena technologie skládání konstrukce z částí plexiskla.

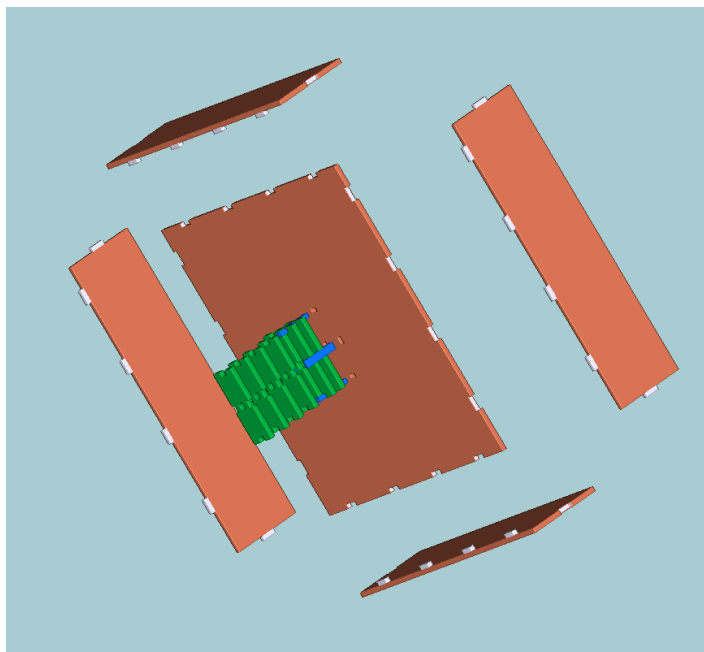
5.2 Vytvoření konstrukce

Z plexiskla byly vypáleny za pomoci CNC (Computer Numeric Control) laseru jednotlivé díly, které byly postupně spojovány do sebe a zalepeny speciální lepicí směsí na plexisklo. Prvotní návrh konstrukce musel být tedy pozměněn a musel být rozdělen na jednotlivé konstrukční části. Každá část musela být vytvořena a vymodelována v 3D měřítku zvlášť. Dále se vyexportoval pouze půdorys částí do 2D výkresu. Jednotlivé díly byly poskládány v potřebných počtech na jednu stránku a byly odeslány na CNC laser. Tento laser si převedl 2D náčrty na souřadnice a díky těmto souřadnicím postupně vše do plexiskla vypálil.

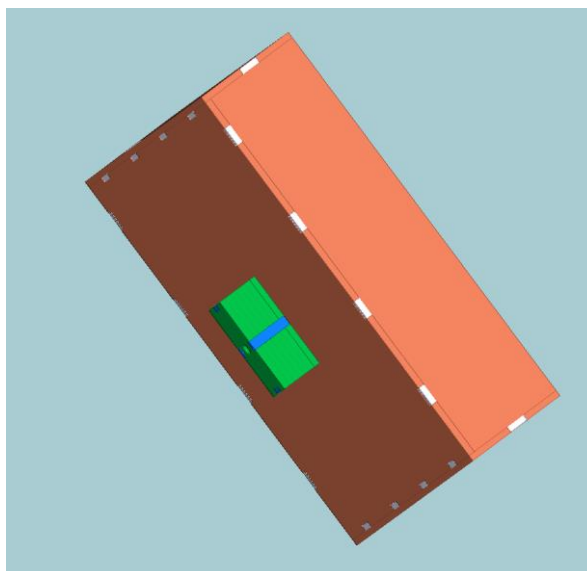
Po získání jednotlivých částí bylo potřeba tyto části poskládat do sebe. Jelikož plexisklo nedrželo pouze zasunutím vytvořených zámečků, které do sebe zapadly, muselo být plexisklo naleptáno a tím slepeny jednotlivé části k sobě. K naleptání plexiskla byla vytvořena speciální



směs Toluenu a pilin plexiskla. Pro lepší spojení jednotlivých částí byl raději zdrsňený povrch zámečků pilníkem. Na následujících dvou obrázcích je znázorněn postup skládání konstrukce.

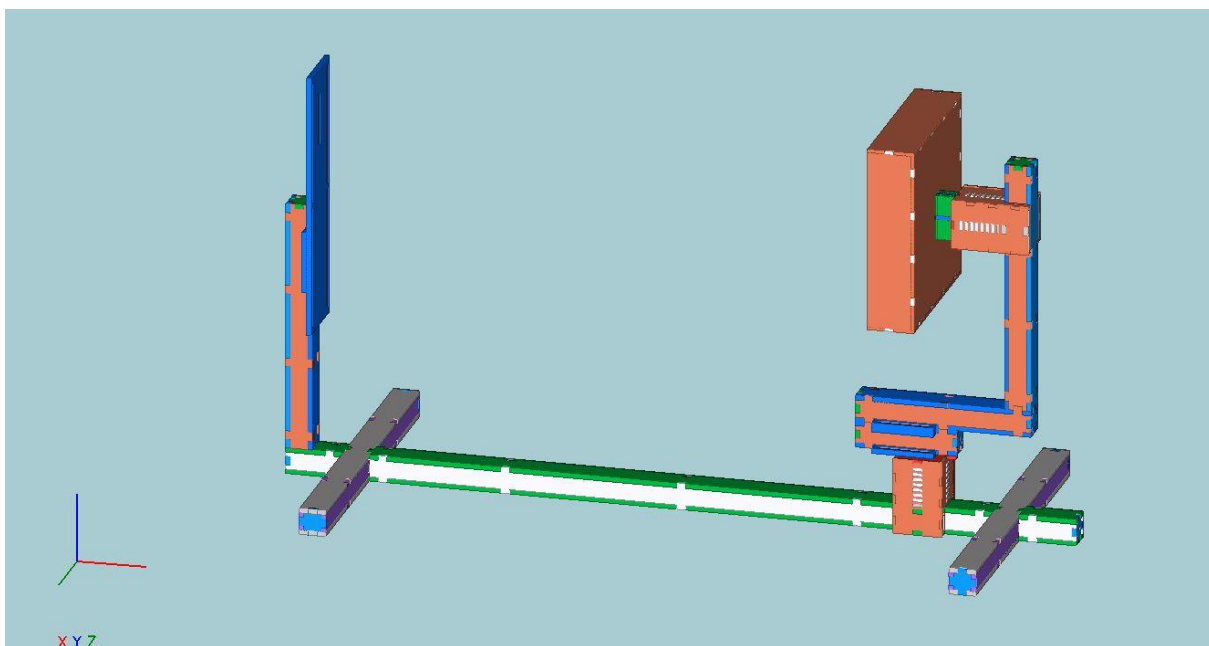


Obrázek 5. 2. 1. Jednotlivé části před složením a slepením



Obrázek 5.2.2. Jednotlivé části po složení a slepení konstrukce

Tímto způsobem byla poskládána celá konstrukce. U mechanicky více namáhaných částí bylo slepení jednotlivých částí podpořeno zalepením tavnou pistolí na plast. Na následujícím obrázku je finální návrh složeného zařízení, kde jsou vidět jednotlivé části, ze kterých je konstrukce vytvořena.



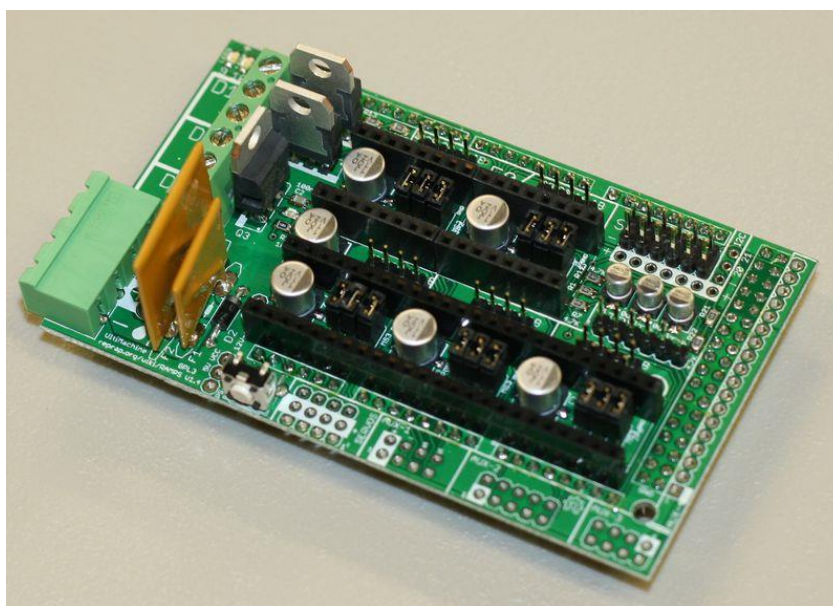
Obrázek 5.2.3. Konečný návrh složeného zařízení



6 Komponenty pro řízení zařízení

Nejprve byla vybrána všechna potřebná elektronika. V první řadě bylo zapotřebí zvolit správné krokové motory. Pro tuto konstrukci bylo zapotřebí vysokého přídržného momentu, nízké hmotnosti, jemného kroku a neméně důležité bylo zohlednit množství vyzařeného tepla. Byly zvoleny dva krokové motory od firmy Times Brilliant, které mají zabudovanou převodovku o poměru převodu 1:50 a odebíraný proud je cca 0,4 A.

V okamžiku, kdy byl vybrán krokový motor, bylo zapotřebí vybrat podpůrnou elektroniku pro řízení motorů. Nejdříve byl zvolen dostatečný výkonový výstupní zesilovač (driver). Byl zvolen driver, který je primárně určený pro 3D tiskárny. Výhodou tohoto driveru je, že je navržen pro otevřenou a volně šiřitelnou platformu (Open Source) RepRap a díky tomu jsou všude volně dostupné informace, například schémata plošných spojů, ukázkové příklady jak se zařízením pracovat a mnoho dalších informací. Další výhodou byla předpřipravená deska, která byla navržena pro osazení driverů do mikrokontroléru Arduina Mega 2560. Deska se jmenuje RAMPS a prošla od první verze různými zdokonaleními. Tato deska má i spoustu podpůrných částí obvodů pro lepší a jemnější chod krokových motorů. V této práci byla konkrétně použita deska RAMPS ve verzi 1.4, která je v současné době nejaktuálnější.



Obrázek 6.1.1. RAMPS 1.4 [17]

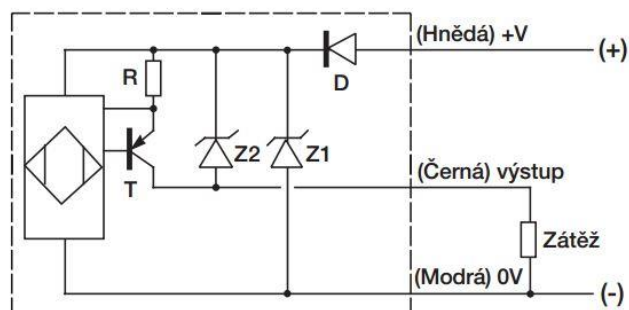
Jelikož byla tato deska primárně určena pro připojení k mikrokontroléru Arduino Mega 2560, který je taktéž licencovaný ve formě Open Source, byl použit i tento mikrokontrolér.



Obrázek 6.1.2. Arduino Megga 2560 [18]

Dále bylo zapotřebí předpřipravit zařízení tak, aby při každém spuštění do jedné určité výchozí polohy byly splněny stejné výchozí podmínky při každém měření. Zde bylo mnoho návrhů, jakým způsobem určit aktuální polohu natočení zařízení. Krokové motory mají konstantní úhel natočení při jednom kroku. Díky těmto vlastnostem stačí pro sledování polohy pouze jeden výchozí bod. Jedním z návrhů byla optická závora. U tohoto senzoru by mohlo ale dojít ke znečištění odrazové plochy nebo plochy přímo na senzoru. Vhodnějším se zdál návrh optického snímače polohy. Tento snímač ale bohužel potřebuje druhý aktivní prvek, ke kterému by bylo složité přivést přes rotující části napájení a také hrozilo zašpinění senzoru. Dalším návrhem bylo připevnit potenciometr ke hřídeli krokového motoru a na základě velikosti odporu odečítat úhel natočení. Tento způsob byl však vyhodnocen jako konstrukčně nespílitelný a nepřesný. Nejlepším možným senzorem pro tuto funkci byl vyhodnocen indukční senzor, ke kterému je nalepený na protějším pohyblivém dílu elektricky vodivý materiál. Při výběru musel být použit dražší indukční senzor, protože většina běžně používaných indukčních senzorů je rozměrově nevyhovující pro naši konstrukci. Běžné indukční senzory se pohybují v rozmezí velikosti závitu pouzdra okolo M30. Pouze málo indukčních senzorů bylo menších. Nakonec byl ale zvolen indukční senzor EI0501PPOS, který je umístěn v pouzdře o velikosti závitu M5x27. Tento senzor obsahuje PNP tranzistor, a proto bylo použito doporučené zapojení pro indukční senzor, které je na následujícím obrázku.

PNP - 3 vodič



Obrázek 6.1.3. Doporučené zapojení PNP indukční senzor [19]



Indukční senzor je napájený napětím 12 V, a tedy i na jeho výstupu při sepnutí je napětí 12 V. Mikrokontrolér Arduino má ale omezené vstupní napětí, takže byl za výstup zařazen stabilizátor napětí na 5 V, které Arduino vyžaduje. Jako každý senzor, tak i tento produkuje malý proud při sepnutí a díky tomuto mohl být použit nejlevnější lineární regulátor napětí na 5 V a proud 1 A. Konkrétně byl použit stabilizátor napětí typu KEC 7805 TO220F.

Všechny tyto prvky byly pro zvýšení odolnosti a zlepšení přehlednosti umístěny do instalační krabice. Na boku instalační krabice jsou instalovány 3 konektory typu RS232. Na jeden konektor je připojen krokový motor s indukčním senzorem pro osu otáčení X, na druhý je taktéž připojený krokový motor a indukční senzor, ale pro osu Y. Třetí konektor slouží pro komunikaci pomocí SPI (Serial Peripheral Interface) sběrnice s RFID čtečkou vyvíjenou na ČVUT, fakultě elektrotechnické v rámci projektu EUREKA. EUREKA je projekt podporující nadnárodní spolupráci mezi průmyslovými podniky, výzkumnými ústavami a vysokými školami. Tato konstrukce je vlastně rozšiřujícím příslušenstvím pro tuto vyvíjenou RFID čtečku. Dále se na instalační krabici nachází už jen napájecí konektor.



7 Komunikace pomocí sběrnice SPI

Externí sériová sběrnice označovaná SPI (Serial Peripheral Interface) se hojně využívá v mnoha digitálních zařízeních včetně osobních počítačů. Ve velké míře se tato sběrnice využívá i pro Textové LCD displeje. Velká výhodou této sběrnice je v jednoduchosti hardwarové implementace a i v programové jednoduchosti. V nejjednodušší aplikaci může přijímací stranu představovat obyčejný posuvný registr. Součástka dostupná i v původní řadě číslicových obvodů 7400. Tato sběrnice dokáže komunikovat mezi dvěma či více zařízeními. Komunikace na rozhraní SPI dosahuje až 70 MHz. Největší odlišností od ostatních komunikačních protokolů je hodinový signál rozvedený do všech připojených zařízení (uzlů) [20].

7.1 Vlastnosti sběrnice SPI

Tento typ komunikace pracuje na bázi vedoucího provozu tzv. Master a podřízeného provozu tzv. Slave. Master vysílá do všech ostatních zařízení hodinový signál označovaný SCK. Uzly mezi jednotlivými zařízeními jsou také propojeny vodiči označovanými MISO (Master In, Slave Out), MOSI (Master Out, Slave In), pomocí nichž se obousměrně (full duplex) přenáší data. Posledním neméně důležitým signálem je SSEL (Slave Select), pomocí kterého se určuje, se kterým ze Slave zařízení může v tento daný okamžik komunikovat. [20], [21]

7.2 Klady a zápory sběrnice SPI

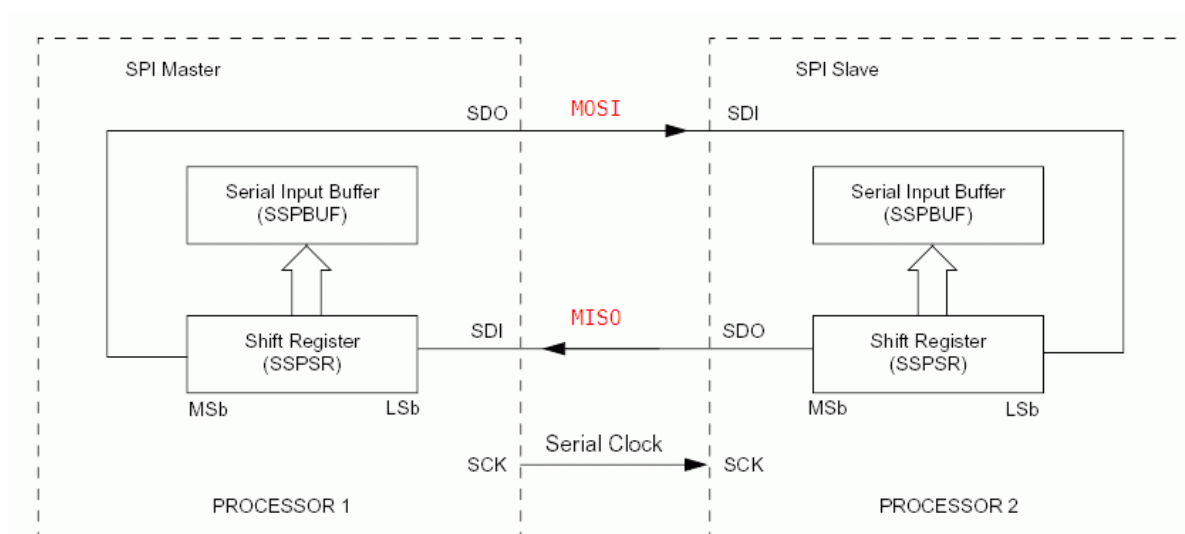
Největší předností SPI sběrnice je pravděpodobně již zmíněná jednoduchost a tím pádem i jednoduchá implementace do nejrůznějších zařízení. Další velkou výhodou je zpětná kompatibilita s TTL (Transistor-transistor logic) logikou. Při velkém zjednodušení je totiž SPI komunikace jen několik navzájem propojených posuvných registrů a posuv je řízen hodinovým signálem. Jelikož je přenos v každém směru uskutečněn po samotném vodiči, tak výhodou je nepotřebné řízení přepínání mezi vysíláním a přijímáním. Tato funkce ale nese i nevýhodu, a to, že musíme mít dva vodiče pro komunikaci. Díky dvouvodičové komunikaci máme ale vysokou přenosovou rychlost, kterou můžeme označit jako velkou výhodou [20], [21].

Mezi nevýhody můžeme zařadit například existenci pouze jednoho vedoucího zařízení (Master), po jeho výpadku nebo odpojení dochází ke ztrátě možnosti komunikace. SPI komunikace nabízí možnost tzv. Multiple master, ale to již vyžaduje použití složitějšího přenosového protokolu a tím se nám vytratí jednoduchost celého řešení. Asi největší nevýhodou pro komunikaci prostřednictvím SPI sběrnice je omezená vzdálenost komunikace. Omezená vzdálenost je zapříčiněna nutností synchronizace na hodinový signál, který po určité vzdálenosti na vedení ztrácí svůj tvar a je tedy nemožné zesynchronizovat signál na jeho náběžnou hranu, která už není rozeznatelná. S problematikou dlouhého vedení souvisí problém v přenášených datech, u kterých pro správnou činnost potřebujeme přibližně shodné zpoždění mezi jednotlivými účastníky [20], [21].



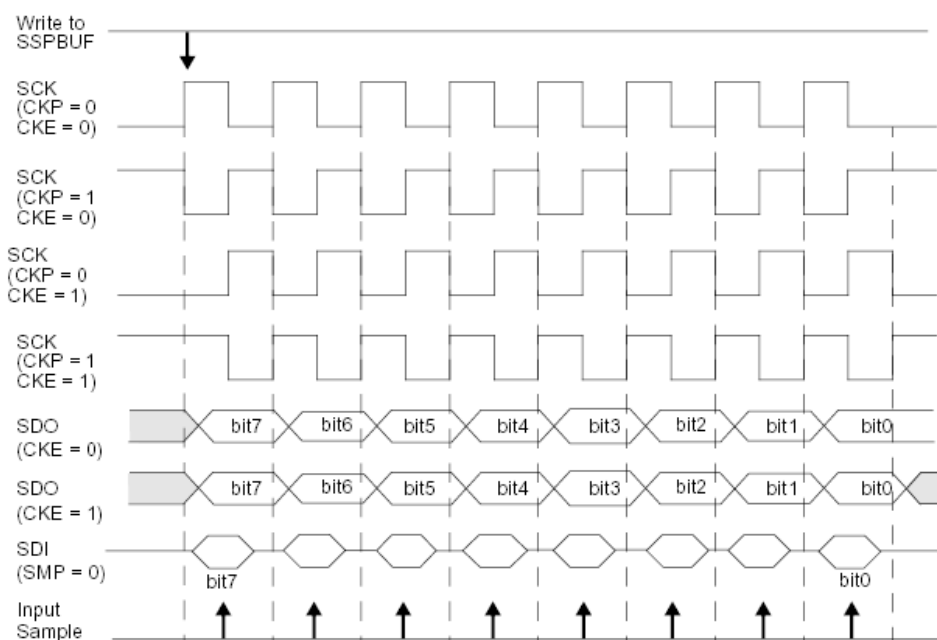
7.3 Princip komunikace po sběrnici SPI

Pro vysvětlení principu je vhodné popsat nejjednodušší možný typ komunikace mezi dvěma uzly. Pro jednoduchost bude každý uzel obsahovat datový záchytný registr (Serial Input Buffer) a posuvný registr (Shift Register). Do posuvného registru je zapsán bajt (celá osmice bitů), který byl korektně přijat, ale v tuto chvíli ještě nebyl zpracován. Tento registr tedy slouží jako jedno prvková fronta zabezpečující, že se vysunutý bit pošle na pin MOSI a naopak logická hodnota přečtená na pinu MISO je zapsána do nejnižšího bitu posuvného registru. Jeden z uzlů pracuje jako master, druhý jako slave. Vysílání i příjem jednoho bitu je tedy nedělitelná operace, která vždy proběhne ve stejný okamžik [20].



Obrázek 7.3.1. Blokové schéma komunikačního řetězce protokolu SPI [20]

Uzel pracující v režimu master generuje hodinové impulzy, které jsou posílány po vodiči SCK (hodiny). Pomocí hodinových pulsů je prováděna synchronizace vysílání i příjmu dat, to znamená dobu, ve které dochází ke změně posuvných registrů. U většiny zařízení je možné nakonfigurovat polaritu hodin i to, zda se má posun provést při sestupné či vzestupné hraně hodinového signálu. Čtyři možné tvary hodinového signálu jsou zobrazeny na následujícím obrázku. Konfiguračním bitem CKP je určena polarita hodinového signálu, tj. především jeho klidová úroveň (idle), která představuje stav, kdy se neprovádí vysílání dat. Naproti tomu konfigurační bit CKE určuje, zda se platná data, tj. doba, ve které dochází k posunu v posuvném registru, oznamují vzestupnou či sestupnou hranou hodinového signálu (pro CKP=1 je signál invertován a tím dochází i k otočení smyslu hrany). Zmínit je nutné i fakt, že k vysílání i příjmu dat dochází vždy až po ustálení obou datových vodičů (MISO i MOSI), tj. uprostřed bitového intervalu [20].



Obrázek 7.3.2. Čtyři druhy způsobu synchronizace přenášených dat hodinovým signálem [20]

7.4 SPI a Arduino

Arduino má v sobě přímo zaimplementovanou knihovnu pro komunikaci pomocí SPI sběrnice. Všechny vyráběné mikrokontroléry od italského výrobce Arduino mají výstupní piny pro komunikaci pomocí SPI sběrnice přímo definované. V následující tabulce jsou udána čísla pinů, na kterých se nachází jednotlivé piny sběrnice SPI. Tabulka je přehledně rozdělena dle jednotlivých typů mikrokontrolérů Arduino.

Arduino Board	MOSI	MISO	SCK	SS (slave)	SS (master)
Uno or Duemilanove	11 or ICSP-4	12 or ICSP-1	13 or ICSP-3	10	-
Mega1280 or Mega2560	51 or ICSP-4	50 or ICSP-1	52 or ICSP-3	53	-
Leonardo	ICSP-4	ICSP-1	ICSP-3	-	-
Due	ICSP-4	ICSP-1	ICSP-3	-	4, 10, 52

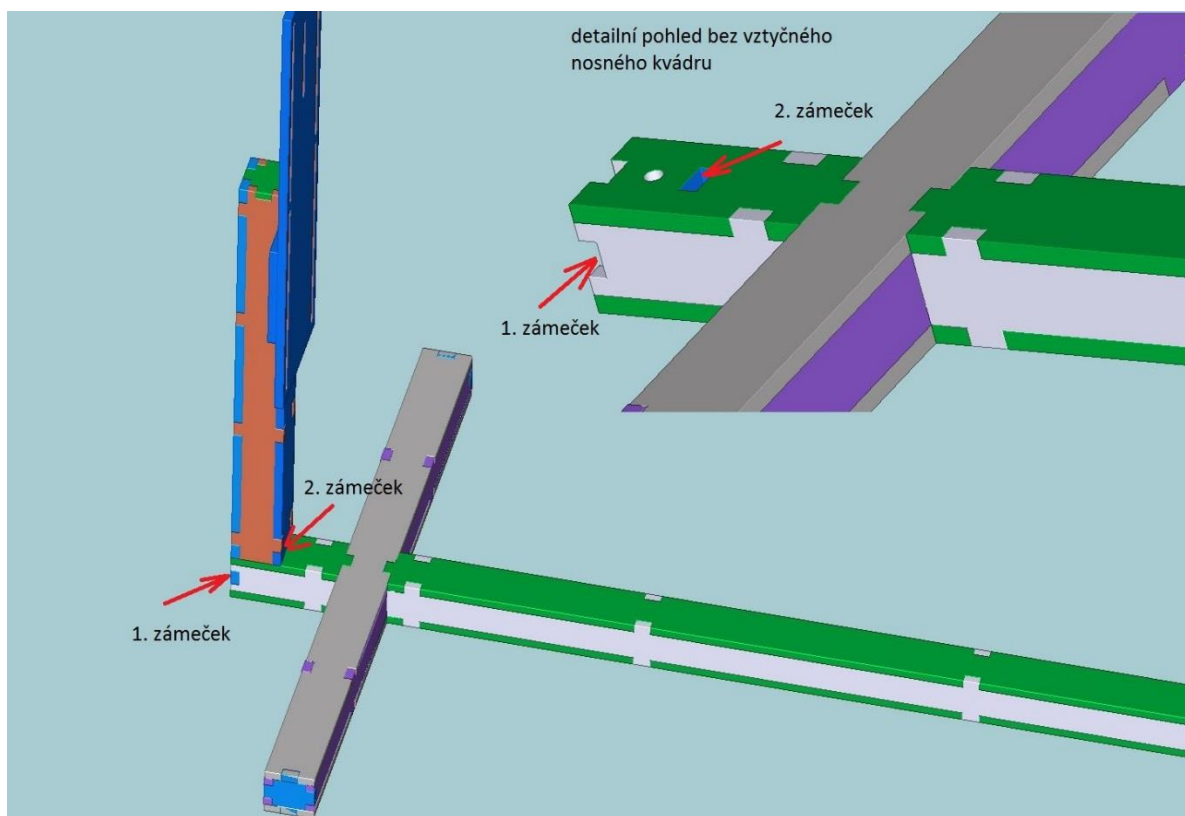
Obrázek 7.3.3. Definice čísel pinů různých mikrokontrolérů Arduino [21]



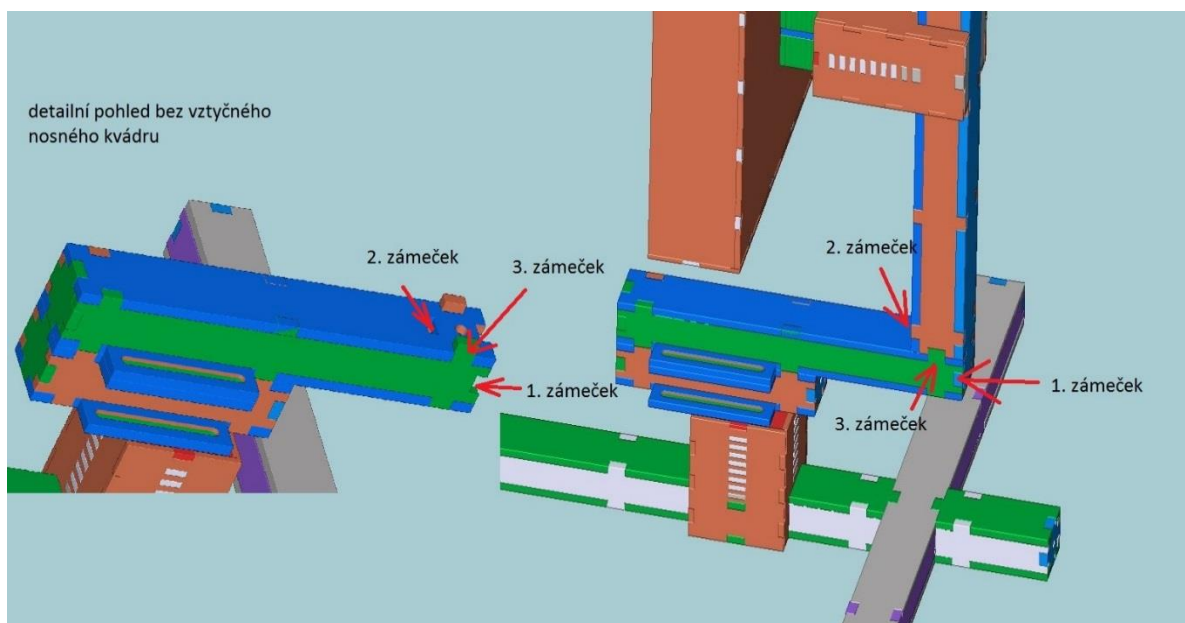
8 Zhodnocení

Výroba konstrukce byla velmi náročná. Z počátku bylo nutné nejprve ověřit, zda bude vůbec možný tento výrobní postup. Byla tedy nejprve vytvořena nejjednodušší část zařízení, kterou byl držák měřeného předmětu. Jednotlivé části držáku měřeného předmětu byly nakresleny ve 3D a následně byl jejich půdorys vyexportován do 2D roviny. Ze všech částí byl vytvořen PDF dokument, který byl příslušně okótován a odeslán do výroby. Ve výrobě byl tento dokument odeslán na CNC laserovou frézu, která následně jednotlivé části vypálila do plexiskla. Z plexiskla vznikla stavebnice, kterou bylo třeba poskládat dohromady. Jednotlivé části byly spojeny speciálním lepidlem vytvořeným z Toluenu a pilin plexiskla. Ve výrobě mi bylo doporučeno pro bezproblémové spasování jednotlivých částí do sebe, odebrat z každého vytvořeného zámečku na plexiskle 0,2 mm. Tato hodnota byla odebrána a po experimentální výrobě bylo zjištěno, že tato rada byla správná a jednotlivé části do sebe bez problému zapadly. Laser bohužel vytvářel tak čistý a hladký řez, že speciální lepidlo špatně naleptávalo jednotlivé hrany plexiskla, a tím pádem se jednotlivé části obtížně spojovaly k sobě. V následující experimentální části zasláné do výroby proto tato hodnota 0,2 mm nebyla odebrána. Následně po vyrobení byly hrany plexiskla zbrušeny hrubým pilníkem a díky této dodatečné úpravě povrchu plexiskla se toto snadněji naleptalo lepidlem a následně jednotlivé spoje držely lépe.

Jedním z problémů, které se projevily při experimentální konstrukci, je chybné navržení umístění zámečků na vztyčeném nosném kvádru měřicí RFID antény. Zde byl zvolen nedostačující počet zámečků zapadajících do sebe. Díky tomu bylo rameno pružné a mírně se ohýbalo. Tuto vadu jsem odstranil dodatečným zalepením konstrukce pomocí tavné pistole na plastové kapsle. Z této chyby jsem se poučil a shodně řešený vztyčený nosný kvádr na protější straně byl doplněn o další dva plastové zámečky, které výborně zpevnily konstrukci. Na následující stránce přikládám náhledy do 3D výkresu pro upřesnění. Na prvním obrázku je vidět nedostatečný počet zámečků vytvořených pro vynesení pevnosti konstrukce. Je zde uveden i detail pohledu se zneviditelněným vztyčným kvádrem. Na druhém obrázku je již opravené spasování dvou částí dohromady. Zde je taktéž vidět i v detailu, kde je navíc umístěný zámeček.



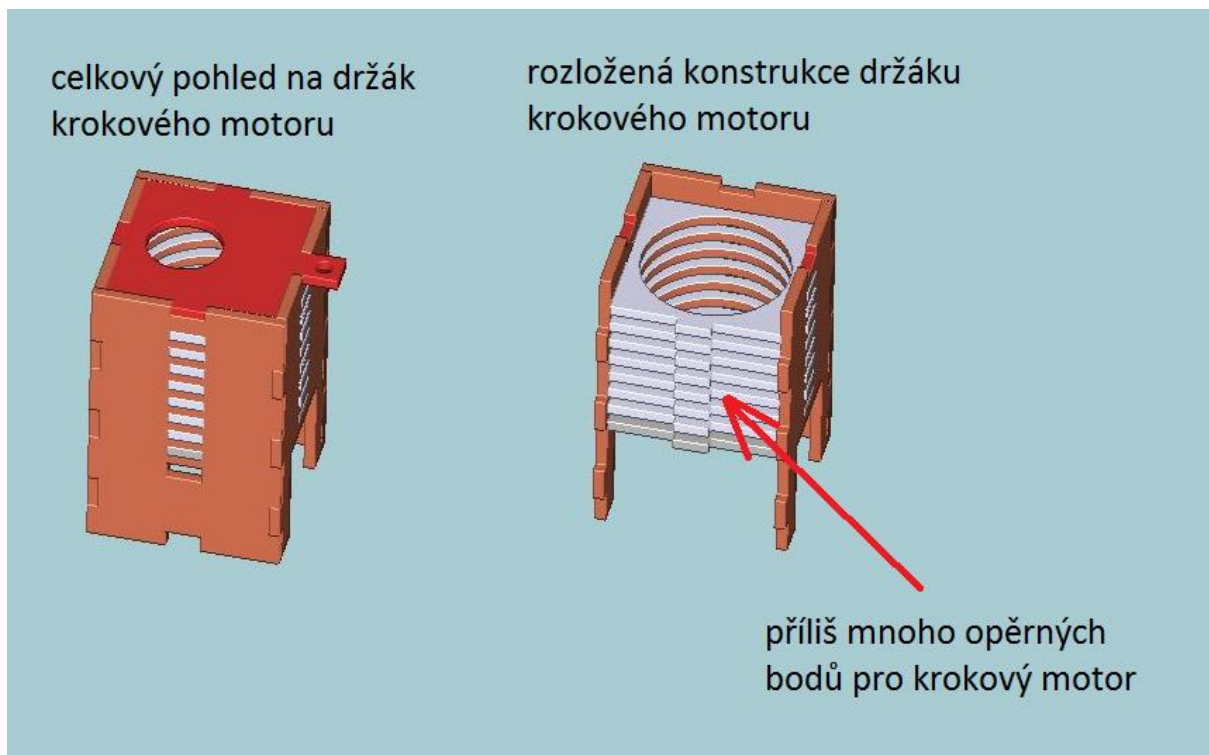
Obrázek 8.1.1. Nedostačující zámečky na konstrukci



Obrázek 8.1.2. Dostačující zámečky na konstrukci



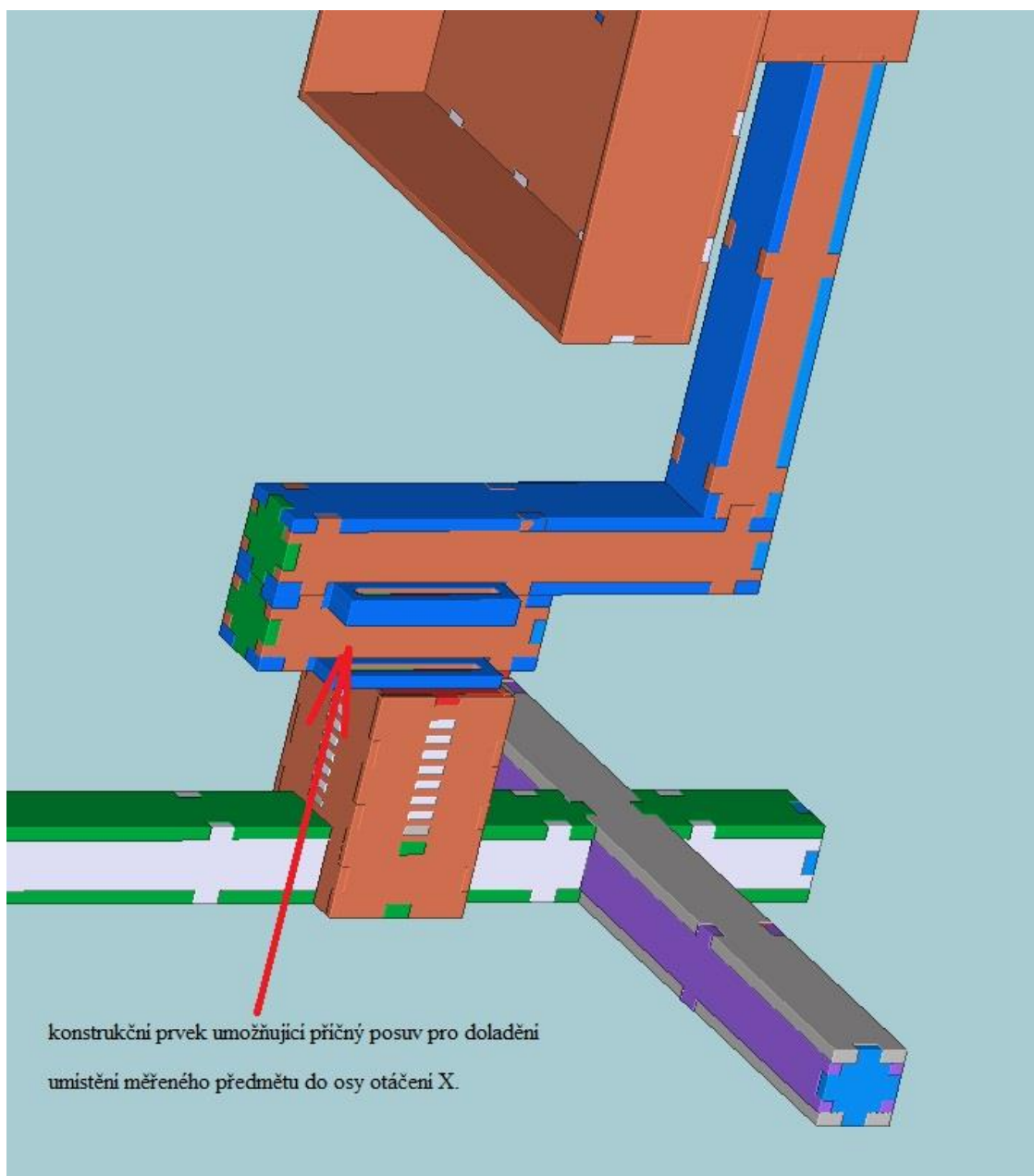
Problémy se vyskytly i u upevnění krokových motorů. Původně bylo zamýšleno, že budou vyměnitelné. Bohužel, zde bylo použito příliš mnoho opěrných bodů pro krokové motory a díky tomu se nedají jednoduše vyměnit. Při opravě zařízení nebo při opakované výrobě bych volil pouze opěrný bod nahoře, který by se vyrobil ze silnějšího plexiskla a byly by do něho vyfrézovány dírký na šrouby, kterými by se krokové motory upevnily.



Obrázek 8.1.3. Konstrukce držáků na krokové motory

Na hřídel krokového motoru pohybujícího se v ose X bylo umístěno celkem robustní a i relativně těžké rameno s druhým krokovým motorem. Původně bylo zamýšleno plastové rameno usadit pouze na hřídel a zajistit šroubkem. Pro jeho robustnost bylo vymyšleno speciální usazení do plastových destiček s vyříznutým profilem na hřídel krokového motoru. Toto konstrukční řešení se pro jednu část neosvědčilo a tak bylo nahrazeno kusem plechu, do kterého byl vlisován dutý válec. Do tohoto válce byl před vlisováním vyvrtán otvor o průměru hřídele. Následně byl do tohoto válce vyvrtán další otvor z boku, do kterého byl vyříznut závit pro zajišťovací šroub. Toto řešení již bylo vyhovující.

Při konstrukci zařízení byla věnována pozornost doladění po kompletním složení celé konstrukce. Po složení by nemuselo být měřené zařízení vystředěno do středu osy otáčení. Proto byl mezi krokový motor a rameno vložen další konstrukční prvek umožňující právě příčný posuv pro doladění umístění měřeného předmětu do osy otáčení X.



Obrázek 8.1.4. Konstrukční prvek umožňující příčný posuv pro doladění umístění měřeného předmětu do osy X

Krokové motory byly zvoleny dle dostupných informací v katalogu. Důraz byl kladen na vysoký přídržný moment, nízkou teplotu a jemné kroky. Po uvedení zařízení do provozu byly bohužel zjištěny malé vůle na hřídeli krokového motoru. Příště bych tedy zvolil sice těžší, ale o to kvalitnější krokové motory.



9 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit polohovací systém pro měření citlivosti RFID UHF tagů. Tento polohovací systém má komunikovat s RFID čtečkou vyvíjenou katedrou telekomunikací na ČVUT, fakultě elektrotechnické.

Součástí vypracování bakalářské práce je potřebná teorie pro konstrukci polohovacího zařízení pro měření citlivosti RFID tagů. Zde je například popsán způsob přenosu dat mezi RFID čtečkou a RFID tagem. Dále byl vysvětlen i princip funkce krokových motorů a indukčních senzorů. Po této spíše teoretické části přicházejí kapitoly zaměřené na praktické činnosti. Tyto kapitoly obsahují zdůvodnění zvolených metod konstrukce a zvolených materiálů a komponentů.

Mechanická konstrukce byla vymodelována v počítačovém softwaru ve 3D, následně tato 3D konstrukce byla rozvržena do dílčích částí, které byly poslány do výroby na CNC laserovou frézou. Ve výrobě mi bylo doporučeno pro bezproblémové spasování dílů odebrat v části zámečků na každé straně 0,2 mm. Pro seznámení s technologií výroby byla experimentálně vyrobena jen malá část z konstrukce. Následně byl zahájen úkon spasování jednotlivých částí do sebe. Jelikož plexisklo nedrželo pouze zasunutím vytvořených zámečků, které do sebe zapadly, muselo být plexisklo naleptáno a tím slepeny jednotlivé části k sobě. K naleptání plexiskla byla vytvořena speciální směs Toluenu a pilin plexiskla. Pro lepší spojení jednotlivých částí byl raději zdrsňený i povrch zámečků pilníkem.

Vytvořená konstrukce je rozpohybovaná za pomoci krokových motorů. Tyto krokové motory obsahují zabudovanou převodovku. Tato převodovka zaručuje velký přídržný moment a díky této vlastnosti krokové motory udrží rameno v nastavené poloze i při vypnutém napájení. Ovládání krokových motorů zabezpečuje mikrokontrolér Arduino. Mikrokontrolér Arduino ale nedokáže vytvořit velikost potřebného výkonového pulzu. Z tohoto důvodu jsou k Arduino připojeny stepper drivery. Tyto drivery zajišťují výkonové spínání cívek ve správném sledu v krokovém motoru. Stepper drivery jsou umístěny do podpůrné desky RAMPS 1.4, která je společně s použitými stepper drivery určena pro ovládání krokových motorů v 3D tiskárnách otevřené licence RepRap. Tato deska je zapojena přímo do pinů mikrokontroléru Arduina. Pro nastavení výchozího stavu před začátkem měření byly instalovány indukční senzory. Po spuštění zařízení jednotlivé pohyblivé části rotují do chvíle, než sepnou indukční senzory. Tímto úkonem je po spuštění vždy zajištěna stejná výchozí poloha. Jelikož je zařízení vytvořeno jako příslušenství pro RFID čtečku vyvíjenou na ČVUT, fakultě elektrotechnické, je komunikace mezi touto čtečkou a řídicí elektronikou vyrobené konstrukce vytvořená pomocí SPI sběrnice.

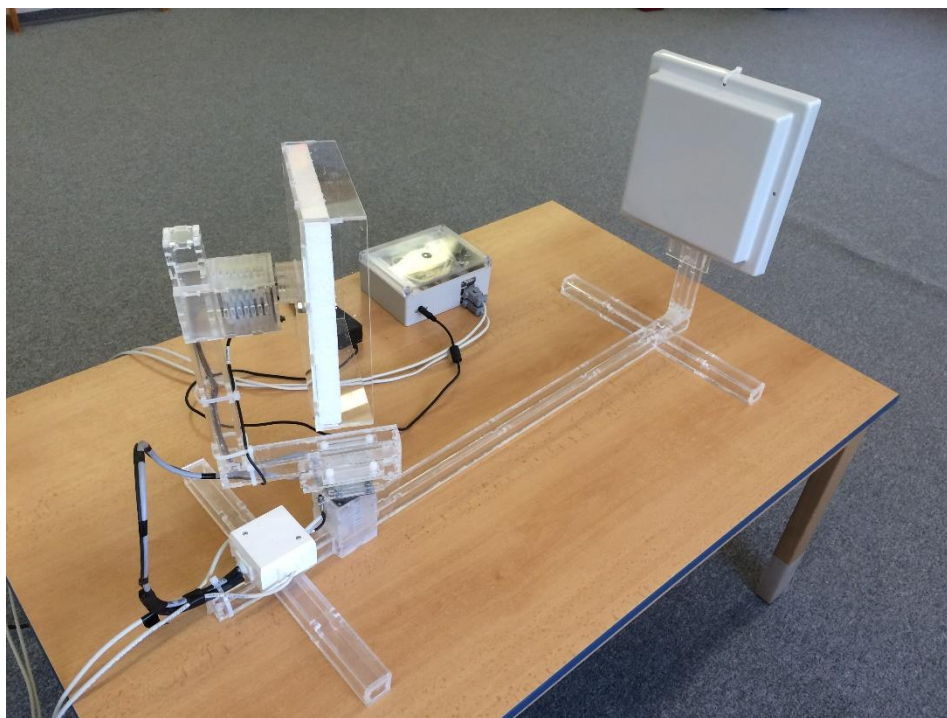
Během řešení jsem se setkal s několika problémy popsány v části zhodnocení. Tyto problémy se týkaly spíše konstrukčního řešení. Realizace řízení krokových motorů se nesetkala s výraznějšími problémy.

Toto zařízení bylo konstruováno s ohledem na pozdější umístění do stíněného měřicího boxu. Proto byla i celá konstrukce postavena z co nejméně vodivých materiálů a díky nim by měla minimálně ovlivňovat výsledky měření.

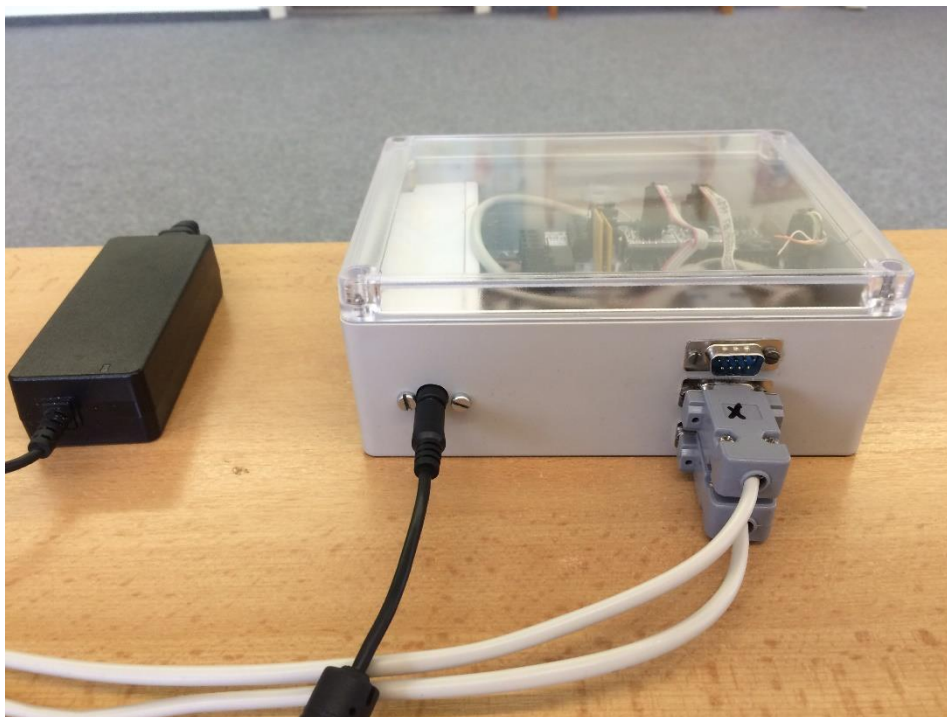
S problematikou, kterou jsem v této bakalářské práci řešil, jsem se dobře seznámil. Téma mě zaujalo a rád bych v této oblasti dál pokračoval a byl nápomocen dalším řešením.



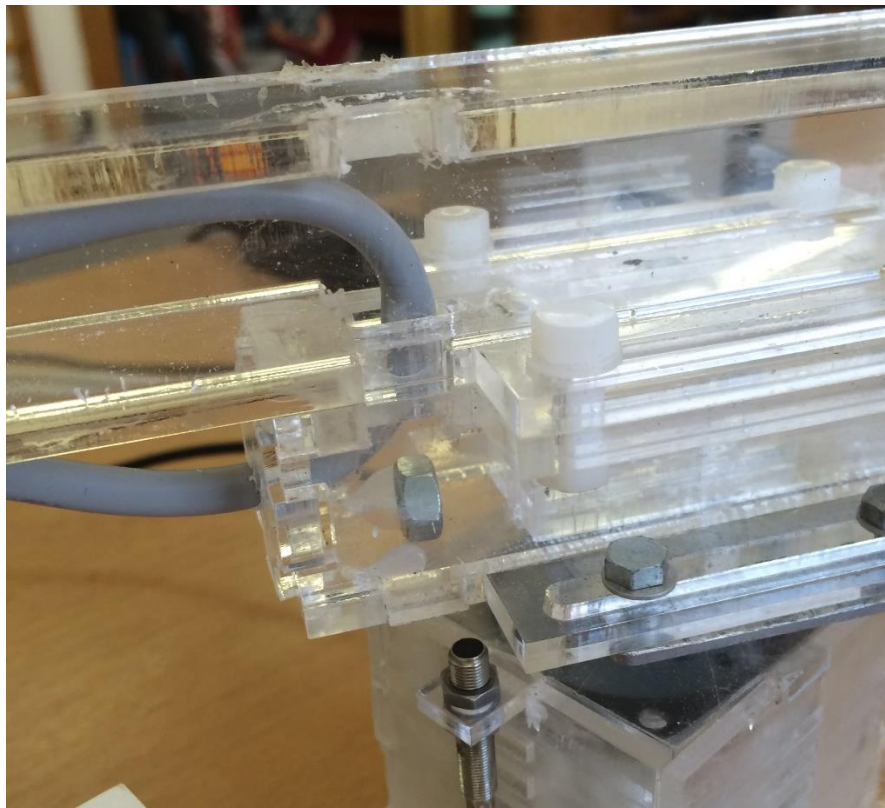
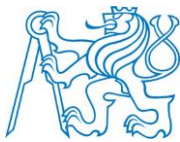
10 Fotodokumentace



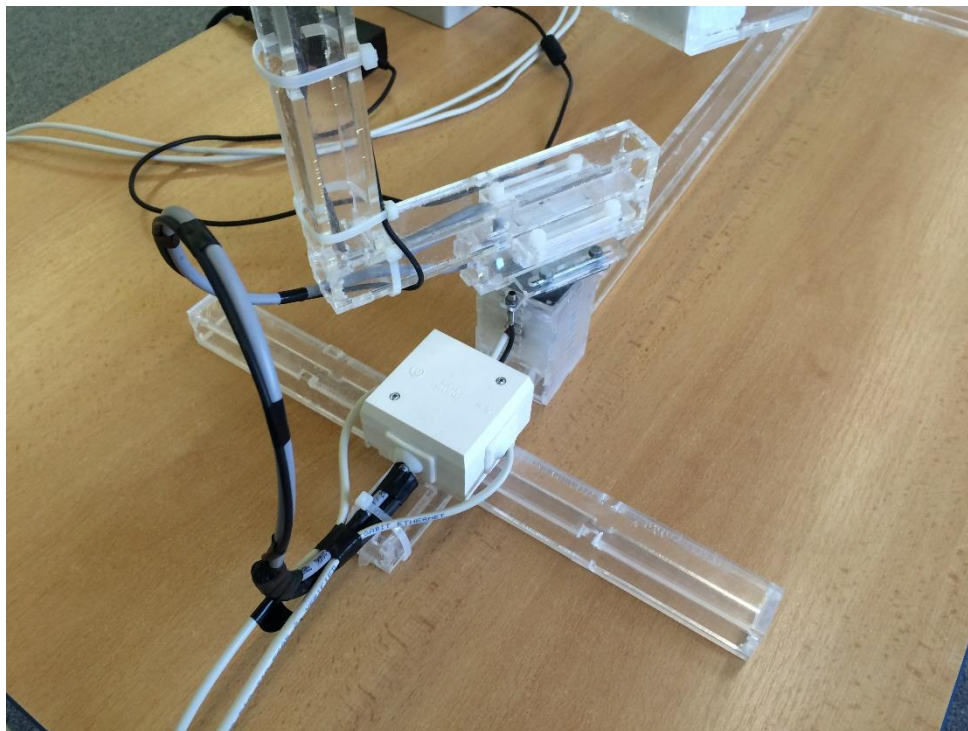
Obrázek 10.1 Pohled na celkovou konstrukci



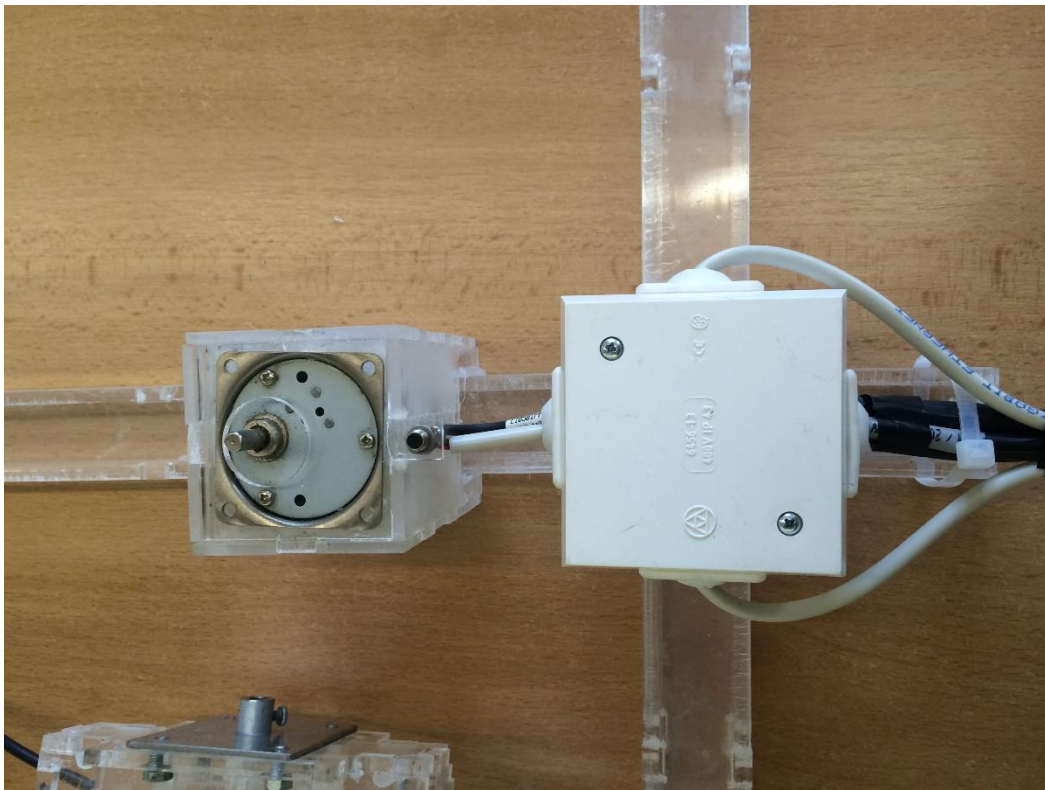
Obrázek 10.2 Řídící elektronika v instalační krabici



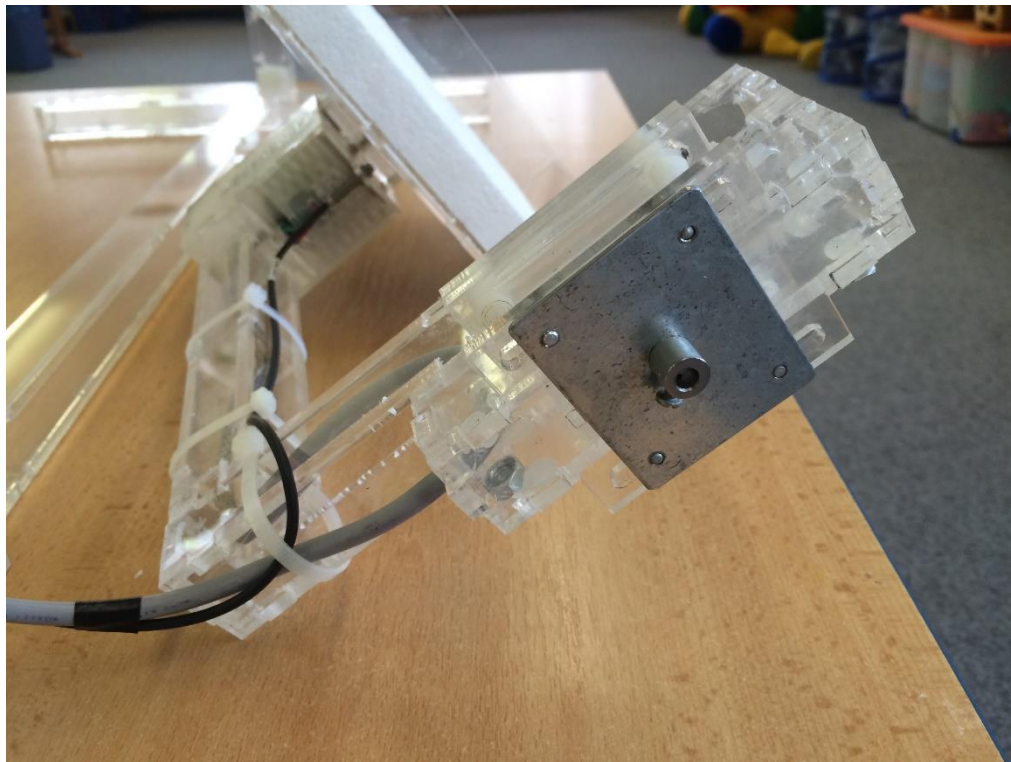
Obrázek 10.3 Detailní pohled na indukční senzor spínaný magneticky vodivým materiálem



Obrázek 10.4 Centrální rozvodnice vedení



Obrázek 10.5 Pohled na zabudovaný krokový motor



Obrázek 10.6 Unášec pro rameno konstrukce pro připevnění k hřídeli krokového motoru



11 Reference

- [1] I. M. Sommerová, *Základy RFID technologií*, Ostrava, 2011.
- [2] „RFID portal,“ [Online]. Available: http://www.rfidportal.cz/index.php?page=rfid_obecne.
- [3] P. Ing. Bc. Lukáš Vojtěch, *RFID Radio Frequency Identification*, Praha: Katedra telekomunikační techniky, Fakulta elektrotechnická, ČVUT v Praze, 2013.
- [4] Agilent, *Designing Detectors for RF/ID Tags*, Agilent Technologies Inc..
- [5] P. V. Nikitin, *LabVIEW-Based UHF RFID Tag Test and*, IEEE Xplore, 2009.
- [6] „ETSI World Class Standards,“ [Online]. Available: <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/radio/rfid>.
- [7] „RFID Centre,“ [Online]. Available: www.rfidc.com.
- [8] J. Černý, *EVIDENCE MAJETKU PROSTŘEDNICTVÍM RFID*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007.
- [9] G. Bush, „Engineerlive.com,“ 6. září 2013. [Online]. Available: <http://www.engineerlive.com/content/fundamental-principles-stepper-motors>.
- [10] Antonín Vojáček, „automatizace.hw.cz,“ 7. červenec 2014. [Online]. Available: <http://automatizace.hw.cz/el-pohony-mereni-a-regulace/el-motory-a-jejich-rizeni-zakladni-prehled.html>.
- [11] P. Maňák, *Řízení krokového motoru pomocí platformy Arduino*, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, fakulta elektrotechnická, 2014.
- [12] „E-konstruktor,“ 4. prosinec 2013. [Online]. Available: <http://e-konstruktor.cz/novinka/zakladni-principy-krokovych-motoru>.
- [13] P. Ruidar, J. Pohorský a J. Kylar, *Krokové motory*, 1985.
- [14] P. s. r. o., „časopis Automa,“ [Online]. Available: <http://automa.cz/res/pdf/37779.pdf>.
- [15] A. Vojáček, „automatizace.hw.cz,“ 20. listopad 2014. [Online]. Available: <http://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/indukcni-snimace-priblizeni-obecny-popis.html>.
- [16] C. Prof. Ing. Miroslav Husák, *Senzory s indukčností, přednáška*, Praha: Fakulta elektrotechnická, ČVUT, 2014.
- [17] „RepRap Opensource,“ [Online]. Available: <http://reprap.org/>.
- [18] „Arduino,“ [Online]. Available: <http://www.arduino.cc/>.
- [19] L. -. k. p. p. automatizaci, *Zásady indukční detekce*.
- [20] P. Tišňovský, „root.cz,“ 30. prosinec 2008. [Online]. Available: <http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/>.
- [21] „SPI library Arduino,“ [Online]. Available: <http://www.arduino.cc/en/Reference/SPI>.
- [22] D. I. L. Bejček, *Měření fyzikálních veličin*, Brno: Elektronické skriptum FEKT VUT , 2009.



12 Seznam použitých zkratek

RFID	Radio Frequency Identification
LF	Low Frequency
HF	High Frequency
UHF	Ultra High Frequency
MW	Microwave
CNC	Computer Numeric Control
SPI	Serial Peripheral Interface
MISO	Master In, Slave Out
MOSI	Master Out, Slave In
SCK	Hodinový signál
SSEL	Slave select
TTL	Transistor-transistor logic