

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

### ÚSTAV RADIOTELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# VÝVOJ SYSTÉMU PRO MĚŘENÍ POHYBOVÝCH SCHOPNOSTÍ MALÝCH ŽIVOČICHŮ

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MEASURING THE MOTOR SKILLS OF SMALL ANIMALS

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michaela Ryšavá

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

BRNO 2022



# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Elektronika a komunikační technologie**

Ústav radioelektroniky

**Studentka:** Michaela Ryšavá

**ID:** 196205

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2021/22

## NÁZEV TÉMATU:

### **Vývoj systému pro měření pohybových schopností malých živočichů**

#### **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Cílem práce je sestavit zařízení, které bude schopné měřit, zaznamenávat a vyhodnocovat pohyb ještěrky v testovacím labyrintu. Zařízení musí být přenosné, s nízkou spotřebou a použitelné ve venkovním prostředí.

Seznamte se s dostupnými systémy pro zjišťování pohybových schopností malých živočichů. Navrhnete měřicí metody pro automatizované vyhodnocování získaných dat s využitím senzorů, optických závor, snímáním kamerou s následným vyhodnocováním apod. Provedete experimentální testování spolehlivosti navržených metod.

Po domluvě s vedoucím práce vyberte jednu metodu a pro ni navrhnete potřebnou elektroniku, obslužné firmwary a způsob logování dat pro následné vyhodnocování. Zařízení realizujte, provedete testování v terénu, ověřte použitelnost zvolené koncepce a vyhodnotte pohybové schopnosti jedinců.

#### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

- [1] A. Daniella Rojas, Gerhard Körtner, Fritz Geiser. Cool running: locomotor performance at low body temperature in mammals. Biol Lett. 2012 Oct 23; 8(5): 868–870. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3440967/>
- [2] Jason J. Kolbe, Andrew C. Battles, Kevin J. Avilés-Rodríguez. City slickers: poor performance does not deter Anolis lizards from using artificial substrates in human-modified habitats. Functional Ecology. Volume 30, Issue 8 p. 1418-1429. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12607>

**Termín zadání:** 11.2.2022

**Termín odevzdání:** 1.6.2022

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

**Konzultant:** Ing. Radovan Smolinský, Ph.D., PhD., PeD MUNI

**doc. Ing. Lucie Hudcová, Ph.D.**

předseda rady studijního programu

#### **UPOZORNĚNÍ:**

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

## **ABSTRAKT**

Hlavním cílem tohoto projektu bylo prozkoumat metody měření pohybu pomocí senzorů, vybrat vhodnou variantu a realizovat systém pro vytvoření aplikace k měření rychlosti pohybu malých živočichů. Jedná se o jednoúčelový projekt na míru výzkumu ve spolupráci s Masarykovou univerzitou, který se zabývá analýzou ještěrek žijících v České republice. Nynější komerční systémy poskytují zejména řešení pomocí analýzy kamero-vých dat, které je výhodné zejména z hlediska opakovatelnosti řešení. Pro požadované měření rychlosti na drahách různých tvarů je implementace softwarového zpracování obrazu komplikovaná a cenově náročnější než použití řešení pomocí elektronických senzorů. Nejvhodnější metodou měření se ukázalo použití infračervených optických bran, z důvodu konstantní přesnosti výsledků při změnách barev a velikostí měřených jedinců, malé velikosti a relativně snadné implementaci. Dále byla zkonstruována dráha rovná dráha, realizován elektronický systém využívající vybraného konceptu optických bran a implementován software software pro ovládání a vyhodnocování celého měření.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

IR senzor, PIR senzor, Ultrazvukový senzor, Dotykový senzor, Kapacitní senzor, Optická brána, Optická závora, Arduino, ATmega328P, C/C++, Python, ArduinolDE

## **ABSTRACT**

The main objective of the project was to explore methods of motion measuring using sensors, select a suitable method, create a system and a application for measuring the speed of small animals. It is a dedicated project to measure a research in cooperation with Masaryk university, which aimed to explore the the mobility of lizards living in the Czech Republic. In particular, commercial systems provide a solution by analyzing camera data. For the desired speed measurement of various shapes, the implementation of image processing is cost-ineffective and more complicated than using electronic sensor solutions. The most appropriate solution an infrared optical gate appears, due to constant results accuracy when changing the colors and sizes of measured individuals, small size and relatively easy implementation. Furthermore, a straight track and an electronic system using the selected optical gate concept has been constructed and implemented software for control and evaluating the entire measurement.

## **KEYWORDS**

IR sensor, PIR sensor, Ultrasonic sensor, Touch sensor, Capacity sensor, Optical gate, Arduino, ATmega328P, C/C++, Python, ArduinolDE

RYŠAVÁ, Michaela. *Vývoj systému pro měření pohybových schopností malých živočichů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2022, 56 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

# Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Michaela Ryšavá

**VUT ID autora:** 196205

**Typ práce:** Bakalářská práce

**Akademický rok:** 2021/22

**Téma závěrečné práce:** Vývoj systému pro měření pohybových schopností malých živočichů

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....  
.....  
podpis autorky\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Tomáši Frýzovi Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

# **Obsah**

<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>1 Teoretická část studentské práce</b>	<b>12</b>
1.1 Analýza problému . . . . .	12
1.1.1 Dříve provedené výzkumy . . . . .	12
1.1.2 Specifikace aktuálního výzkumu . . . . .	14
1.2 Metody řešení . . . . .	16
1.2.1 Komerčně dostupné systémy . . . . .	16
1.2.2 Softwarové vyhodnocování video sekvence . . . . .	20
1.2.3 Ultrazvukový senzor . . . . .	21
1.2.4 Kapacitní senzor . . . . .	22
1.2.5 Infračervený senzor . . . . .	23
<b>2 Praktická část studentské práce - metody řešení</b>	<b>26</b>
2.1 Ultrazvukový senzor . . . . .	26
2.1.1 Technický rozbor . . . . .	26
2.1.2 Implementace . . . . .	26
2.1.3 Výsledky . . . . .	28
2.2 Kapacitní snímač . . . . .	29
2.2.1 Technický rozbor . . . . .	29
2.2.2 Implementace . . . . .	29
2.2.3 Výsledky . . . . .	29
2.3 Optický snímač . . . . .	30
2.3.1 Technický rozbor . . . . .	30
2.3.2 Implementace . . . . .	30
2.3.3 Výsledky . . . . .	31
2.4 Optická brána . . . . .	31
2.4.1 Implementace . . . . .	31
2.4.2 Výsledky . . . . .	32
2.5 Výsledky měření . . . . .	32
<b>3 Praktická část studentské práce - realizace</b>	<b>34</b>
3.1 Konstrukce dráhy . . . . .	34
3.1.1 Realizace . . . . .	34
3.1.2 Krytí . . . . .	34
3.1.3 Provedené změny . . . . .	35
3.1.4 Shrnutí . . . . .	35

3.2	Hardware . . . . .	35
3.2.1	Návrh optické brány . . . . .	35
3.2.2	Návrh desky . . . . .	37
3.2.3	Zapojení celého systému . . . . .	37
3.3	Software . . . . .	37
3.3.1	Firmware . . . . .	38
3.3.2	Aplikace . . . . .	39
3.3.3	Shrnutí . . . . .	42
	<b>Závěr</b>	<b>43</b>
	<b>Literatura</b>	<b>44</b>
	<b>Seznam symbolů a zkratek</b>	<b>49</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>50</b>
<b>A</b>	<b>Podklady pro desku plošných spojů</b>	<b>51</b>
A.1	Kompletní schéma . . . . .	51
A.2	Schéma pro výrobu PCB . . . . .	52
A.3	Hotový výrobek . . . . .	52
A.4	Seznam součástek . . . . .	52
<b>B</b>	<b>Podklady pro konstrukci dráhy</b>	<b>54</b>
B.1	Výkres pro konstrukci dráhy . . . . .	54
B.2	Výkres krabičky . . . . .	55
B.3	Výkres přídavného modulu . . . . .	56

# Seznam obrázků

1	Obecné schéma projektu . . . . .	11
1.1	Výsledky pozorování rychlosti . . . . .	12
1.2	Anola . . . . .	13
1.3	Ještěrka obecná . . . . .	14
1.4	Rovná dráha . . . . .	15
1.5	Zvlněná dráha . . . . .	16
1.6	Zvlněná dráha, druhý pohled . . . . .	16
1.7	Dráha tvaru U . . . . .	17
1.8	PIT tag . . . . .	18
1.9	Záznam z infračervené kamery . . . . .	19
1.10	Záznam z audio kamery . . . . .	19
2.1	Senzor HC-SR04 . . . . .	27
2.2	Úprava modelu dráhy pro HC-SR04 . . . . .	27
2.3	Zapojení senzoru HC-SR04 . . . . .	28
2.4	Senzor TTP223 . . . . .	29
2.5	Zapojení senzoru TTP223 . . . . .	30
2.6	Zapojení senzoru HW201 . . . . .	31
2.7	Zapojení optické brány . . . . .	32
3.1	Model krabičky . . . . .	34
3.2	Senzor HW201 . . . . .	36
3.3	Zapojení LM393 . . . . .	36
3.4	Schéma optické brány . . . . .	36
3.5	Zapojení systému . . . . .	37
3.6	Vývojový diagram firmwaru . . . . .	38
3.7	Mockup aplikace . . . . .	40
3.8	Vývojový diagram softwaru . . . . .	41
A.1	Schéma 12 optických bran . . . . .	51
A.2	Schéma desky . . . . .	52
A.3	Vyrobená deska . . . . .	53
B.1	Výkres rovné dráhy . . . . .	54
B.2	Výkres krabičky . . . . .	55
B.3	Výkres překážky . . . . .	56

# **Seznam tabulek**

1.1	Parametry dráhy . . . . .	14
2.1	Výsledky měření . . . . .	33
3.1	Komunikace Arduina s PC . . . . .	42
A.1	Seznam součástek . . . . .	53

# Úvod

Tato bakalářská práce vznikla jako reakce na potřeby biologického výzkumu. Zadavatelem požadavku je Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity. Dle zadání je třeba vytvořit systém schopný zaznamenávat a vyhodnocovat data o pohybu ještěrky v labyrintu.

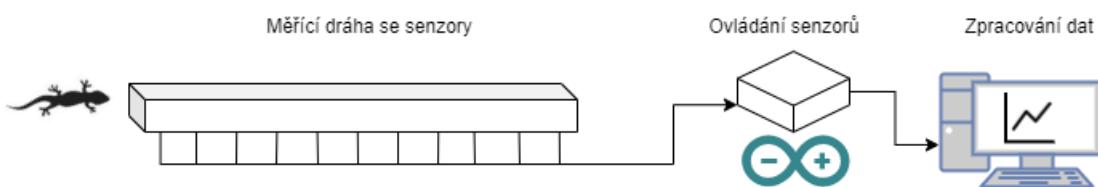
V první části je nutné specifikovat pokus a především samotnou charakteristiku labyrintu. Výzkum, na kterém spolupracujeme, vychází z několika předešlých, které testují pohyb zvířat po rovné dráze s určitým povrchem a sklonem. Náš labyrint je definovaný jako dráha o konstantní délce a třech různých provedeních tvaru. Hlavním cílem je získat data o čase zdolání dráhy.

Z rozšíření specifikace problému vychází najevo, že více než na komplikovanost řešení bude nutné brát ohled na praktičnost. Systém by měl být používán v terénu, při návrhu bude třeba počítat s nutností vyšší odolnosti vůči proměnným vlivům okolí a maximální možnou jednoduchostí pro manipulaci. Zároveň systém musí splňovat nízkou energetickou náročnost a ideálně být napájen a ovládán z jednoho notebooku.

Ideálním výstupem takového zadání by tedy měla být vhodná aplikace, která spustí pokus, získá požadovaná data, uloží je do vhodného formátu a následně je zobrazí například v podobě přehledného grafu.

Dalším z požadavků je získat kamerový záznam celého pokusu pro případnou manuální kontrolu chování ještěrky na dráze. Záznam není nutné softwarově analyzovat, nicméně taková funkcionality by byla dobrým upgradem stávajícího systému.

Bakalářská práce má za cíl analyzovat možné technologie k měření rychlosti ještěrky, navrhnout vhodnou metodu a realizovat ji. Součástí práce je konstrukce dráhy, návrh a výroba desky pro ovládání senzorů a vývoj firmwaru a aplikace pro počítač.



Obr. 1: Obecné schéma projektu

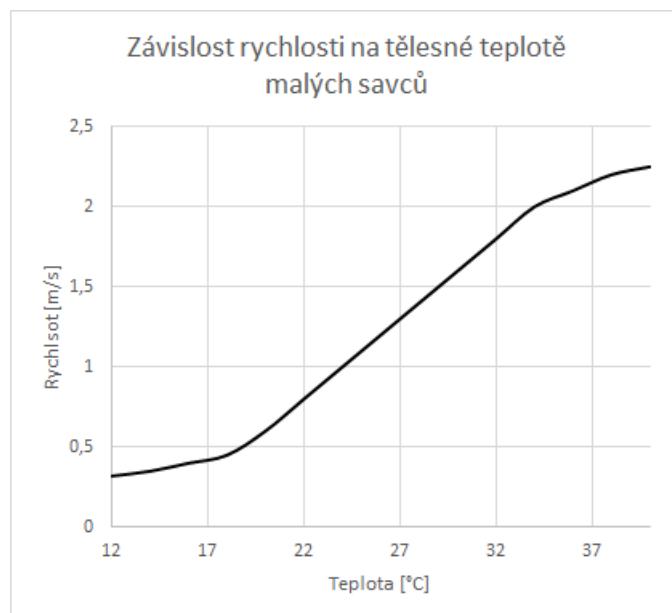
# 1 Teoretická část studentské práce

## 1.1 Analýza problému

### 1.1.1 Dříve provedené výzkumy

Zadanému pokusu předchází několik výzkumů z různých částí světa. Tato práce staví především na dvou z nich, které budou podrobněji rozebrány v následujících odstavcích. Jedná se o analýzu dat o průchodu zvířetem po definované dráze za určitých podmínek.

Výzkum z roku 2012 [1] realizoval pokus na čtyřech různých typech malých savců z Austrálie: Katula (*Dasykaluta rosamondae*), Dunnart (*Sminthopsis crassicaudata*), Planigale (*Planigale gilesi*) a Jacky Lizard (*Amphibolurus muricatus*). Fixní parametry pokusu jsou: šířka dráhy (20 cm), délka dráhy (5 m) a měřená zvířata. Proměnný parametr je teplota zvířat. Každé zvíře bylo vždy před začátkem měření teplotně stabilizováno a měření poté probíhalo opakováně při různých výchozích teplotách. Výzkum stanovil maximální změrené rychlosti jedince na dráze v závislosti na jeho tělesné teplotě. Výsledky ukazují, že v přibližném rozmezí 18–30 °C rychlosť s teplotou roste lineárně, při hodnotách kolem tohoto rozmezí se křivka postupně ustaluje ke konstantní rychlosti. Obrázek 1.1 zobrazuje přibližný průměr závislostí získaných výzkumem. Z těchto poznatků vyplývá, že teplota je pro měření rychlosti významný faktor a nelze jej zanedbat.



Obr. 1.1: Závislost rychlosti na tělesné teplotě malých savců

Druhý výzkum z roku 2015 [2] se zabýval širším tématem. Zkoumal vliv člověkem modifikovaného prostředí na pohyblivost plazů. Výzkum byl realizován na plazech rodu Anola původem z ostrovů Velké Británie: *Anolis cristatellus* a *Anolis stratulus*. Jedná se o ještěrky délky těla 4–6 cm (bez ocasu) a výšky asi 2 cm. Obrázek 1.2 ukazuje příklad jedince rodu Anola z oblasti Floridy.



Obr. 1.2: *Anolis cristatellus* [3]

Pro výzkum bylo odchyceno přes 300 jedinců obou pohlaví z lokalit ovlivněných i neovlivněných člověkem. Fixní parametry pokusu jsou: šířka dráhy (10 cm), délka dráhy (1,5 m) a teplota okolí. Proměnné parametry jsou: sklon a povrch dráhy a měření jedinci. Vyhodnocováno bylo dále srovnání průchodu dráhou pro dva různé sklony ( $37^\circ$  a  $90^\circ$ ) při stejném povrchu a pro dvě různé hrubosti povrchů při stejném sklonu ( $90^\circ$ ). Měření bylo zaznamenáváno kamerou z dorzálního pohledu a následně vyhodnocováno softwarově. Díky tomu bylo možné analyzovat maximální rychlosť, počet zastavení a počet sklouznutí při každém měření. Výsledky ukazují, že ještěrky dosahují nejvyšší rychlosti a snadno se pohybují na dráze se sklonem  $37^\circ$ . Na dráze se sklonem  $90^\circ$  se snížila rychlosť a přibylo zastavení a sklouznutí. Nikdy ovšem nedošlo k pádu a první zastavení neproběhlo dříve než u méně strmé dráhy. Výzkum dokonce vyhodnotil, že by se ještěrky měly hladkým kolmým povrchem spíše vyhýbat vzhledem k chabým výsledkům při testech. I přes tento závěr se Anoly na takových površích vyskytují relativně často. Závěr užitečný pro technickou specifikaci je: maximální dosažená rychlosť byla 3 m/s na hrubém povrchu při  $37^\circ$  sklonu dráhy. Pozorování ukázalo, že sklon dráhy a hrubost povrchu má přímý vliv na rychlosť a úspěšnost zdolávání dráhy. Oba tyto parametry jsou tedy důležité pro návrh nového systému.

## 1.1.2 Specifikace aktuálního výzkumu

Hlavní zaměření stávajícího výzkumu je sbírat data o rychlosti zkoumaných jedinců při průchodu různými typy drah. Měření bude realizováno na českých druzích ještěrek. Nejběžnějším druhem je Ještěrka obecná (*Lacerta agilis*) [4], jejíž délka těla může být až 9 cm (s ocasem i přes 20 cm). Mládata jsou velká asi 5 cm. Obrázek 1.3 zachycuje dospělého samce Ještěrky obecné s dorůstajícím ocasem.



Obr. 1.3: *Lacerta agilis* [5]

Při specifikaci požadavků na technickou realizaci byly stanoveny následující parametry: Fixní parametry: délka dráhy (1 m), šířka dráhy (8 cm), povrch a sklon dráhy a okolní teplota. Proměnné parametry jsou: měřená zvířata a tvar dráhy (3 typy: rovný, zvlněný a tvar U). Základní parametry pro realizaci dráhy jsou shrnutы v tabulce 1.1.

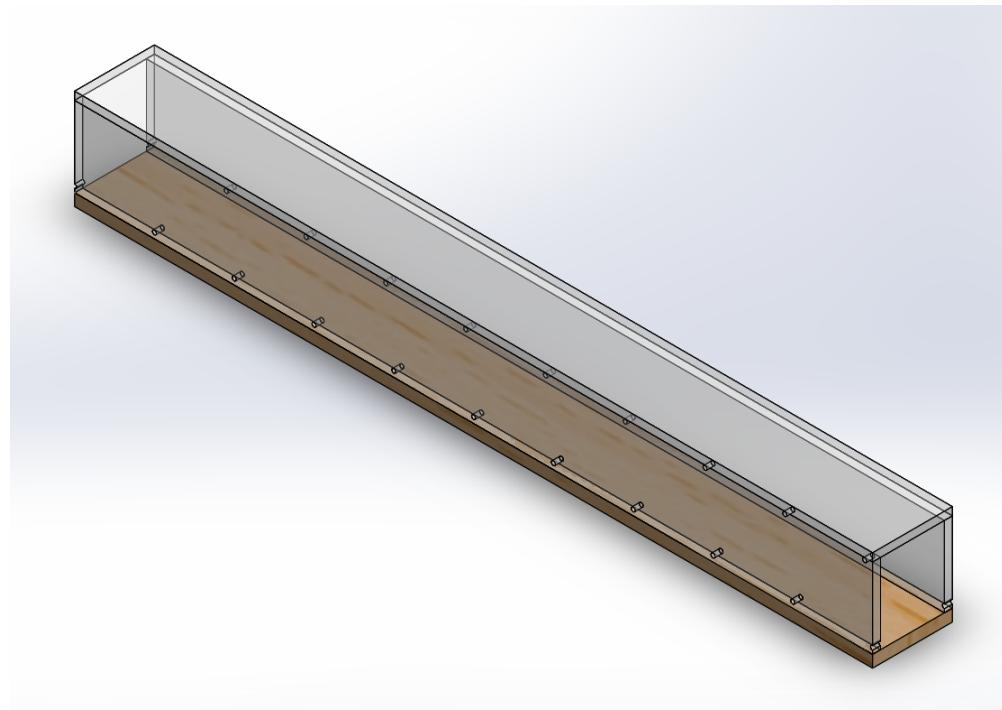
Tab. 1.1: Parametry dráhy

Délka dráhy	1 m
Šířka dráhy	8 cm
Povrch dráhy	smirkový papír hrubosti 2 000
Sklon dráhy	0 °
Materiál stěn	plexisklo, hliník, dřevotříska

Požadovaná data z jednoho měření potom jsou: celkový čas průchodu dráhou, čas zdolání každých deseti centimetrů dráhy a kamerový záznam. Maximální a průměrná rychlosť na celé dráze nebo v jednotlivých úsecích potom bude vyhodnocena

softwarově. Pro zaznamenání parciálních časů je očekávané použití sady čidel umístěných ve stěnách dráhy po každých 10 cm. Dohromady tedy 11 čidel na každou variantu dráhy.

Pro jednodušší manipulaci v terénu bylo rozhodnuto, že rovná a zvlněná dráha budou vyrobeny pomocí jedné modifikovatelné. Model rovné dráhy je navržen na obrázku 1.4. Ve stěnách jsou navrženy otvory pro umístění čidel, vrchní díl je odnímatelný, aby bylo možné dráhu spravovat.

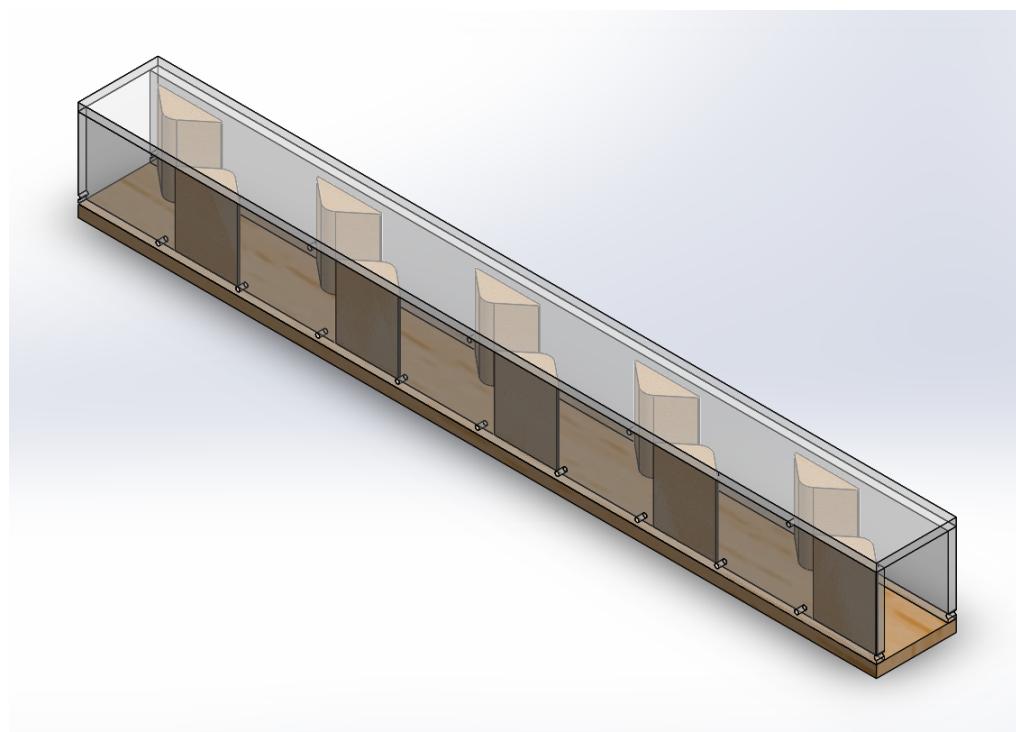


Obr. 1.4: Rovná dráha

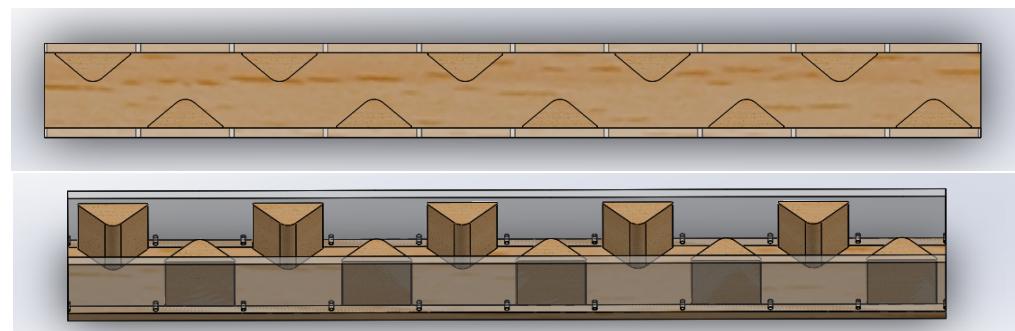
Zvlněná dráha bude realizována přídavnými moduly trojúhelníkového tvaru. Díky tomuto řešení bude navíc možné vyrobit hned několik možností zvlnění. Varianta zvlněné dráhy s maximálním možným počtem zakřivení je zobrazena na obrázku 1.5 a další pohledy na obrázku 1.6.

Použitím maximálního možného počtu modulů prodloužíme střední dráhu na 128 cm, což bude nutné zohlednit v softwarovém vyhodnocení.

Dráha tvaru U bude realizována na čtvercové desce o straně přibližně 45 cm. Navržený model také s rozmištěnými otvory pro snímače je zobrazen na obrázku 1.7.



Obr. 1.5: Zvlněná dráha

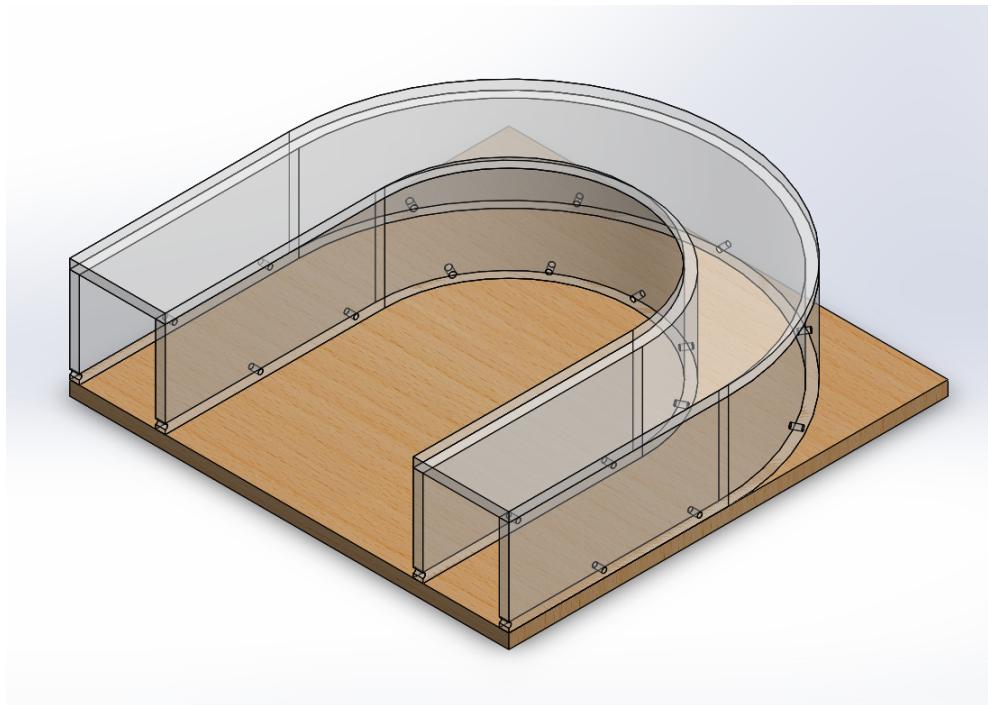


Obr. 1.6: Zvlněná dráha, pohled shora a šikmo

## 1.2 Metody řešení

### 1.2.1 Komerčně dostupné systémy

V oblasti měření pohybu a pohybových schopností zvířat lze najít množství různých systémů. Z hlediska vztahu ke zvířeti lze systémy rozdělit na dotykové a bezdotykové.



Obr. 1.7: Dráha tvaru U

### **Dotykové metody**

Metody, kdy je elektronická část umístěna přímo na zvíře dominují především ve starších výzkumech, kde se objevují měření založené na pasivním integrovaném transponderu (PIT, passive integrated transponder) [6]. Jedná se o pasivní identifikační obvod, který je umístěn nejčastěji přímo pod kůží zvířete, případně se upevní externě v rámci plastového kroužku nebo jiného nosiče. Obvod obsahuje mikro kontrolér, který je aktivován, pokud se poblíž nachází specifická anténa. V takovém případě vrátí jedinečný číselný kód, který je na PIT uložen. Systém lze využít pro detekci přítomnosti daného jedince. Masivně se tato metoda používá pro monitorování populace divokých zvířat ve volné přírodě [7]. Ukázka PIT tagu je na následujícím obrázku 1.8.

Mimo pasivních tagů lze využít i aktivní radiofrekvenční tag, který umožní nepřetržité vzdálené monitorování zvířete. Ve výzkumech se využívá k analýze chování zvířete či sledování pohybu divokých zvířat v krajině. K určení polohy se využívá GPS systém. Tag s GPS (global positioning system) je umístěný nejčastěji na krku v rámci obojku. Pokud je třeba sbírat i data o rychlosti, je možné systém doplnit akcelerometrem nebo druhou jednotkou GPS na končetinu [9].



Obr. 1.8: PIT tag [8]

### Bezdotykové metody

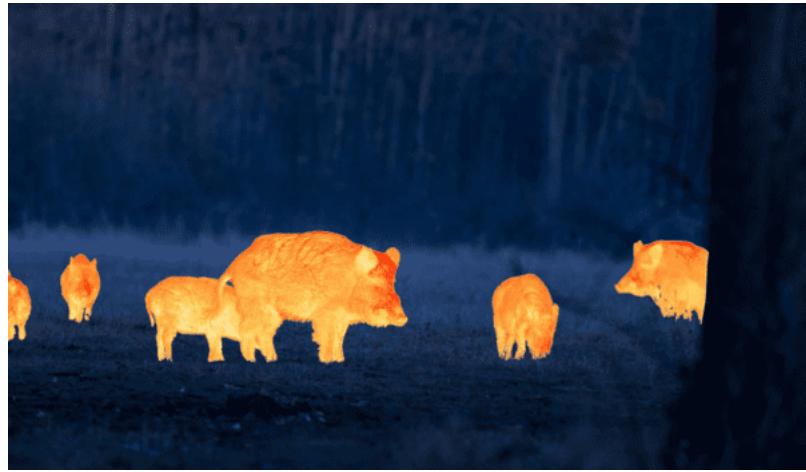
Bezdotykové metody jsou na rozdíl od předchozích zmíněných výrazně složitější a je nutná podpora moderní výpočetní techniky. V oblasti analýzy pohybu objektů, zvířat či osob v menším prostoru se aktuálně používá především řešení pomocí vyhodnocování kamerových záznamů [10].

Tyto lze pak rozdělit na analýzu záznamu z infračervené kamery nebo běžné obrazové kamery. Rozdíl mezi uvedenými je v zachycovaném rozsahu elektromagnetického spektra. Infračervené vlny jsou definovány v rozmezí 700 nm až 1 mm. Viditelné spektrum obsahuje malé rozmezí vln od 380 nm do 700 nm. Zpracování záznamu se provádí softwarově, což bude podrobněji rozebráno v kapitole 1.2.2.

Pro výzkumy se zvířaty se častěji využívá infračervená kamera. V minulosti se takto zjišťovaly především četnosti zvířat, místa výskytu či aktivita zvířat. S postupujícími možnostmi analýzy obrazu se přidaly možnosti diagnostiky zvířat. Pomocí teplotního obrazu lze například sledovat hladina stresu, březost či úrazy a fyzický stav zvířete [11]. Příklad záznamu z infračervené kamery je na obrázku 1.9.

Při vyšších požadavcích na získaná data (jako měření celkového stavu těla) se mezi bezdotykovými metodami objevují například také řešení pomocí snímání a vyhodnocování obrazu ve 3D [13].

V některých případech najde využití také audio kamera, která reaguje na zvukové vlny. Ty zobrazuje nejčastěji v barevné škále podle intenzity zvuku. Příklad výstupu z audio kamery je na obrázku 1.10. Toto řešení bylo aplikováno v kombinaci



Obr. 1.9: Záznam z infračervené kamery [12]

s foto pastmi, pro větší rozsah zaznamenaných zvířat. Audio kamera zachytila navíc například přítomnost ptáků nebo cvrčků.



Obr. 1.10: Záznam z audio kamery [15]

Pro jednodušší požadavek detekce zvířete v prostoru lze použít také méně komplikované systémy jako pohybová nebo teplotní čidla, která reagují pouze na změnu (přítomnost a nepřítomnost objektu) a nejsou typicky schopná určit přesnou polohu. Konkrétní použití potom velmi úzce souvisí s požadovanými výsledky daného pokusu a nejedná se tedy o běžně prodávaná komerční řešení. Detekce pomocí čidel bude podrobněji rozebrána v kapitolách 1.2.3–1.2.5.

## 1.2.2 Softwarové vyhodnocování video sekvence

Na poli vyhodnocování kamerových dat lze najít nespočet algoritmů a konkrétních řešení pro každý jeden specifický případ. Pro potřeby navrženého pokusu se text omezí zejména na vyhodnocení z již nahrané sekvence, nikoliv v reálném čase. Dále bude uvažován záznam statickou kameru a jeden sledovaný objekt. Na začátku je nutné zabývat se otázkou, jak předmět ve video sekvenci detekovat a jak jej trasovat [16].

### Detekce pomocí tvaru

Je-li známý přesný tvar předmětu, je možné v obrazových datech hledat pomocí předem definované šablony. Jako metody se poté nejčastěji používají odečítání (image subtraction) nebo korelace. Takový přístup je vhodný právě pokud máme statickou polohu kamery a tvar předmětu se nemění. Ve většině případů ovšem ke změnám ve tvaru dochází, v praxi se tedy častěji používá srovnání s deformovatelnou šablonou. Ta je reprezentována bitmapou charakteristických křivek pro tvar hledaného předmětu.

### Detekce pomocí barvy

Na rozdíl od tvaru, barva pozorovaného objektu často zůstává konstantní. Pokud má objekt snadno detekovatelnou barvu, algoritmy pro hledání tohoto parametru jsou zpravidla jednoduché, rychlé a nenáročné na výkon a uplatňují se dokonce v aplikacích reálného času. Trasování objektu se dále provádí pomocí srovnávání barevných kanálů mezi jednotlivými obrázky.

### Metoda odečtení pozadí

Metoda odečtení pozadí je jedna z nejvyužívanějších technik při sledování objektu ve video sekvenci. Podstatou je vytvoření černobílé masky obrázku, kdy sledovaný objekt je bílý v "popředí" a všechno ostatní černé v pozadí. Místo porovnávání barev se dále sleduje pouze jeden černobílý kanál.

### Shrnutí

Pro jednoduché statické zadání, definované na začátku, jsou dostačující uvedené přístupy. Pro složitější případy, jako pohyblivá kamera, přítomností více pohyblivých objektů v záběru nebo sledování množiny pohyblivých objektů, by bylo nutné použít složitější algoritmy [17].

Vhodnou technologií pro implementaci rozpoznání obrazu je jazyk C a knihovna OpenCV [18], která pro tuto problematiku obsahuje velice dobrou podporu.

### **1.2.3 Ultrazvukový senzor**

Využití ultrazvuku pro zjišťování pohybu není na poli elektroniky žádnou novinkou. Oblíbenost jeho častého využití spočívá v elegantnosti řešení, širokých možnostech použití a nízké výrobní ceně.

#### **Funkcionalita**

Ultrazvukové senzory využívají zvukové vlny nad hranicí lidského sluchu (20 kHz). Délka vlny je pro ultrazvukový senzor klíčovým parametrem, protože přímo udává maximální možnou změřitelnou vzdálenost. Platí, že čím nižší frekvence, tím větší vzdálenost je možné změřit. Článek uvedený na stránkách firmy Sensor Partners [19] uvádí konkrétní příklad: při frekvenci 40 kHz je možné změřit vzdálenost až 10 m, kdežto při frekvenci 400 kHz je to již jen 65 cm. Princip fungování ultrazvukových senzorů je následný: senzor vyšle sérii impulzů, které se rychlostí zvuku (přibližně 343 m/s) šíří vzduchem až k nejbližší překážce. Od té se odrazí a vrátí se zpět, kde jsou přijímačem zachyceny. Vzdálenost je potom spočítána jako polovina naměřeného času vynásobená rychlostí zvuku ve vzduchu o dané teplotě a vlhkosti.

#### **Omezení**

Největší vliv na přesnost měření má teplota a vlhkost okolí. S rostoucí teplotou se totiž zvyšuje i rychlosť zvuku ve vzduchu [20]. V relativně běžném rozmezí našeho podnebného pásu:  $-10^{\circ}$  až  $+35^{\circ}\text{C}$  se rychlosť zvuku změní o více než 20 m/s. Pokud zanedbáme extrémy vytipovaného rozsahu, chyba způsobená změnou teploty by i tak neměla přesáhnout 5 %.

Dalším parametrem, který ovlivňuje detekci vzdálenosti, je materiál, od kterého se zvuková vlna odráží. Mezi vhodné materiály patří kovy, dřevo, sklo, kámen, voda, plasty a podobné. Odraz od takových materiálů je téměř úplný. Méně vhodné materiály jsou především textilie, v interiéru typicky koberce, závěsy či kožené prvky, kde může dojít až k 10 % pohlcení pulzu, což nutně vede ke zmenšení maximální vzdálenosti, kde je takový objekt ještě možné detekovat.

Při použití této technologie je nutné brát ohled na několik dalších faktů. Pokud uvažujeme umístění vysílače a přijímače na stejném místě, je nutné, aby se vlna mohla odrazit od plochy kolmě k senzoru (zákon odrazu vlny). Předmět, který nemá žádnou kolmou část, tedy teoreticky nelze změřit. Za druhé musíme brát ohled na slepý prostor těsně před senzorem, ve kterém není možné měřit. Toto omezení je způsobeno nutností přepnout senzor z módu „vysílání“ na „přijímání“. Velikost slepého prostoru je tedy závislá na délce a frekvenci vyslaného pulzu [21].

## **Shrnutí**

Ultrazvukové senzory poskytují nespočet výhod v podobě širokých možností použití. Měření není nijak ovlivněno světlem, je možné detektovat průhledné či různobarevné objekty, přesnost měření není ovlivněna ani rozdílnými materiály, okolním zvukem nebo jinými elektrickými zařízeními. Při potřebě použít senzor v různých teplotních podmínkách navíc není velký problém například přidat teplotní čidlo a naprogramovat korekci. Senzory mají typicky chybovost do 1 %, metodu tedy můžeme s přehledem označit za velmi spolehlivou a přesnou.

Hlavní doménou senzoru je bezesporu určení vzdálenosti objektu od senzoru. Vhodné použití je především v prostoru v řádu několika metrů. Senzory nejsou většinou určené pro měření malých vzdáleností, což je navíc komplikováno přítomností slepého prostoru.

### **1.2.4 Kapacitní senzor**

Kapacitní, nebo také dotykové senzory nachází největší uplatnění při přímé kontrole elektrického zařízení člověkem.

#### **Funkcionalita**

Senzor obsahuje dvě vodivé destičky oddělené dielektrikem. Velikost kapacity záleží na ploše destiček a vzdálenosti mezi nimi (větší plocha a menší prostor přispívá k vyšší kapacitě). Citlivost senzoru je ovlivněna velikostí elektrody a zvoleným materiálem krytí senzoru. Při dotyku lidského prstu, dojde ke zvýšení kapacity. Tento jev je zachycen měřícím obvodem a převeden na elektrický signál. Samotný měřící obvod může být realizován analogově nebo digitálně. Analogových metod existuje celá řada, nicméně většina z nich se potýká s problémy, jako jsou přeslechy či citlivost na rušení, výhodnějším se tedy zdá digitální řešení, především díky své malé náročnosti na prostorovou realizaci a napájení.

Starší varianta využití kapacity k snímání dotyku je rezistivní metoda. Při dotyku se povrch mírně prohne a spojí obvod uvnitř zařízení. Vyhodnocení dotyku je tedy mnohem jednodušší a elegantnější. Kromě samotného dotyku lze touto metodou měřit i sílu a tlak. Pro krytí senzoru je nutné zvolit pružný materiál, nejčastěji to bývají plastové folie [22–24].

#### **Použití**

Typické použití kapacitního senzoru je náhrada mechanických tlačítek a posuvních prvků za dotyková. Toto využití skýtá výhodu především v zamezení opotřebovávání

mechanicky namáhaných částí. Kapacitní senzor se dá využít také k detekci vzdálenosti objektu od senzoru (elektrické pole kapacitoru se zvětšuje zároveň s přibližováním prstu), nejedná se však o primární použití a byla by nutná přesná kalibrace pro každou konkrétní aplikaci.

## Omezení

Výhody této technologie spočívají v relativně jednoduchém návrhu, implementaci i ceně řešení. Snímače mohou být velmi přesné a citlivé a k jejich ovládání stačí malá energie. Největším omezením senzoru je velká citlivost na změny teploty a vlhkosti okolí, což při aplikaci pro venkovní použití může nezanedbatelně ovlivnit výsledné měření. Pro realizaci je důležité zvolit vhodný krycí materiál a senzory nechat ideálně zcela izolované.

### 1.2.5 Infračervený senzor

Infračervené senzory patří mezi nejpoužívanější senzory, když přijde na vzdálenou kontrolu pohybu či detekci přítomnosti objektů.

#### Funkcionalita

Infračervený senzor pracuje se světelným vlněním nad rámec lidského vidění (IR, infrared). Typické použití těchto senzorů je pro snímání teploty nebo zachycení pohybu. Snímače můžeme rozdělit na aktivní a pasivní.

#### Aktivní infračervený senzor (IR)

Většinově využívaná varianta IR je právě aktivní infračervený senzor [25]. Jak naznačuje název, senzor se sám aktivně podílí na činnosti – vysílá signál, který očekává zase zpět na přijímači. Systém funguje na základě Plankova vyzařovacího zákona [26] (ten uvádí závislost záření černého tělesa na frekvenci) a Stefan Boltzmannova & Weinova zákona (který popisuje závislost intenzity vyzařování na teplotě černého tělesa). Senzor obsahuje světlo emitující diodu jako vysílač a fotodiodu nebo fototranzistor jako přijímač. Přitom vysílaná vlnová délka musí odpovídat nastavení přijímače. Detekce objektu probíhá zachycením odražené vlny od objektu za předpokladu určité intenzity příchozího signálu.

Použití fotodiody nebo fototranzistoru má v aplikaci senzoru následující parametry [27]. Fotodioda se používá především v závěrném směru, kde generuje v závislosti na světle různé úrovně proudu. V propustném směru funguje dioda jako fotovoltaický prvek, v tomto zapojení se používá pro získávání energie ze světla. Fototranzistor

se používá pouze v propustném směru a jeho hlavní funkce je zesílení proudu získaného ze světla. Oproti fotodiodě je fototranzistor citlivější a pomalejší. Pro aplikaci senzoru je častější fototranzistor.

Výhodou tohoto senzoru je především malá energetická náročnost a vysoká přesnost rychlost zachycení a vyhodnocení měřeného jevu. Senzory jsou prostorově nenáročné a nejsou tolík náchylné na podnebné podmínky jako teplota a vlhkost. Pomocí infračerveného signálu lze také měřit materiály, se kterými má problém ultrazvuk, tedy pénové, textilní a jiné materiály obsahující vzduch.

## Omezení

Omezení v první řadě spočívá v relativně malém rozsahu, ve kterém je možné měřit. Maxima se uvádějí na 10–30 cm vzdálený předmět, přitom ještě velmi záleží na barvě materiálu, která ovlivňuje odrazivost světelné vlny. Vlastnosti senzoru je také relativně omezený rozsah, který je jedním senzorem registrován. Pokud je třeba pokrýt větší zorné pole, implementace musí obsahovat více senzorů. Měření dále může výrazněji ovlivnit přítomnost mlhy nebo kouře. Použití příliš silné infračervené diody sice prodlouží dosah senzoru, záření je ovšem nebezpečné pro oči. Nejčastější použití tohoto senzoru je v aplikacích reálného času, například při detekování překážek.

## Optická brána

Variantou aktivního infračerveného senzoru je také optická brána. Jediná změna je v rozdělení vysílací a přijímací diody. Senzor stejným způsobem vyšle signál a očekává, že jej zpět dostane v přijímači, což je v základním stavu zajištěno neustále. Vyhodnocování probíhá opačně, pokud se signál do přijímače nedostal, znamená to přítomnost objektu.

Takové zapojení omezuje možnosti použití na detekci předmětu při průchodem brány. Zároveň se nicméně zbavujeme některých omezení jako malá měřitelná vzdálenost a závislost měření na barvě a materiálu předmětu. Jsme schopni detekovat takřka jakýkoliv předmět, kterým infračervené záření neprojde.

## Pasivní infračervený senzor (PIR, passive infrared)

Pasivní infračervený senzor se na procesu aktivně nijak nepodílí [28]. Pasivní senzor pouze přijímá a vyhodnocuje infračervená záření z okolí (typicky z lidského těla).

## Funkcionalita

Senzor funguje na principu pyroelektrického jevu, tedy při změně teploty na pyroelektrickém materiálu se vygeneruje náboj. Senzor obsahuje dvě oddělené pyro-

elektrické plošky citlivé na IR signál, dále infračervený filtr pro zamezení přijímání jiných vlnových délek a nakonec optickou část, která zajišťuje snímání v požadované vzdálenosti.

Pokud v zorném poli není žádný objekt, obě plošky přijímají stejný IR signál z okolí a nevzniká žádný rozdíl. V momentě kdy se v zorném poli objeví například člověk, první ploška zachytí změnu a vznikne kladný rozdíl. V momentě kdy člověk zorné pole opustí, mezi ploškami vznikne záporný rozdíl.

### **Omezení**

PIR senzor je citlivý na teplotu. Se zvyšující se teplotou je rozlišovací schopnost senzoru horší. Při příliš nevhodných podmínkách – jako velmi vysoká teplota v místnosti, horké letní dny, nebo běžně počasích v zemích blíže rovníku, senzor nemusí fungovat vůbec. Další drobnost, která je třeba mít na paměti, je nutně omezené zorné pole senzoru. Při potřebě pokrýt větší/širší oblast je buď nutné nainstalovat dostatečné množství PIR senzorů, nebo použít jiný typ zařízení, například mikrovlnný senzor, který má záběr vyšší než infračervený.

### **Shrnutí**

PIR senzor má široké uplatnění v aplikacích zaměřených na rozpoznání pohybu či přítomnosti objektu v určitém prostoru, jako automatické otevření dveří či zabezpečovací senzory. Nad konkurenčními technologiemi vyhrává především díky nízké ceně a jednoduchosti provedení.

## 2 Praktická část studentské práce - metody řešení

Pro prvotní testování vhodných metod měření byla zvolena deska Arduino Uno, která je snadno dostupná a pro řešení zadáного problému zcela dostačující. Deska obsahuje mikro kontrolér ATmega328P [29], který má 32 KB programovatelné paměti Flash, 23 vstup/výstupních pinů, 32 registrů, 3 časovače, UART a I2C komunikační rozhraní atp. Zařízení pracuje při napětí 1,8–5,5 V.

K otestování v teorii rozebraných způsobů měření jsme zvolili následující modely: Ultrazvukový senzor HC-SR04, kapacitní snímač TTP223 a infračervený senzor HW201. Všechny tři modely jsou běžně používané v aplikacích s deskou Arduino. Výhodou je jejich cena a snadná použitelnost.

### 2.1 Ultrazvukový senzor

#### 2.1.1 Technický rozbor

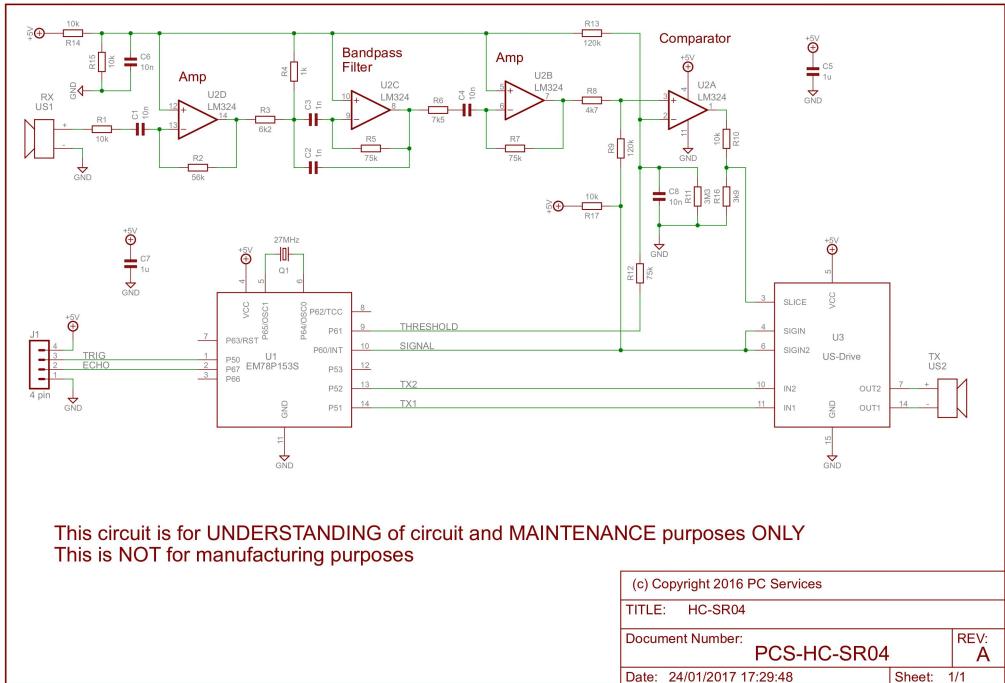
Ultrazvukový senzor HC-SR04 [30] obsahuje operační zesilovač LM324. Pracuje při napětí 5V, frekvence ultrazvuku je 40 kHz. Efektivní úhel senzoru je  $15^\circ$  a rozsah ve kterém je senzor schopen měřit je 2–400 cm. Vnitřní zapojení ukazuje obrázek 2.1.

Velikost senzoru je 4,5x2 cm, což není příliš dobrý rozměr pro implementaci v rozestupech po 10 cm. Taktéž omezení prvních dvou centimetrů je nemalá komplikace. Obrázek 2.2 zobrazuje návrh umístění senzorů do navrženého modelu dráhy. Prostor pro senzory značně zvětší celkovou šířku dráhy. Na straně se senzory by tedy bylo nutné udělat dvojitou stěnu a ve vniklém meziprostoru umístit senzory.

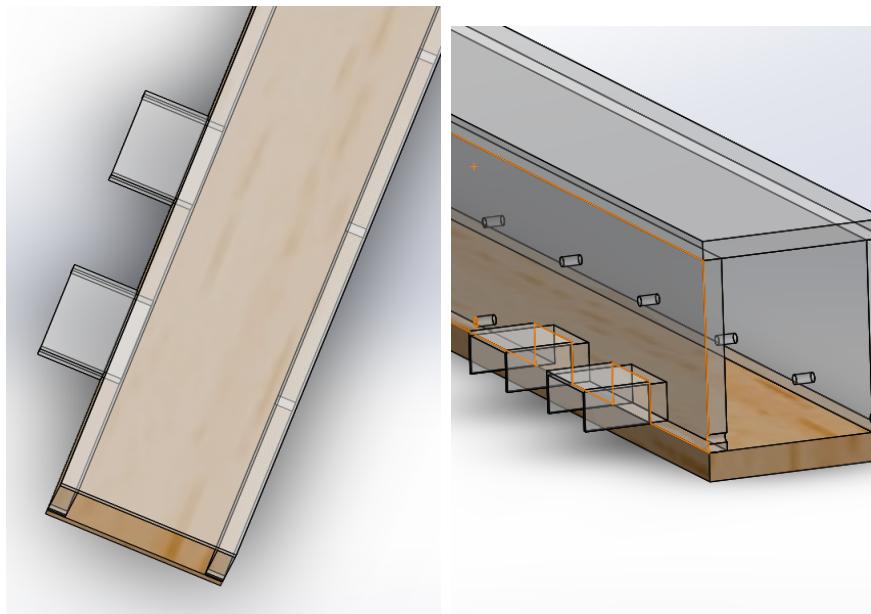
Senzor obsahuje vstupní pin Trig, který přijímá požadavek na změření vzdálenosti, a výstupní pin Echo, který vrací naměřený časový údaj. Při vyslání impulzu high na pin Trig vyšle senzor ultrazvukový impulz a nastaví Echo output na high. V momentě kdy se do přijímače vrátí odražený impulz, pin Echo je nastaven opět na low. Délku Echo impulzu lze přepočítat na vzdálenost pomocí rovnice (2.1), která je převzata z katalogového listu součástky [30]. Konstanta 58 vychází z rychlosti zvuku (343 m/s), která je převedena do tvaru cm/us a vynásobená dvěma kvůli dvojnásobné dlouhé cestě zvukového signálu.

#### 2.1.2 Implementace

Ultrazvukový senzor byl zapojen dle schématu na obrázku 2.3. Ovládání senzoru bylo implementováno nekonečnou smyčkou, kdy jsou v pravidelných intervalech vysílány pulzy a očekávána je referenční hodnota 10 cm (8 cm šířka dráhy, 2 cm slepý prostor).



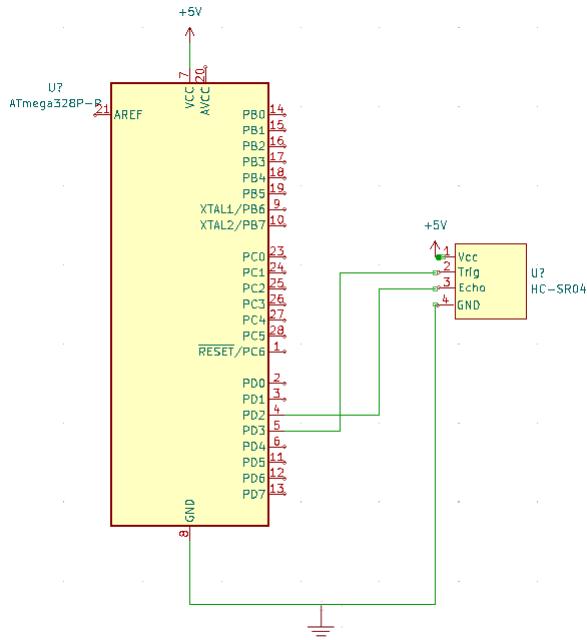
Obr. 2.1: Schéma senzoru HC-SR04 [31]



Obr. 2.2: Úprava modelu dráhy pro HC-SR04

$$Vzdálenost = \frac{\text{čas}}{58} = \frac{\mu s}{\mu s/cm} = cm \quad (2.1)$$

Libovolná změna referenční hodnoty je potom vyhodnocena jako průchod daným bodem.



Obr. 2.3: Zapojení jednoho senzoru HC-SR04

### 2.1.3 Výsledky

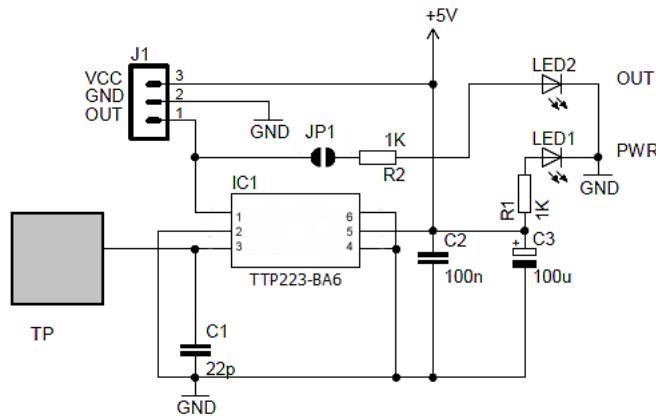
Omezení jsou první 2 cm před senzorem, kde není možné měřit. Problematika konstrukce dráhy je patrná na obrázku 2.2. Kromě výrobních komplikací bude nutné vzniklé prostory zahradit proti vniku ještěrky.

Kromě výše zmíněného nedostatku je metoda velmi přesná, přítomnost předmětu byla při testování zaznamenána vždy zcela bezchybně. Pro měření parciálních časů metoda poskytuje redundantní informace jako polohu ještěrky v rámci šířky dráhy. Tuto informaci v podstatě nelze nijak využít. Použití ultrazvuků by bylo výrazně vhodnější pokud by měření probíhalo na větším prostoru například čtvercového tvaru a očekávané hodnoty by byly pozice ještěrky na 2D poli. S omezením na pouze jeden rozměr není metoda příliš vhodná.

## 2.2 Kapacitní snímač

### 2.2.1 Technický rozbor

Pro otestování vlastností kapacitního snímače byl zvolen jednoduchý model TTP223 [32]. Pracovní napětí se pohybuje mezi 2 V a 5,5 V. Citlivost je možné upravit pomocí zapojení kondenzátoru o velikosti 0-50  $\mu\text{F}$ . Modul je velký 1,5x1,1 cm a je optimalizován na lidský prst. Vnitřní zapojení je zobrazeno na obrázku 2.4.



Obr. 2.4: Schéma zapojení senzoru TTP223 [33]

### 2.2.2 Implementace

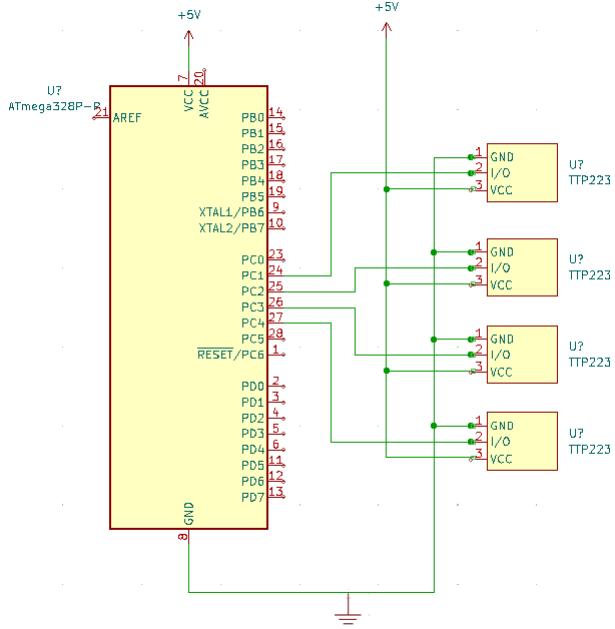
Kapacitní senzor byl zapojen podle schématu na obrázku 2.5. Pro použití do dráhy bylo nutné zapojit několik snímačů vedle sebe. Jedna kontrolní brána je pro účely testování realizována čtyřmi kapacitními spínači. Ovládání snímačů bylo implementováno pomocí přerušení. Moment aktivace kteréhokoliv spínače z brány je považován jako průchod bránou.

### 2.2.3 Výsledky

Vzhledem k zimnímu spánku ještěrek bohužel nebylo možné reálnou použitelnost kapacitních senzorů otestovat prakticky. Nejmenší možné měřené ještěrky mohou dosahovat pouze 5 cm, odladění citlivosti by bylo nutné provést na míru.

Velkou výhodou tohoto řešení je možnost umístit senzory pod dráhou. Z testovaných řešení je toto jediná varianta, jak zcela skrýt elektronické části.

Nevýhodou kapacitních senzorů je vyšší citlivost na změny vlhkosti, což udává vyšší požadavky na kvalitní provedení dráhy.



Obr. 2.5: Zapojení jedné brány ze senzorů TTP223

## 2.3 Optický snímač

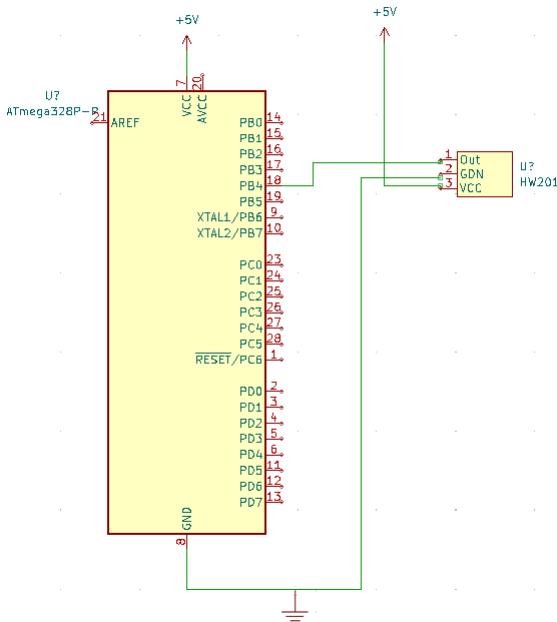
### 2.3.1 Technický rozbor

Pro test infračerveného senzoru byl vybrán model HW201 [34]. Senzor obsahuje zesilovač LM393. Pracovní napětí je definováno v rozmezí 3,3-5 V. Senzor dle dokumentace umí detekovat objekt ve vzdálenosti 2-30 cm a zorný úhel je 35 °.

Snímač sestává ze dvou diod, první vysílá infračervený signál, druhá jej odražený přijímá. Od světlých materiálů se signál odráží nejlépe, tmavými je potom pohlcován a snímač nemusí objekt detekovat vůbec. Citlivost snímače lze upravit pomocí šroubku.

### 2.3.2 Implementace

Ovládání senzoru bylo implementováno pomocí nekonečně smyčky, kdy se v pravidelných intervalech čte hodnota z výstupu na pinu Out. Senzor vrací hodnotu high pokud v cestě není žádná překážka a hodnotu low pokud je překážka detekována. Schéma zapojení zobrazuje obrázek 2.7.



Obr. 2.6: Zapojení jednoho senzoru HW201

### 2.3.3 Výsledky

Měření ukázalo, že citlivost zakoupených snímačů je při nastavení na maximální možnou vzdálenost, pouze 5 cm a to v případě kolmého odrazu od čistě bílé plochy. Model HW201 je pro snímání na dráze nevhodný.

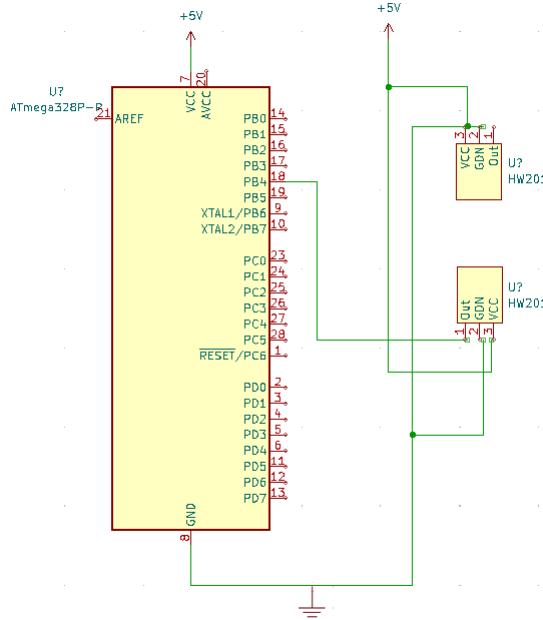
V případě použití lepšího modelu je metoda teoreticky vhodná za předpokladu velmi přesné kalibrace citlivosti každého senzoru. Stěny dráhy jsou sice navrženy průhledné, okolí dráhy nicméně nemusí být prázdné a senzory by mohly detektovat předměty mimo dráhu.

## 2.4 Optická brána

Zapojení modelu HW201 bylo modifikováno do podoby optické brány dle zapojení na obrázku 2.8.

### 2.4.1 Implementace

Ovládání optické brány je shodné s ovládáním infračerveného senzoru. V pravidelných intervalech je kontrolována hodnota pinu Out jednoho ze dvou snímačů tvořících bránu. Pro toto zapojení hodnota high značí detekovanou překážku a hodnota low základní stav.



Obr. 2.7: Zapojení dvou senzorů HW201 jako optická brána

#### 2.4.2 Výsledky

Rozdílným zapojením vzrostla detekovatelná vzdálenost, rozestup mezi dvěma snímači může být až 30 cm. Detekce předmětu v bráně je velmi spolehlivá a nezávislá na barvě předmětu. Dále není možné detektovat nic mimo prostor mezi senzory. Metoda je vhodná pro implementaci na dráze, použití modelu HW201 v tomto zapojení je možné.

### 2.5 Výsledky měření

Sledované aspekty jednotlivých metod byly zaznamenány do tabulky 2.1.

Význam jednotlivých polí je následující:

- schopnost detekce ještěrky: možnost detekce všech možných velikostí ještěrek
- spolehlivost detekce v prostoru 8 cm: vhodnost metody pro použití na navržené dráze
- diskrétnost řešení v rámci dráhy: detekce předmětů mimo dráhu kvůli navrženým průhledným stěnám
- snadnost implementace na dráhu: obtížnost výroby dráhy
- nutnost přesné kalibrace: nutnost přesné kalibrace pro zajištění správné funkčnosti
- citlivost na změny okolí: nevýhody daných metod z hlediska okolí

Tab. 2.1: Výsledky měření

	Ultrazvukový senzor	Kapacitní senzor	Infračervený senzor	Optická brána
Schopnost detekce ještěrky	Ano	Není možné určit	Ano, na malé vzdálenosti	Ano
Spolehlivost detekce v prostoru 8 cm	Ano	Ano	Ne	Ano
Diskrétnost řešení v rámci dráhy	Ano	Ano	Ne	Ano
Snadnost implementace na dráhu	Obtížné z hlediska výroby dráhy	Obtížné z hlediska těsnění	Snadné	Snadné
Nutnost přesné kalibrace	Není potřeba	Je potřeba	Je potřeba	Není potřeba
Citlivost na změny okolí	Zanedbatelné	Vlhkost	Světlo	Světlo

Ze získaného přehledu vychází dobře snímaní pomocí ultrazvukového senzoru a optické brány. Obě metody jsou spolehlivé ve všech zkoumaných ohledech a nejsou ovlivněny proměnlivými faktory jako variabilita barvy či velikosti měřených objektů. Hlavní nevýhoda ultrazvukových senzorů je jejich velikost. Při implementaci na dráhu tvaru U by je bylo nutné umístit na vnější stranu dráhy, což by zvětšilo rozměry celé desky na 51cm. Z hlediska rozměrů je řešení pomocí optické brány výrazně skladnější, ke komplikacím s umístěním nedochází u žádné varianty dráhy.

Měřené součástky ověřily zkoumané metody, pro konečnou implementaci na dráhu však není možné přímo použít žádnou z nich. Jedním z důvodů je přítomnost kontrolních LED, které značí připojené napájení či blikají při detekci předmětu. Takové signály jsou nežádoucí z důvodu práce s živými zvířaty, u kterých by mohly vyvolat stres a ovlivňovat výsledky měření. Druhý důvod je neefektivnost řešení. Při použití infračerveného senzoru HW201 jako brány by bylo potřeba 22 komponent, přičemž na každé komponentě by byla vyžita buď pouze infračervená dioda nebo foto tranzistor.

### 3 Praktická část studentské práce - realizace

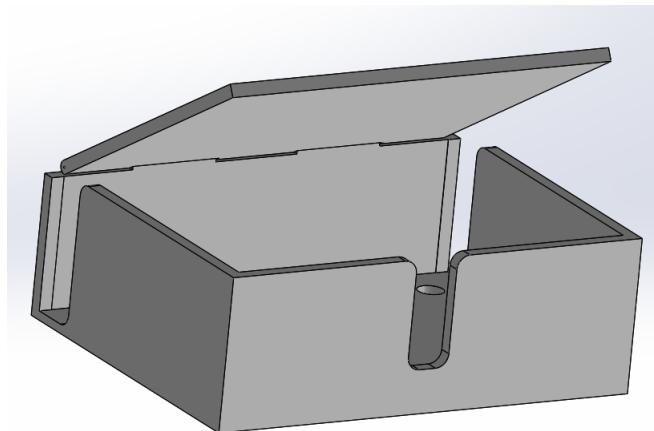
#### 3.1 Konstrukce dráhy

##### 3.1.1 Realizace

Model dráhy uvedený v teoretické části práce se po konzultaci s konstruktéry ukázal jako příliš komplikovaný. Pro zjednodušení výroby a lepší odolnost labyrintu byly stěny z plexiskla nahrazeny dřevotřískou. To poskytuje mimo jiné výhodu v podobě možnosti jednoduchého uchycení šroubů k připevnění horního krytu. Pro modifikaci na zvlněnou dráhu jsou vytvořeny přídavné bloky na 3D tiskárně. K dráze se dají připevnit suchým zipem. Výkresy desky a přídavných částí viz příloha.

##### 3.1.2 Krytí

Pro krytí diod, tranzistorů a jejich kabelů z vnější strany dráhy byla použita kabelová lišta o šířce 1,5 cm, do které byly vyvrstané otvory pro senzory. Tato varianta byla vybrána z důvodu nízké váhy a snadné dostupnosti k elektronice v případě nutnosti oprav. Krytí řídící desky s Arduinem bylo realizování krabičkou z 3D tiskárny. Její model je na obrázku 3.1. Krabička má volné otvírání z důvodu nutnosti přístupu k USB.



Obr. 3.1: Model krabičky

### **3.1.3 Provedené změn**

V důsledku výše uvedených změn byl původní koncept pro elektroniku, který uvažoval použití diskrétních bran podél dráhy, nahrazen centralizovaným modelem. Podrobnosti návrhu desky a zapojení elektroniky jsou popsány v kapitole 3.2.

Dráha byla oproti původnímu modelu v kapitole 1.1.2 vyrobena z dřevotřísky. Obsahuje zpevňovací prvky ve vrchní části a prostor pro umístění řídící elektroniky.

### **3.1.4 Shrnutí**

Výsledná dráha má rozměry uvedené ve specifikaci a splňuje základní požadované parametry na váhu a odolnost pro měření v terénu.

Váha rovné dráhy včetně elektroniky a veškerého krytí je 3 kg. Pro dlouhé pěší přenosy jsou rozměry i váha mírně nekomfortní, ale konstrukce je i pro takové cestování dostatečně odolná. Vzhledem k původnímu předpokladu dopravy autem na místo měření je dráha vhodná.

## **3.2 Hardware**

Předchozích testy ukázaly, že model infračerveného senzoru v zapojení brány je funkční, spolehlivý a ve srovnání s ostatními metodami vhodný především z hlediska vzdáleností, na kterých je měření prováděno.

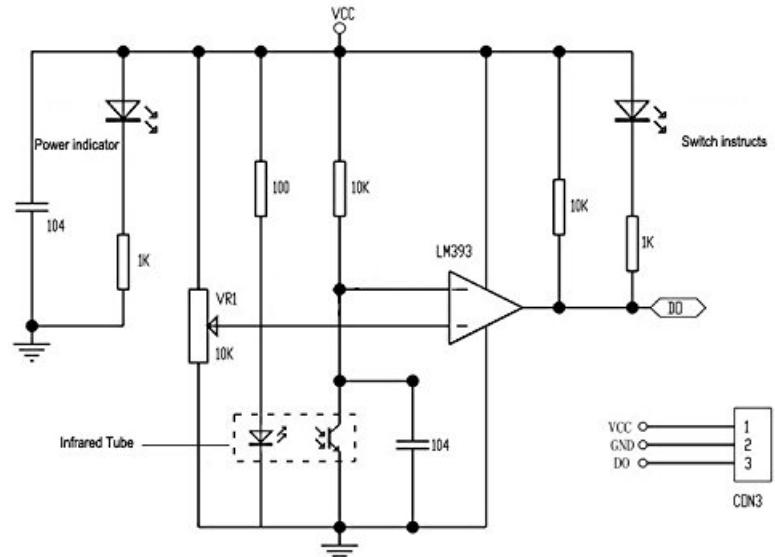
### **3.2.1 Návrh optické brány**

Návrh vychází z obvodového zapojení modelu HW201, který byl použit při testování metod měření. Jeho zapojení ukazuje obrázek 3.2

Klíčovou součástkou senzoru je zesilovač LM393 zapojený jako komparátor. LM383 je pro aplikaci infračervené brány funkční, nové zapojení tedy využije stejné součástky.

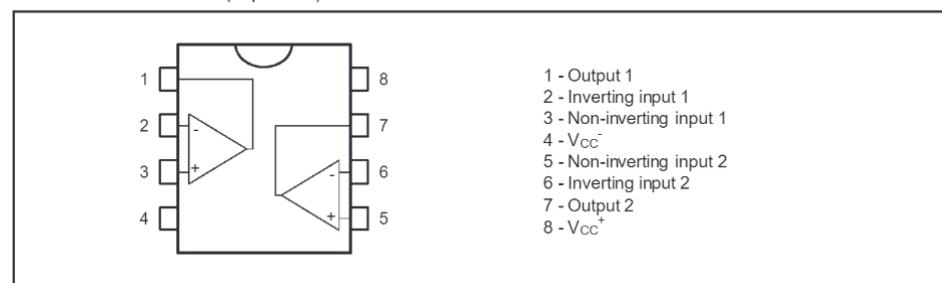
Obvodové zapojení komparátoru LM393 ukazuje obrázek 3.3. Ze schématu je patrné, že senzor HW201 využívá pouze jeden ze dvou zesilovačů, které jsou v součástce LM393 obsaženy. Nabízí se tedy možná optimalizace v podobě efektivnějšího využití komparátoru.

Nová optická brána vychází ze zapojení HW201 s rozdílem, že jeden komparátor obsluhuje dvě brány. Zároveň jsou vynechány části obvodů se signalizačními led diodami, které jsou pro měřící labyrint nepotřebné. Třetí změna je nahrazení potenciometru obyčejným děličem napětí. Vzhledem k tomu, že měřící vzdálenost bude konstantní, lze citlivost senzoru otestovat a napevno nastavit dvěma rezistory. Navržené schéma pro jeden komparátor je na obrázku 3.4.

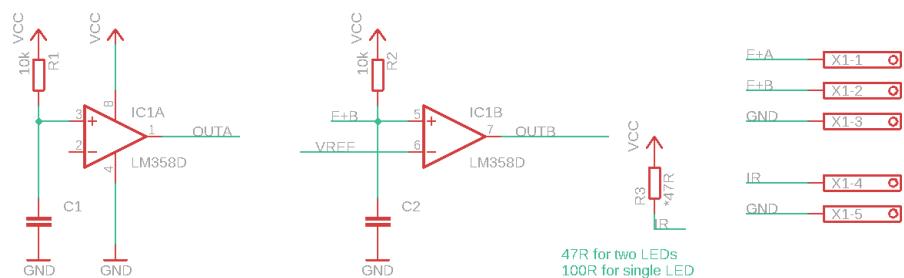


Obr. 3.2: Schéma senzoru HW201 [35]

### PIN CONNECTIONS (top view)



Obr. 3.3: Vnitřní zapojení LM393 [36]



Obr. 3.4: Schéma optické brány

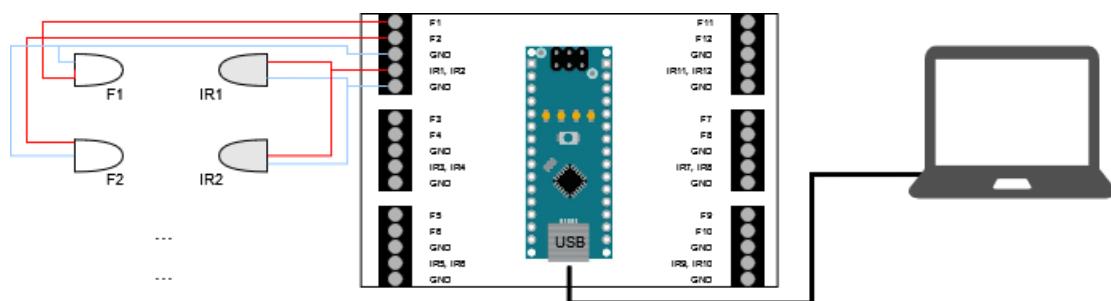
### 3.2.2 Návrh desky

Kvůli konstrukci dráhy je nutné shromáždit většinu elektronických částí na jedno místo. Schéma pro dvojici bran tedy bylo použito jako designový model a komparátory pro všechny brány byly sdruženy na jednu desku. IR diody a fototranzistory budou připojeny externě přes terminály. Na desku byl zároveň umístěn pinout pro Arduino Nano, které takto může být elegantně schované spolu s deskou na jednom místě.

Brány jsou rozdělené do dvou částí po šesti. Rezistory vlevo dole představují napěťové děliče, kde každá skupina bran využívá právě jeden z nich. Dvanáctá brána je v návrhu ponechána kvůli opakovatelnosti řešení, na desce nemusí být zapájena, případně může sloužit jako náhradní senzor. Podklady k realizaci dráhy viz příloha.

### 3.2.3 Zapojení celého systému

Celkové zapojení je realizováno následovně. Diody a tranzistory jsou připojeny k desce skrz terminály pomocí kroucených páru z ethernetového kabelu. Pro Arduino jsou na desce nachystány pinové lišty, samotné Arduino poté komunikuje s počítačem skrz USB. Celkové zapojení systému včetně popisu jednotlivých terminálů je na obrázku 3.5.



Obr. 3.5: Zapojení systému

## 3.3 Software

Kódová část projektu má dvě pod části. První zahrnuje firmware pro Arduino psaný v C/C++ s nástrojem Arduino Ide. Druhá část obsahuje kód pro počítač, který komunikuje s Arduinem a zpracovává získaná data. Aplikace je implementována v jazyce Python ve verzi 3.10.

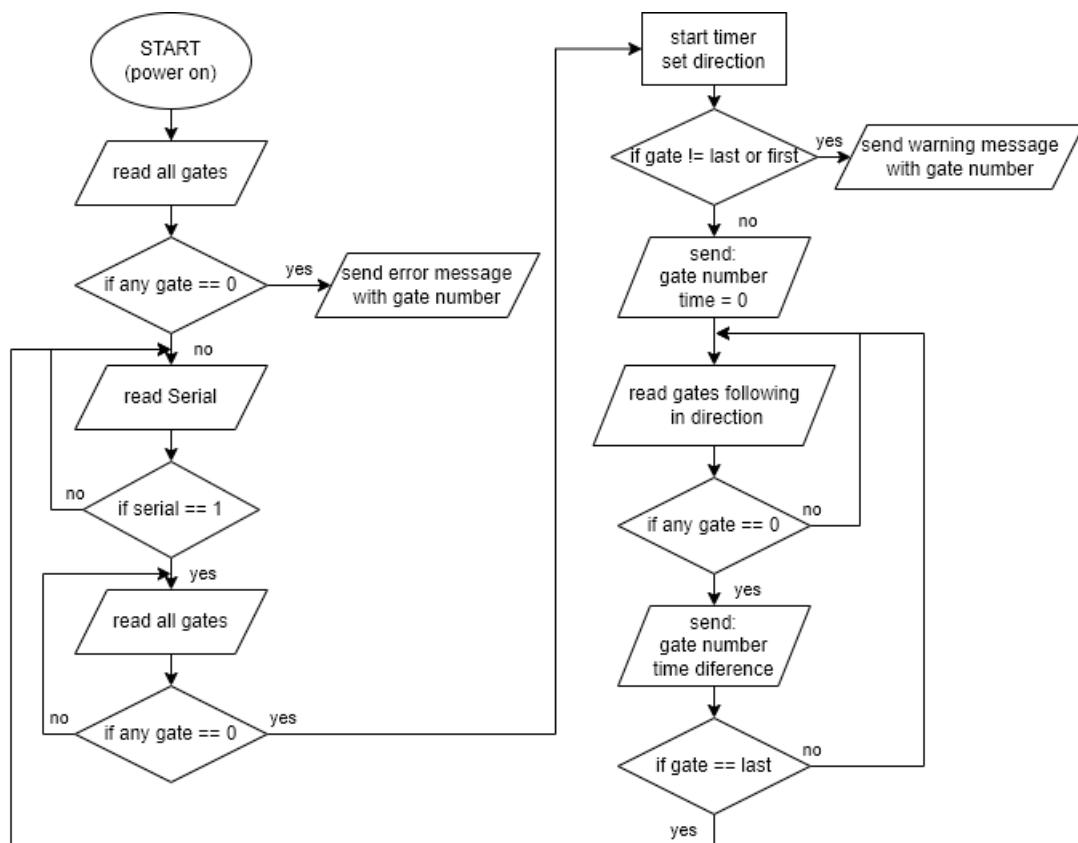
### 3.3.1 Firmware

#### Základní nastavení

Základní nastavení desky je následující. Pro výstupy senzorů je využito 11 digitálních pinů, které jsou konfigurovány jako vstupní piny s pullup rezistorem (input pullup). Komunikace s PC probíhá přes sériovou linku (serial port), přenosová frekvence je 9600 Hz.

#### Logika

Zjednodušený vývojový diagram programu je na obrázku 3.6.



Obr. 3.6: Vývojový diagram firmwaru

V první části proběhne kontrola bran. V případě, že je některá brána nefunkční, program zašle chybovou zprávu z číslem brány. V běžícím programu jsou dále nefunkční brány ignorovány. Pokud více než 3 brány nefungují, měření je zakázáno a je vyžadována oprava hardware.

Běh programu je podmíněn povolovacím signálem z PC, který značí zahájení měření. Od příchodu tohoto signálu se kontrolují všechny optické brány do chvíle kdy je některá z nich přerušena.

V momentě přerušení libovolné brány se zahájí odpočítávání času a určí se směr, kterým je ještěrka skrz dráhu puštěna. Pokud přerušení neproběhlo na koncových branách, je zaslána varovná zpráva s číslem brány. Následně se kontrolují vždy už jen brány následující ve správném směru po poslední přerušené. Díky tomu nemůže dojít k opakovanému zapsání času na bráně, kterou již ještěrka proběhla.

Měření se ukončí v momentě přesušení poslední brány nebo zrušením povolovacího signálu z PC.

Výstupem z programu je vždy číslo úseku a změřený čas jednoho úseku v ms. Vícenásobné úseky, které mohou vzniknout nefunkční bránou jsou ošetřeny v programu na PC.

### Způsob měření času

K měření času je používána funkce `millis()` z knihovny `wiring.c` [39], která automaticky počítá čas od spuštění Arduina.

Funkce `millis()`, podobně jako `delay()`, patří k základním funkcím pro práci s časem na arduinu. `Millis()` je interrupt funkce operující s časovačem `Timer0`.

Vzhledem k nemožnosti dělení 16 MHz na celé milisekundy, čítač inkrementuje 1,024 ms a v momentě kdy je chyba příliš velká, provede se korekce - což je každé 42 opakování. V na dlouhých intervalech je tedy časovač velmi spolehlivý, na kratších je nutné počítat s chybou měření až 1 ms. Maximální odchylka vznikne na 42 ms. Reálná hodnota času je v tuto chvíli 41,987, kdežto čítač ukazuje 41. Dle vzorce (3.1) je relativní odchylka na této hodnotě 2,35%.

$$\delta_t = \frac{\Delta_t}{X_p} 100 = \frac{41,987 - 41}{42} 100 = 2,35\% \quad (3.1)$$

$\delta_t$ .....relativní odchylka času

$\Delta_t$ .....absolutní odchylka reálného a indikovaného času

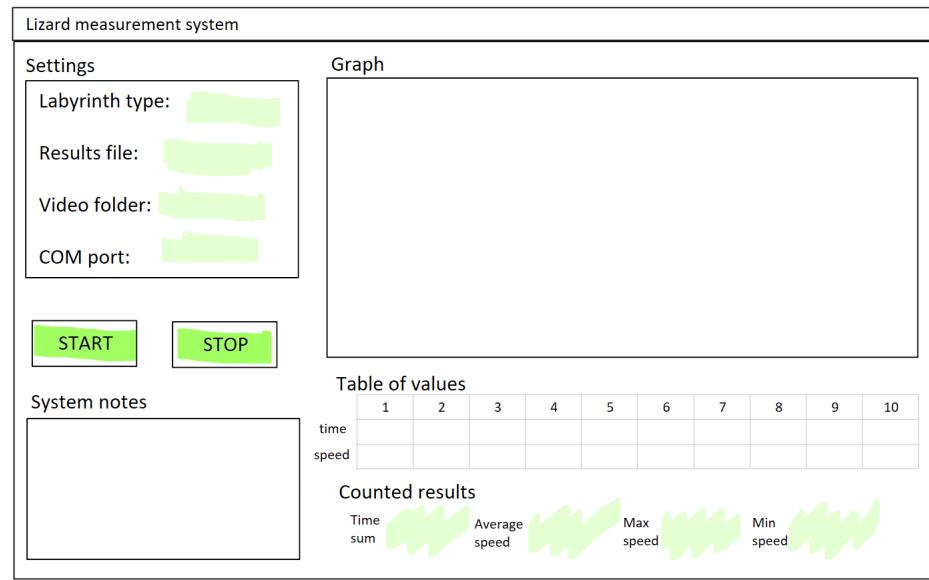
$X_p$ .....správná hodnota

### 3.3.2 Aplikace

Vlastní aplikaci je logicky možné rozdělit na frontend a backend.

## Frontend

Pro vytvoření grafického uživatelského rozhraní (GUI, graphic user interface) je použitý modul PySimpleGui, který umožňuje relativně snadnou vizualizaci jednoduchých aplikací. Mockup aplikace ukazuje obrázek 3.7.



Obr. 3.7: Mockup aplikace

V levé části okna najdeme možnosti nastavení, ovládání programu a systémová hlášení. Pravá část slouží k zobrazování naměřených výsledku.

Základní nastavení programu vyžaduje zvolení použité měřící dráhy. Zkratky I, S a U znamenají po řadě: Rovná dráha, zvlněná dráha a dráha tvaru U. Dále je nutné zadat jméno souboru pro ukládání výsledků (vytvoří se nový soubor excel) a složka pro ukládání videí. Posledním nastavením je COM port, na kterém je připojena deska Arduino.

Tlačítka START a STOP slouží k ovládání měření. Před tím, než je ještěrka vpuštěna do labyrintu, je nutné měření zahájit stisknutím tlačítka START. Pokud měření proběhne správně, je samo ukončeno a tlačítko STOP není nutné použít. To je určeno zejména k ukončení programu při špatném měření, případně výskytu neočekávaných událostí.

Pole na konci levé části slouží k systémovým zprávám. Ukáže se zde informace o zahájení a ukončení pokusu, chybové a varovné hlášení při zjištění nefunkčních bran nebo nestandardního zahájení měření.

Pravá část okna automaticky zobrazuje výsledky měření a není ji možné nijak modifikovat či ovládat. Graf v horní části je zobrazen po dokončení měření a ukazuje trend změřených rychlostí v jednotlivých úsecích.

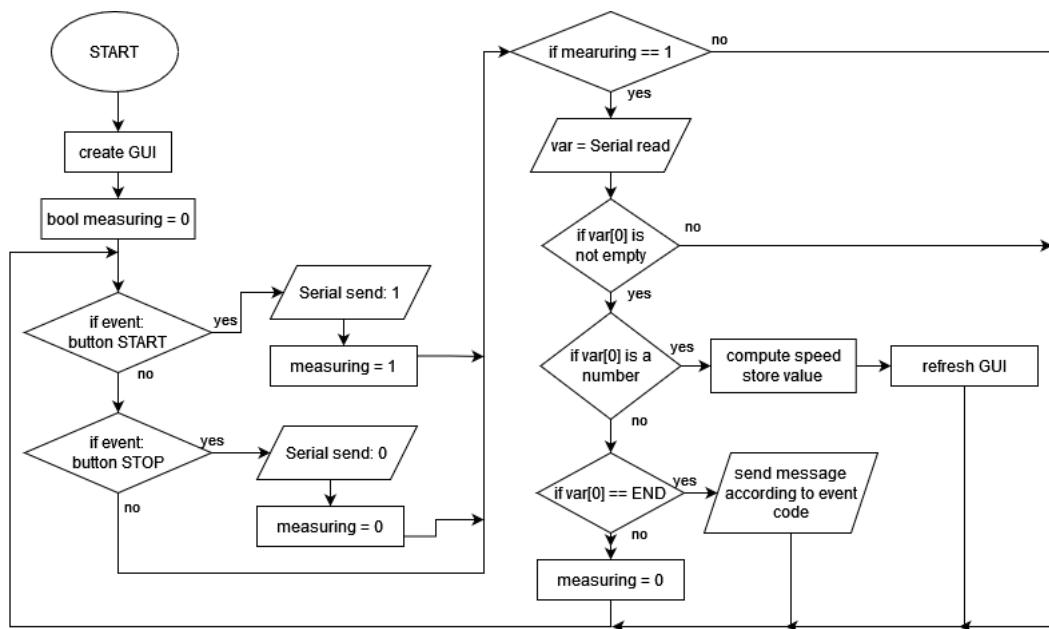
Tabulka pod grafem je aktualizována v průběhu měření. Pokud dojde k výskytu vícenásobných úseků, všechny jeho části jsou vyplňeny stejnou zprůměrovanou hodnotou času která odpovídá jednomu úseku.

Nastavení tvaru dráhy ovlivňuje mimo jiné výpočet rychlosti v případě dráhy S. Modifikací rovné dráhy na zvlněnou totiž dojde k prodloužení střední délky. Výpočet je podle této odchylky korigován.

Pod tabulkou se nachází další vypočítaná data jako celkový čas pokusu a průměrná, maximální a minimální rychlosť.

## Backend

Logika aplikace je znázorněna vývojovým diagramem na obrázku 3.8.



Obr. 3.8: Vývojový diagram softwaru

Program cyklicky kontroluje sériovou linku a zpracovává příchozí hodnoty. Seznam možných příchozích zpráv z Arduina a jejich obsluha je zaznamenána v tabulce 3.1. Příchozí zprávy mohou být buď informačního, nebo datového charakteru. Informační zprávy začínají písmenným označením, datové zprávy naopak začínají číslem úseku.

Při stisku tlačítka START nebo STOP program pošle na sériovou linku znak s odpovídající hodnotou povolovacího signálu (1 nebo 0). Opětované stisknutí tlačítka START nebo STOP nemá na program žádný vliv.

Tab. 3.1: Komunikace Arduina s PC

Kód	Význam	Zpracování
ERR	Chyba senzoru	Zašle zprávu o chybě a předá číslo senzoru
SER_ERR	Vážná chyba (příliš nefunkčních senzorů)	Zašle zprávu o problematickém stavu senzorů a zakáže chod programu
WAR	Měření začalo od jiné než krajní brány	Zašle varovnou zprávu a předá čísla brány, odkud začalo měření
END	Měření skončilo	Ukončí měření a zpracuje data
x	Externí ukončení měření	Při zrušení povolovacího signálu v průběhu zašle místo čísla úseku "x" a poslední úsek času
[0 - 10]	Číslo úseku	Standardní měření, číslo úseku je následováno změřeným časem v ms

Program dále ukládá příchozí data do 2D seznamu (proměnná typu list). Hodnoty úseků jsou ukládány na místo v listu shodné s číslem úseku. Okamžitě je vypočítána také rychlosť na daném úseku a výsledek je aktualizován do tabulky v GUI.

Po skončení měření jsou spočítány a zobrazeny ostatní hodnoty a veškerá data jsou exportována do souboru. Jako identifikátor pro jednotlivá měření slouží datum a čas ukončení měření ve formátu `den_měsíc_hodiny_minuty`.

### 3.3.3 Shrnutí

Firmware je dle provedených testů spolehlivý, umí správně zahájit měření, změřit čas na úsecích s dostatečně malou odchylkou a komunikovat s PC. Dále umí řešit nestandardní stavy jako chyby na bránách nebo zahájení měření z kteréhokoliv místa na dráze.

Počítačová aplikace je psaná k účelu jednoduchého zpracování a zobrazení dat. Zvládá tedy obsloužit základní funkce jako převzetí naměřených hodnot a zpracování některých chybových stavů. Stále zde zůstává velký prostor pro zlepšení, zejména v nastavování možností, nastavení zobrazení, korekce výsledků před uložením, možnost vytvářet ID jednotlivých měření případně inteligentnější datová struktura pro ukládání výsledků.

# Závěr

V rámci bakalářské práce byly prozkoumány metody měření pohybu pomocí ultrazvukového senzoru, kapacitního snímače, IR senzoru a optické brány. Jako nejvhodnější metoda byla vyhodnocena optická brána. Dále byla provedena konstrukce dráhy, návrh desky a vývoj firmwaru a softwaru.

Dráha byla nakonec zkonstruována pouze v rovné variantě s možností rozšíření na zvlněnou dráhu. Jako materiál byla zvolena dřevotříška, která dostatečně splňuje požadavky pevnosti, váhy a jednoduchosti zpracování. Moduly pro zvlněnou dráhu jsou realizovány bloky z 3D tiskárny a k dráze se dají přidělat suchým zipem. Dráha má dále krabičku na elektroniku, lišty na zakrytí senzorů a kryt z plexiskla, zajištěný šrouby.

Podél dráhy jsou vyvrtány v definovaných intervalech protilehlé otvory, kde jsou umístěny na jednu stranu IR diody, na druhou fototranzistory. Všechny optické prvky jsou přivedeny kabely na centrální desku, která byla vytvořena na míru tohoto projektu. Hlavním funkčním prvkem jsou komparátory LM393, které zajišťují detekci přerušení optických brán. Pro řízení byl použit mikro kontrolér ATmega328P na desce Arduino Nano, které je integrováno přímo na vytvoření desce pomocí pinových lišt.

Ovládání měření zajišťuje počítačová aplikace, ze které se pokus formálně spustí. Optické brány jsou po celou dobu měření aktivní. Pravidelně se kontroluje jejich hodnota a při přerušení se zaznamenává čas v ms. Ten je potom společně s číslem úseku zaslán do aplikace, která hodnoty zpracuje, zobrazí a uloží.

Software umí obslužit základní měření, podat chybové hlášení o nefunkčních optických branách a reagovat na nestandardní průběh měření, jako přerušení bran ve špatném pořadí a zahájení měření jinak než z konce dráhy. Přímá měřená hodnota je čas na jednom 10 cm dlouhém úseku v ms. Vypočítané hodnoty jsou poté rychlost na jednotlivých úsecích, celkový čas, průměrná rychlosť na celé dráze a minimální a maximální rychlosť.

# Literatura

- [1] A. Daniella Rojas, Gerhard Körtner, Fritz Geiser.: *Cool running: locomotor performance at low body temperature in mammals.* Biol Lett. 2012 Oct 23; 8(5): 868–870. Dostupné z URL: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3440967/>>.
- [2] Jason J. Kolbe, Andrew C. Battles, Kevin J. Avilés-Rodríguez.: *City slickers: poor performance does not deter *Anolis* lizards from using artificial substrates in human-modified habitats.* Functional Ecology. Volume 30, Issue 8 p. 1418-1429. Dostupné z URL: <<https://doi.org/10.1111/1365-2435.12607>>.
- [3] RobinSings.: *Puerto Rican Crested Anole (edit)* platné od 18. 3. 2015; CC BY-SA 4.0. Dostupné z URL: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=52642648>>.
- [4] Wikimedia Foundation.: *Ještěrka Obecná.* Wikipedia. poslední aktualizace 19. 6. 2021 [cit. 30. 1. 2021]. Dostupné z URL: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Ještěrka\\_obecná](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ještěrka_obecná)>.
- [5] Pelz.: *Sand lizard (*Lacerta agilis*) male. Its tail has been lost and partially regrown* platné od 25. 6. 2015; CC BY-SA 3.0. Dostupné z URL: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Ještěrka\\_obecná#/media/Soubor:Lacerta\\_agilis\\_1\\_\(Marek\\_Szczepanek\).jpg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ještěrka_obecná#/media/Soubor:Lacerta_agilis_1_(Marek_Szczepanek).jpg)>.
- [6] Brittany Ousterhout.: platné od 2. 2013, [cit. 30. 12. 2021]. *Measuring terrestrial movement behavior using passive integrated transponder (PIT) tags: Effects of tag size on detection, movement, survival, and growth* Dostupné z URL: <[https://www.researchgate.net/publication/259633689\\_Measuring\\_terrestrial\\_movement\\_behavior\\_using\\_passive\\_integrated\\_transponder\\_PIT\\_tags\\_Effects\\_of\\_tag\\_size\\_on\\_detection\\_movement\\_survival\\_and\\_growth](https://www.researchgate.net/publication/259633689_Measuring_terrestrial_movement_behavior_using_passive_integrated_transponder_PIT_tags_Effects_of_tag_size_on_detection_movement_survival_and_growth)>.
- [7] FISHBIO.: platné od 12. 11. 2010, [cit. 20. 5. 2022]. *PIT Tags: The Full Story* Dostupné z URL: <<https://fishbio.com/pit-tag-the-full-story/>>.
- [8] Angus J. Lothian.: platné od 1. 2021, [cit. 24. 5. 2022]. *Behaviour of fishes around engineered structures and in modified rivers* Dostupné z URL: <[https://www.researchgate.net/figure/Examples-of-Passive-Integrated-Transponder-PIT-tags-available-for-use-in-fish-fig8\\_349868808](https://www.researchgate.net/figure/Examples-of-Passive-Integrated-Transponder-PIT-tags-available-for-use-in-fish-fig8_349868808)>.

- [9] Nancy L. Scott, Bernard Hansen, Chase A. LaDue, Carlson Lam, Albert Lai Lowell Chan.: platné od 2. 8. 2010, [cit. 24. 5. 2022]. *Using an active Radio Frequency Identification Real-Time Location System to remotely monitor animal movement in zoos* Dostupné z URL: <<https://animalbiotelemetry.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40317-016-0108-5>>.
- [10] M. Mazur-Milecka, A. Nowakowski.: platné od ., 2010, [cit. 30. 12. 2021]. *An Automated System for Analysis of Mouse Movement Activity* Dostupné z URL: <[https://www.researchgate.net/publication/289593262\\_An\\_Automated\\_System\\_for\\_Analysis\\_of\\_Mouse\\_Movement\\_Activity](https://www.researchgate.net/publication/289593262_An_Automated_System_for_Analysis_of_Mouse_Movement_Activity)>.
- [11] Justyna Cilulkó, Paweł Janiszewski, Marek Bogdaszewski, Eliza Szczygielska.: platné od 2. 2012, [cit. 24. 5. 2022]. *Infrared thermal imaging in studies of wild animals* Dostupné z URL: <[https://www.researchgate.net/publication/257497039\\_Infrared\\_thermal\\_imaging\\_in\\_studies\\_of\\_wild\\_animals](https://www.researchgate.net/publication/257497039_Infrared_thermal_imaging_in_studies_of_wild_animals)>.
- [12] Lili Keys.: platné od 18. 3. 2020, [cit. 24. 5. 2022]. *Leica Sport Optics unveiled first thermal imaging camera* Dostupné z URL: <<https://www.lsonews.com/leica-sport-optics-unveiled-first-thermal-imaging-camera/>>.
- [13] M.F.Hansena, M.L.Smitha, L.N.Smitha, K.Abdul Jabbara, D.Forbesb.: dostupné online od 5. 3. 2018, [cit. 30. 12. 2021]. *Automated monitoring of dairy cow body condition, mobility and weight using a single 3D video capture device* Dostupné z URL: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016636151730475X>>.
- [14] Rachel T.BuxtonPatrick, E.LendrumKevin, R.CrooksGeorgeWittemyer.: platné od 10. 2018, [cit. 24. 5. 2022]. *Pairing camera traps and acoustic recorders to monitor the ecological impact of human disturbance* Dostupné z URL: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989418303573>>.
- [15] Acoustics Noise and Vibration Limited trading as ANV Measurement Systems.: platné od 6. 10. 2020, [cit. 24. 5. 2022]. *SIG Acoustic Camera* Dostupné z URL: <<https://www.noise-and-vibration.co.uk/products/sig-acoustic-camera-site-noise-monitoring/>>.
- [16] Ashwani Aggarwal, Susmit Biswas, Sandeep Singh, Shamik Sural.: *Object Tracking Using Background Subtractionand Motion Estimation in MPEG Videos* platné od 1. 2006; [cit. 30. 12. 2021]. Dostupné z URL: <[https://www.researchgate.net/publication/220745172\\_Object\\_Tracking\\_Using\\_Background\\_Subtraction\\_and\\_Motion\\_Estimation\\_in\\_MPEG\\_Videos/](https://www.researchgate.net/publication/220745172_Object_Tracking_Using_Background_Subtraction_and_Motion_Estimation_in_MPEG_Videos/)>.

- [17] Zeev Zalevsky, Javier Garcia-Monreal.: *Motion detection system and method* platné od 1. 2014; [cit. 30.12.2021]. Dostupné z URL: <[https://www.researchgate.net/publication/302704772\\_Motion\\_detection\\_system\\_and\\_method](https://www.researchgate.net/publication/302704772_Motion_detection_system_and_method)>.
- [18] *OpenCV* verze: 4.5.5-dev [cit. 20. 5. 2022]. Dostupné z URL: <<https://docs.opencv.org/4.x/>>.
- [19] Sensor Partner: *How does an ultrasonic sensor work?* [cit. 30.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.sensorpartners.com/en/knowledge-base/everything-about-the-operation-principles-of-ultrasonic-sensors/>>.
- [20] *Speed of sound at temperatures below 0 °C* platné od 30.12.2017; [cit. 30.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://physics.stackexchange.com/questions/98651/speed-of-sound-at-temperatures-below-0-c>>.
- [21] Mutinda Mutava Gabriel, Kamweru Paul Kuria.: *Speed of sound at temperatures below 0 °C* platné od 5.2020; ISSN: 2278-0181 Dostupné z URL: <<https://pdfs.semanticscholar.org/ed65/f45794d2223e83cf0037a807c6f0756ff373.pdf>>.
- [22] Fujitsu Microelectronics Europe GmbH.: *Capacitive Touch Sensors Application Fields, technology overview and implementation example* platné od 12. 1. 2010; [cit. 30.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.fujitsu.com/downloads/MICRO/fme/articles/fujitsu-whitepaper-capacitive-touch-sensors.pdf>>.
- [23] Robert Keim.: *Introduction to Capacitive Touch Sensing* platné od 24. 5. 2016; [cit. 30.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-capacitive-touch-sensing/>>.
- [24] *Introduction to Touch Sensors / Working, Capacitive and Resistive* platné od 4. 20. 2019; [cit. 30.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.electronicshub.org/touch-sensors/>>.
- [25] Anitha Shetty.: *Infrared Sensor – How it Works, Types, Applications, Advantage & Disadvantage* [cit. 30.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://electricalfundablog.com/infrared-sensor/>>.
- [26] Wikipedie.: *Planckův vyzařovací zákon* poslední aktualizace 27.11.2021; [cit. 30.12.2021]. Dostupné z URL: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Planck%C5%99\\_vyza%C5%99ovac%C5%99\\_z%C4%8Dkon](https://cs.wikipedia.org/wiki/Planck%C5%99_vyza%C5%99ovac%C5%99_z%C4%8Dkon)>.

- [27] ELECTRICAL TECHNOLOGY.: *Difference Between Photodiode and Phototransistor* poslední aktualizace 2.1.2022; [cit. 13.5.2022]. Dostupné z URL: <<https://www.electricaltechnology.org/2022/01/difference-between-photodiode-phototransistor.html>>.
- [28] What is an IR sensor?..: *What is an IR sensor?* platné od 20.7.2019; [cit. 30.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.fierceelectronics.com/sensors/what-ir-sensor>>.
- [29] Atmel Corporation.: *ATmega328P, 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System, Programmable Flash* platné od 1.2015; 7810D-AVR-01/15 Dostupné z URL: <[https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)>.
- [30] Elijah J. Morgan.: *HC-SR04 Ultrasonic Sensor* platné od 16.11.2014 Dostupné z URL: <<https://datasheetspdf.com/pdf/1380136/ETC/HC-SR04/1>>.
- [31] PC Services.: *HC-SR04, PCS-HC-SR04* platné od 24.1.2017 Dostupné z URL: <<http://www.pcsericeselectronics.co.uk/arduino/Ultrasonic/HC-SR04-cct.pdf>>.
- [32] 1 Key Touch Pad Detector IC poslední úprava 7.12.2010; [cit. 30.1.2.2021] Dostupné z URL: <<https://www.electroschematics.com/wp-content/uploads/2015/04/tpp223-datasheet.pdf>>.
- [33] T.K. Hareendran.: *TTP223 Capacitive Touch Switch Circuit* platné od 4.2015, Dostupné z URL: <<https://www.electroschematics.com/tpp223-capacitive-touch-switch-circuit/>>.
- [34] Arduino IR Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module platné od 11.9.2017; [cit. 30.12.2021] Dostupné z URL: <<https://5.imimg.com/data5/YT/KV/MY-1833510/arduino-ir-infrared-obstacle-avoidance-sensor-module.pdf>>.
- [35] amber, KOOKYE: *HC-SR04, PCS-HC-SR04* platné od 17.11.2018; [cit. 30.12.2021] Dostupné z URL: <<https://kookye.com/2018/11/17/arduino-lesson-ir-obstacle-avoidance-module/>>.
- [36] STMicroelectronics.: *LOW POWER DUAL VOLTAGE COMPARATORS* platné od 1.6.1998; [cit. 14.5.2022] Dostupné z URL: <<https://www.gme.cz/lm393-so8-st-microelectronics-thomson>>.

- [37] Lucky Light Electronics Co.: *5mm Round Standard T-1 3/4 With Flange Phototransistor Technical Data Sheet* platné od 15.12.2005; [cit. 14.5.2022] Dostupné z URL: <<https://www.gme.cz/fototranzistor-tht-5mm-503ptc2e-1ad>>.
- [38] Kingbright.: *T-1 3/4 (4mm) INFRA-RED EMMITTING DIODE* platné od 21.9.2001; [cit. 14.5.2022] Dostupné z URL: <<https://www.gme.cz/infra-led-5mm-1-53f3bt>>.
- [39] David A. Mellis.: *wiring.c* platné od 2005; [cit. 29.5.2022] Dostupné z URL: <<https://github.com/arduino/ArduinoCore-avr/blob/master/cores/arduino/wiring.c>>.

## **Seznam symbolů a zkratek**

**COM port** communication port

**GPS** globální polohový systém

**GUI** graphic user interface

**LED** elektroluminiscenční dioda

**IR** infrared, infračervený

**ms** milisekunda

**PC** personal computer

**PIR** pasiv infrared, pasivní infračervený

**PIT** pasivní integrovaný transpondér

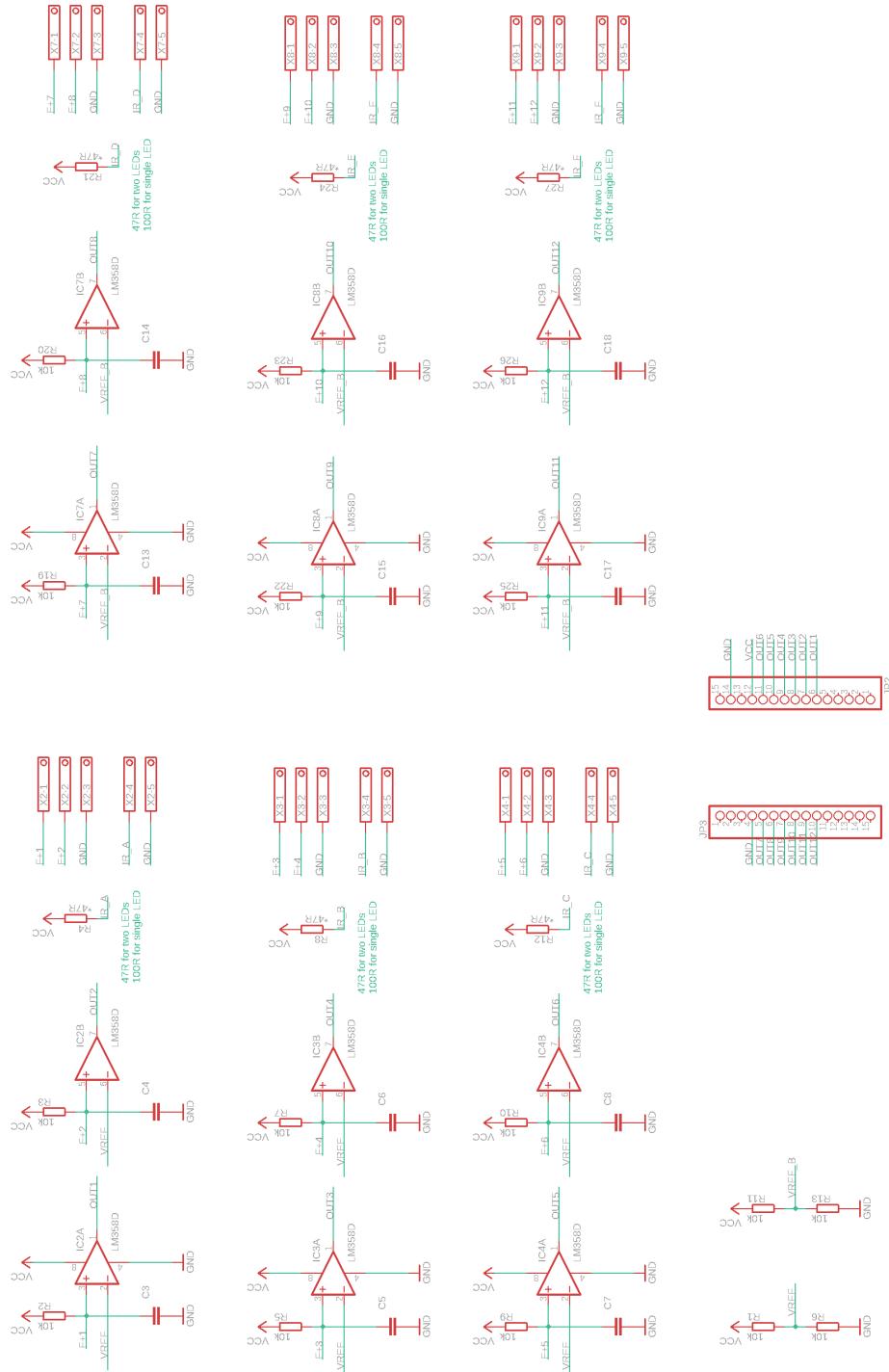
**USB** universal serial bus

# **Seznam příloh**

<b>A Podklady pro desku plošných spojů</b>	<b>51</b>
A.1 Kompletní schéma . . . . .	51
A.2 Schéma pro výrobu PCB . . . . .	52
A.3 Hotový výrobek . . . . .	52
A.4 Seznam součástek . . . . .	52
<b>B Podklady pro konstrukci dráhy</b>	<b>54</b>
B.1 Výkres pro konstrukci dráhy . . . . .	54
B.2 Výkres krabičky . . . . .	55
B.3 Výkres přídavného modulu . . . . .	56

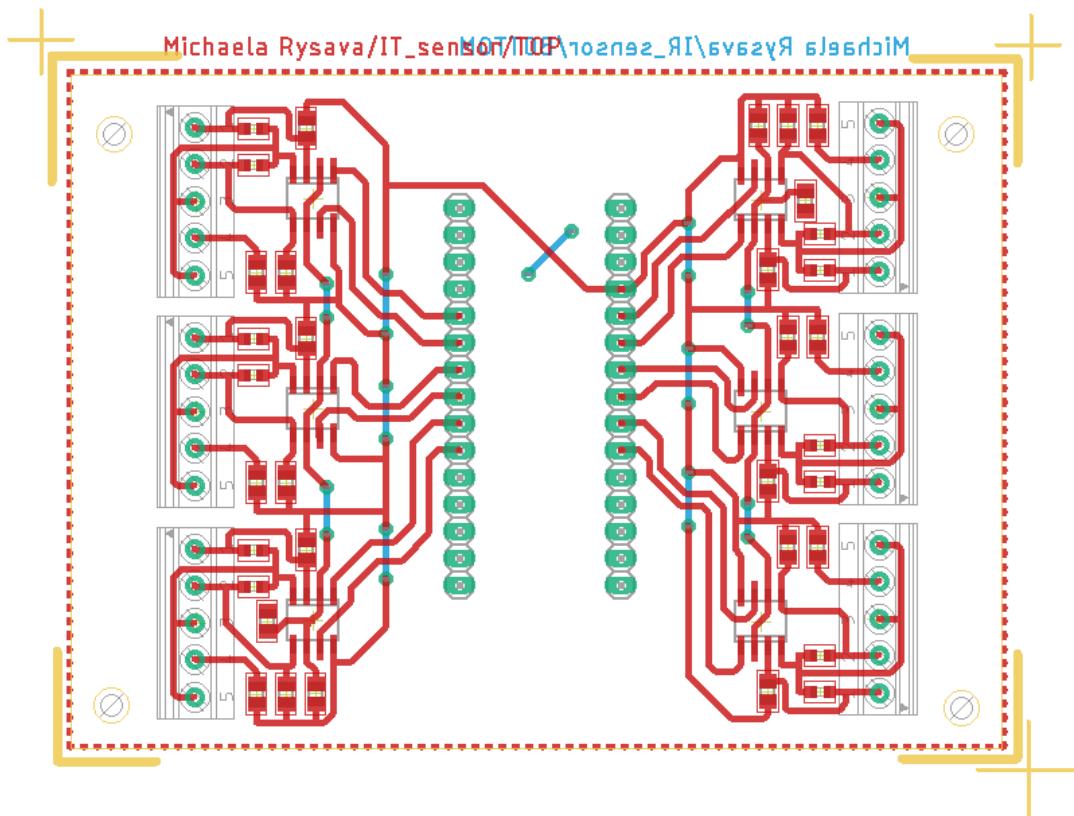
# A Podklady pro desku plošných spojů

## A.1 Kompletní schéma



Obr. A.1: Schéma 12 optických bran

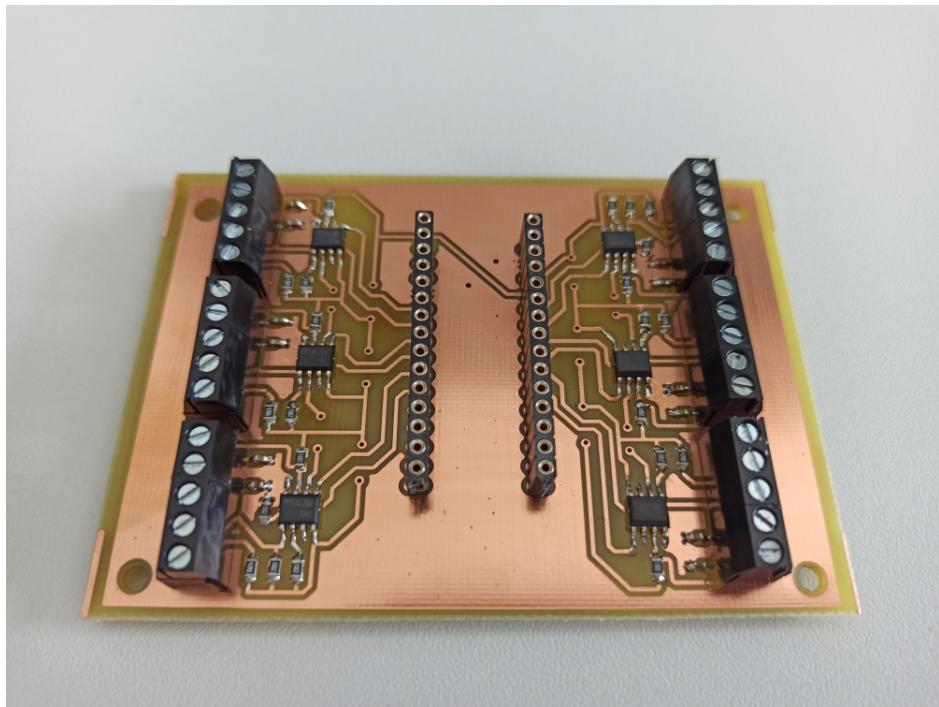
## A.2 Schéma pro výrobu PCB



Obr. A.2: Schéma desky

## A.3 Hotový výrobek

## A.4 Seznam součástek



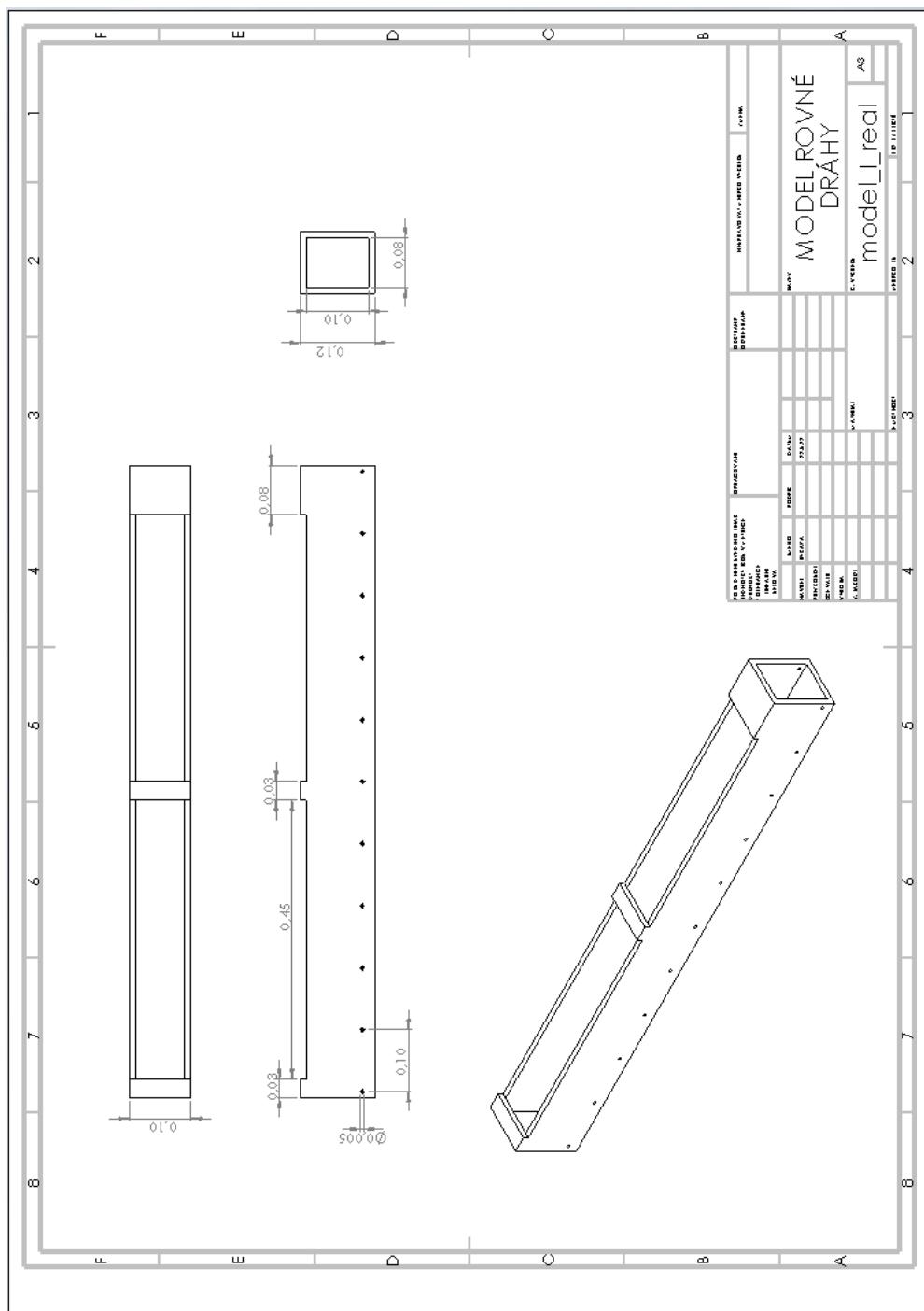
Obr. A.3: Vyrobená deska

Tab. A.1: Seznam součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
R1	10k	SMD 0805	Rezistor
R2	50	SMD 0805	Rezistor
C	100n	SMD 0603	Keramický kondenzátor
LM393D	-	S08	2x komparátor
L-53F3BT	-	THT	Infračervená LED, 5mm
503PTC2E	-	THT	Fototranzistor, 5mm
DRG350	-		Svorkovnice 5pól, rozteč 3,5mm
BL11G	-		Dutinková lišta

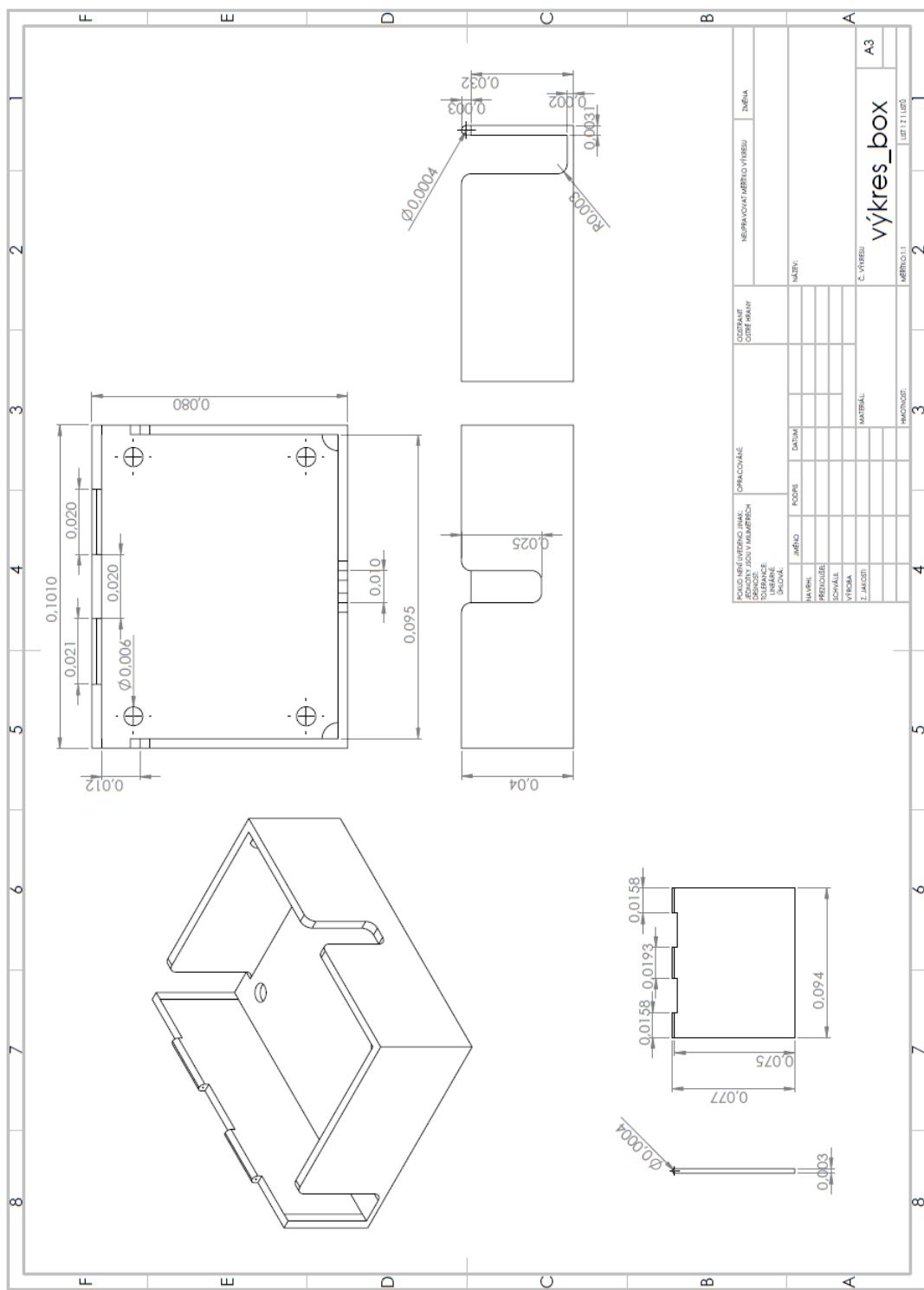
## B Podklady pro konstrukci dráhy

### B.1 Výkres pro konstrukci dráhy



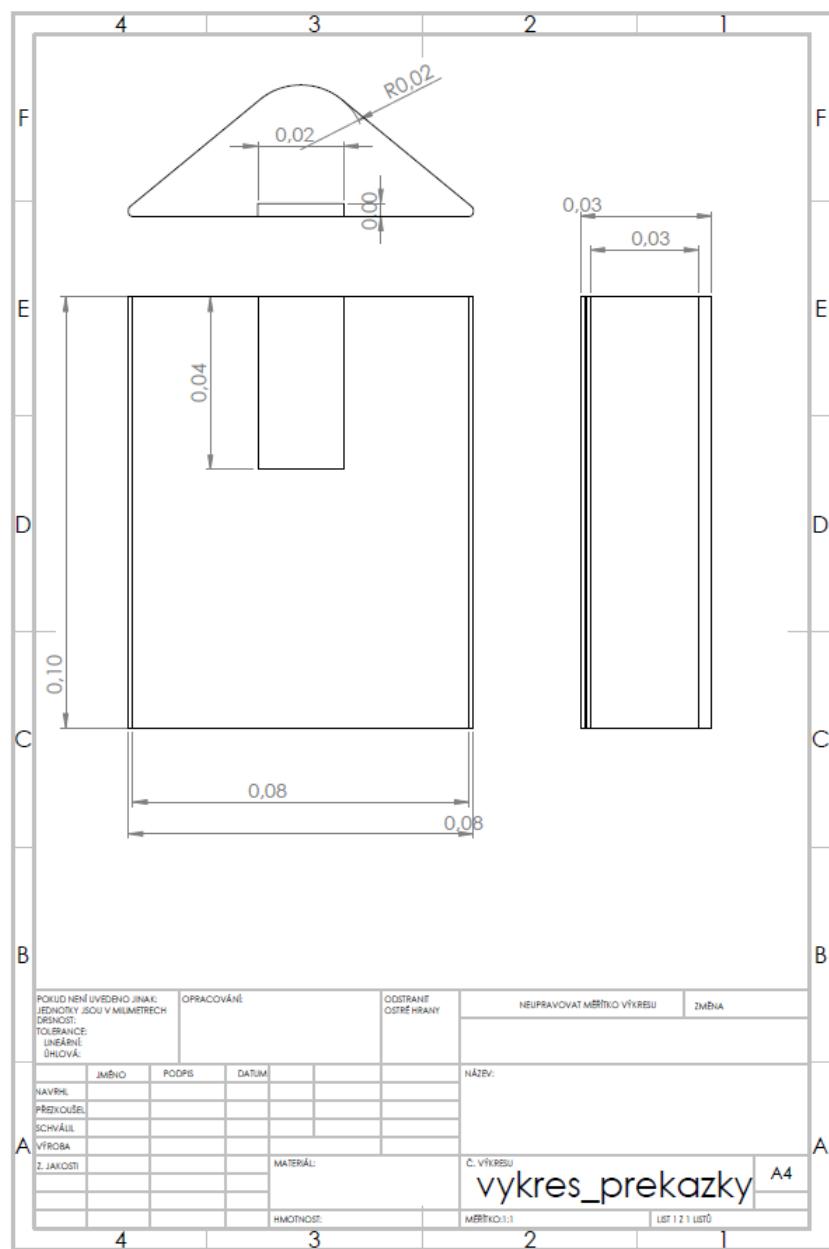
Obr. B.1: Výkres rovné dráhy

## B.2 Výkres krabičky



Obr. B.2: Výkres krabičky

### B.3 Výkres přídavného modulu



Obr. B.3: Výkres překážky