



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  

---

**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**  
Katedra biomedicínské informatiky

# **Návrh, vývoj a konstrukce funkčního vzorku detektoru překážek pro nevidomé osoby**

## **Design, Development and Construction of a Functional Sample of an Obstacle Detector for Blind People**

Bakalářská práce

Studijní program: Informatika a kybernetika ve zdravotnictví

Studijní obor: Informační a komunikační technologie

Autor bakalářské práce: Lukáš Zoul

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Veselý

---

**Kladno 2023**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zoul** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **503400**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra informačních a komunikačních technologií v lékařství**  
Studijní program: **Informatika a kybernetika ve zdravotnictví**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh vývoj a konstrukce funkčního vzorku detektoru překážek pro nevidomé osoby**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design, Development and Construction of a Functional Sample of an Obstacle Detector for Blind People**

Pokyny pro vypracování:

Na základě konzultace se zrakově postiženými osobami a komunitou analyzujte potřeby těchto osob vzhledem k možnosti detekce překážek při chůzi. Proveďte rešerši dostupných zařízení a zjistěte na jakých principech a s jakými parametry pracují. Zároveň proveďte rešerši dostupných metod a senzorů pro detekci překážek, vybrané senzory zakupte, otestujte a ověřte jejich parametry. Na základě požadavků, které získáte od pracovníků v oblasti péče o osoby se zrakovým postižením a od těchto osob a dále na základě Vaší rešerše a testování senzorů navrhnete funkční vzorek přístroje pro detekci překážek pro zrakově postižené osoby. Vámi navržený funkční vzorek realizujte, a to jak jeho hardwarovou část (například plošné spoje, osazení součástkami, zapouzdrění apod.) tak i jeho firmwarovou část. Realizovaný funkční vzorek otestujte z hlediska vlastní funkčnosti a předejte k testování pracovníkům, se kterými jste návrh a vývoj funkčního vzorku konzultoval. Vytvořte dokumentaci k Vámi vyvinutému funkčnímu vzorku, a to jak výrobní dokumentaci, tak i návod pro uživatele.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL, *Senzory a měřicí obvody*, ed. 1., Praha: České vysoké učení technické, 1996, ISBN 80-01-01500-9
- [2] WEBSTER, John G. , EREN Halit , *Measurement, instrumentation, and sensors handbook: Spatial, mechanical, thermal, and radiation measurement*, ed. 2., Boca Raton: CRC Press, 2014, ISBN 978-1-4398-4888-3

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Tomáš Veselý**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

**doc. Ing. Pavel Smrčka, Ph.D., Iva Klimešová, M.Sc.**

Datum zadání bakalářské práce: **14.02.2023**

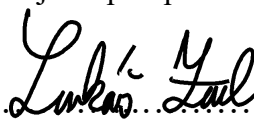
Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2024**

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Návrh, vývoj a konstrukce funkčního vzorku detektoru překážek pro nevidomé osoby“ vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 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.

V Kladně 18. 5. 2023

.....  


Lukáš Zoul

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval mému vedoucímu Ing. Tomáši Veselému za odborné vedení bakalářské práce a konzultantům doc. Ing. Pavlu Smrčkovi, Ph.D. a Ivě Klimešové, MSc. za odborné rady a čas strávený při konzultacích.

# **ABSTRAKT**

## **Návrh, vývoj a konstrukce funkčního vzorku detektoru překážek pro nevidomé osoby**

Cílem práce bylo se nejprve seznámit s potřebami nevidomých. Následně se práce zabývala rešerší dostupných zařízení. Součástí rešerše byly metody a senzory, které by byly vhodné pro detekování překážek. Na základě této rešerše byly vybrány senzory zakoupeny a otestovány. Vyhovující senzory byly opatřeny další potřebnou elektronikou, jednoduše zapouzdřeny a poskytnuty nevidomým osobám na prvotní vyzkoušení, seznámení a zejména validaci vhodnosti z hlediska jejich parametrů. Práce dále pokračovala její hlavní částí. Nejprve návrhem a následnou realizací funkčního vzorku. Při vývoji funkčního vzorku již byl kladen důraz zejména na miniaturizaci a uživatelskou přívětivost celého zařízení. Byla zvolena vhodná mikrokontrolerová platforma, zdroj energie a zapouzdření realizované pomocí metody 3D tisku. Na závěr byl funkční vzorek otestován z hlediska základní funkčnosti i jeho parametrů a předán na testování osobám se zrakovým postižením.

### **Klíčová slova**

Detektor překážek, nevidomé osoby, ultrazvukový senzor

# **ABSTRACT**

## **Design, Development and Construction of a Functional Sample of an Obstacle Detector for Blind People**

The aim of the thesis was first to learn about the needs of blind people. This was followed by research of available equipment. The research included methods and sensors that would be suitable for obstacle detection. Based on this research, the selected sensors were purchased and tested. Suitable sensors were fitted with other necessary electronics, simply encapsulated and provided to blind people for initial testing, familiarisation and, most importantly, validation of their suitability in terms of their parameters. The work continued with its main part, the design and subsequent development of a functional sample. The design of the functional sample already focused on miniaturisation and ease of use of the whole device. A suitable microcontroller platform, power supply and 3D printed encapsulation were selected. Finally, the functional sample was tested for its basic functionality and parameters and provided to blind people for testing.

### **Keywords**

Obstacle detector, Blind people, Ultrasonic sensor

# Obsah

Seznam symbolů a zkratk.....	5
<b>1 Úvod .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Úvod do problematiky .....</b>	<b>7</b>
2.1 Princip, použití a účel projektu .....	7
2.2 Vymezení práce.....	7
2.3 Cíle práce.....	7
2.4 Náměty a připomínky budoucích uživatelů .....	8
2.5 Oblasti zájmu řešerše .....	8
<b>3 Rešerše .....</b>	<b>9</b>
3.1 Přehled dostupných zapůjčených detektorů překážek pro nevidomé osoby ....	9
3.1.1 Buzz Clip.....	9
3.1.2 Sunu Band .....	10
3.1.3 Vzorek s označením Bílá hůl.....	11
3.2 Možnosti bezkontaktního snímání vzdálenosti překážek.....	12
3.2.1 Ultrazvukové sonary.....	12
3.2.2 Laserové senzory .....	13
3.3 Přehled zakoupených senzorů bezkontaktního snímání vzdálenosti.....	15
3.3.1 Sen 0337 DFROBOT .....	16
3.3.2 OKY 3266-2 .....	16
3.3.3 US-100 Ultrasonic Sensor Distance Measuring Sensor .....	17
3.3.4 Grove - Ultrasonic ranger V. 2.0.....	17
3.3.5 MB 1020 LV-MAX SONAR-EZ2 .....	18
3.3.6 MB 1030 LV-MAX SONAR-EZ3 .....	19
3.3.7 Sen0151 (URM06-Pulse) .....	19
3.4 Závěr rešerše .....	20
<b>4 Analýza .....</b>	<b>21</b>
4.1 Návrh testovací platformy .....	21
4.2 Zapojení.....	22
4.3 Výroba testovací platformy .....	23
4.4 Testování senzorů.....	24

4.5	Výsledek analýzy .....	26
<b>5</b>	<b>Návrh .....</b>	<b>27</b>
5.1	Výběr mikrokontroleru.....	27
5.2	Napájení .....	27
5.3	Signalizace překážky .....	28
5.3.1	Zvuková odezva.....	28
5.3.2	Vibrační odezva.....	28
5.4	Ovládání detektoru .....	28
5.5	Schéma zapojení.....	29
<b>6</b>	<b>Programování.....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>Realizace .....</b>	<b>33</b>
7.1	Návrh 3D modelů .....	33
7.2	Návrh krabičky .....	33
7.3	Návrh držáků pro upevnění senzoru.....	35
7.4	3D tisk .....	37
7.4.1	Výroba krabičky .....	37
7.4.2	Výroba držáků senzoru.....	38
<b>8</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>39</b>
<b>9</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>42</b>
<b>10</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>43</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>44</b>
	<b>Příloha A: Návod k použití .....</b>	<b>I</b>
	<b>Příloha B: Technické výkresy modelů .....</b>	<b>V</b>
	<b>Příloha C: Schéma .....</b>	<b>X</b>
	<b>Příloha D: Obsah přiloženého archivu .....</b>	<b>XI</b>



# Seznam symbolů a zkratek

## Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
cm	Centimetr	Jednotka délky
$\Omega$	Ohm	Jednotka elektrického odporu
mm	Milimetr	Jednotka délky
m	Metr	Jednotka délky
kHz	Kilohertz	Jednotka frekvence
mA	Miliampér	Jednotka elektrického proudu
mAh	Miliampérhodina	Energetická kapacita baterie
ms	Milisekunda	Jednotka času
$\mu$ s	Mikrosekunda	Jednotka času

## Seznam zkratek

Zkratka	Význam
DPS	Deska plošných spojů
TOF	Time of flight
PWM	Pulse Width Modulation (Pulsně šířková modulace)
UART	Univerzální asynchronní vysílač / přijímač
I/O	Input/ Output
PMD	Photonic mixer device

# 1 Úvod

Tato práce se zabývá návrhem a vývojem funkčního vzorku pro detekování překážek, který bude určen pro osoby se zrakovým postižením. Na trhu stále nenajdeme velký výběr takovýchto pomůcek, které by opravdu nevidomým ulehčovali život. Nejrozšířenější a nejpoužívanější zařízení je stále bílá hůl, která většinou nevidomým nejvíce ulehčuje pohyb. Různé detektory, které na trhu najdeme, se zaměřují na detekování celého prostoru před uživatelem a tím se snaží nahradit bílou hůl. Tyto systémy stále nejsou na takové úrovni, aby spolehlivě bílou hůl nahradily.

Tato práce se proto vydává jiným směrem. Vyvíjený funkční vzorek by neměl nahradit osvědčenou bílou hůl, ale pouze doplnit přehled o místo, kde bílá hůl neumožňuje detekování překážky. Konkrétně se jedná o detekování překážek, které jsou v úrovni hlavy. Dočasné překážky, které jsou postaveny do cesty nevidomému, jako je například lešení bez řádného označení, ohrožují nevidomého a mohou mu způsobit zranění. Toto, kromě fyzického zranění, může působit i na psychiku člověka. Tato práce je vyvíjena ve spolupráci s lidmi začleněnými do této problematiky a v průběhu vývoje jsou vzorky průběžně testovány pracovníky starající se o nevidomé i samotnými budoucími uživateli z řad nevidomých.

Tuto práci jsem si vybral s cílem rozšířit své znalosti a dovednosti v oblasti mikroprocesorové techniky a 3D tisku. Motivací pro mě byla výroba zařízení, které je vyvíjeno přímo na přání uživatelů, jímž by mohl tento detektor překážek usnadnit život.

## 2 Úvod do problematiky

V této kapitole bude nejprve vysvětlen princip, použití a účel projektu. Dále se zaměřím na požadavky kladené na vyvíjený detektor překážek, ze stran uživatelů.

### 2.1 Princip, použití a účel projektu

Účelem tohoto projektu je návrh, vývoj a realizace detektoru překážek určený pro nevidomé osoby. Detektor bude za pomoci senzoru snímat vzdálenost překážek v cestě, které by mohly nositele ohrozit. Data ze senzoru budou zpracována mikrokontrolerem, který provede vyhodnocení dat a případně následně upozorní uživatele na nebezpečí vhodnou formou signalizace. Tento detektor umožní nevidomému včas zastavit a tím předejít zranění, zejména v oblasti hlavy. Detektor by měl sloužit jako doplněk k bílé holi a poskytnout uživateli větší přehled o situaci před ním. Detektor bude realizovaný jednotkou, která bude umístěna přímo na těle uživatele.

### 2.2 Vymezení práce

Nejprve bylo nutné provést vymezení samotné práce, které jsem učinil na základě zadání bakalářské práce. Náplní této práce je uvedení do problematiky, zakoupení a otestování vhodných senzorů. Dále práce pokračuje samotným návrhem, vývojem a konstrukcí funkčního vzorku detektoru překážek. Práce zahrnuje jak hardware, tak firmware samotného detektoru překážek. Pro daný hardware bude navrženo a realizováno zapouzdření, jenž umožní detektor připevnit na tělo uživatele. Následně bude tento vzorek otestován z hlediska základní funkčnosti i jeho parametrů a předán na testování nevidomým.

### 2.3 Cíle práce

Při určení jednotlivých cílů a požadavků na detektor jsem vycházel zejména ze zadání bakalářské práce. Tyto cíle jsem shrnul do jednotlivých bodů.

- Seznámení se s potřebami zrakově postižených kladených na detektor překážek
- Provedení rešerše dostupných zařízení pro detekci překážek
- Provedení rešerše dostupných metod a senzorů
- Otestování vybraných senzorů
- Navrhnutí funkčního vzorku
  - Realizování hardwarové části
  - Realizování firmwarové části
- Předání na testování pracovníkům, se kterými jsem práci konzultoval

## 2.4 Náměty a připomínky budoucích uživatelů

Při práci na projektu jsem měl možnost vše konzultovat s Ivou Klimešovou MSc., která se dlouhodobě zabývá prací s nevidomými a spolupracuje s organizací ELSA. Tato organizace se zabývá podporou studentů se specifickými potřebami. Na základě konzultací jsem zjistil, že dostupné detektory překážek nevyhovují osloveným nevidomým. Díky tomu vznikl na katedře první vzorek, který byl určen zejména k definování požadovaných parametrů. Na tomto základě byly stanoveny tyto požadavky:

- Detekce překážky zejména v úrovni hlavy.
- Miniaturizace zařízení
- Možnost upevnění na batoh, tělo atp.
- Možnost přepínání předdefinovaných prahových hodnot.
- Snímací vzdálenost do 2 m

## 2.5 Oblasti zájmu řešerše

Z konzultací a pochopení problematiky vzešly hlavní oblasti, kterými se budu dále zabývat v rešerši. Jedná se o prozkoumání dostupných detektorů překážek pro nevidomé. Dalším bodem bude porovnání se vzorkem, který vznikl již dříve na Katedře informačních a komunikačních technologií v lékařství, zejména pro definování parametrů senzorů. Jedná se o detektor, který měl být umístěn přímo na bílé holi nevidomého. Na tento projekt navazuje tato práce.

V další části rešerše se budu zabývat vhodnými metodami pro detekování překážek. Na základě těchto metod vyberu vhodné senzory, které následně zakoupím a otestuji z hlediska funkčnosti a použitelnosti v detektoru překážek.

Z námětů a připomínek získaných při konzultacích jsem stanovil několik bodů, na které se zaměřím a zohledním při výběru senzorů. Jedná se o předběžné závěry, které vyplynuly z prvotního definování problému. Je možné, že se v některé pozdější fázi ukáže, že některé požadavky nebyly vhodně zvolené, nebo je bude třeba upravit.

Požadavky kladené na detektor překážek:

- Vhodně zvolit senzor, který bude snímat zorným úhlem v rozmezí 15° až 35°
  - bude schopen měřit do vzdálenosti minimálně 2,5 m.
- Spolu s detektorem navrhnout různé možnosti upevnění na tělo s možností připevnění například na batoh.
- Detektor bude mít předdefinované prahové hodnoty snímání překážek od 1 m, 1,5 m a 2 m.
- Zmenšení detektoru
- Možnost natočit senzor do požadované oblasti.

## 3 Rešerše

Tato kapitola se zabývá rešerší detektorů překážek určených pro nevidomé a výběrem vhodných senzorů pro bezkontaktní detekování vzdálenosti.

### 3.1 Přehled dostupných zapůjčených detektorů překážek pro nevidomé osoby

V této části se seznámím se zapůjčenými detektory překážek určených pro nevidomé osoby. Oba tyto detektory jsou běžně dostupné a komerčně prodávané. Zároveň otestuji vzorek detektoru překážek s označením „Bílá hůl“.

#### 3.1.1 Buzz Clip

Jedná se o zařízení, které jsou určeno k detekci překážek, které by mohly nevidomé ohrozit viz. Obrázek 3.1. K detekci překážek slouží ultrazvukový senzor, který měří vzdálenost od překážky a podle této vzdálenosti upravuje intenzitu vibrací. Zařízení disponuje třemi módy detekce (1 m, 2 m a 3 m), které můžeme přepínat tlačítkem na boku. Jeho hlavní výhodou jsou malé rozměry, pogumované tělo a samotná konstrukce, jenž funguje jako klip, viz Obrázek 3.2. Díky konstrukci lze zařízení připnout téměř kamkoliv, např. na batoh, tričko atd. Nevýhodou je nedostupnost na našem trhu. Pořizovací cena tohoto detektoru vychází přibližně na 5500 Kč. Další nevýhodou je, že po každém sundání je potřeba Buzz Clip znovu nastavit do požadovaného směru, aby zařízení snímalo oblast, kterou daný člověk potřebuje. V případě připnutí například na tričko už není možnost déle upravit sklon senzoru, a tak je u tohoto zařízení důležité i samotné oblečení, jenž má člověk na sobě. Buzz Clip vyrábí firma iMerciv, která má sídlo v Torontu. [1]



Obrázek 3.1: Buzz Clip pohled na senzor



Obrázek 3.2: Buzz Clip pohled na kloub

### 3.1.2 Sunu Band

Sunu Band, jak už název napovídá, je náramek, umisťující se na zápěstí viz Obrázek 3.2 a Obrázek 3.4. Pomocí intenzity vibrací dokáže upozornit na překážky v okolí a tím navigovat zrakově postižené osoby při prostorové orientaci a samostatném pohybu. Detekce funguje pomocí ultrazvukového senzoru, který zvládá detekovat překážku až na vzdálenost 5 m. Dále umí připomenout událost, nastavit budík a sdělit čas. Disponuje technologií Bluetooth, takže můžete s náramkem komunikovat hlasovými příkazy z telefonu Android/IOS. Výhodou tohoto zařízení jsou malé rozměry, možnost využít zařízení jako hodinky, pogumované tělo a dostupnost v České republice. Cena se pohybuje kolem 10 500 Kč a na jeho nákup lze využít příspěvek od Úřadu práce. Hlavní problém je samotné umístění tohoto zařízení. Tento náramek je umístěný na zápěstí, tudíž musíte mít ruku neustále před sebou a natáčet se na jednotlivé strany. Další problém je použití zařízení v zimním období, jelikož musíte mít vyhrnuté rukávy, abyste toto zařízení mohli používat, a nezakrývali jste senzor. [2]



Obrázek 3.3: Sunu band  
pohled na senzor



Obrázek 3.4: Sunu band  
pohled na celý náramek

### 3.1.3 Vzorek s označením Bílá hůl

Jedná se o vzorek vytvořený na Katedře informačních a komunikačních technologií v lékařství, konkrétně doc. Ing. Pavlem Smrčkou, Ph.D. Toto zařízení, viz Obrázek 3.5, na nějž navazuje tato práce, by mělo sloužit k detekci překážek a pomoci s orientací osob se zrakovým postižením. Jeho zamýšlené umístění je samotná bílá hůl nevidomých. Zařízení má možnost přepnutí mezi ultrazvukovým sonarem a laserovým lidarem. Vzdálenost detekce lze plynule upravovat za pomoci potenciometru viz Obrázek 3.6. Signalizace překážky je realizována proměnlivou intenzitou pípání. Tento vzorek měl za úkol zejména definovat parametry a otestovat princip zařízení. Na základě zpětné vazby z testování se ukázalo, že je potřeba nalézt jiné místo pro umístění senzoru. Nevidomí lidé používají přesně vyváženou bílou hůl a jakékoliv zařízení umístěné na ní by narušilo její vyvážení. Dalším problémem je úhel snímání použitých senzorů. Použitý sonar detekuje překážky v příliš širokém zorném úhlu, tudíž detekuje i oblasti, které detekovány být nemají. Příkladem je chůze podél stěny, kde je neustále detekována stěna, která není překážkou v cestě pro nevidomého. Lidar naopak detekuje překážky v příliš malém zorném úhlu, konkrétně  $2^\circ$ , z toho důvodu ne vždy detekuje úzkou překážku, jako je např. lešení, dopravní značka atp.



Obrázek 3.5: Pohled na čelní stranu vzorku detektoru



Obrázek 3.6: Pohled na ovládání vzorku detektoru

## 3.2 Možnosti bezkontaktního snímání vzdálenosti překážek

### 3.2.1 Ultrazvukové sonary

Ultrazvukový vysílač je na krátkou dobu vybuzen kmitočtem 30 kHz – 80 kHz ideálně jen po dobu několika pulzů tohoto kmitočtu. Obdélníkový impulz o délce jedné až několika vlnových délek základního kmitočtu může být řízen přímo uvnitř mikrokontroleru. Vzniklý ultrazvukový pulz se následně odráží od všech předmětů v okolí, které mají hustotu větší než vzduch a jako část odražených pulzů se vrací zpět do přijímače. Čas, který uplyne mezi vysláním a příjmem vlny, lze snadno převést na vzdálenost  $s$  pomocí známého vzorce rychlosti šíření zvuku v daném prostředí, viz vzorec 3.1. [3]

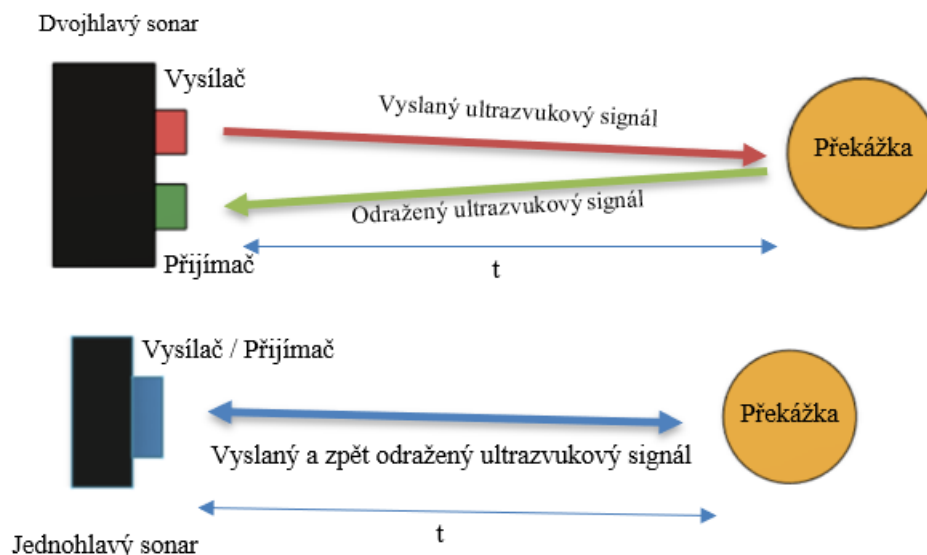
$$s = \frac{t \cdot c}{2} \quad (3.1)$$

$s$  – vzdálenost od senzoru k překážce

$t$  – čas letu vlny

$c$  – rychlost šíření zvuku

Ultrazvukové senzory můžeme rozdělit na jednohlavé senzory a dvojhlavé senzory. Jednohlavé snímače mají kombinovaný vysílač a přijímač, a tak dochází k vysílání i příjmu vlny v jednom místě. Minimální měřitelná vzdálenost je dána časem přepnutí z vysílacího do přijímacího módu. Druhé dvojhlavé provedení má oddělený vysílač i přijímač, a tak na rozdíl od předchozího typu může vysílat i přijímat signál současně, viz Obrázek 3.7: Snímání sonaru.



Obrázek 3.7: Snímání sonaru



### 3.2.2 Laserové senzory

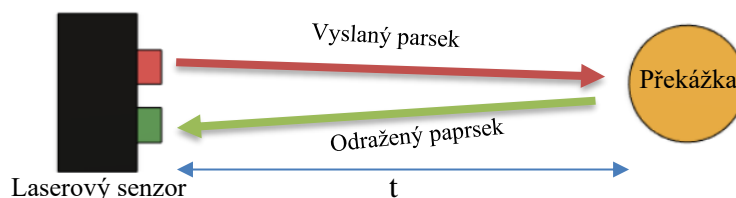
Laserové snímače využívají dobu letu paprsku k měření vzdálenosti, která je označovaná zkratkou TOF (Time of flight). TOF senzor vysílá světelný paprsek, který se odráží od objektu. Vzdálenost objektu získáme výpočtem časového nebo fázového rozdílu vyzařování a odrazu světla. Tímto způsobem vytváří informace o hloubce, viz Obrázek 3.8. Pomocí jednoduchého vzorce můžeme vypočítat vzdálenost letu paprsku. Ta je dána rychlostí světla, v daném prostředí, vynásobená časem  $t$ . Tento čas je dán dobou letu paprsku od vyslání až po příjem signálu. Jelikož za čas  $t$  urazil paprsek cestu k překážce a zase zpět, je nutné čas vydělit 2, viz vzorec 3.2. Ve srovnání s binokulárním schématem a 3D strukturálním světelným schématem má TOF výhodu pracovní vzdálenosti, široké scény použití a vyšší přesnosti na velkou vzdálenost. Proto se často používá při detekci blízkosti osob, vyhýbání se překážkám u robotů a automatickém zaostřování kamer. Ve venkovním prostředí se vyskytuje blízké infračervené světlo, pocházející ze slunečního záření, které ovlivňuje přesnost měření. [4]

$$s = \frac{t \cdot c}{2} \quad (3.2)$$

$s$  – vzdálenost od senzoru k překážce

$t$  – čas letu paprsku

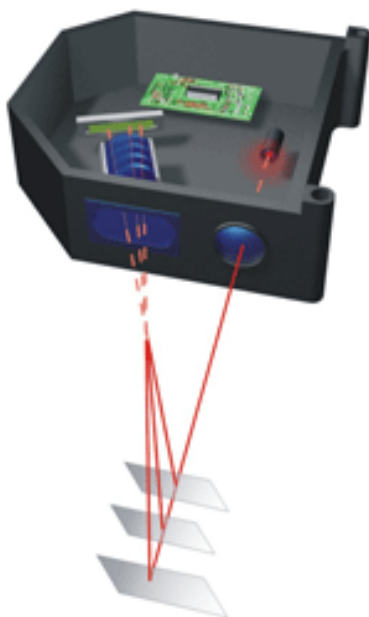
$c$  – rychlost světla



Obrázek 3.8: Snímání laserového senzoru TOF

V metodě fázového posunu se využívá modulovaný spojitý signál. Vysílač vyšle optický paprsek, který je modulován konkrétním referenčním napěťovým signálem. Příjímač obdrží odražený signál od překážky s fázovým posunem. Z těchto dvou paprsků, jak vyslaného, tak odraženého, se provede rozdíl jejich fáze ve směšovači a na tomto základě se určí vzdálenost měřeného objektu. Srovnání fáze se děje v tzv. elektrooptickém modulátoru, který lze realizovat použitím fotodiody jako převodníku světla na elektrický signál. Signál musí projít přes pásmový filtr, aby nedocházelo k frekvenčnímu rušení. Druhou možností je použití senzoru PMD (Photonic mixer device), který převádí světlo na elektrický signál a paralelně k tomu vyhodnocuje změnu fáze. Na výstupu tohoto senzoru je elektrický signál s informací o změně fáze a intenzitě dopadajícího světla. [5]

Triangulační metoda měření je založena na odrazu vyslaného optického paprsku od překážky, viz Obrázek 3.9. Výpočet vzdálenosti se provádí na základě úhlu dopadu laserového paprsku na přijímač. Prakticky se nevyhodnocuje intenzita dopadajícího paprsku ani doba letu, ale záleží pouze na místě dopadu odraženého paprsku. Vyhodnocení se provádí pomocí vzdálenosti bodů dopadajících přes čočku na světlocitlivou vrstvu, která je tvořena nejčastěji CCD snímačem. Tento způsob je méně náchylný na rušení, jelikož stačí, aby dopadající paprsek měl větší intenzitu, než je minimální rozlišovací schopnost senzoru. Tato metoda je schopna měřit s vysokou přesností, proto se tento způsob využívá např. i při 3D skenování objektů. V tomto případě nedopadá na přijímač bod, ale čára, jenž je daná tvarem snímaného tělesa. Tímto způsobem jsme schopni sestavit mapu bodů, podle kterých jsem schopni pomocí softwaru sestavit 3D objekt. [6]



Obrázek 3.9: Triangulační metoda měření [6]

### 3.3 Přehled zakoupených senzorů bezkontaktního snímání vzdálenosti

Na základě seznámení se s komerčně prodávanými detektory překážek pro nevidomé osoby a konzultací jsem získal požadavky pro detektor překážek. Neoptimálnější umístění detektoru z hlediska snímání překážky by bylo přímo na hlavě. Nevidomí však většinou nechtějí mít nic na hlavě, tudíž jako nejpříjemnější místo pro detektor se jeví umístění na hrudi. Úhel snímání by měl být v rozmezí 15° až 35°. Snímací vzdálenost by měla být min 2,5 m. Detektor by měl být schopný detekovat i poměrně úzké překážky, které by mohly být nebezpečné pro uživatele. V oblasti hlavy si může nevidomý způsobit zranění např. o lešení v cestě, které nemůže detekovat pomocí své bílé hole. Z toho důvodu musí být rozlišovací schopnost maximálně v jednotkách centimetrů.

Zakoupil jsem několik senzorů, které vyhovovaly stanoveným požadavkům. Vybrané senzory jsou založeny na metodě TOF, která se ukázala jako nejvhodnější s ohledem na účel projektu. Proto jsem zakoupil ultrazvukové a laserové senzory využívající pro měření vzdálenosti dobu letu (TOF).

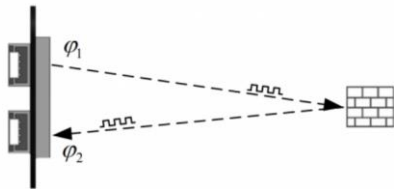
V pozdější fázi této práce otestuji zakoupené snímače z hlediska funkčnosti a použitelnosti pro detektor překážek. Přehled parametrů zakoupených senzorů jsem shrnul do tabulky 3.1.

Tabulka 3.1

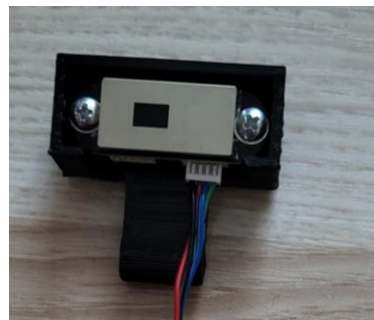
1	Označení senzoru:	Výrobce:	Snímací úhel:	Min vzdálenost:	Max vzdálenost:	Rozlišení:	Napětí:	Proud:	Měřicí kmitočet:
2	Sen 0337 DFROBOT	DFROBOT	15-27°	0,01 m	5 m	1,5 cm	3,7-5,2 V	60 mA	-
3	OKY 3266-2	OKYSTAR	27°	0,04 m	4 m	2,5 cm	3-5 V	40 mA	-
4	US-100	OKYSTAR	15°	0,02 m	4,5 m	0,3 cm + 1%	2,4-5,5 V	2 mA	40 KHz
5	Grove-Ultrasonic ranger V 2.0	SEED STUDIO	30°	0,03 m	3,5 m	1 cm	3,2-5,2 V	8 mA	40 KHz
6	MB 1020 LV-MAX sonar-EZ2	Maxbotix	-	0,15 m	6,45 m	2,54 cm	2,5-5,5 V	2 mA	42 KHz
7	MB 1030 LV-MAX sonar-EZ3	Maxbotix	-	0,15 m	6,45 m	2,54 cm	2,5-5,5 V	2 mA	42 KHz
8	Sen0151 (URM06-Pulse)	DFROBOT	15°	0,2 m	10m	1 cm	6-12 V	16 mA	49,5 KHz

### 3.3.1 Sen 0337 DFROBOT

Jedná se laserový dálkový bezdotykový senzor pro měření vzdálenosti, viz Obrázek 3.11. Umožňuje měření vzdálenosti v rozsahu od 1 cm do 5 m s přesností  $\pm 1,5$  cm. Snímací frekvence činí 10 Hz. Rozsah napájecího napětí je 3,7 V až 5,2 V a spotřeba dosahuje 60 mA. Zařízení umožňuje použít komunikační rozhraní UART a CAN. Měřicí úhel toho senzoru může být od  $15^\circ$  do  $27^\circ$ . Tyto senzory mohou být zapojeny v kaskádě, pro UART můžeme požit maximálně 8 senzorů a v případě zapojení po sběrnici CAN pouze 7. Tento senzor se používá zejména u robotů, kde je pro měření vzdáleností využívána metoda TOF viz, Obrázek 3.10. [4]



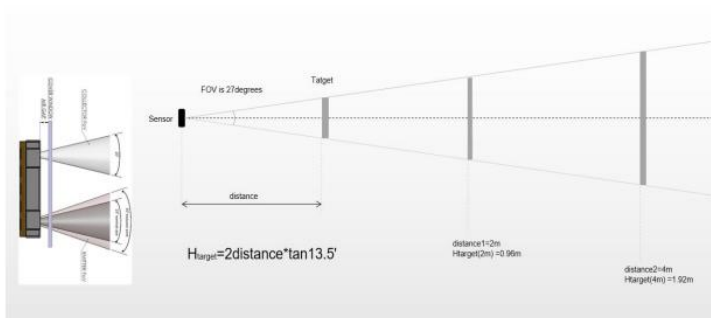
Obrázek 3.10: Snímání překážek [4]



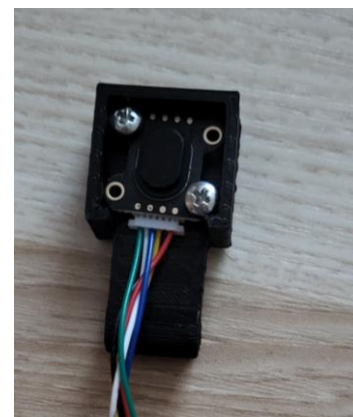
Obrázek 3.11: Senzor 0337

### 3.3.2 OKY 3266-2

Laserový senzor pro bezkontaktní měření vzdálenosti s označením TOF400F, viz Obrázek 3.12, měří vzdálenost v rozmezí od 4 cm do 4 m. Umožňuje měření vzdálenosti v zorném úhlu  $27^\circ$ , viz Obrázek 3.13. Vyzařuje infračervený paprsek o vlnové délce 940 nm. Pracuje s napětím od 3 V do 5 V a maximální spotřebou 40 mA. Pro komunikaci s tímto senzorem lze použít rozhraní UART, Modbus a I2C. Tento senzor disponuje dvěma módy měření. První s vyšší přesností dokáže měřit do vzdálenosti 1,3 m a druhý mód dokáže změřit vzdálenosti až do 4 m. [7]



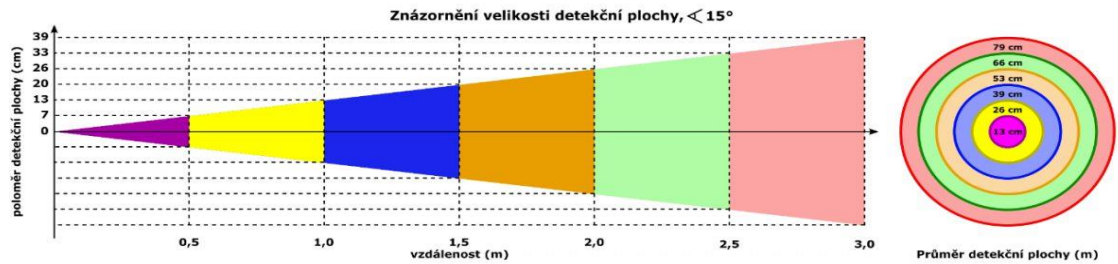
Obrázek 3.13: Zorný úhel senzoru [7]



Obrázek 3.12: Senzor OKY 3266-2

### 3.3.3 US-100 Ultrasonic Sensor Distance Measuring Sensor

Tento ultrazvukový snímač pro měření vzdálenosti pracuje v napětovém rozmezí 2,4 V až 5,5V. Spotřeba je menší než 2 mA. Nabízí měřící vzdálenost v rozsahu 2 cm až 450 cm s přesností 0,3 cm, viz Obrázek 3.14. Měřící kmitočet je 40kHz. Úhel měření je  $15^\circ$  a snímaná plocha odpovídá 53 cm, při vzdálenosti 2 m. Komunikace s tímto senzorem může probíhat přes UART, nebo pomocí pinů Trig a Echo přivedením pinu Trig na nízkou úroveň po dobu 10  $\mu$ s, popřípadě trvale pro měření v cyklu. Senzor je vyfocen na obrázku 3.15. [8]



Obrázek 3.14: Znárodnění detekční plochy [18]



Obrázek 3.15: Senzor US-100

### 3.3.4 Grove - Ultrasonic ranger V. 2.0

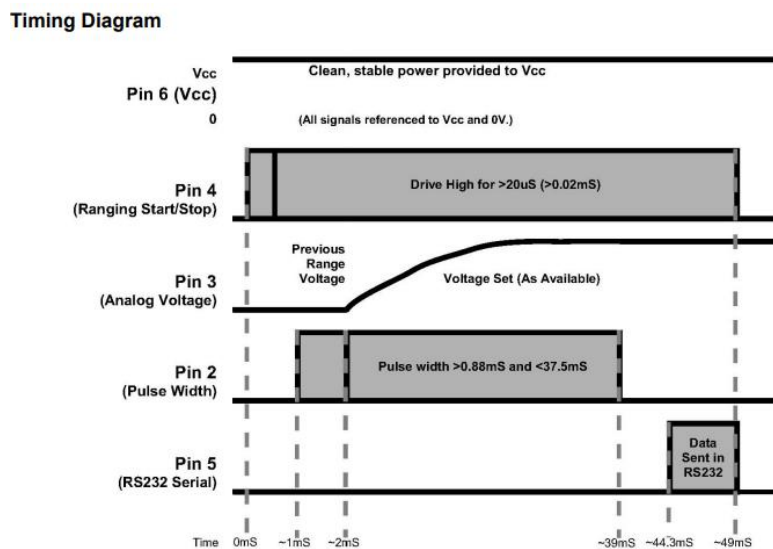
Jedná se o bezkontaktní modul pro měření vzdálenosti, který pracuje na kmitočtu 40kHz, viz Obrázek 3.16. Senzor podporuje provozní napětí v rozsahu 3,2 V až 5,2V. Spotřeba odpovídá 8 mA. Rozsah měření je od 2 cm do 350 cm. Rozlišení měřené vzdálenosti odpovídá 1 cm. Měřící úhel je  $30^\circ$ . Komunikační rozhraní probíhá přes PWM, spouštěcí signál musí být minimálně 10  $\mu$ s. [9]



Obrázek 3.16: Senzor Grove

### 3.3.5 MB 1020 LV-MAX SONAR-EZ2

MB1020 je jednohlavý ultrazvukový senzor, který má zkombinovaný přijímač i vysílač dohromady, viz Obrázek 3.19. Jelikož se nachází vysílač s přijímačem v jednom pouzdře, minimální vzdálenost měření je vyšší, než tomu bylo u sonarů s odděleným vysílačem a přijímačem. Toto zařízení umožňuje bezkontaktní měření vzdálenosti v rozmezí od 15,24 cm do 645,16 cm s rozlišením 2,54 cm. Napájecí napětí je v rozmezí 2,5 V až 5.5 V. Spotřeba při provozu je pouze 2 mA. Nabízí analogové rozhraní, UART a PWM. Na obrázku viz 3.17 můžeme vidět časový průběh komunikace jednotlivých rozhraní. [10]

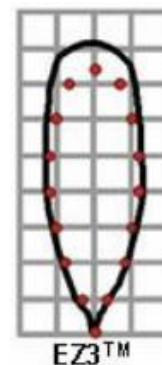


Obrázek 3.17: Časová průběh komunikace [10]

Vzorkovací frekvence je 20 Hz a měřicí kmitočet 42 kHz. Vyzařovací charakteristiku tohoto senzoru můžeme vidět na obrázku 3.18. Obrázek 3.18: Snímací charakteristika senzoru.



Obrázek 3.19: Senzor MB1020



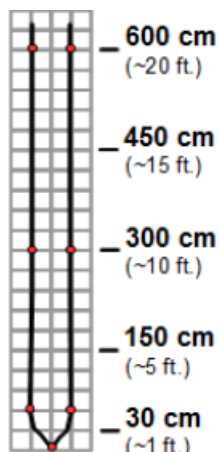
Obrázek 3.18: Snímací charakteristika senzoru [10]

### 3.3.6 MB 1030 LV-MAX SONAR-EZ3

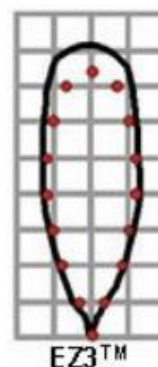
Tento senzor je ze stejné řady jako senzor MB 1020 LV-MAX SONAR-EZ2, proto má stejné parametry snímání a shodnou komunikaci, viz Obrázek 3.20. Tyto senzory mají pouze odlišnou vyzařovací charakteristikou, kterou můžeme vidět na obrázku 3.22. Z vyzařovací charakteristiky na obrázku 3.21 můžeme vidět, že tyto senzory nemají klasickou charakteristiku jako tomu bylo u předchozích sonarů.



Obrázek 3.20 Senzor MB1030



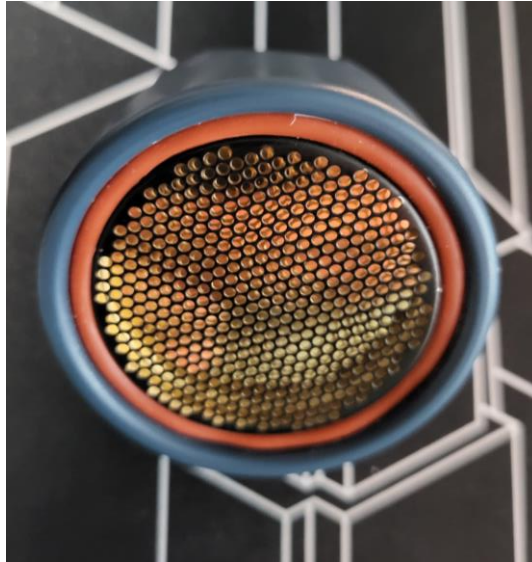
Obrázek 3.21: Charakteristika senzoru [10]



Obrázek 3.22: snímací charakteristika [10]

### 3.3.7 Sen0151 (URM06-Pulse)

Tento ultrazvukový snímač pracuje s kmitočtem 49,7 KHz a disponuje zorným úhlem snímání pouhých 15°. Z porovnávaných ultrazvukových senzorů disponuje tento snímač největšími rozměry. Průměr tohoto senzoru činí 50 mm a délka 43 mm. Napětí tohoto senzoru je v rozmezí 6 V až 12 V. Spotřeba je 16 mA. U tohoto senzoru najdeme stejně jako u předchozího senzoru kombinovaný vysílač a přijímač v jednom těle. Komunikace probíhá pomocí 2 pinů Trig a Echo. Podržením pinu Trig na nízké úrovni po dobu 50  $\mu$ s spustí jedno měření. Trvalým podržením logické nuly dojde k opakovanému měření každých 100 ms. Pomocí pinu Echo získáme vzdálenost překážky rovnající se délce pulzu ve stavu logické 1. Vzdálenost 1 mm odpovídá 1 $\mu$ s. [11]



Obrázek 3.23: Senzor Sen0151

### 3.4 Závěr rešerše

Výše uvedené parametry senzorů jsou vhodné pro možné detekování překážek, které by mohly stát v cestě osobám se zrakovými problémy. V rešerši byly zmíněny 2 druhy senzorů, a to konkrétně ultrazvukové, které obecně nabízejí větší zorné úhly a měří na větší vzdálenost a dále optické senzory. Laserové senzory disponují menšími rozměry, ale přesnost může být ovlivněna slunečním zářením nebo zhoršenou viditelností. V následující fázi otestuji tyto výše zmíněné senzory a vyberu ten, který bude mít nejlepší výsledky pro zamýšlený účel.



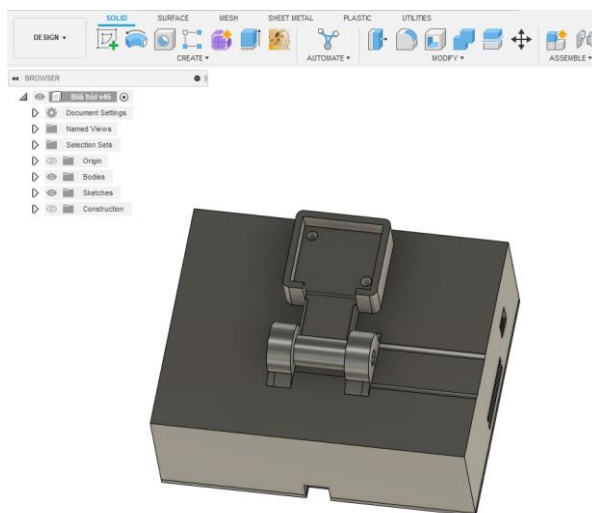
## 4 Analýza

V rámci analýzy jsem navrhl testovací vzorek, ve kterém jsem testoval jednotlivé senzory. Abych mohl jednotlivé senzory porovnat, potřeboval jsem zajistit stejné podmínky pro jednotlivé snímače. Před návrhem testovací platformy jsem si jednotlivé senzory zprovoznil a otestoval jejich funkčnost na nepájivém poli. Ukázalo se, že senzor Sen0151 není vhodný pro použití v detektoru, jelikož při měření vydává slyšitelné cvakání, které by nevidomé mohlo rušit, či rozptylovat. Zároveň jeho vnější rozměry jsou z testovaných senzorů zdaleka největší. Z těchto důvodů jsem při návrhu testovacího vzorku uvažoval pouze zbylé senzory.

### 4.1 Návrh testovací platformy

Pro otestování jednotlivých senzorů jsem navrhl testovací platformu, která umožňovala připojení snímačů přes univerzální 4 pinový dupont konektor. Díky tomu jsem mohl měnit jednotlivé senzory bez nutnosti složitého přepojování konektorů. Jednotlivé snímací moduly jsem přišrouboval k redukčním, pomocí kterých jsem mohl tyto senzory upevnit do těla krabičky. Redukce jsem umístil na kloub, který umožňoval natočení senzoru a tím upravení úhlu snímání, dle potřeby. Natočení a samotné uchycení redukce se senzorem bylo realizováno pomocí šroubu M4. Tímto šroubem bylo možné upravit tuhost kloubu, popřípadě zafixovat senzor v požadovaném úhlu natočení viz Obrázek 4.1

Samotné tělo krabičky bylo připevněno k zadnímu krytu. Kryt byl připevněn k hlavní části krabičky pomocí 4 šroubů M3, což poskytovalo dostatečně pevné spojení. Toto uchycení umožňovalo rychlou výměnu zadního krytu, a tak bylo možné vyměňovat tento díl bez nutnosti přepojování elektroniky.



Obrázek 4.1: Návrh testovacího vzorku

## 4.2 Zapojení

Celá testovací platforma je řízena pomocí vývojového kitu Arduino Nano s procesorem AtMega328p, který disponuje dostatečným množstvím I/O pinů, a jeho paměť i výkon jsou dostatečné pro zamýšlené použití. Vývojový kit Arduino nano je osazen mini USB konektorem, jenž umožňuje pohodlné programování i výpis na sériovou linku. Zároveň jsem měl s tímto mikrokontrolerem zkušenosti z minulých projektů, což mi umožňovalo rychlejší práci.

Pro napájení jsem zvolil 2 lithiové baterie typu LS 14500 s nominálním napětím 3,6 V a kapacitou 2600 mAh. Tyto baterie o velikosti standardních AA baterií jsou zapojeny do série díky čemuž poskytují dostatečné napětí pro napájení Arduina. Pro tyto baterie je možné využít standardních držáků pro baterie typu AA.

Pro zapnutí přístroje jsem vybral kolébkový přepínač, jenž umožňuje pohodlné zapínání přístroje. Díky jeho konstrukci jej lze snadno umístit do krabičky. Pro přepínání měřící vzdálenosti jsem zvolil mikrospínač. Konkrétně jde o spínač typu off (on). Tento spínač se osazuje do desky plošných spojů, čímž je zaručena pevnost při stisknutí a jednodušší upevnění uvnitř krabičky.

Uživatele je potřeba upozornit na překážku, proto jsem zvolil piezobzučák, jenž poskytuje jednoduchou akustickou signalizaci. Konkrétně jde o KINGSTATE KPEG242. Piezobzučák produkuje stálý tón o hlasitosti 70 dB a frekvenci 4,1 kHz. Napájecí napětí je možno použít v rozsahu od 3 V do 16 V. [12]

Při zapojení jednotlivých součástek jsem vycházel z katalogových listů od jednotlivých výrobců. Mikrokontroler, jenž je mozkiem celého zařízení, je propojen se všemi použitými součástkami. Tlačítko, které slouží k přepínání jednotlivých vzdáleností, na kterou jsou detekovány překážky, je zapojeno přes vnitřní pull-up rezistor. Bzučák je spínán přes digitální pin d9. Jednotlivé senzory jsou zapojeny do Arduina přes 2 digitální piny d6 a d7. Využití jednoho nebo obou pinů se liší dle komunikačního rozhraní, jež poskytují jednotlivé senzory.

### 4.3 Výroba testovací platformy

Nejprve jsem si jednotlivé senzory zprovoznil zapojením na nepájivém poli. Zde se ukázalo, že je potřeba tyto senzory upevnit v testovacím přípravku, ve kterém bych tyto senzory mohl testovat. Proto jsem začal návrhem krabičky, do které bych všechny komponenty a elektroniku umístil. Rozměry krabičky byly dány zejména velikostí napájecích baterií, senzorem a samotným mikrokontrolerem. Tímto vznikla podstava, kterou jsem rozšířil z obou stran. Kolem obdélníkové podstavy jsem navrhl 2 mm silnou stěnu. Následně jsem z 2D návrhu vytvořil 3D objekt, do kterého jsem vyřezal potřebné otvory pro jednotlivé součástky. V každém rohu jsem vytvořil podpůrný hranol s 3 mm dírou, které slouží k podepření a přišroubování zadního krytu krabičky. V přední vnější části krabičky jsem navrhl kloub, který umožňuje natočení senzoru a připevnění adaptéru senzoru ke krabičce, viz Obrázek 4.3. Šroub, jenž spojuje tyto 2 tělesa je zašroubován do matice M4, která je zapuštěna do části kloubu vystupující z těla krabičky, viz Obrázek 4.2.

Na pravé straně krabičky se nachází otvor pro kolébkový vypínač a 2 úzké obdélníkové výřezy pro protažení popruhů. Z levé strany krabičky, kromě otvorů pro protažení pásu, můžeme najít otvor pro mikropínač, který přepíná prahové vzdálenosti pro detekování překážky. Uprostřed vrchní stěny krabičky se nachází ještě otvor, který umožňuje protažení vodičů vedoucích k senzoru.

Celé takto navržené zapouzdření jsem vytiskl na 3D tiskárně Creality Ender 3 Max.



Obrázek 4.3: Senzory osazený v adaptérech



Obrázek 4.2: Testovací vzorek bez senzoru

## 4.4 Testování senzorů

V této fázi jsem testoval jednotlivé senzory a vyhodnocoval, který by byl nejvhodnější pro další použití. Senzory jsem postupně umisťoval do přípravku, který jsem si pomocí pásu připnul na tělo. Přípravek byl umístěn vždy na stejné místo na hrudi, díky tomu měly senzory stejné podmínky při testování. Při testování jsem zkoušel nejrůznější úhly natočení, abych zjistil, který bude poskytovat nejlepší výsledky.

Při testování jsem se zaměřil především na otestování snímání úzkého předmětu, který by mohl překážet v cestě. K tomuto testu jsem využíval dřevěnou tyč o průměru 28 mm, kterou jsem umístil horizontálně v úrovni hlavy. Tento test jsem prováděl s nastavením vzdálenosti na 1 m, nebo 1,5 m, pokud sensor neměl dobré výsledky při nastavení prahu detekce 1 m. V tabulce 4.1, můžeme vidět nastavení prahové vzdálenosti a následnou vzdálenost od překážky, kdy při pomalé chůzi začalo zvukové upozornění na překážku a následně vzdálenost, při které signalizace přestala upozorňovat. Zakoupené senzory byly porovnávány s Buzz clipem, jelikož se z komerčně dostupných výrobků nejvíce osvědčil při používání. Zároveň ho lze umístit na stejné místo, jako porovnávané senzory.

Tabulka 4.1: Porovnání detekce překážky

Označení senzoru:	Práh:	Začátek detekce	Konec detekce
Sen 0337 DFROBOT	1,5 m	30 cm	15 cm
OKY 3266-2	1,5 m	40 cm	15 cm
US-100	1 m	70 cm	30 cm
Grove – Ultrasonic ranger V 2.0	1 m	-	-
MB 1020 LV-MAX sonar-EZ2	1 m	80 cm	30 cm
MB 1030 LV-MAX sonar-EZ3	1 m	80 cm	30 cm
Buzz clip	1 m	65 cm	35 cm

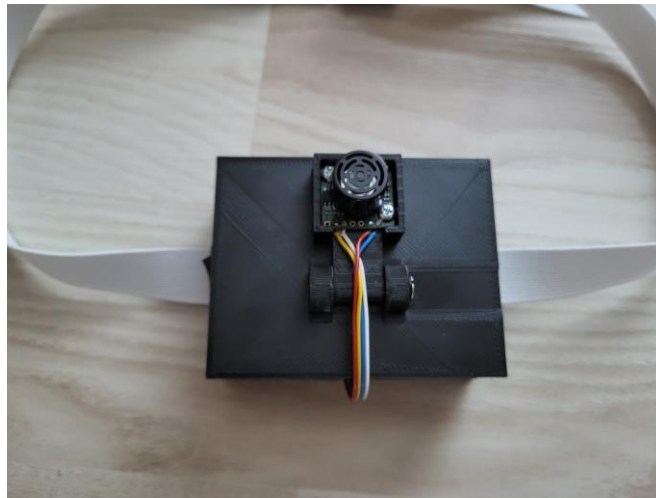
Dalším bodem testování byl průchod úzkou chodbou (šířka 1 m), podél zdi. V této situaci by sensor neměl detekovat podélnou stěnu, a tím rušit nositele zvukovou signalizací překážky. V další fázi jsem se zaměřil na průchod dveřmi (80 a 100 cm), které byly plně otevřené. Všechny výše zmíněné situace jsem zkoušel s nastaveným prahem detekce překážky na vzdálenost 1 m, 1,5 m a 2 m. V průběhu testování se ukázala jako nejvýhodnější vzdálenost 1 m.

V tabulce 4.2 můžeme vidět výsledky senzorů, které jsem testoval. Z tohoto testování jsem vybral 3 senzory, které budou podrobeny dalšímu testování. Konkrétně se jednalo o senzor US100, a senzory MB Max sonar 1030 EZ3 a 1020 EZ2.

Tabulka 4.2: Porovnání výsledků senzorů

1	Označení:	Druh senzoru:	Úhel :	Detekování tyče v úrovni hlavy	Chůze podél stěny	Průchod dveřmi	Vyhodnocení
2	Sen 0337 DFROBOT	Laserový	15-27°	Detekce cca 500 ms způsobuje pomalejší zaregování na překážku. Není tak spolehlivý jako ultrazvukové senzory.	Při průchodu chodbou nebyl problém s chybným upozorněním od podélné stěny.	Při hledání otvoru dveří je znát zpoždění, se kterým se musí počítat. Není problém s detekcí zárubní při průchodu.	Vzhledem ke zpoždění není nejlepší volbou pro detektor překážek
3	OKY 3256-2	Laserový	27°	Detekce cca 200 ms způsobuje pomalejší zaregování na překážku. Lepších výsledků bylo dosaženo nastavení vzdálenosti detekce na 1,5m. Není tak spolehlivý jako porovnávané ultrazvukové senzory.	Při průchodu chodbou nebyl problém s chybným upozorněním od podélné stěny.	Při hledání otvoru dveří je znát zpoždění, se kterým se musí počítat. Není problém s detekcí zárubní při průchodu.	Vzhledem ke zpoždění a občasného vyhodnocení falešně pozitivních detekcí není vhodný pro detektor překážek
4	US-100	Ultrazvukový	15°	Detekuje překážku spolehlivě, při prahu 1 m, signalizace upozorní už při vzdálenosti cca 70 cm od překážky.	Při průchodu chodbou nebyl problém s chybným upozorněním od podélné stěny. Upozornění se projevilo až při natočení se ke stěně o přibližně 45°.	Spolehlivé detekování otvoru dveří, zárubně neruší senzor při průchodu.	Tento senzor vyhověl ve všech testech a bylo by vhodné ho využít pro detekování překážek.
5	Grove- Ultrasonic ranger V 2.0	Ultrazvukový	30°	Při příchodu k překážce z mírného úhlu, detekuje později překážku, nebo ji vůbec nezaregistruje.	Při průchodu chodbou nebyl problém s chybným upozorněním od podélné stěny.	Spolehlivé detekování otvoru dveří, zárubně neruší senzor při průchodu falešnou detekcí.	Tento senzor se neosvědčil v prvním testu, tudíž není vhodné ho využít pro detektor.
6	MB 1020 LV-MAX sonar-EZ2	Ultrazvukový		Detekuje překážku spolehlivě, bez nutnosti naklonění senzoru. Při nastavení detekce signalizace na 1 m, detekuje překážku na vzdálenost 80 cm.	Při průchodu chodbou rovně nebyl problém s chybným upozorněním od podélné stěny. Detekce se spustila při naklonění těla směrem ke zdi.	Spolehlivé detekování otvoru dveří. Při průchodu rovně není problém s detekováním zárubní.	Tento senzor má o něco vyšší citlivost na boční objekty než senzor MB 1030, tudíž senzor MB 1030 bude lepší volba pro procházení úzkým prostorem.
7	MB 1030 LV-MAX sonar-EZ3	Ultrazvukový		Detekuje překážku spolehlivě bez nutnosti naklonění senzoru. Při nastavení detekce signalizace na 1 m, signalizuje překážku při vzdálenosti 80 cm.	Při průchodu chodbou rovně nebyl problém s chybným upozorněním od podélné stěny. Detekce se spustila při naklonění těla směrem ke zdi.	Spolehlivé detekování otvoru dveří. Při průchodu zcela otevřenými dveřmi nedetkuje chybně zárubně.	Tento senzor je citlivější na boční objekty než senzor US-100. Což je dáno jeho konstrukcí. Vzhledem k výsledkům a s ohledem na rozměry můžeme tento detektor použít pro detekci překážek.

V druhé fázi svého testování jsem osadil 2 testovací vzorky senzorem MB1030 LV-MAX sonar EZ3, viz Obrázek 4.4 a druhý senzorem US-100. Provedl jsem testování z hlediska spolehlivosti, funkčnosti a uživatelské přívětivosti. Při testování jsem narazil na problém, který se týkal senzoru MB1030. Při změně teploty dochází vlivem fyzikálních parametrů senzoru k chybnému měření. V zimním období nastal problém při přecházení z vnitřních prostor do venkovního prostředí, kde rozdíl teplot měl velký vliv na snímání senzoru. Pro obnovení správného měření snímače je potřeba zkalibrovat senzor. Kalibrace se provádí pouze při zapnutí senzoru, proto jsem ji vyřešil tranzistorem, který po 10 sekundách restartuje senzor odpojením napájení senzoru na 20 ms.



Obrázek 4.4: Připravená testovací platforma

Oba testovací vzorky jsem předal na testování kolegyni Ivě Klimešové, MSc., která si tyto testovací vzorky nejprve vyzkoušela a následně otestovala i s nevidomými. Testování proběhlo v organizaci ELSA, která dlouhodobě pomáhá nevidomým. Na základě zpětné vazby z testování vznikly připomínky od uživatelů:

- Zmenšit rozměry detektoru.
- Přepínání prahových hodnot pomocí posuvného nebo kolébkového spínače.
- Možnost zvolit si vibrační nebo zvukovou odezvu pro upozornění na překážky.
- Možnost připnout detektor k batohu.
- Změna prahů detekce na 70 cm ,85 cm a 100 cm.

## 4.5 Výsledek analýzy

Uživatelé, kteří vyzkoušeli oba typy senzorů, se shodli, že se jim více osvědčil vzorek se senzorem z řady MB Max Sonar. U těchto senzorů se v další kapitole zaměřím na návrh funkčního vzorku detektoru, do kterého zahrnu připomínky, které vplynuly při testování.

## 5 Návrh

V této části práce se budu zabývat návrhem funkčního vzorku detektoru překážek. Při návrhu využiji znalostí získaných při práci s testovací platformou a připomínek budoucích uživatelů.

### 5.1 Výběr mikrokontroleru

Při výběru mikrokontroleru jsem bral v úvahu spotřebu, dostatečné množství I/O pinů a paměť. Nakonec jsem zvolil jako vhodný vývojový modul Feather M0 Basic Proto, který je osazen mikrokontrolerem ATSAM21G18 ARM Cortex M0. Jedná se o 32 bit procesor pracující na frekvenci až 48MHz. Tento čip má 256KB flash paměti a 32KB SRAM paměti, díky tomu poskytuje několikanásobně víc paměti, než tradiční 8bitové procesory ATmega328p nebo ATmega32U4. S výhodou jsem použil tento procesor osazený na DPS Feather M0, který již obsahuje napájecí obvod pro Li-Pol akumulátor, univerzální plošný spoj, který využiji zejména pro propojení spínačů a usazení spínacích tranzistorů. Díky těmto vlastnostem byl tento vývojový kit ideální volba pro tento projekt. [13]

### 5.2 Napájení

Vzhledem k tomu, že jedním z požadavků uživatelů, kteří si vyzkoušeli testovací vzorek, bylo zmenšení zařízení, tak jsem vybíral akumulátor s co největší kapacitou, malými rozměry a nízkou hmotností. Vzhledem k těmto požadavkům jsem se přiklonil k Li-Pol akumulátoru LP562438. Tento akumulátor s nominálním napětím 3,7 V disponuje kapacitou 500 mAh. Jeho rozměry jsou 40x24,5x5,9 mm a hmotnost odpovídá 9 g. Součástí akumulátoru je ochranný obvod proti nadměrnému vybití nebo přebití, ke kterému vedou vodiče s JST konektorem. Pro nabíjení jsem mohl použít nabíjecí obvod, který je osazený přímo na desce zvoleného vývojového kitu. Díky tomu není nutné řešit externí nabíjecí obvod. Tento obvod nabíjí akumulátor proudem 100 mA. Pro nabíjení zařízení můžeme použít klasický micro USB kabel, nebo lepší variantou bude použití kabelu s reverzibilním (oboustranným) micro USB konektorem, který je možné zapojit oběma směry. [14]

## 5.3 Signalizace překážky

Dle požadavků nevidomých je upozornění realizované buď zvukovou signalizací ve formě pípání, vibracemi nebo jejich kombinací. Uživatel si pak může vybrat variantu, která mu nejvíce vyhovuje.

### 5.3.1 Zvuková odezva

Oproti předchozí verzi jsem použil hlasitější piezobzučák, konkrétně se jedná o ABI-017-RC. Tento DC bzučák nepotřebuje externí obvody pro vytváření zvuku, poskytuje kontinuální tón o frekvenci cca. 2,4 kHz a úroveň hlasitosti zvuku dosahuje 88 dB. [15]

### 5.3.2 Vibrační odezva

Upozornění na překážku ve formě vibrací je realizované za pomoci vibračního motorku B526. Tento válcový motorek o délce 15,7 mm, průměru 4 mm a hmotnosti pouhý 1 g poskytuje poměrně silné vibrace vzhledem ke svým rozměrům. Napájecí napětí je v rozsahu 1,5 V až 4,5 V, díky tomu se stal ideální volbou pro tuto práci. [16]

## 5.4 Ovládání detektoru

Na základě testování vyplynulo, že pro přepínání režimů prahových hodnot by bylo vhodné použít přepínač, podle kterého by bylo možné jednoznačně identifikovat, který režim je aktuálně zvolený. Proto jsem při výběru zaměřil na 3 polohové kolébkové a posuvné přepínače. Vzhledem k tomu, že jsem se snažil navrhnout co nejmenší zařízení, zvolil jsem posuvný přepínač typu on-on-on. Tento přepínač disponuje velmi malými rozměry, takže v krabičce nebude zabírat moc místa. Jezdec má vyšší výšku, aby vystupoval z těla krabičky a umožňoval pohodlné přepínání. Tento přepínač použiji i pro přepínání typu signalizace překážky.

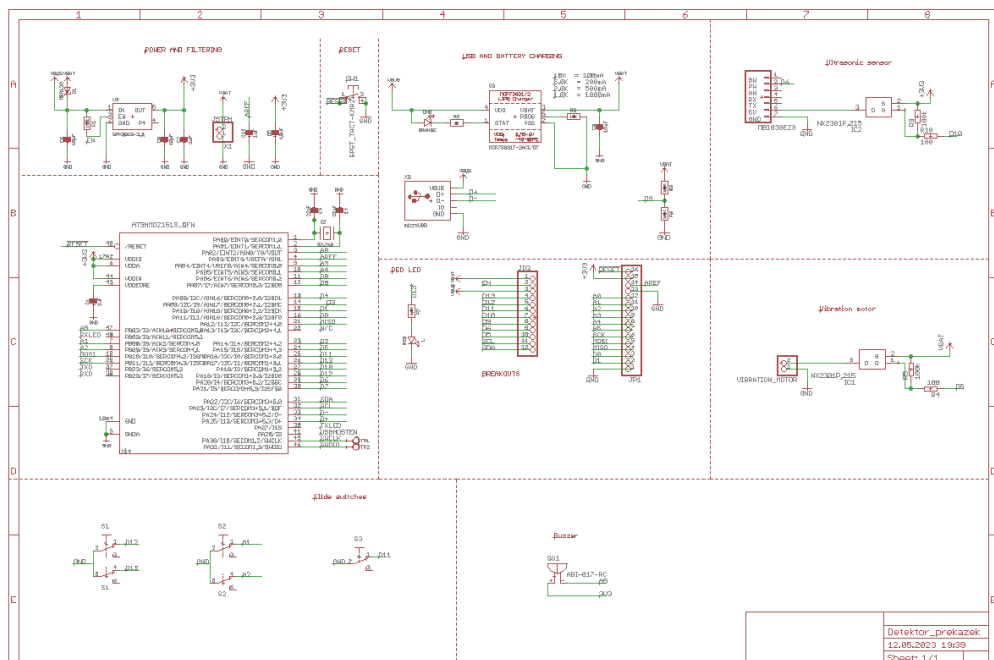
Pro zapnutí/vypnutí přístroje použiji taktéž posuvný přepínač, ale pouze 2polohový typu on – off. Tento přepínač má taktéž délku 13 mm, ale jezdec je širší, díky čemuž se jasně odlišuje od ostatních přepínačů.



## 5.5 Schéma zapojení

Pro zapojení jsem využil katalogové listy jednotlivých součástek. Mozkem celého zařízení je mikrokontroler, který je propojen se všemi periferiemi. Senzor komunikuje s mikrokontrolerem po vodiči, který je přiveden na pin D6. Komunikace probíhá pomocí PWM. Napájení senzoru je spínáno přes mosfet s kanálem typu P. Na gate mosfetu je zapojen 100Ω rezistor z digitálního pinu D10 a pull – up rezistor zapojený do 3,3V regulátoru. Záporný pól buzčáku je spínán přes digitální pin A5. Kladný napájecí pól je přiveden na 3,3V regulátor. Vibrační motor, který má poměrně velkou spotřebu je taktéž spínán přes mosfet s kanálem typu P z napájecího pinu akumulátoru. Gate mosfetu je spojen s digitálním pinem D5, který je přepínán mezi logickou nulou a stavem vysoké impedance. Spínače, které přepínají prahové vzdálenosti signalizace překážek, jsou spojeny s digitálními piny D11 a D12. Na tyto piny jsou připojeny vnitřní pull – up rezistory. Přepínání zvukové a vibrační odezvy je realizováno pomocí přepínače, který je přiveden na piny A1 a A2. Přepínač pro zapnutí přístroje je přiveden k pinu D11 a vnitřnímu pull – up rezistoru. Pro měření úrovně napětí baterie a následné signalizace stavu nabití se využívá vestavěného odporového děliče přivedeného na pin D9. Zapojení je zobrazeno na schématu, viz Obrázek 5.1. Při propojování jednotlivých součástek, jako jsou spínače, senzor, piezobuzčák a vibrační motor jsem s výhodou využil univerzálního plošného spoje umístěného přímo na vývojové desce Feather M0. To mi umožnilo propojení bez nutnosti přidání další DPS.

Schéma znázorněné na obrázku je nakreslené v programu Autodesk Eagle. Jako základ jsem využil dostupné schéma použitého vývojového modulu z oficiálních stránek výrobce, které jsem rozšířil o zapojení navrhovaného detektoru překážek, viz Obrázek 5.1 [13].



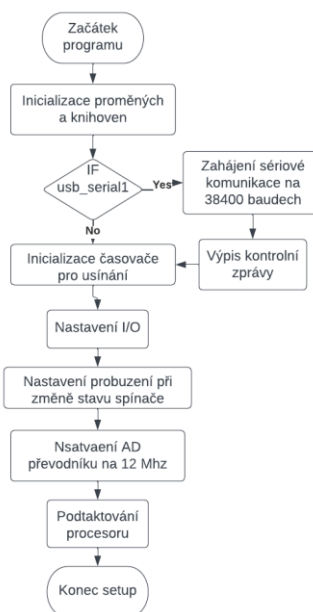
Obrázek 5.1: Schéma zapojení detektoru překážek

## 6 Programování

Pro psaní firmwaru jsem využil vývojové prostředí Arduino IDE, které vychází z jazyka C++. Kromě Arduina s ním lze naprogramovat i jiné desky, obsahující podporovaný mikrokontroler.

Do programu jsem zahrnul knihovnu, která je třeba pro správné fungování programu. Knihovna Low Power umožňuje uspávání procesoru do hlubokého spánku, tímto jsem snížil spotřebu na řády mikro ampér [17]. Díky tomu se zvýšila výdrž akumulátoru. Pomocí příkazů `#undef` jsem vypnul části kódu, které jsem používal při odladování firmwaru. Při testování jsem využíval kontrolních výpisů na sériovou linku, kterých při běžném použití není třeba, a navíc zvyšují spotřebu, proto jsem tyto části v kódu vypnul. Dále jsem definoval globální proměnné, které zpřehledňují a usnadňují práci.

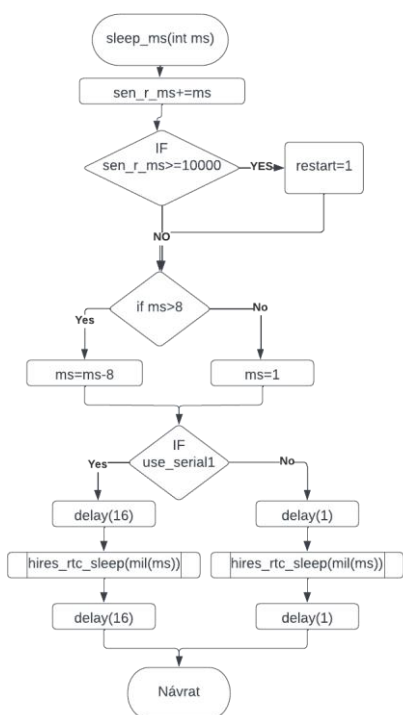
Ve funkci `setup` jsem nastavil jednotlivé I/O piny dle jejich použití. Pomocí podprogramu `hires_rtc_init()` jsem inicializoval prekvizity, jenž byly potřeba pro další funkci `hires_rtc_sleep()`, která umožňuje uspávání procesoru dle stanoveného času. Funkcí `LowPower.attachInterruptWakeup()` jsem nastavil probuzení procesoru při změně logické úrovně na daném pinu. V mém případě využívám tento způsob pro probuzení zařízení z hlubokého spánku. Na konci funkce `setup` jsem podtaktoval frekvenci procesoru, díky tomu se výrazně snížila spotřeba. Frekvence 48 MHz po vydělení 4 klesne na 12 MHz, tato frekvence je stále dostatečná pro bezproblémový chod zařízení. Pomocí funkce `analogReadResolution` jsem upravil vrácenou hodnotu funkce `analogRead`, aby odpovídala rozlišení A/D převodníku, viz Obrázek 6.1.



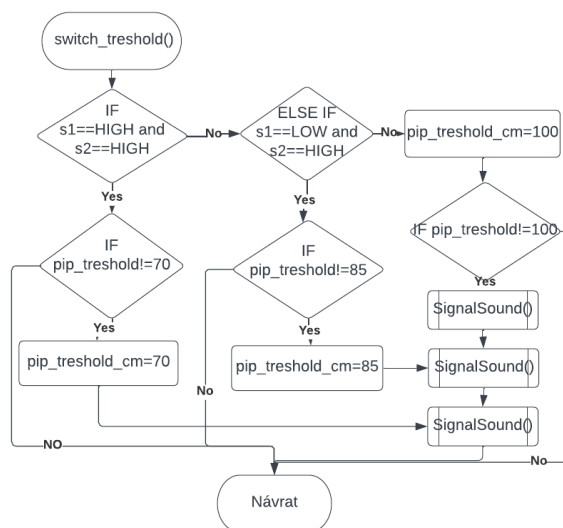
Obrázek 6.1: Inicializace a setup

V hlavní smyčce loop nejprve volám podprogram read\_sensor(), který uloží vzdálenost do proměnné. Volaná funkce pulseIn() vrátí dobu trvání pulsu v milisekundách. Tato vzdálenost v milisekundách je převedena na centimetry. Dále zjistíme stav tlačítek, podle toho je do proměnné uložena prahová hodnota 70 cm, 85 cm nebo 100 cm, kde při změně stavu dojde k jednomu až třem pípnutím podle zvolené hodnoty. Tato část je provedena v podprogramu switch\_treshold() viz Obrázek 6.2. Pokud je vzdálenost větší než 0 a zároveň menší než prahová hodnota, tak v dalším kroku dojde k výpočtu signalizace v milisekundách podle vzorečku. Tímto eliminujeme chyby při měření způsobené neodraženým pulzem zpět. V podprogramu switch\_signal() dojde podle stavu druhého přepínače k zvukové signalizaci o délce proměnné pip\_sound\_ms, nebo vibrační signalizaci viz Obrázek 6.5.

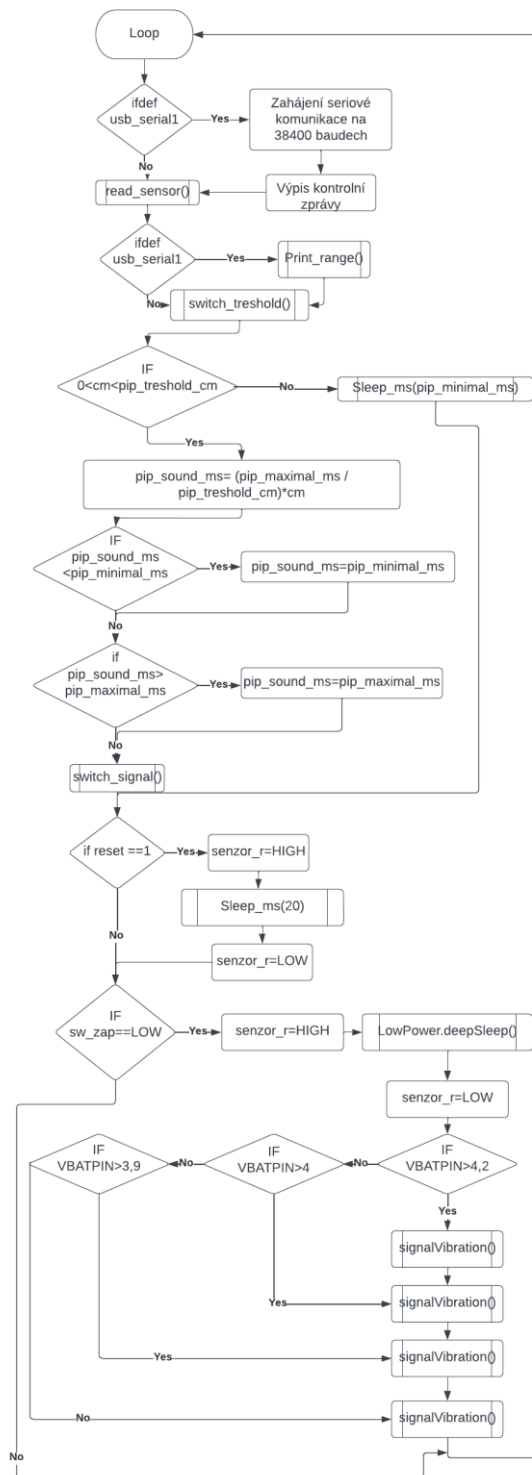
V další části se provádí pravidelný reset senzoru. Proto v podprogramu Sleep\_ms(), kromě uspávání procesoru, přičítáme do proměnné čas, viz Obrázek 6.3. Po dosažení hodnoty 10000, která odpovídá 10 sekundám, uložíme do proměnné reset = 1. V dalším cyklu po skončení měření dojde k restartování senzoru. V závěru smyčky loop kontrolujeme stav zapínacího přepínače, pokud je tento stav roven logické nule, odpojíme senzor od napájení a přejdeme do režimu hlubokého spánku. Probuzení je realizováno pomocí přerušení po přepnutí přepínače. Po probuzení dojde k opětovnému zapnutí senzoru a signalizace stavu nabití akumulátoru. Zbývající kapacita je realizována čtyřmi úrovněmi odpovídajícím procentům baterie. Kde 4 vibrace indikují plnou kapacitu, 3 vibrace 75 %, 2 vibrace 50 % a 1 vibrace 25 % viz Obrázek 6.4.



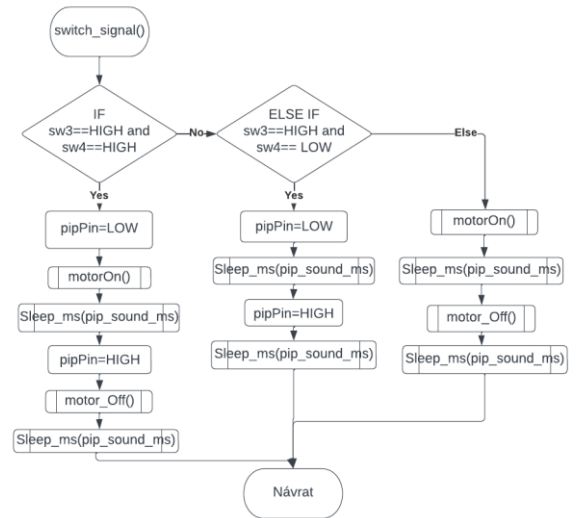
Obrázek 6.3: Podprogram režimu spánku



Obrázek 6.2: Podprogram pro přepínání prahů



Obrázek 6.4: Nekonečný cyklus loop



Obrázek 6.5: Podprogram přepínání signalizace

## 7 Realizace

V této části se budu zabývat návrhem modelů krabičky, klipů a adaptérů pro upevnění detektoru překážek k tělu. Následně vytištění těchto dílů na 3D tiskárně. Nakonec kompletací výrobku.

### 7.1 Návrh 3D modelů

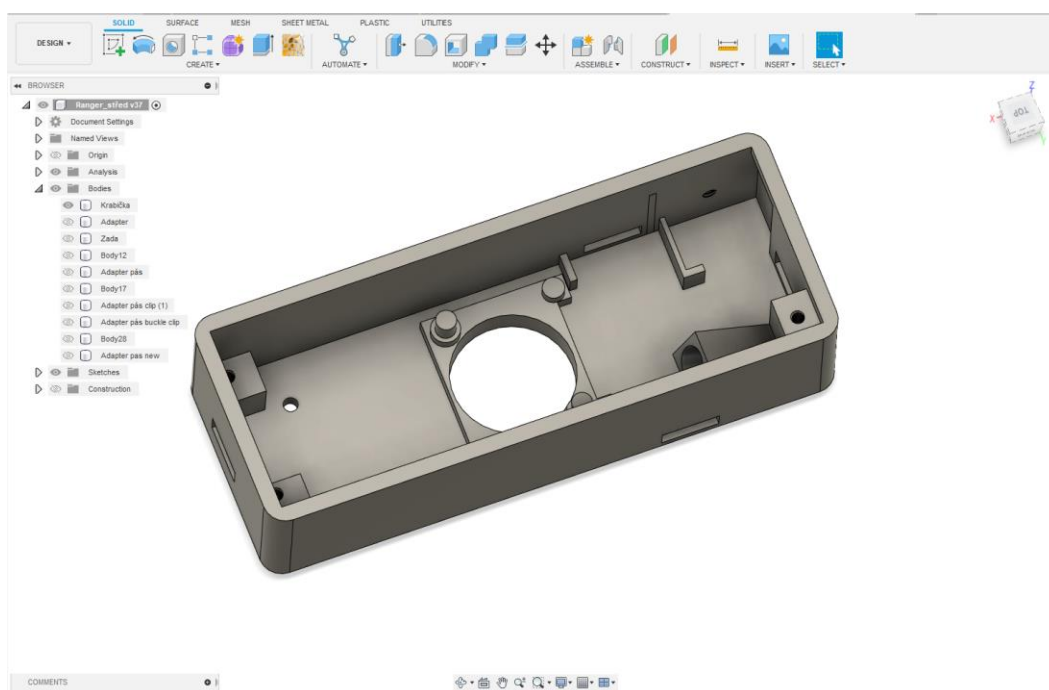
Všechny modely jsem navrhoval v programu Autodesk Fusion 360, který používám už několik let pro modelování. Tento program umožňuje použít spoustu pokročilých užitečných nástrojů, které ulehčují práci při modelování. Mezi takové nástroje patří například tvorba závitů, zaoblení nebo zkosení hran. V tomto programu se ukládají všechny projekty na cloud, díky čemuž můžeme k projektům přistupovat odkudkoliv, včetně předchozích verzí. Hlavní výhodou je časová osa při návrhu, tudíž je možné se zpětně vracet a upravovat objekt.

### 7.2 Návrh krabičky

Při návrhu krabičky jsem cílil na co nejmenší rozměry krabičky. Již při návrhu jsem počítal s tím, že se bude tisknout na 3D tiskárně, proto jsem navrhoval krabičku tak, aby ji bylo možné bez problému vytisknout. Důležitou roli hrál také vzhled a ergonomie zařízení.

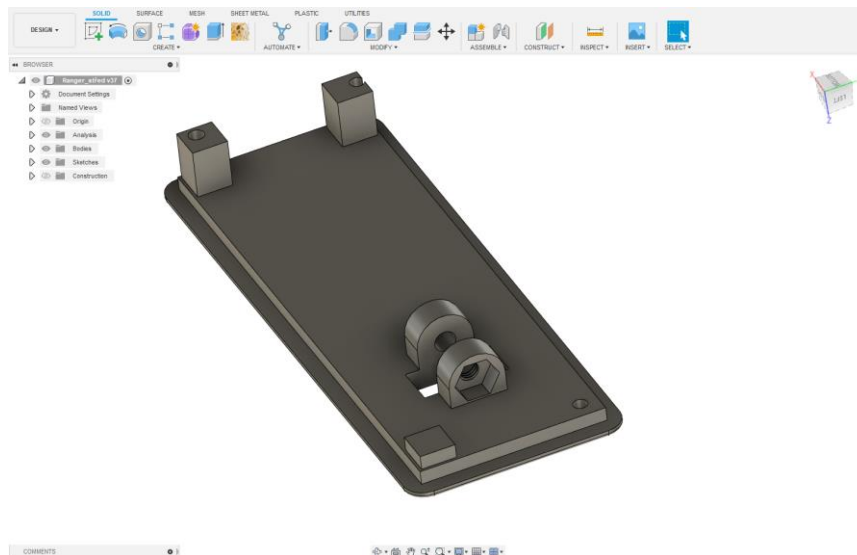
U návrhu jsem začal 2D nákresem obdélníku, který byl dán zejména rozměry největších komponent, jako je vývojový kit, senzor a akumulátor. Tímto jsem získal obdélníkovou základnu, okolo které jsem nakreslil 2 mm stěnu. V samotném středu jsem vytvořil kružnici pro umístění senzoru. Z 2D nákresu jsem vytvořil 3D objekt. Pokračoval jsem vytvořením obdélníkové podstavy s distančními sloupky kolem otvoru senzoru. Díky tomu jsem měl senzor uchycený ke krabičce. Dále jsem po stranách nakreslil čtvercovou podstavu s kruhovými otvory pro uchycení vývojového kitu pomocí šroubů M2. Do vzniklých otvorů jsem vyřezal závity. Díky tomuto jsem mohl na senzor umístit vývojový kit. Za mikrokontrolerem vznikl prostor pro uchycení spínačů, piezobzučáku a vibračního motoru. Přepínače sloužící pro přepínání prahových hodnot detekce jsem umístil naproti přepínači režimu mezi vibracemi a zvukovou signalizací. Ve stěnách jsem vytvořil obdélníkové otvory pro možnost posouvání jezdců spínačů. Hned vedle, v pravém boku krabičky, jsem umístil zapínací spínač, který se nachází naproti USB konektoru.

V jednom rohu krabičky jsem navrhl uchycení pro bzučák. V sousedním rohu jsem vytvořil hranol, který je nakloněn do ostrého úhlu nad přepínač prahových hodnot. Do středu hranolu je vyříznut kruhový otvor pro vibrační motor. Naklonění umožňuje vložení motoru bez zvětšování rozměrů krabičky. Kolem spínačů a bzučáku jsem vytvořil stěny, které usnadňovaly jejich umístění. Pro bzučák bylo nutné ještě vyříznout otvor, aby nedocházelo k jeho utlumení. V dalším kroku jsem přidal kruhový otvor umožňující zmáčknutí resetovací tlačítka. Dále jsem vytvořil otvor usnadňující vyndání vibračního motůrku, který jsem využil zejména při vývoji a odladování tohoto zařízení. Návrh těla krabičky je zobrazen na obrázku 7.1.



Obrázek 7.1: Návrh těla krabičky

Druhou část krabičky tvoří zadní kryt, který odpovídá rozměrům krabičky. Zadní kryt jsem navrhl dostatečně silný, aby bylo možné k němu přidělat další komponenty ve formě různých držáků, nebo adaptérů. Zadní kryt má drážku, která zapadne do těla a po stranách se opírá o stěnu krabičky. Pevné spojení zajišťují 3 šrouby M2, které procházejí skrz záda přes distanční hranoly do těla krabičky. Aby bylo možné krabičku natáčet do požadovaného úhlu, navrhl jsem kloub, který je umístěn ve vnitřním prostoru těla krabičky. Kloub je tvořen dvěma válci s vyříznutým kruhovým otvorem, do kterého lze zašroubovat šroub M3, jenž umožňuje nastavení tuhosti kloubu, popřípadě jeho zafixování v určité poloze. Aby byl kloub dostatečně pevný, je z jedné strany zafixován zapuštěnou maticí M3. Mezi těmito výstupky pro kloub je do víčka vyříznutý otvor, jenž umožňuje pohyb ramene kloubu, viz Obrázek 7.2. Nakonec jsem oba díly zaoblil, případně zkosil hrany za účelem lepší ergonomie a vzhledu.



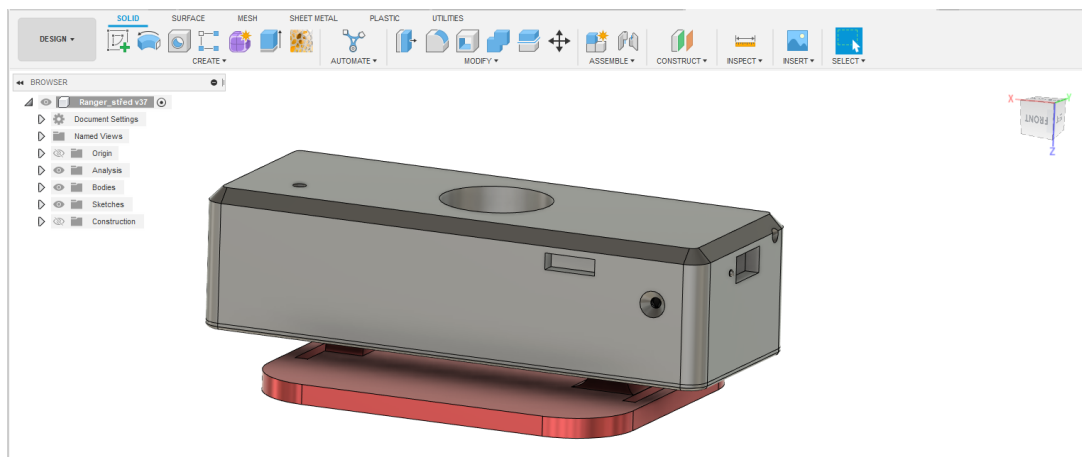
Obrázek 7.2: Návrh zad krabičky

### 7.3 Návrh držáků pro upevnění senzoru

Aby bylo možné detektor upevnit na tělo, popřípadě přidělat k popruhům batohu, navrhl jsem adaptér, který umožňuje připevnit výrobek ke gumovému pásu.

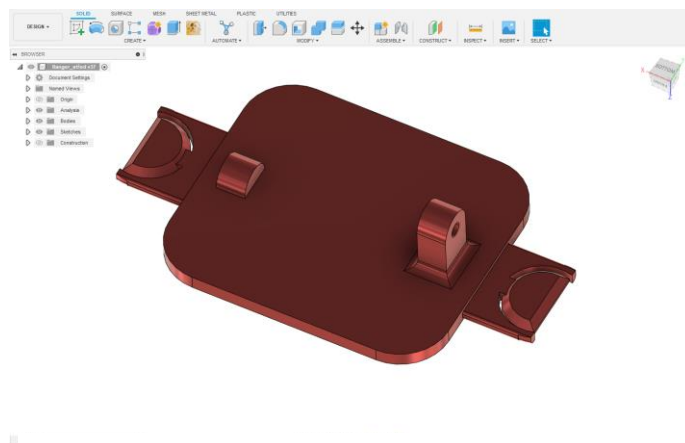
Nejprve jsem navrhl základnu, které zajišťuje stabilní polohu na těle. Z této základny vystupuje rameno, které prochází dírou v zádech krabičky, kde je zakončené válcem s otvorem pro již zmíněný šroub M3, který tyto 2 díly spojí a zafixuje. Toto spojení umožňuje naklonění krabičky vůči základně na obě strany, a tím přizpůsobení oblasti pro snímání. Na druhou stranu jsem umístil půlkruhový výstupek, který udržuje stejnou vzdálenost při natáčení krabičky vůči adaptéru.

Nejprve jsem vyřízl po stranách základny úzké obdélníkové otvory, kterými lze protáhnout 20 mm pásek nebo gumu, viz Obrázek 7.3. Aby bylo možné uchytit model k tělu i k popruhům batohu, nahradil jsem tyto otvory klipy, které je možné snadno rozepnout a připnout bez složitého připevňování.



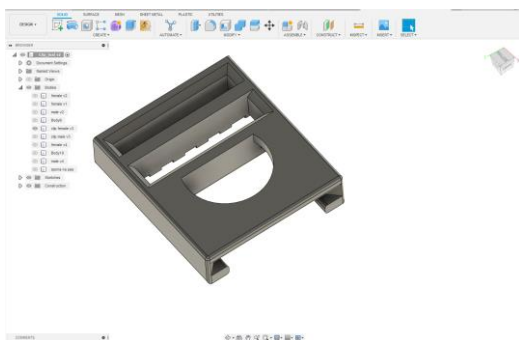
Obrázek 7.3: Návrh krabičky s adaptérem

Před návrhem klipů jsem se nejprve poohlédl v dostupných knihovnách 3D modelů, ale neobjevil jsem žádný, který by vyhovoval mým potřebám. Při návrhu klipu jsem se zaměřil na to, aby byl klip úzký, krátký, ale zároveň dostatečně pevný a pohodlně se rozpínal. Šířka klipu byla dána šířkou použité gumy, která činí 20 mm. Zkoušel jsem několik druhů klipů, ale nakonec jsem se rozhodl pro tento. Samice klipu je tvořena kvádrem, do kterého je uprostřed vyříznutá obdélníková drážka pro zasunutí konektoru samce. Z vrchní strany je vyříznutý půlkruh, do kterého zapadne výstupek samce. Konektor samce je taktéž tvořen obdélníkovou základnou. Uprostřed dílu najdeme vystupující půlkruhový výstupek, který je z větší části oddělený od základny drážkou. Spojení se základnou je pouze v jednom spoji, který umožňuje pružnost výstupku a tím drží klip samce se samicí pohromadě. Abych usnadnil odepínání a zacvaknutí klipů, zkosil jsem nebo zaoblil příslušné hrany. Díky tomu je možné klip odepnout i bez zmáčknutí, při použití větší síly. Oba konektory mají v sobě otvory s výstupky pro protažení pásku. Na závěr jsem spojil konektor samce se základnou adaptéru, a tak umožnil připnutí k batohu viz Obrázek 7.4.

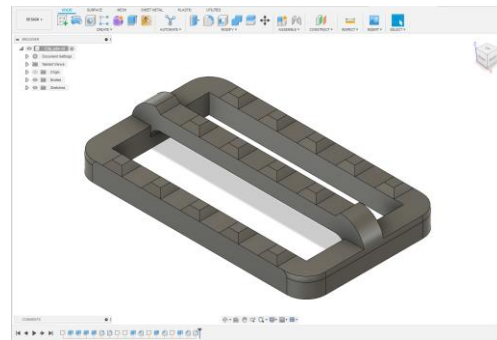


Obrázek 7.4: Návrh adaptéru s klipy

Aby bylo možné pásek s konektorem samice, viz Obrázek 7.6, připevnit k batohu, navrhl jsem jednoduchou sponu, viz Obrázek 7.5, která umožní upevnění gumy na batoh.



Obrázek 7.6: Návrh klipu samice



Obrázek 7.5: Návrh spony

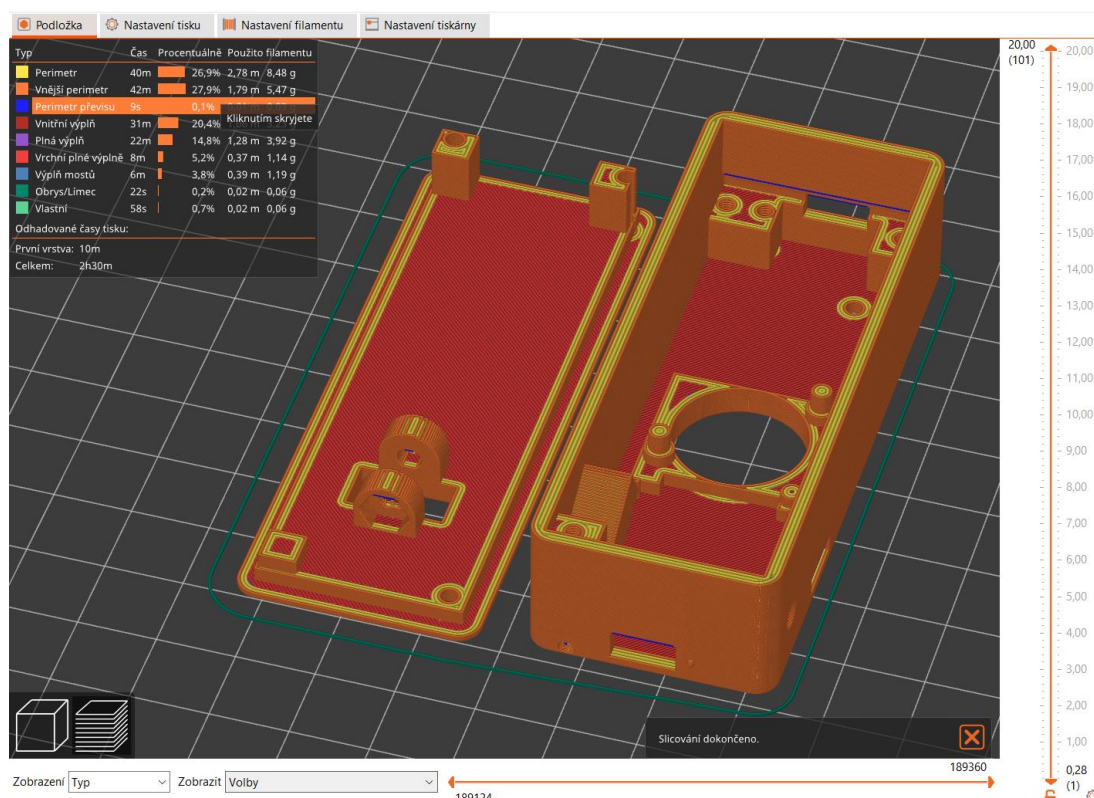


## 7.4 3D tisk

Všechny jednotlivé díly byly vytištěny na 3D tiskárně Prusa I3 mk3. Už při návrhu jsem počítal s tím, že díly budu tisknout, proto jsem se snažil o minimalizaci podpěr nutných pro 3D tisk, případně jejich úplné vynechání. Pro převedení modelu do G-codu jsem použil Prusa Slicer. Všechny zmíněné modely byly vytištěny tryskou o průměru 0,4 mm a šířkou perimetru 0,2 mm, tato kombinace nám zajišťuje kompromis mezi rychlostí tisku a zároveň viditelností jednotlivých vrstev. Pro tisk všech částí jsem použil filamenty z materiálu PET-G. Jedná se o materiál s dostatečnou pružností i mechanickou odolností.

### 7.4.1 Výroba krabičky

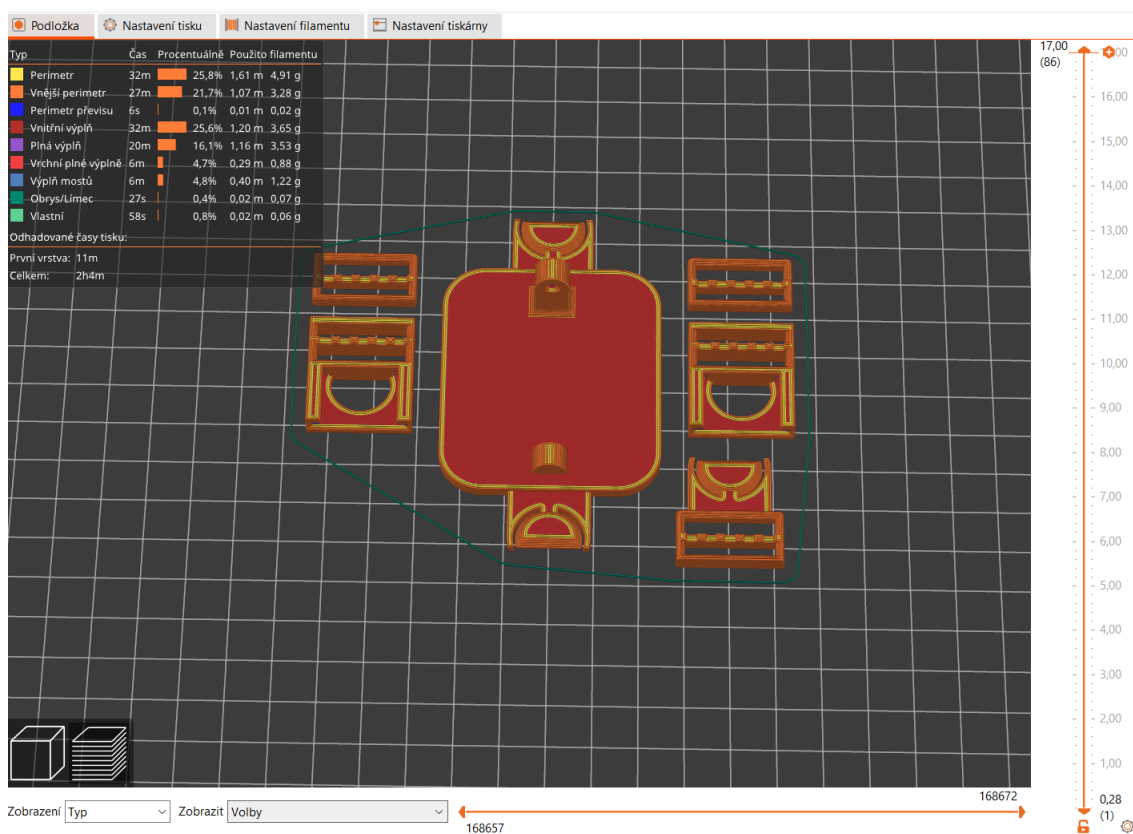
Krabička se skládá ze dvou částí, konkrétně z těla a zadního krytu, viz Obrázek 7.7. Na tyto 2 díly bylo spotřebováno 24 g filamentu, toto odpovídá 7,7 m při 100% výplni. Výrobní cena nákladů krabičky s víčkem vychází po zaokrouhlení na 17 Kč. Celkový čas potřebný pro výtisk těchto 2 modelů vychází na 2 h a 30 min.



Obrázek 7.7: Krabička připravovaná na tisk ve sliceru

## 7.4.2 Výroba držáků senzoru

Držáky, které slouží k uchycení na tělo, jsou rozděleny do 4 těles viz Obrázek 7.8. Pro upevnění funkčního vzorku k tělu je vždy potřeba adaptér, který tvoří základnu pro kloub. Pokud použijeme základnu s klipy, je nutné vytisknout 2 konektory samice, kterými protáhneme pásek. Jestli budeme chtít upevnit výrobek na popruh batohu, je nutné vytisknout ještě 2 spony, kterými upevníme gumový pásek. Na tyto již zmíněné díly se při tisku spotřebovalo 16,2 g filamentu, což odpovídá 5,3 m při 100% výplni. Celkový čas pro vytisknutí těchto částí vychází na 1 h a 53 min. Cena těchto modelů vyjde po zaokrouhlení na 12 Kč.



Obrázek 7.8: Slicování adaptérů a klipů pro tisk

## 8 Výsledky

Po osazení krabičky vznikl funkční vzorek, který jsem otestoval z hlediska funkčnosti i jeho parametrů. Nejprve jsem testoval výrobek ve vnitřním i venkovním prostředí, kde jsem se zaměřil zejména na detekci tyče uchycené horizontálně přes cestu. Dále jsem zkoušel různé průchody dveřmi, chodbami a kolem podélných stěn. Vyrobil jsem 3 ks detektorů překážek, které byly vytištěny z 3 různých barev, aby se usnadnila identifikace v případě vyskytnutí nějakého problému. Dva z těchto detektorů jsou osazeny senzorem MB1030 a třetí je osazen senzorem MB1020 viz Obrázek 8.1 a Obrázek 8.2.



Obrázek 8.1: Pohled z boku na funkční vzorky



Obrázek 8.2: Pohled na přepínač signalizace detektoru překážek

V dalším bodě jsem se zaměřil na spotřebu detektoru. Při vypnutí přístroje nedochází k odpojení napájení, aby bylo možné nabíjet akumulátor i při vypnutém stavu. Proto je při přepnutí spínače do vypnutého stavu mikrokontroler uveden do hlubokého spánku. Abych ověřil spotřebu, použil jsem multimetr Owon B35. Při vypnutém stavu (v hlubokém spánku) jsem naměřil odebíraný proud z akumulátoru  $378 \mu\text{A}$ . Tuto hodnotu by se mělo podařit ještě snížit vypnutím nepotřebných periférií. Při zapnutém stavu odběr proudu záleží zejména na přepnutém režimu mezi zvukovou a vibrační odezvou, jelikož tyto signalizace mají největší vliv na spotřebu. Samozřejmě významně ovlivňuje spotřebu doba trvání signalizace. Při neaktivní signalizaci, v rozmezí dané prahovou hodnotou detekce, jsem naměřil odebíraný proud z akumulátoru  $5 \text{ mA}$ .

Pokračoval jsem ověřením vzdálenosti, při které začne signalizace reagovat na překážku. Pomocí adaptéru jsem si upevnil detektor na batoh, viz Obrázek 8.3 a postavil jsem se čelem proti zdi. Pomocí klasického svinovacího metru jsem následně změřil vzdálenost při překročení prahu pro spuštění signalizace. Na vzdálenost  $70 \text{ cm}$ ,  $85 \text{ cm}$  i  $100 \text{ cm}$  jsem vždy naměřil vzdálenost o  $2 \text{ cm}$  větší. Ale jelikož u tohoto detektoru není nutné dosahovat vysoké přesnosti při měření, tak odchylka  $2 \text{ cm}$  nebrání v používání tohoto detektoru překážek.



Obrázek 8.3: Upevnění detektoru překážek na batoh

Hotový osazený detektor má celkové rozměry  $34 \times 84 \times 28 \text{ [mm]}$  včetně vystupujících tlačítek a senzoru, viz Obrázek 8.5. Hmotnost tohoto vzorku vychází na  $60 \text{ g}$ , spolu s adaptérem na  $74 \text{ g}$  viz, Obrázek 8.4.

Při testování jsem nenarazil na výrazný rozdíl mezi senzory, takže vhodnější senzor si zvolí uživatelé na základě dlouhodobějšího uživatelského testování. Vyrobené 2 funkční vzorky jsem předal na testování kolegyni Ivě Klimešové, MSc., která otestuje vzniklé funkční vzorky s nevidomými ve spolupráci s organizací ELSA.



Obrázek 8.5: celkový pohled shora na celý detektor



Obrázek 8.4: Upevnění detektoru k tělu pomocí klipů

## 9 Diskuse

Výsledkem vznikl funkční vzorek detektoru překážek, který jsem otestoval z hlediska funkčnosti a předal k dlouhodobějšímu testování. Na základě zpětné vazby z tohoto testování provedu dále potřebné úpravy, které již nebudou součástí této práce. U návrhu funkčního vzorku jsem se snažil navrhnout jednotlivé modely tak, aby se daly vyměňovat adaptéry, klipy a další příslušenství, které mohou dále upravovat nebo vyměňovat, aniž bych musel zasahovat do funkčnosti zařízení. Proto pokud budou potřeba další adaptéry s jiným uchycením, nebude nutné tisknout a osazovat celou krabičku.

Dále bych se chtěl pokusit optimalizovat firmware, abych ještě více snížil spotřebu zařízení vypnutím jednotlivých periférií.

V současné době probíhají jednání o možné komercializaci tohoto výrobku. V tomto případě by se vyplatilo navrhnout vlastní plošný spoj, který by se přímo osadil mikrokontrolerem a dalšími potřebnými komponenty. Na základě toho by mohl vzniknout prototyp, který by mohl být ještě o něco menší.

## 10 Závěr

Všechny cíle této práce dané jejím zadáním byly úspěšně splněny a jako její konečný výsledek vznikl otestovaný funkční vzorek detektoru překážek určený pro osoby se zrakovým postižením vyrobený zatím ve 3 kusech.

Během práce jsem se seznámil s požadavky a potřebami nevidomých vztažených na detekci překážek. Osobně jsem si vyzkoušel dostupné komerční detektory překážek, které jsem měl zapůjčené. Na základě seznámením se s parametry těchto detektorů a potřebami nevidomých jsem vybral a následně otestoval zakoupené senzory. Pro tyto senzory jsem navrhl testovací platformu. Tu jsem spolu s vybranými senzory předal na testování. Při konzultacích jsem získal zpětnou vazbu s požadavky na detektor. Následně jsem díky těmto informacím navrhl a vyrobil funkční vzorek detektoru překážek. Nejprve jsem realizoval jeho hardwarovou část. Navrhl jsem schéma, podle kterého jsem následně provedl zapojení. Pokračoval jsem oživením sestaveného hardwaru firmwarem. Následně jsem ve 3D programu navrhl krabičku s potřebnými adaptéry a klipy. Vše jsem vytiskl na 3D tiskárně, sestavil a otestoval z hlediska základní funkčnosti, spolehlivosti i výsledných parametrů. Vytvořil jsem výrobní dokumentaci a sestavil uživatelský návod. Nakonec jsem předal několik funkčních vzorků na testování.

Na detektor překážek pro zrakově postižené v současné době probíhá studentský projekt SGS a další projekty na toto téma jsou podané na Katedře informačních a komunikačních technologií v lékařství. Plánuji se i nadále této problematice věnovat, jsem dohodnutý s řešiteli zmíněných projektů, že se budu podílet na hardwarové a firmwarové stránce řešení těchto projektů i v budoucnu.

# Seznam použité literatury

- [1] iMerciv: BuzzClip. In: *iMerciv* [online]. Toronto: iMerciv Inc., 2018 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.imerciv.com/index.shtml>
- [2] Sunu náramek. In: *GiebHelp: servis s.r.o.* [online]. Olomouc: GiebHelp s.r.o., 2019 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://giebhelp.eu/sunu-naramek/>
- [3] CURTIS, Keith. Použití ultrazvukových měničů pro měření vzdálenosti. In: *DPS: Elektronika od a po z* [online]. DPS Elektronika od A do Z, 2015 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/mereni/id:20858/pouziti-ultrazvukovych-menicu-pro-mereni-vzdalenosti>
- [4] Sen 0337. In: *DFROBOT: DRIVE THE FUTURE* [online]. Shanghai: DFROBOT, 2008 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: [https://wiki.dfrobot.com/TOF%20Sense%20Laser%20Ranging%20Sensor\(5m\)%20SKU:SEN0337](https://wiki.dfrobot.com/TOF%20Sense%20Laser%20Ranging%20Sensor(5m)%20SKU:SEN0337)
- [5] PADYŠÁK, Ing. Zdeněk. *LASEROVÝ PROXIMITNÍ SKENER - ELEKTRONIKA*. Vysoké učení technické v Brně, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Luděk Žalud Ph.D.
- [6] VOJÁČEK, Antonín. Princip laserových snímačů vzdálenosti s triangulačním principem měření. In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. 2015 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/princip-funkce-laserovych-snimacu-vzdalenosti-s-triangulacnim-principem-mereni.html>
- [7] Oky3266-2. In: *OKYSTAR* [online]. Shenzhen: Shenzhen Okystar Technology Co., 2017 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.okystar.com/product-item/tof400f-laser-distance-sensor-module-oky3266-2/>
- [8] OKY3262: US-100. In: *OKYSTAR* [online]. Shenzhen: Shenzhen Okystar Technology Co., 2017 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.okystar.com/product-item/ultrasonic-sensor-distance-measuring-sensor-oky3262/#tab-id-1>



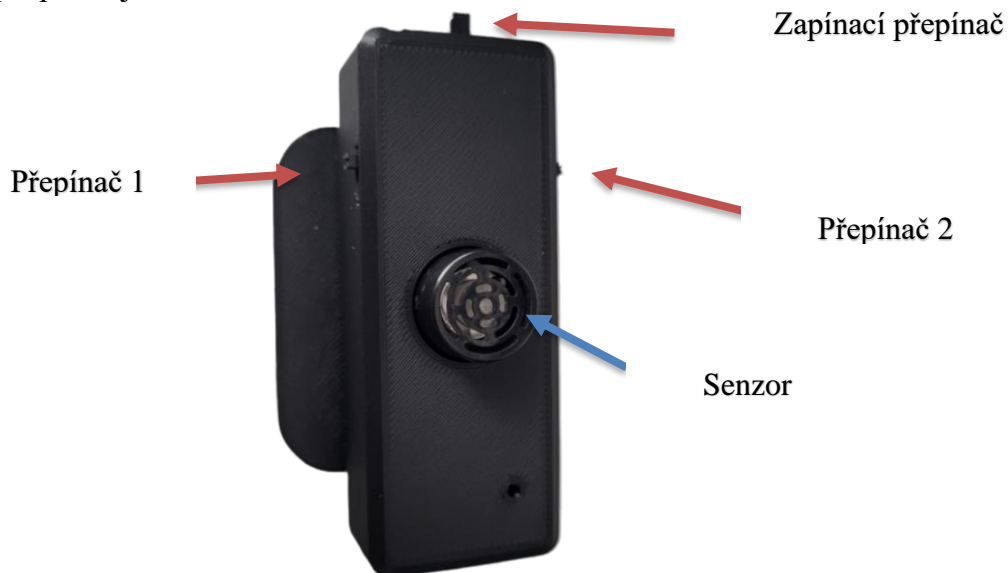
- [9] Grove: Ultrasonic ranger. In: *SEED STUDIO: The IoT Hardware Partner since 2008* [online]. Shenzhen: Seeed Studio, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: [https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Ultrasonic\\_Ranger/](https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Ultrasonic_Ranger/)
- [10] LV-MaxSonar® -EZ™ Series: High Performance Sonar Range Finder MB1000, MB1010, MB1020, MB1030, MB1040. In: *MaxBotix* [online]. Brainerd: MaxBotix, 2005-2021 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: [https://www.maxbotix.com/documents/LV-MaxSonar-EZ\\_Datasheet.pdf](https://www.maxbotix.com/documents/LV-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf)
- [11] SEN 0151: URM06. In: *DFROBOT: DRIVE THE FUTURE* [online]. Shanghai: DFROBOT, 2008 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: [https://wiki.dfrobot.com/URM06-PULSE\\_Ultrasonic\\_SKU\\_SEN0151](https://wiki.dfrobot.com/URM06-PULSE_Ultrasonic_SKU_SEN0151)
- [12] Piezzo Buzzer: KPEG242. In: *Kingstate* [online]. New Taipei City: Kingstate Electronics Corp., 2011 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.farnell.com/datasheets/1504081.pdf>
- [13] HERRADA, Eva a Lady ADA. Adafruit: Feather m0 basic proto. In: *Adafruit* [online]. New York City: Adafruit, 2015 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/adafruit-feather-m0-basic-proto/downloads>
- [14] Primary lithium battery: LS 14500. In: *SAFT* [online]. Bangnolet: Saft, 2009 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.farnell.com/datasheets/513027.pdf>
- [15] ABI-017-RC: Bzučák. In: *Farnell: AN AVNET COMPANY* [online]. 2011 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.farnell.com/datasheets/2861427.pdf>
- [16] ECLIPSERA: Vibrační mini motor. In: *ECLIPSERA* [online]. ECLIPSERA s.r.o., 2016 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/76/1460407556.pdf>
- [17] CHUNG, Taddy a José BAGUR. The Arduino Guide to Low Power Design: Learn the basics of low-power design using Arduino hardware and software. In: *Arduino Documentation* [online]. 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/low-power>
- [18] Znázornění velikosti detekční plochy. In: *Dratek* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/846-eses-ultrazvukovy-meric-vzdalenosti-hc-04-pro-jednodeskove-pocitace.html?addToFavorite>

## **Seznam příloh:**

Příloha A: Návod k použití .....	I
Příloha B: Technické výkresy modelů .....	V
Příloha C: Schéma .....	X
Příloha D: Obsah přiloženého archivu .....	XI

## Příloha A: Návod k použití

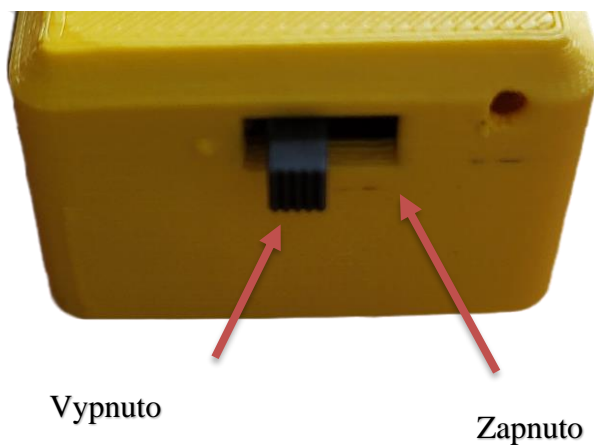
Popis přístroje:



- Před prvním použitím nabijte přístroj pomocí micro USB konektoru k napájecímu zdroji 5 V.
  - Doporučujeme použít oboustranný micro USB kabel, který usnadňuje zastrkávání micro USB konektoru do konektoru zařízení.



- Pomocí zapínacího tlačítka přepněte do polohy zapnuto. Po přepnutí dojde k zavibrování, které značí úroveň nabití přístroje.



Tabulka kapacity akumulátoru:

Signalizace zbývající kapacity akumulátoru	
Kapacita v %	Počet vibrací:
100-75	4
75-50	3
50-25	2
25-0	1

- Po informování o stavu akumulátoru dojde k detekci překážek, dle aktuálně nastavených přepínačů.
- Přepínač 1 slouží k přepínání prahových úrovní detekce. To znamená maximální vzdálenost, od které začne upozorňovat na překážku zvolenou signalizací. Odpovídající hodnoty najdeme v následující tabulce:

Přepnutí prahové vzdálenosti detekce			
	Poloha 1	Poloha 2	Poloha 3
Vzdálenost:	100 cm	85 cm	70 cm



- Přepínač 2 slouží k přepínání signalizace, která upozorňuje na překážku.

Poloha přepínače signalizace	
Poloha 1	Zvuková i vibrační signalizace
Poloha 2	Zvuková signalizace
Poloha 3	Vibrační signalizace



Poloha přepínače 1

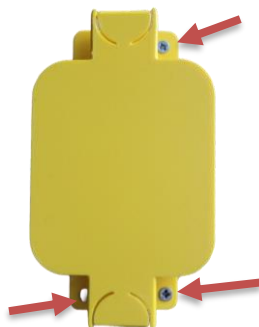


Poloha přepínače 2



Poloha přepínače 3

- Součástí adaptéru pro uchycení přístroje je kloub, pomocí kterého můžete nastavit přístroj do optimální polohy. Tento kloub je realizován šroubem M3, jehož dotažením můžeme přizpůsobit tuhost kloubu.
  - Nejprve je nutné odšroubovat 3 šrouby M2. Po vytažení těchto 3 šroubů ze zad krabičky můžeme vytáhnout zadní kryt krabičky, který je spojen s adaptérem. Přizpůsobíme si tuhost kloubu utažením nebo povolením křížového šroubu a složíme krabičku zpět do původního stavu.



Upravení tuhosti kloubu pomocí šroubu:



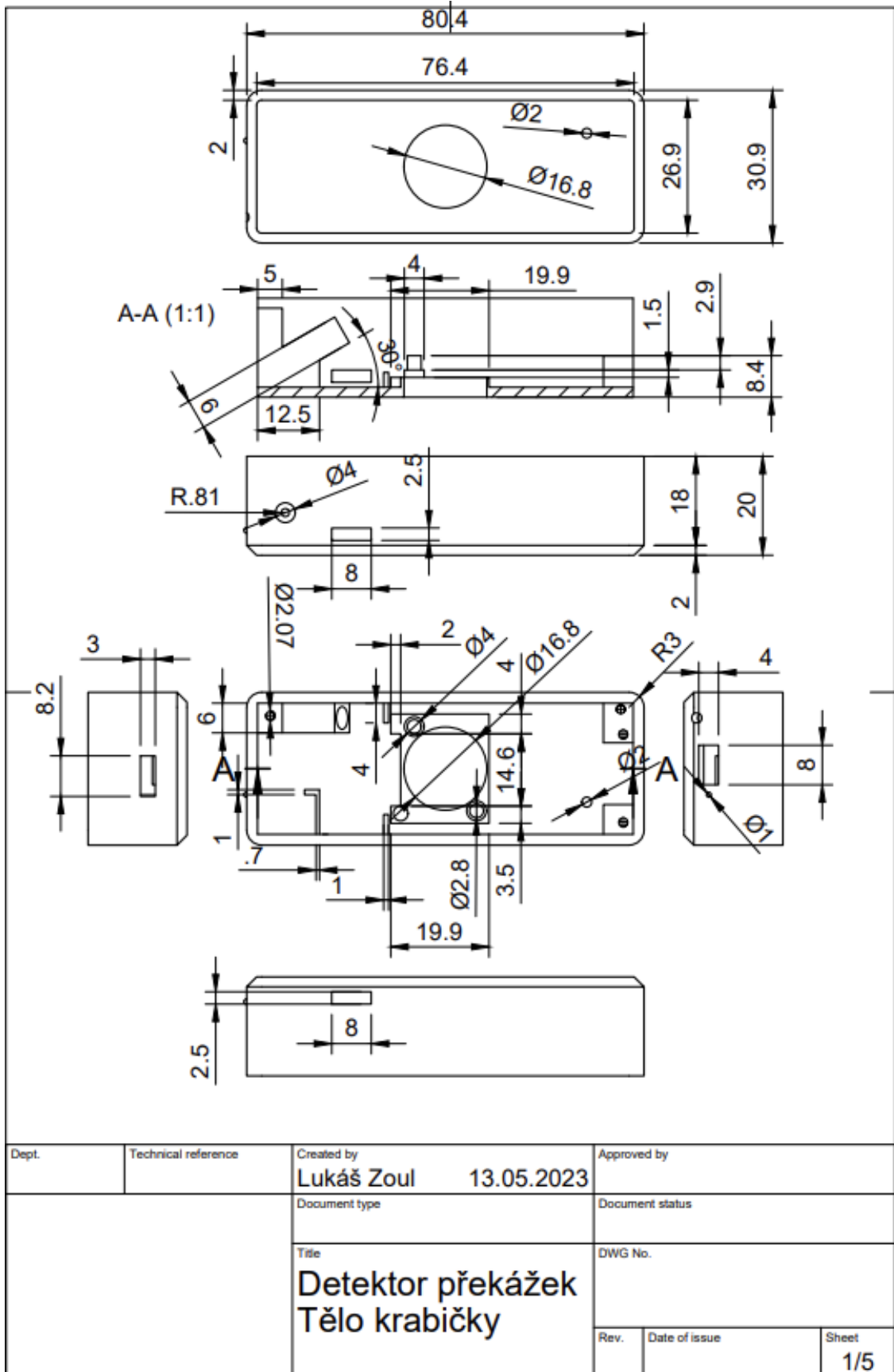
Pomocí základny s klipem můžete připnout detektor k batohu pomocí adaptéru s klipy. Na obrázku můžete vidět adaptér, na který je nadvaknutý klip viz obrázek níže.

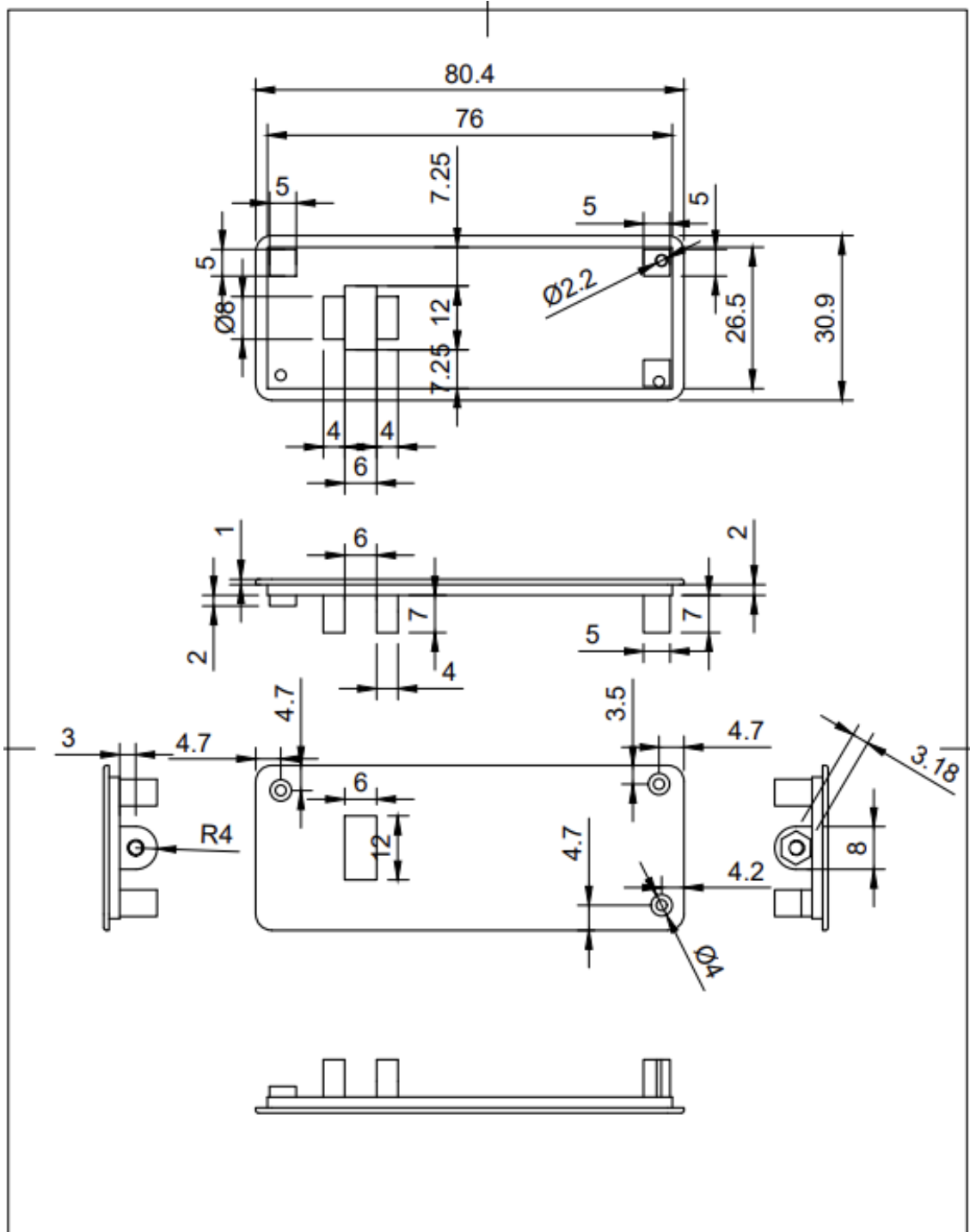


- Sponou protáhněte 2 cm gumu, kterou protáhněte okolo popruhu batohu a následně utáhněte.
- Konec upevněné gumy protáhněte vnitřním otvorem klipu tak, aby guma vycházela druhým otvorem přes zoubky, které ji brání v pohybu.
  - Stejným postupem upevněte gumu i na druhém popruhu.
- Připněte klipy k adaptéru a dotáhněte gumu, aby se senzor nacházel uprostřed těla a guma byla napnutá.
- Pro odpojení senzoru zatáhněte za klip směrem ven.



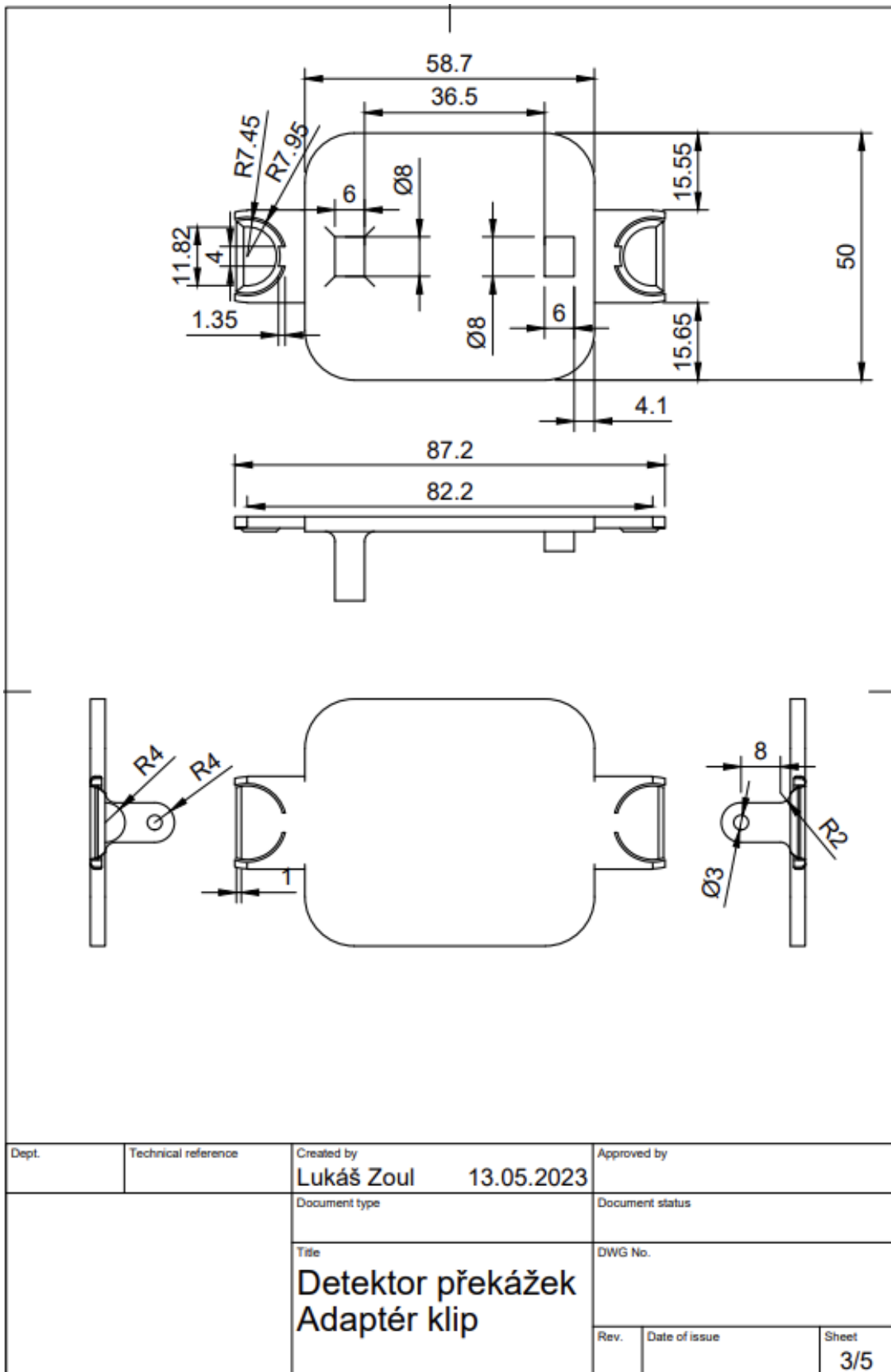
## Příloha B: Technické výkresy modelů



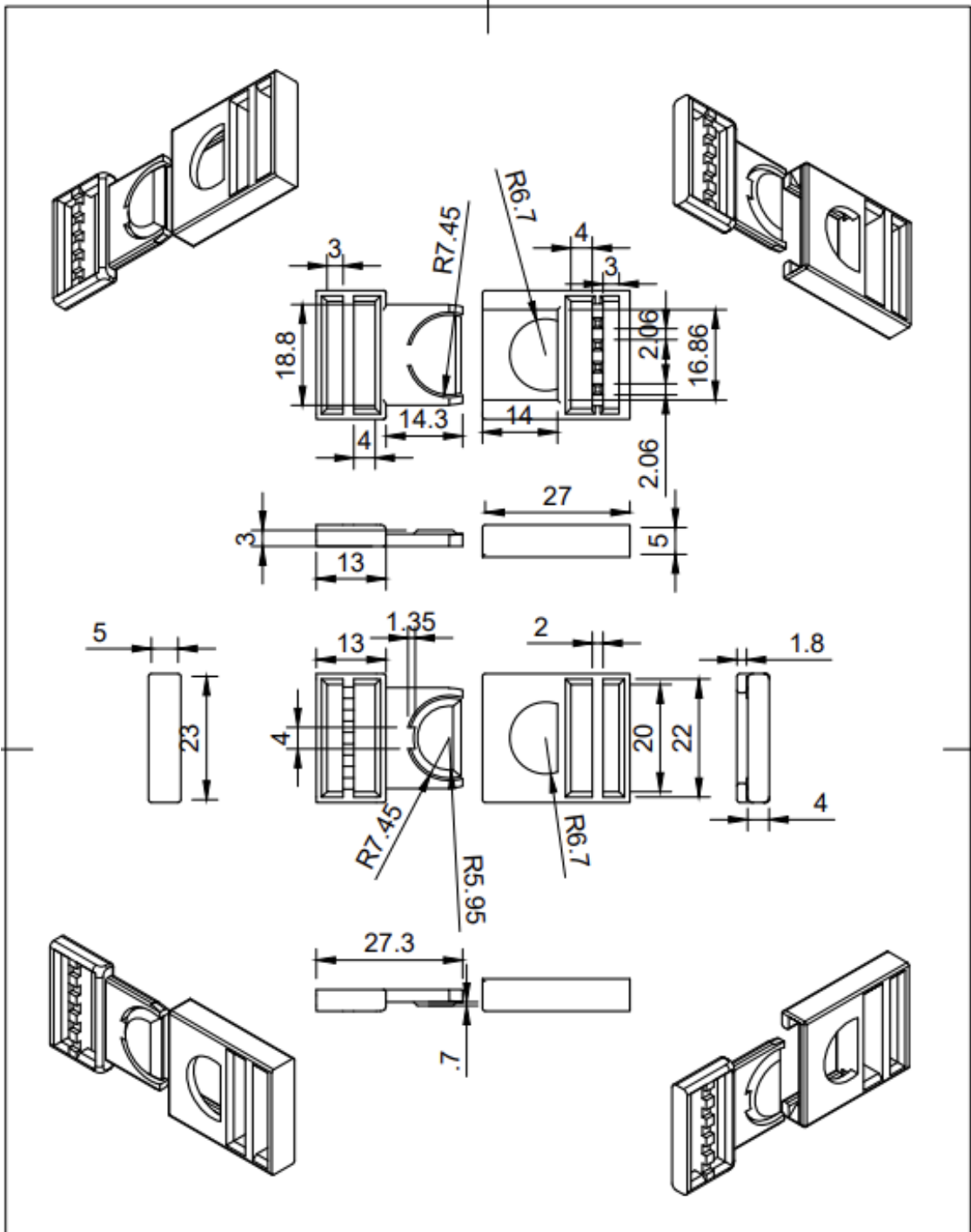


Dept.	Technical reference	Created by <b>Lukáš Zoul</b>	13.05.2023	Approved by
		Document type		Document status
		Title <b>Detektor překážek Záda krabičky</b>		DWG No.
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>2/5</b>

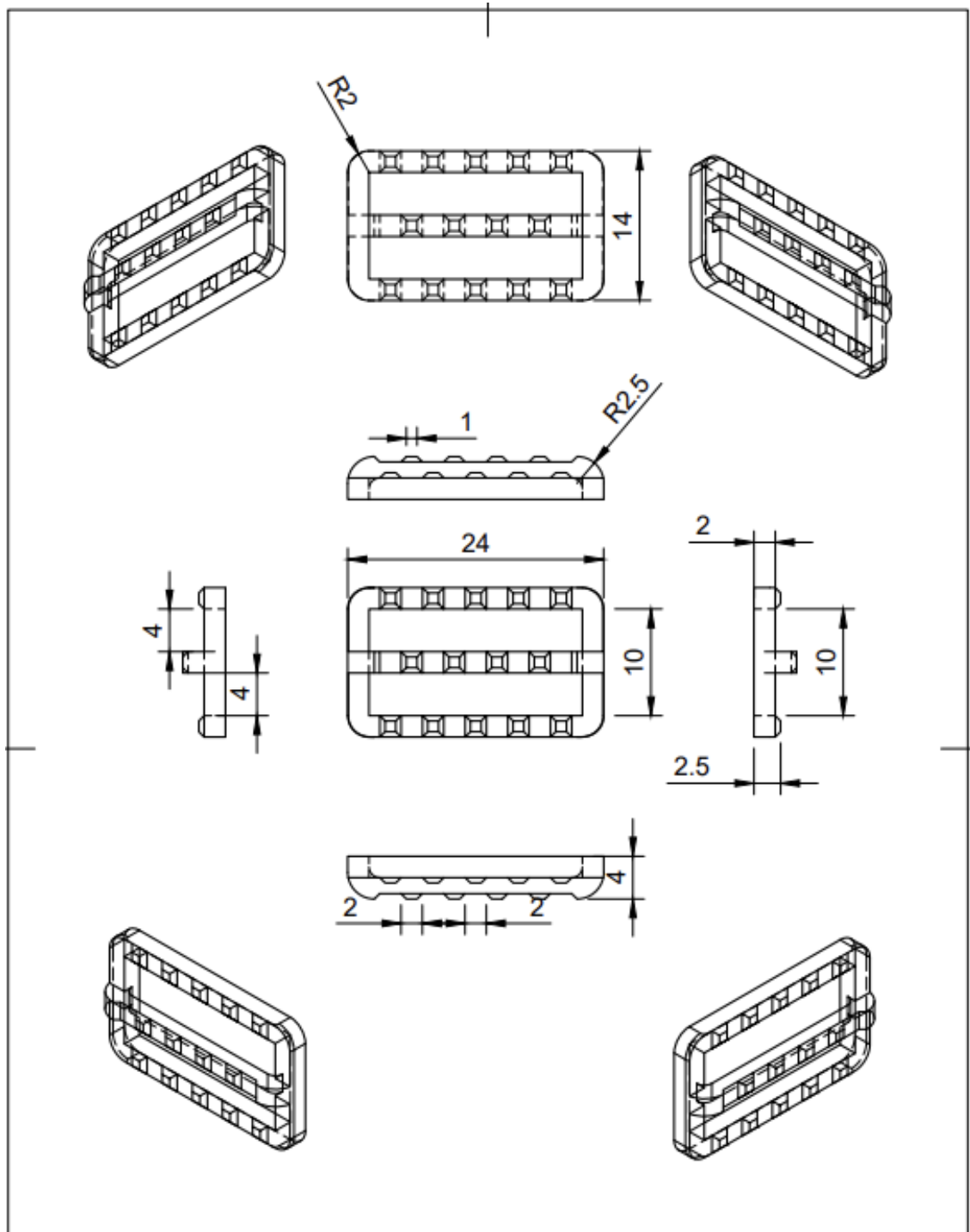




Dept.	Technical reference	Created by <b>Lukáš Zoul</b>	13.05.2023	Approved by	
		Document type	Document status		
		Title <b>Detektor překážek Adaptér klip</b>	DWG No.		
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>3/5</b>	

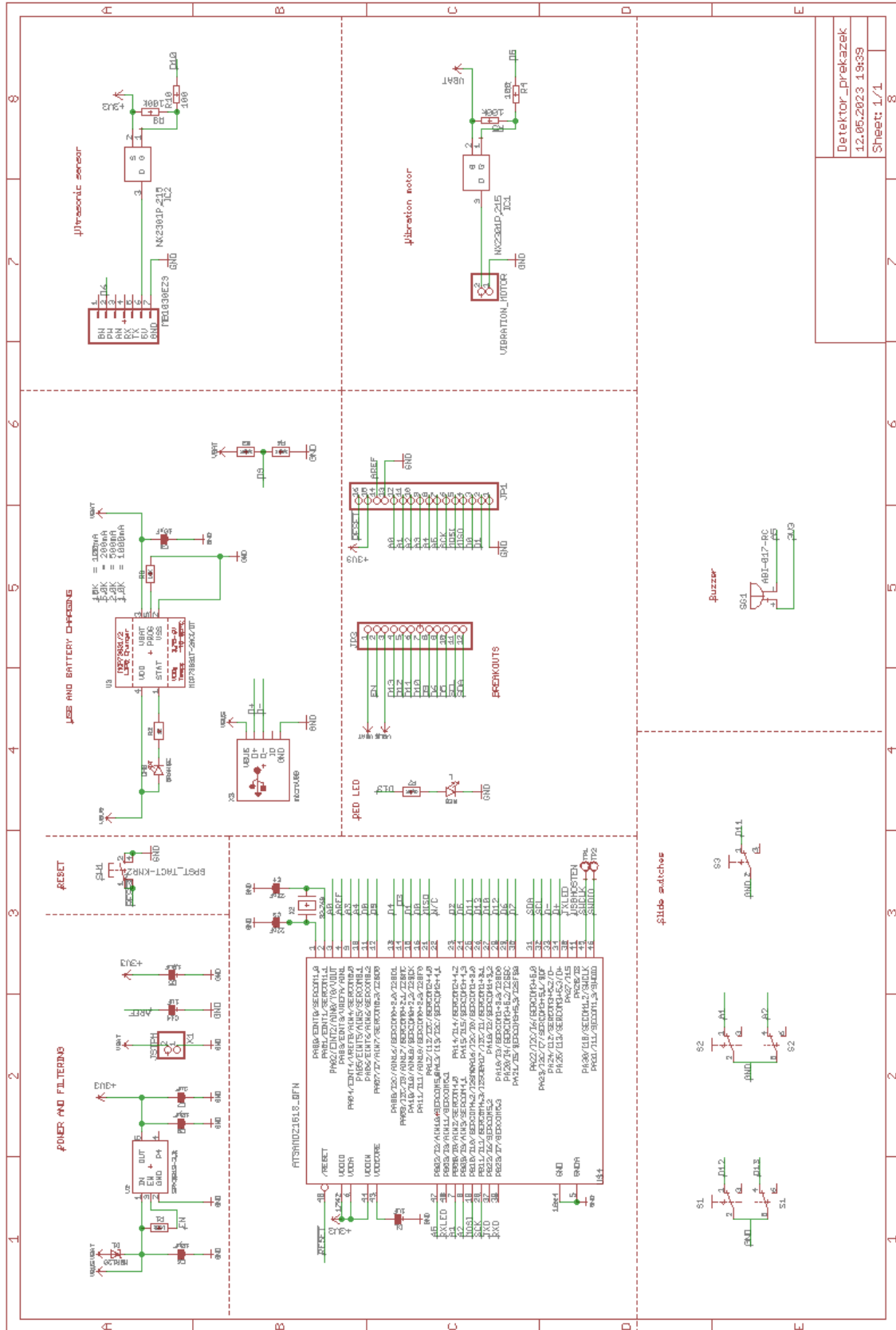


Dept.	Technical reference	Created by <b>Lukáš Zoul</b>	16.05.2023	Approved by
		Document type		Document status
		Title <b>Detektor překážek Klip</b>		DWG No.
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>4/5</b>



Dept.	Technical reference	Created by <b>Lukáš Zoul</b> 16.05.2023	Approved by
		Document type	Document status
		Title <b>Detektor překážek Spona</b>	DWG No.
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>5/5</b>

# Příloha C: Schéma



Detektor_prekazek	8
12.05.2023 19:53	
Sheet: 1/1	

## **Příloha D: Obsah přiloženého archivu**

- Schéma zařízení
- Modely pro 3D tisk
- Technický výkres
- Firmware