

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Využití dopplerovského senzoru pro určování rychlosti a klasifikace objektů

Michal Síč

Bakalářská práce

2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal Síč**
Osobní číslo: **I16037**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Využití dopplerovského senzoru pro určování rychlosti
a klasifikaci objektů**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Bakalářská práce je zaměřena na analýzu signálu na výstupu dopplerovského radaru určeného pro monitorování pohybu v okolí mikrovlnného senzoru.

Teoretická část bude obsahovat rešerši běžně dostupných dopplerovských senzorů s uvedením základních parametrů, jako jsou dosah, detekce rychlosti a vzdálenosti. Do rešerše budou zahrnuty i senzory pracující na jiném principu, např. infračerveném nebo ultrazvukovém.

V praktické části budou porovnány vlastnosti výstupních signálů z vybraných dopplerovských senzorů pohybu. Pro zpracování signálu z dopplerovského senzoru bude navržen algoritmus pro detekci pohybové aktivity, rychlosti a velikosti objektu, popř. i vzdálenosti. Algoritmus bude naprogramován a výsledky testování budou porovnány s teoretickými předpoklady.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **50**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

BEZOUŠEK, Pavel a Pavel ŠEDIVÝ. Radarová technika. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03036-9.

DOBEŠ, Josef a Václav ŽALUD. Moderní radiotechnika. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-132-2.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.

Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10. května 2019**



L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan

Ing. Jan Pídaníč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. listopadu 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 19. 10. 2019

Michal Síč

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval své rodině za podporu při zpracování bakalářské práce a také panu Ing. Jiřímu Rolečkovi a Ing. Zdeňku Němcovi Ph.D. za odbornou pomoc a rady, které mi byli schopni dát, abych dokončil svoji bakalářskou práci.

ANOTACE

Tématem bakalářské práce je analýza využití senzorů pro detekci pohybu v okolí mikrovlnného nebo jiného senzoru. V teoretické části je uvedena stručná rešerše senzorů s uvedením základních parametrů, jako jsou dosah, detekce rychlosti a vzdálenosti. Praktická část je zaměřena na popis měření a popis vlastností výstupních signálů z dopplerovského senzoru pohybu s krátkým dosahem.

KLÍČOVÁ SLOVA

Senzor, detekce, Doppler

TITLE

Doppler sensor for speed detection and object classification

ANNOTATION

The topic of the bachelor thesis is the analysis of sensors for motion detection around a microwave sensor or different technology sensors. The theoretical part provides a brief review of sensors with basic parameters - range, speed and distance detection. The practical part is focused on the description of measurements and the analysis of output signals from a short-range Doppler motion sensor.

KEYWORDS

Sensor, detection, Doppler

OBSAH

Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	9
Seznam zkratk	10
Úvod	11
1 Senzory pohybu.....	12
1.1 Princip detekce pohybu objektů.....	13
1.1.1 Mikrovlnné detektory	14
1.1.2 Pasivní infračervené detektory (PIR).....	15
1.1.3 Ultrazvukové detektory.....	16
1.2 Mikrovlnné senzory	18
1.3 PIR senzory.....	20
1.4 Ultrazvukové senzory	21
2 Měření senzorů pohybu.....	23
2.1 Měření IR senzoru GP2Y0A710K0F	23
2.2 Měření mikrovlnného senzoru HB100	30
Závěr	36
Použitá literatura	37

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Jak funguje mikrovlnný senzor [16]	14
Obrázek 2: Jak funguje PIR senzor [3]	16
Obrázek 3: Jak funguje ultrazvukový senzor [8]	17
Obrázek 4: Obrázek z datasheetu	24
Obrázek 5: Záznam detekce bílého papíru na osciloskopu	24
Obrázek 6: Bílý papír graf z naměřených hodnot	25
Obrázek 7: Krabice 23x21cm osciloskop	26
Obrázek 8: Krabice 23x21 graf z naměřených hodnot.....	27
Obrázek 9: krabice 35x25cm graf z naměřených hodnot.....	28
Obrázek 10: krabice 35x25cm osciloskop	29
Obrázek 11: Graf všech měření.....	29
Obrázek 12: Měření odrazu od lidské ruky.....	31
Obrázek 13: Měření odrazu od lidské ruky v blízkosti senzoru	32
Obrázek 14: Měření odrazu od kovové desky 45x32cm.....	33
Obrázek 15: Měření odrazu od kovové desky 45x32cm – v blízkosti senzoru	33
Obrázek 16: Měření odrazu od telefonu – větší vzdálenost.....	34
Obrázek 17: Měření odrazu od telefonu 1.....	34
Obrázek 18: Měření odrazu od telefonu 2.....	35

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Tabulky parametrů z datasheetu mikrovlnného senzoru [17].....	20
Tabulka 2: Parametry z datasheetu PIR senzoru [18]	21
Tabulka 3: Parametry z datasheetu ultrazvukového senzoru [19]	22
Tabulka 4: Porovnání různých druhů senzorů	22
Tabulka 5: Naměřené hodnoty pro bílý papír velikosti A4.....	25
Tabulka 6: Naměřené hodnoty pro krabici velikosti 23x21cm.....	27
Tabulka 7: Naměřené hodnoty pro krabici velikosti 35x25cm.....	28

SEZNAM ZKRATEK

IR	InfraRed
PIR	Pasivní InfraRed senzor
DC	stejnoseměrné napětí

ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá analýzou signálu na výstupu dopplerovského čidla určeného pro detekci pohybu v okolí mikrovlnného senzoru. Detekce objektů je využitelná v mnoha odvětvích lidské činnosti, s narůstající automatizací výroby se už mnoho desítek let uplatňuje v průmyslu nebo zemědělství. Tato práce je zaměřena na analýzu možností využití jednoduchých a levných senzorů pro detekci rychlosti, vzdálenosti a velikosti objektu. Přitom parametry ani plánované využití senzoru nemusí odpovídat uvedeným možnostem detekce.

Teoretická část obsahuje rešerši běžně dostupných dopplerovských senzorů, díky které lze uvažovat o jejich možném využití. Uvedeny jsou základní parametry, jako jsou dosah, detekce rychlosti a vzdálenosti. Teoretická část je obsahem první kapitoly, kde je uveden popis mikrovlnných, infračervených a ultrazvukových senzorů. Postupně jsou popsány možnosti využití společně s jejich výhodami a nevýhodami.

Náplní praktické části práce je ověření vlastností senzorů pomocí měření v laboratoři. Získané výsledky měření jsou porovnány s vlastnostmi uvedenými v technických listech senzorů. Vyhodnocení možností aplikačního využití je uvedeno u infračerveného a mikrovlnného senzoru, které byly vybrány k testování. V rámci měření také byly ověřeny informace uvedené v data-sheetech.

1 SENZORY POHYBU

Principy detekce mají své kořeny v astronomii. První zemědělci se dívali na nebe a pomocí změn v poloze hvězd určili, kdy zasadit plodiny a kdy je sklídit. První senzor pohybu byl vynálezem Heinricha Hertze. Hertz studoval vlastnosti vln a zjistil, že vlny se mohou odrazit od objektů a že mají různé rychlosti.

Druhá světová válka poskytla výborné prostředí pro zdokonalení senzorů pohybu: desetiletí studování vlastností vln, sledování leteckých a námořních lodí. Po roce 1940 byla radarová technika natolik vyspělá, aby armáda dokázala detekovat útoky a navádět letadla. Všeobecné použití radarů vedlo po válce k použití senzorů pohybu i pro jiné účely.

První senzor pohybu, který fungoval jako poplach proti vloupání do domu byl vynalezen na počátku padesátých let Samuelem Bangem. Bango aplikoval základy radaru na ultrazvukové vlny, frekvenci, kterou lidé nejsou schopni slyšet, aby dokázal zjistit, jestli je v domě oheň nebo zloděj. Bangův pohybový senzor využíval Dopplerova jevu, rozdíl ve frekvencích vln v důsledku pohybujícího se objektu.

I dnešní pohybové senzory pracují na stejných základních principech jako detektory, které vynalezl Samuel Bango. Mikrovlnné a infračervené senzory pohybu stále detekují pohyb využitím změn ve frekvencích, které vysílají a přijímají. Nové senzory, jako jsou mikrovlnné senzory, však nyní mohou být umístěny za regály a dalšími zábranami, přesto však stále pokrývají široký azimut okolního prostředí.

Senzory pohybu mají velmi mnoho využití. Dnešní detektory mohou zabránit vážným nehodám při manipulaci se stroji např. tím, že snímají, jak daleko je ruka člověka od přístroje. V každodenním životě člověk používá pohybové senzory například, když jde do obchodu, který má automatické dveře nebo třeba když projde okolo automatického osvětlení. [13]

1.1 Princip detekce pohybu objektů

Každý senzor používá jiné způsoby, jak detekovat objekt. Aktivní senzory využívají Dopplerův jev a pasivní reagují na vyzařování tepla. Každé těleso vyzařuje nějaké teplo, které senzor dokáže zachytit. Do aktivních senzorů pohybu se zařazují mikrovlnné senzory a ultrazvukové senzory.

- Mikrovlnné senzory pohybu: mikrovlnné pohybové senzory využívají Dopplerův jev stejně jako ultrazvukové, elektromagnetickou energii nejčastěji v pásmech frekvencí 2,5GHz, 10GHz nebo 24GHz. Podle vzdálenosti od senzoru se zachytí odražená energie od objektu a díky tomu můžeme určit, v jaké vzdálenosti od senzoru objekt je. [1]
- Infračervené senzory pohybu: Infračervené senzory používají čočky, aby zjistily změnu teploty. Pokud se v oblasti, kam je nasměrovaný senzor, změní teplota, tak senzor okamžitě změnu pozná a začne reagovat. [4]
- Ultrazvukové senzory pohybu: Jak již název napovídá, ultrazvukové senzory používají ultrazvuk k zjištění vzdálenosti objektu. Vyslaný signál o vysoké frekvenci se odrazí od objektu, který mu stojí v cestě a vrátí se zpátky k senzoru, který signál vyslal. Tím zjistíme jeho vzdálenost. [8]

1.1.1 Mikrovlnné detektory

Z důvodu toho, jak fungují mikrovlnné senzory pohybu, je možné je udělat méně či více citlivé. Mohou být nastaveny tak, aby kontrolovaly místnost každou chvíli nebo je můžeme nastavit, aby zahrnuly větší pozorovací úhel z důvodu vyhnutí se falešným zprávám. Mikrovlnné senzory, které mají lepší nastavitelnost, můžeme nastavit tak, aby poznaly, jestli se člověk pohybuje od senzoru nebo k senzoru nebo jestli se pohybuje nahodile.

Mikrovlnné senzory jsou velmi dobré pro používání jak ve vnitřních prostorech, tak venkovních a mohou pokrývat rozsáhlou oblast. A také je možné nastavit senzory, aby ignorovaly určitou část oblasti, ve které víme, že se mohou pohybovat objekty, které není potřeba se detekovat. [2]

Výhody mikrovlnných senzorů

- Mohou být využity prakticky skoro všude, včetně míst, které nejsou nijak příznivé pro ně. Jsou to místa s vysokou teplotou, kde se mohou objevovat fotoelektrické senzory.
- Signál se může šířit i skrze otvory a zdi.
- Lze je naprogramovat, aby byl omezen počet falešných alarmů, aniž bychom omezili počet správných.
- Jsou levnější na nákup a jsou konstrukčně jednoduché.

Nevýhody

- Mohou způsobovat hodně falešných alarmů.
- Vyžadují nepřetržitý odběr energie.
- Pracují pouze v intervalech, pokud je někdo rychlý, může se jim vyhnout [2].



Obrázek 1: Jak funguje mikrovlnný senzor [16]

1.1.2 Pasivní infračervené detektory (PIR)

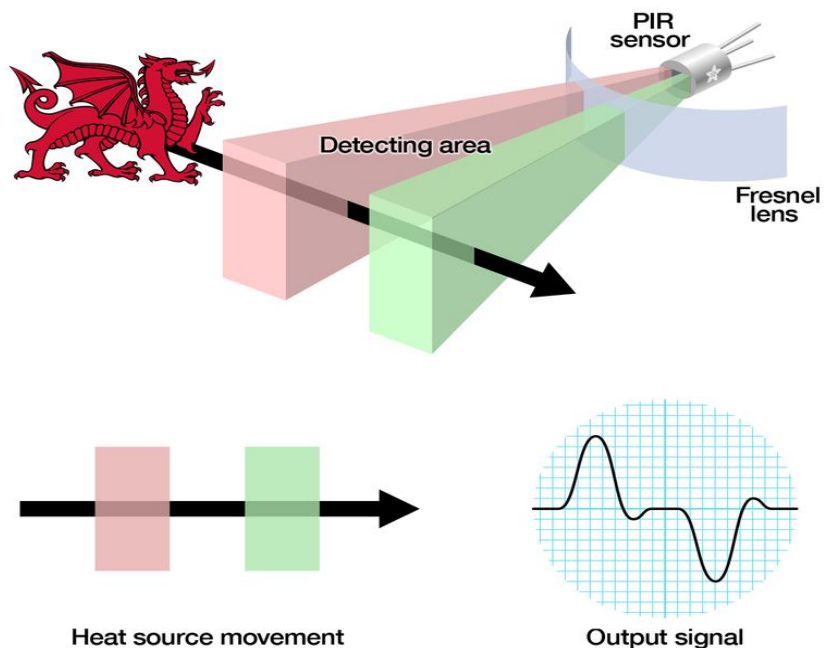
PIR detektor funguje na principu snímání pochybujícího se objektu o určité teplotě. Detektor funguje tak, že je rozdělen do určitých zón. Každá z těchto zón detekuje teplo objektu a při průchodu těmito zónami se zaznamenává pohyb neboli změny v teplotách mezi zónami. Proto je senzor schopen zachytit i pohybující se objekty díky tomu, že objekt se přesouvá z jedné měřené zóny do druhé. Detektor je také citlivější, pokud právě osoba prochází zónami oproti tomu, když jde osoba přímo proti detektoru. Je to způsobeno tím, že osoba neprochází různými zónami detektoru. [6]

Výhody:

- Senzor je schopný detekovat pohyb jak ve dne, tak i v noci.
- Spotřebovává malé množství energie oproti ostatním senzorům pohybu.
- Jejich dostupnost je velmi dobrá, jsou levné.
- Jsou dobré pro elektrické aplikace používané v malých prostorech.

Nevýhody

- Mají nižší citlivost.
- Mají menší rozsah pokrytí oproti mikrovlnným senzorům.
- Nedokáží pracovat při větší teplotě jak 35 °C.
- Nejsou citlivé na pomalý pohyb objektů.
- Nedokáží snímat za roh.
- Detekci PIR senzory lze oklamat, protože mají štěrbinovou detekční zónu, a ne spojitou jako mikrovlnné senzory [7].



Obrázek 2: Jak funguje PIR senzor [3]

1.1.3 Ultrazvukové detektory

Ultrazvukové senzory používáme tam, kde se neuplatní ostatní. Ultrazvukové senzory používají k detekci zvuk obecně nad frekvencí 20kHz. Umožňují detekci pohybu až na vzdálenost několika metrů. Dokáží detekovat objekt, a přitom vynechat pozadí za objektem v řádu centimetrů. [11]

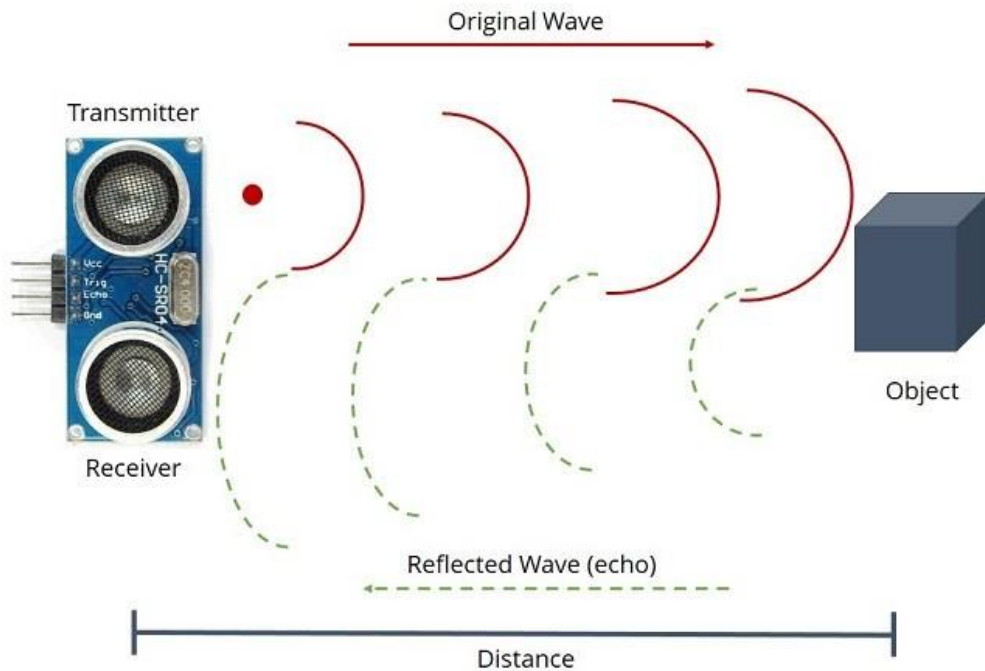
Ultrazvukový detektor se skládá z přijímače a vysílače. Vysílač je schopen generovat zvuk např. o frekvenci 40kHz, přijímač dokáže přijímat tuto zvukovou frekvenci. Frekvence mírně pod 40kHz je také frekvencí, na které jsme schopni zachytit vysílání černé skříňky letadla. Přijímač je schopný zachytit odražené zvuky, takže pokud se před ultrazvukovým senzorem vyskytnou překážky, senzor musí vypočítat čas potřebný mezi odesláním signálu a následně jeho přijetím. Čas a vzdálenost souvisejí se zvukovými vlnami, které pocházejí vzduchem rychlostí 343,2 m/s při běžné okolní teplotě 20°C. [12]

Výhody:

- Dokáže detekovat všechny typy materiálů.
- Senzory nejsou ovlivněny sněhem, deštěm atd.
- Mohou fungovat za jakýchkoliv podmínek.
- Má větší detekční vzdálenost (v centimetrech a palcích).
- Dokáže dobře snímat velké objekty s tvrdými povrchy.

Nevýhody:

- Je velmi citlivý na změny teploty.
- Má velké potíže s odrazy od měkkých, zakřivených, tenkých a malých předmětů [9].
- Nedokáže pracovat ve vakuu [10].



Obrázek 3: Jak funguje ultrazvukový senzor [8]

1.2 Mikrovlnné senzory

V datasheetu pro mikrovlnné senzory se můžeme dozvědět informace, které nám pomohou vybrat ideální místo, kam senzor dát, aniž bychom ovlivnili jeho funkčnost. Dozvíme se základní parametry senzoru jako například: přesnost, vzdálenost, omezující podmínky, na jaké frekvenci senzor pracuje, jaké napájení potřebuje a na jaký pin senzoru se mohou připojit další části hardwaru.

Parametry	Min	Typ	Max	Jednotka
Dostupné vlnové délky	1290	1310	1340	nm
Optický výstupní výkon	-	9	-	dBm
Teplotní rozsah	-40	-	+65	°C
Frekvenční rozsah	10	-	22000	MHz

Parametry	Symbol	Stav	Min	Max	Jednotka
Provozní teplotní rozsah základní desky	T _{OP}	Nepřetržitý	-40	+65	°C
Skladovací teplota	T _{STG}	-	-40	+85	°C
RF vstupní výkon	P _{IM}	60 sekund	-	+20	dBm
Přední proud laseru	-	-	25	120	mA
Obrácené napětí fotodiody	V _{RPO}	-	200	10	V
Obrácené napětí laseru	-	-	-	1	V
ESD	-	HBM R = 1,5kΩ, C = 100pF	-500	500	V
TEC proud	I _{TEC}	Nepřetržitý	-1,9	1,9	A

Parametry	Specifikace	Jednotky
Vlnová délka	1310 do ± 30	nm
Šířka spektra	10	MHz
Optická energie	8 (min)	dBm
Optická energie, Stabilita vs Teplota	± 15	%
Zisk modulace	0,24	-

Parametry	Symbol	Stav	Min	Max	Jednotky
Laserové paprsky	I_{CP}	25 °C	-	65	mA
Prahová hodnota proudu	I_{TH}	25 °C	-	26	mA
Přední proud	V_F	$I_{CP} = I_{TH} = 50 \text{ mA}$	-	6	V
Termoelektrický chladič	I_{TEC}	-	-1,1	-	A
termistor	R_{TH}	25 °C	9,5	10	k Ω
Teplotní koeficient termistoru	TE_{TH}	25 °C	-	4,4	% / °C

Pin	Popis
A	Termistor
B	TEC (-)
C	Termistor
D	TEC (+)
E	Laserové paprsky
F	Zem
G	Monitor fotodiody

Tabulka 1: Tabulky parametrů z datasheetu mikrovlnného senzoru [17]

1.3 PIR senzory

Datasheet u infračervených senzorů udává velmi podobné informace jako u mikrovlnných senzorů. Takže nám říká, jaké je nejlepší místo pro umístění senzoru, při jakých podmínkách je schopný pracovat. A samozřejmě základní parametry senzoru.

- Rozsah pracovního napětí: DC 4,5-20 V
- Klidový proud: 50 uA
- Vysoká výstupní úroveň 3,3 V / nízká 0 V
- Spouštěč L, spouštění nelze opakovat / H opakování spouštění
- Rozměry desky plošných spojů: 32*24 mm
- Maximální pozorovací úhel senzoru 110
- 7 m maximální dosah

Název produktu	HC—SR501 snímač lidského těla
Rozsah provozního napětí	5-20 V DC
Klidový proud	<50 uA
Úroveň výstupu	Vysoká 3,3 V / Nízká 0 V
Spouštěč	L spouštění nelze opakovat / H opakování spouštění
Zpoždění	5-300 s
Zastavení	2,5 s
Rozměry desky	32*24 mm
Pozorovací úhel	<110°
Rozsah provozní teploty	-15-+70
Velikost čočky	23 mm

Tabulka 2: Parametry z datasheetu PIR senzoru [18]

1.4 Ultrazvukové senzory

Stejně jako u předešlých senzorů i u ultrazvukových nám datasheet uvádí informace o tom, jak nejlépe využít senzor, aniž bychom omezovali jeho funkčnost. Dozvídáme se v něm základní informace jako napětí, frekvence, maximální dosah, pozorovací úhel.

- 5V napájení
- Spouštěč vstupního signálu
- Výstupní odezva signálu
- 0V zem

Pracovní napětí	5 V DC
Pracovní proud	15 mA
Pracovní frekvence	40 Hz
Maximální rozsah	4 m
Minimální rozsah	2 cm
Pozorovací úhel	15 Stupňů (°)
Spouštěč vstupního signálu	10uS TTL puls
Výstupní odezva signálu	Vstupní TTL změny signálu a rozsah v poměru
rozměr	45*20*15 mm

Tabulka 3: Parametry z datasheetu ultrazvukového senzoru [19]

Senzory	Cena	Energie [W]	Vzdálenost	Funkčnost v noci a ve dne	Přesnost
Mikrovlnný	Levný	1,1 - 1,5 W	1–20 m	Ano	0,001 m
Infračervený	Levné	0,8 – 1 W	0,25- 20 m vevnitř 10–150 m	Ano	Hmyz ne člověka ano
Ultrazvukový	Drahé	0,1 – 0,4 W	Do 4 metrů	Ano	0,03 m

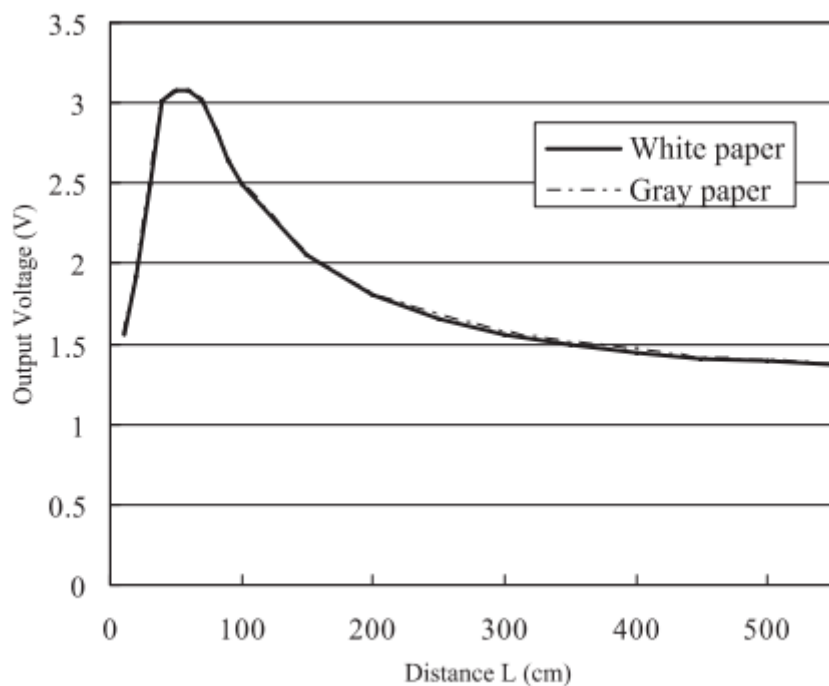
Tabulka 4: Porovnání různých druhů senzorů

2 MĚŘENÍ SENZORŮ POHYBU

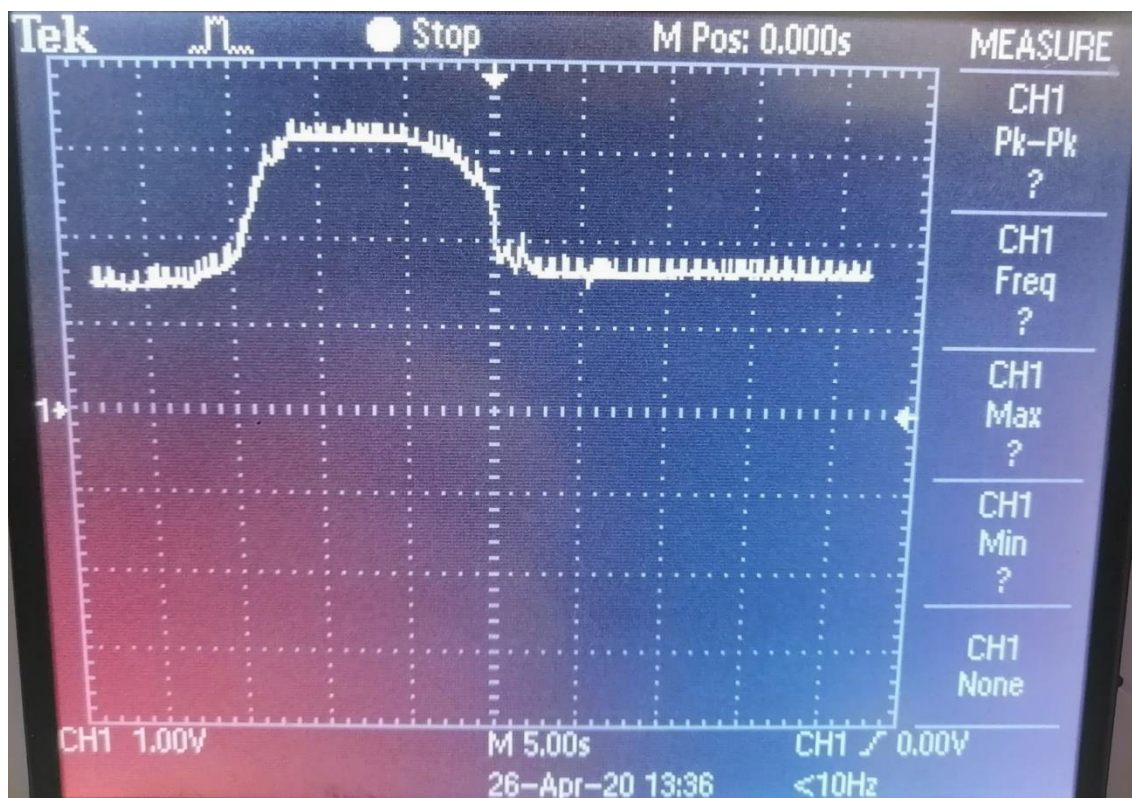
Pro měření senzorů pohybu jsem si vybral ideální místo, kde jsem měl jistotu, že nebudu rušen okolními vlivy. Také jsem zařídil, aby senzory snímali pouze překážky, které jsem si vybral pro měření, a nikoliv další věci které by jakkoliv mohli ovlivnit výsledky mých měření. Z původních čtyř senzorů, které jsem měl v úmyslu měřit přišli v úvahu pouze dva. A to z důvodu, že zbylé dva senzory jsou spíše detektory pohybu a nikoliv senzory. Tudíž jediné, co tyto detektory mohou udělat je to, že mi oznámí, že právě se zde někdo pohybuje ale již nezjistím, v jaké vzdálenosti ani jakou rychlostí. Se zbylými dvěma senzory jsem naměřil řadu různých překážek v různých vzdálenostech abych zjistil, zdali jsou schopni reagovat na změnu barvy, velikost překážky, rychlosti pohybu a odrazné plochy. Měřené senzory byli infračervený senzor GP2Y0A710K0F a mikrovlnný senzor BH100.

2.1 Měření IR senzoru GP2Y0A710K0F

Při měření IR senzoru jsem si udělal místo ve vzdálenosti do pěti metrů od senzoru. Naměřil jsem si vzdálenosti od senzoru po 0,5 metru do vzdálenosti tří metrů. Senzor jsem napájel 5 V a pomocí osciloskopu jsem sledoval výsledek měření a zapisoval si hodnoty pro grafy a porovnání s datasheetem od výrobce. Na měření jsem si vybral bílý papír velikosti A4, malou červenou krabici velikosti 23x21 a větší krabici velikosti 35x25. Tyto překážky jsem si vybral, protože jsem doufal, že by infračervený senzor mohl jinak reagovat na barvy a velikost překážek. Uvedené překážky jsou uvedeny jako typické i v dostupných zdrojích a pro ověření vlastností se ukázaly jako vhodné. První měření probíhalo s bílým papírem A4, u kterého jsem předem věděl, jak by měla vypadat výsledná charakteristika, jelikož byla jako příklad v datasheetu.



Obrázek 4: Obrázek z datasheetu

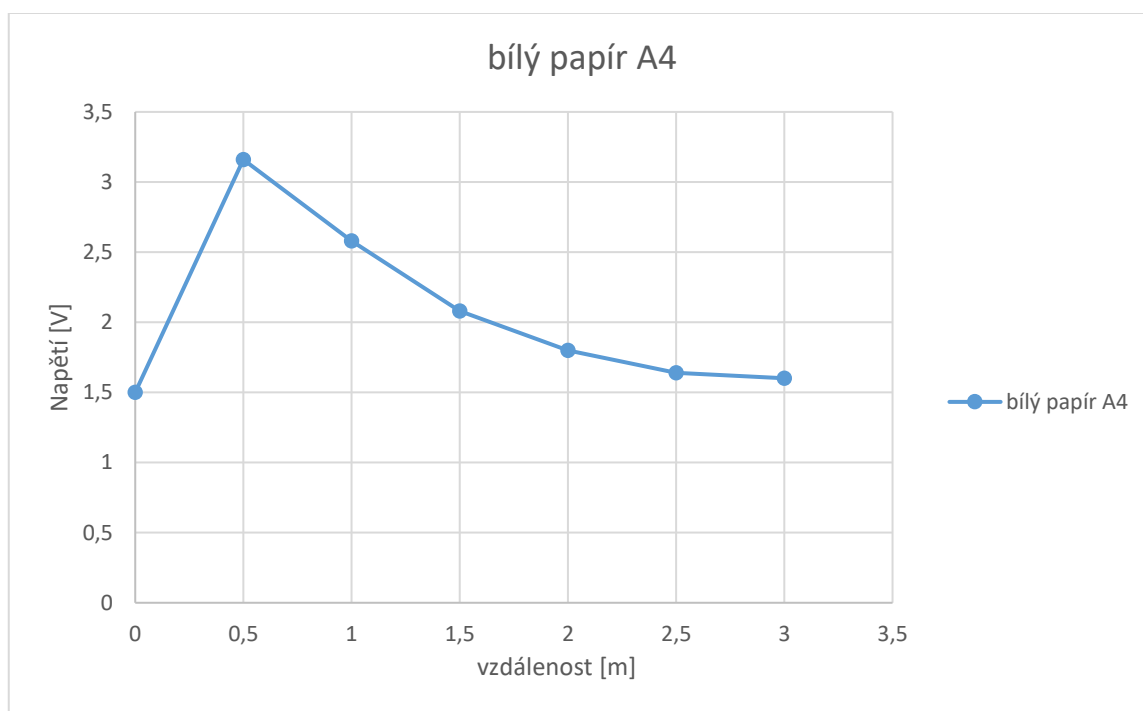


Obrázek 5: Záznam detekce bílého papíru na osciloskopu

Pro měření jsem využil běžný osciloskop Tektronix řady TDS 1002B. Nastavení parametrů bylo 1 [V]/dílek, 0,5 [s]/dílek. Naměřené hodnoty napětí byly snímány kurzorem a jejich souhrn je uveden v tabulce 5.

Vzdálenost [m]	Napětí [V]
0	1,5
0,5	3,16
1	2,58
1,5	2,08
2	1,8
2,5	1,64
3	1,6

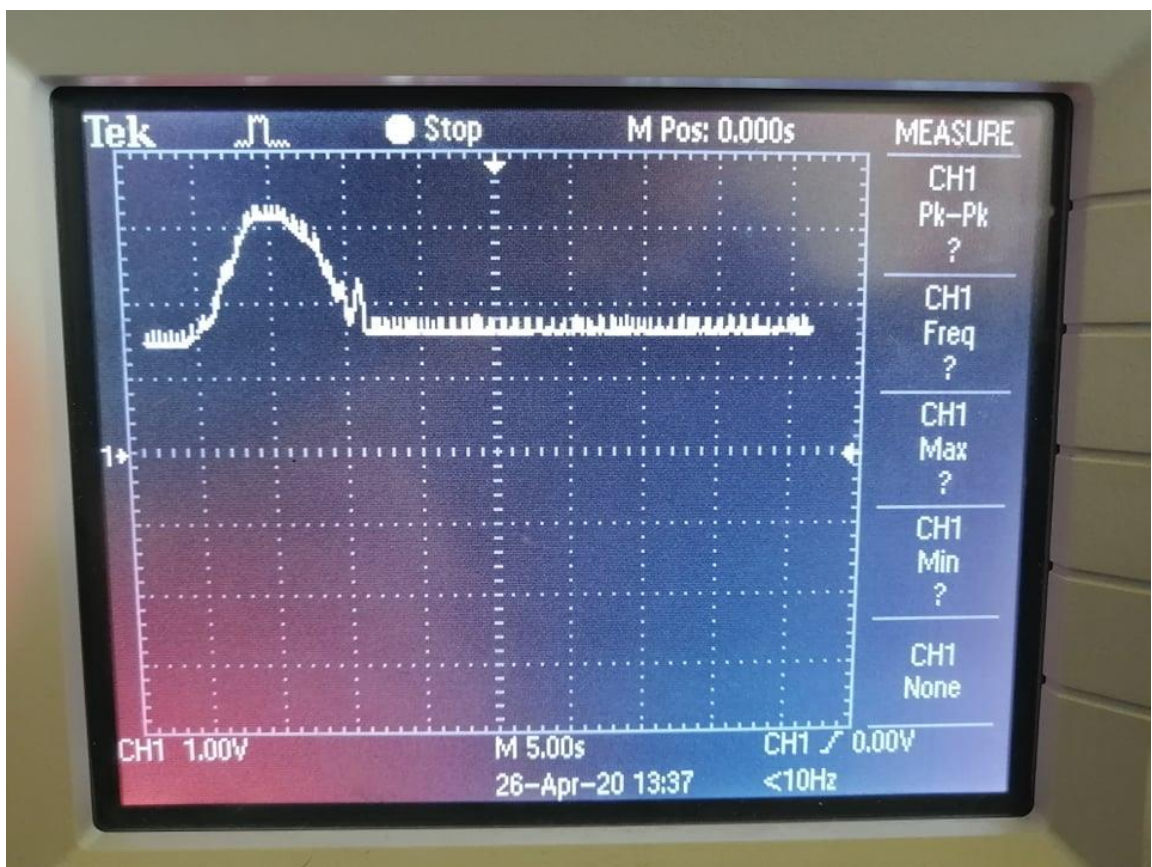
Tabulka 5: Naměřené hodnoty pro bílý papír velikosti A4



Obrázek 6: Bílý papír graf z naměřených hodnot

Z naměřených hodnot vyplývá, že mé měření by mohlo být více přesná, kdybych použil mezi vzdálenostmi 0 metrů a 0,5 metrů více bodů, aby mi graf vyšel stejně jako v datasheetu. Na osciloskopu je vidět, že jsem se snažil, aby byl vidět hezky přechod na maximální napětí kde jsem se s měřením zdržel, aby bylo zřejmé, že na vyšší hodnotu se již nedostaneme a poté jsem pokračoval se zvětšování vzdáleností.

Jako další překážku při měření jsem si připravil malou červenou krabici o velikosti 23x21cm. Jako první mě napadlo, že jiná barva a menší velikost překážky by mohlo znamenat i jiné výsledky.

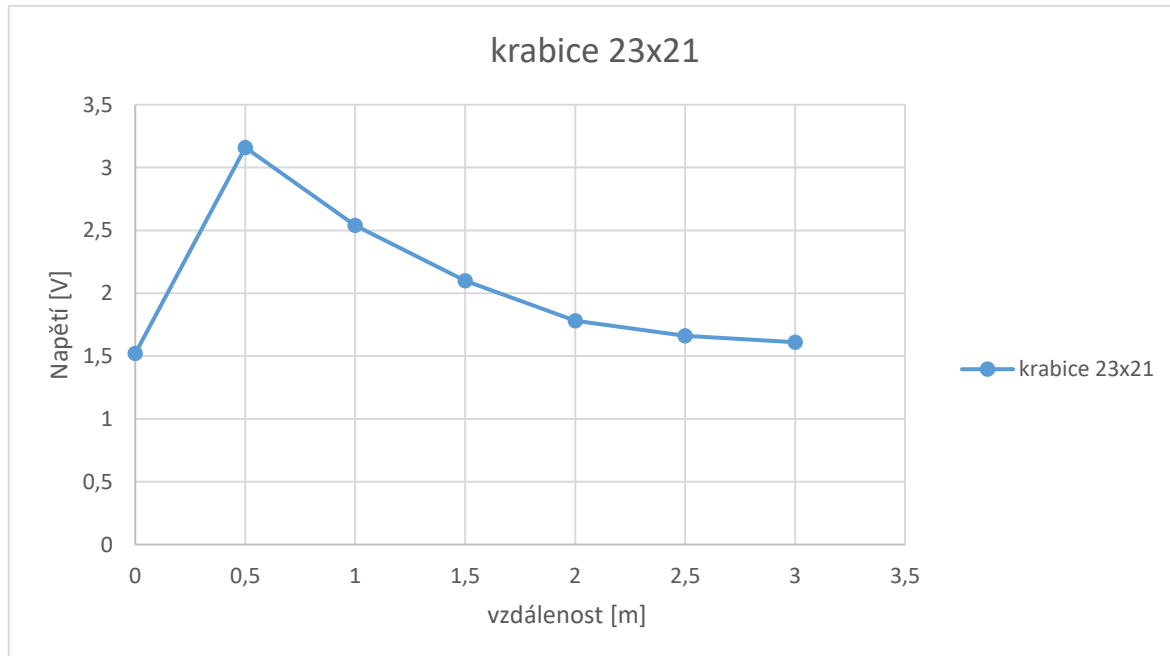


Obrázek 7: Krabice 23x21cm osciloskop

Pro měření jsem opět využil běžný osciloskop Tektronix. Nastavení parametrů bylo 1 [V]/dílek, 0,5 [s]/dílek. Kurzorem určené hodnoty napětí jsou uvedeny v tabulce 6.

Vzdálenost [m]	Napětí [V]
0	1,52
0,5	3,16
1	2,54
1,5	2,1
2	1,78
2,5	1,66
3	1,61

Tabulka 6: Naměřené hodnoty pro krabici velikosti 23x21cm



Obrázek 8: Krabice 23x21 graf z naměřených hodnot

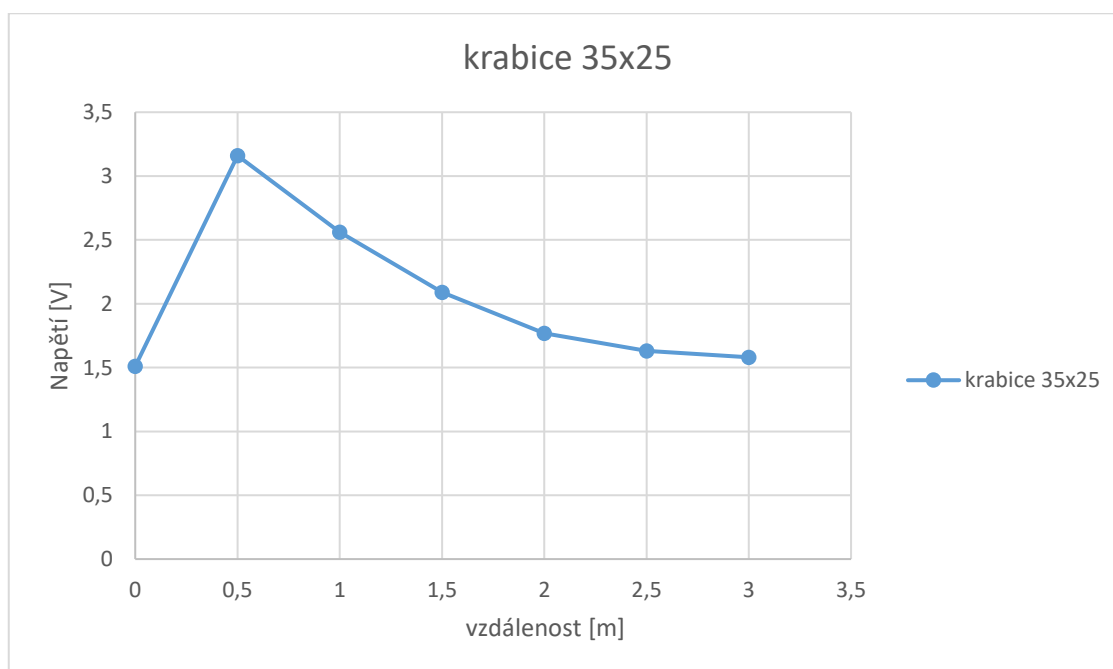
Při tomto měření mi vyšli velmi podobné hodnoty jako u předchozího, takže jsem zjistil, že velikost ani barva překážky pro infračervený senzor nic neznamená.

Nicméně jsem se rozhodl zkusit ještě větší překážku a aby na ní bylo více barev jak jedna. Tudiž jsem zkusil krabici od puzzlů.

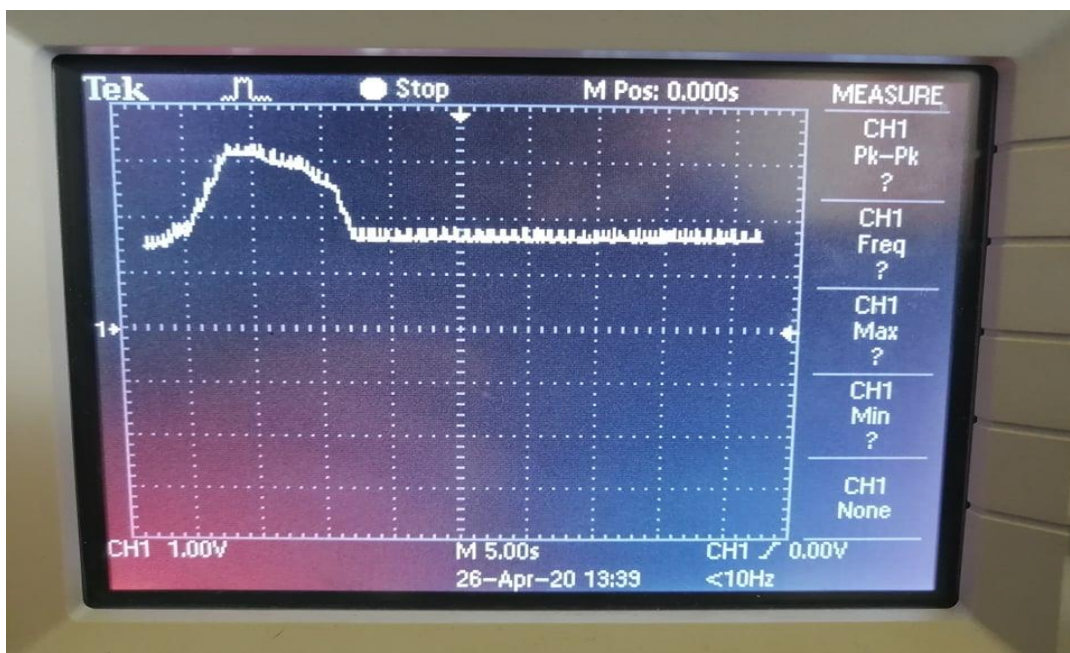
Pro měření jsem opět využil běžný osciloskop Tektronix. Nastavení parametrů bylo 1 [V]/dílek, 0,5 [s]/dílek. Kurzorem určené hodnoty napětí jsou uvedeny v tabulce 7.

Vzdálenost [m]	Napětí [V]
0	1,51
0,5	3,16
1	2,56
1,5	2,09
2	1,77
2,5	1,63
3	1,58

Tabulka 7: Naměřené hodnoty pro krabici velikosti 35x25cm

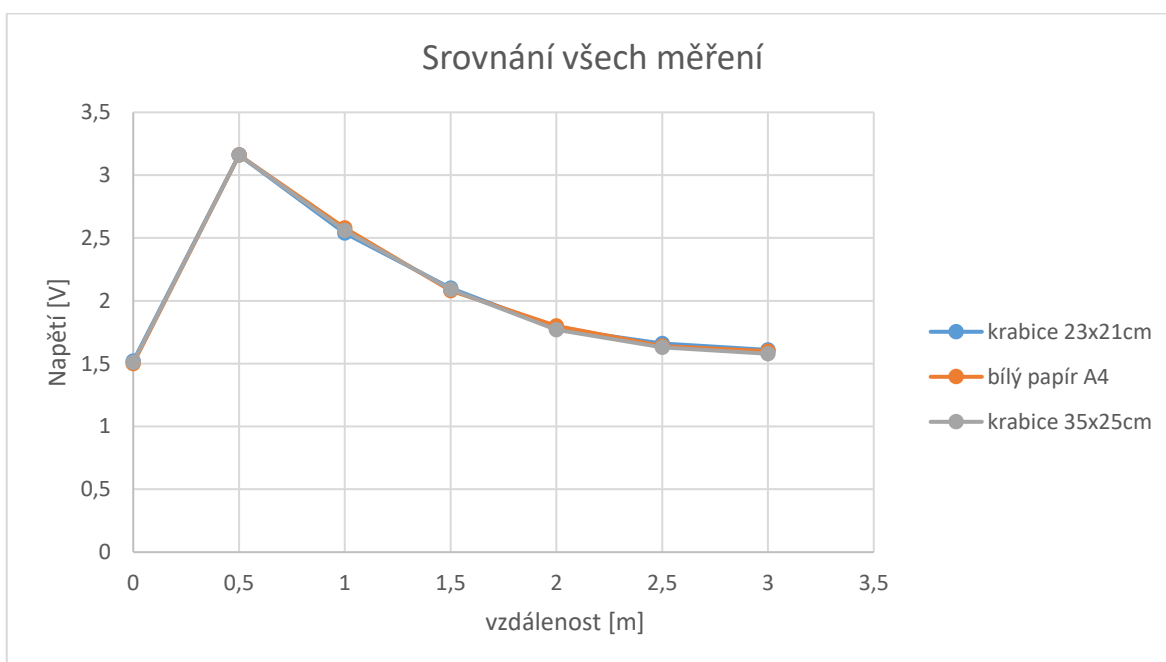


Obrázek 9: krabice 35x25cm graf z naměřených hodnot



Obrázek 10: krabice 35x25cm osciloskop

Ukázalo se, že u infračerveného senzoru nezáleží na velikosti ani barvě překážky.



Obrázek 11: Graf všech měření

Při porovnání dat z datsheetu a naměřených dat je zřejmé, že naměřená data odpovídají předpokladům a měření lze opakovat v různých prostorových podmínkách a s různými odraznými plochami.

Z měření vyplývá, že senzor GP2Y0A710K0F lze použít na detekci vzdálenosti bez ohledu na velikost překážky. Rychlost ani velikost objektu detektovat nelze a senzor není na tyto aplikace určen. I přesto lze při nízkých rychlostech pohybu objektu určovat rychlost postupným vyhodnocováním změny napětí v závislosti na čase.

2.2 Měření mikrovlnného senzoru HB100

Při měření mikrovlnného senzoru jsem si podobně jako u IR senzoru vytvořil místo, aby senzor zaznamenal pouze měřenou překážku. Senzor HB100 dokáže velmi přesně měřit od vzdálenosti 15 mm do vzdálenosti 1 m. Ve větších vzdálenostech už výrazně klesá amplituda napětí a měření je nespolehlivé. Tudíž jsem si připravil měření v různých vzdálenostech. Jako překážky jsem si vybral lidskou ruku, telefon s kovovým krytem a kovovou desku od počítače. Překážky musely být zvoleny jiné, jelikož mikrovlnný senzor není schopný zaznamenat odrazy od překážek, které nejsou vodivé.

Také jsem si připravil vzorec na měření odrazné plochy. Tento vzorec je velmi zjednodušen vzhledem k tomu, že jsem k měření přistupoval tak, že odrazná plocha je ve všech případech kolmá na osu senzoru. Vlnová délka λ , která odpovídá použitému senzoru s nosnou frekvencí 10,525 GHz, je $2,85 \cdot 10^{-2}$ m.

$$\sigma = 4\pi a^2 b^2 / \lambda^2 (\cos(\theta))^2 [m^2; m, m, m, ^\circ] \quad (1)$$

kde a a b jsou rozměry odrazné obdélníkové překážky,

λ je vlnová délka,

θ je úhel natočení odrazné plochy vůči ose senzoru.



Obrázek 12: Měření odrazu od lidské ruky

Vztah (1) popisuje výpočet odrazné plochy od obdélníkové desky. Pro zjednodušení lze ze vztahu vynechat nejen elevaci, ale i natočení odrazné překážky vůči ose měření. Pokud vynecháme ze vztahu (1) závislost na natočení překážky, dochází při mírných náklonech k odchylkám o desítky procent, o které klesá skutečná velikost odrazné plochy.

První překážku, kterou jsem měřil, byla lidská ruka. Měření jsem provedl několikrát, abych měl co nejpřesnější výsledek. Jak je z obrázků vidět, tak senzor velmi dobře snímal ruku v blízké vzdálenosti. Je vidět, že při vzdalování od senzoru se dostáváme do nižších napětí až na úroveň, kdy hodnoty snímané ze senzoru není možné rozlišit při zachování stejného rozlišení v napětí. Ve vzdálenostech větších než 1,5 metru dochází k poklesu napětí na úroveň šumu.

Vzhledem k opakovatelnosti měření a dosažení možnosti vyhodnocení jsem měření provedl několikrát, vybral nejlepší výsledky a ty dosadil do vzorce pro výpočet odrazné plochy.

Při dosazení do vztahu (1) vyjde odrazná plocha lidské ruky cca 0,3 m². Hodnotu lze chápat jako pouze orientační a zatíženou chybou, která je způsobena tvarem překážky.



Obrázek 13: Měření odrazu od lidské ruky v blízkosti senzoru

Druhá překážka, kterou jsem měřil, byla kovová deska od počítače velikosti 45x32cm. Očekával jsem, že vzhledem k její velikosti bude větší odrazná plocha způsobovat větší úroveň napětí odraženého signálu a senzor by ji mohl zaznamenat do větší vzdálenosti než ruku. Tento předpoklad se nepotvrdil, výrazně větší odrazná plocha vedla k nárůstu pouze o desítky procent.

Při dosazení do vztahu (1) vyjde odrazná plocha kovové desky cca 211 m². Hodnota je výrazně větší než u lidské ruky, přesto senzor reaguje obdobnými odezvami úrovně napětí.

S odraznými překážkami jsem vůči senzoru pohyboval oběma směry rychlostí přibližně 0,5 m/s. Dopplerovu frekvenci f_D vypočítáme podle vztahu (2).

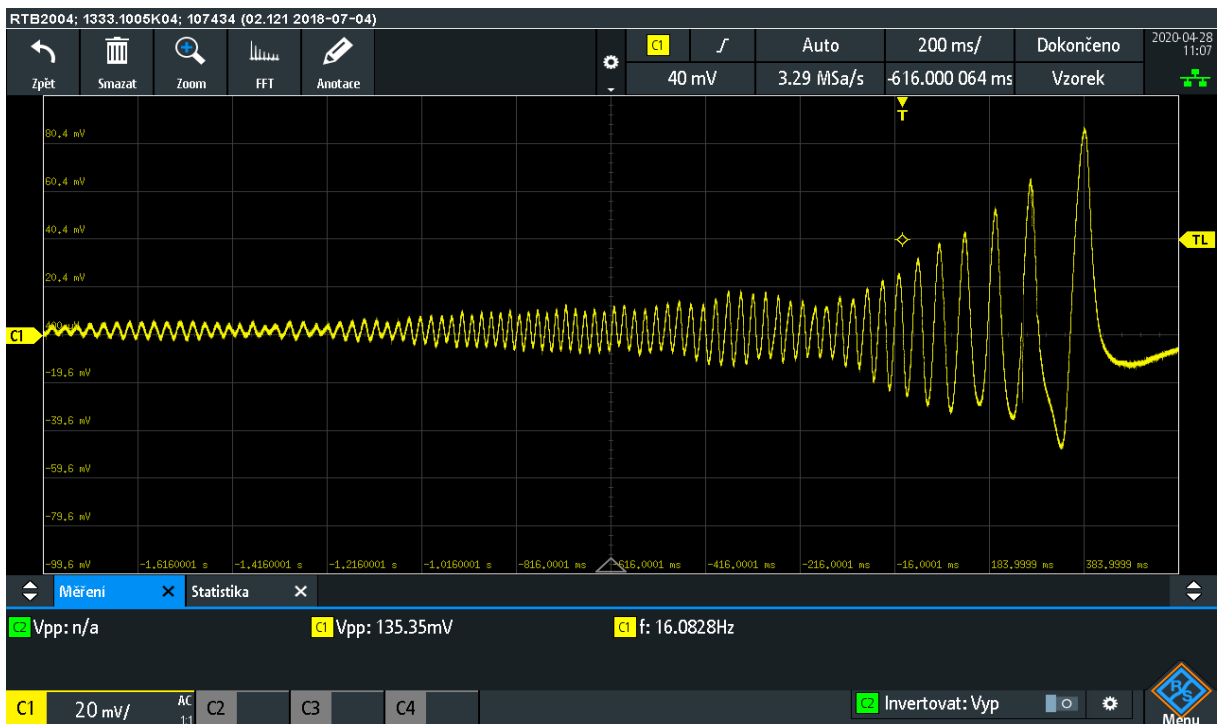
$$f_D = \left(\frac{c \pm v}{c} \right) f_0 \text{ [Hz; m/s, m/s, m/s, Hz]} \quad (2)$$

kde c je rychlost šíření elektromagnetického signálu,

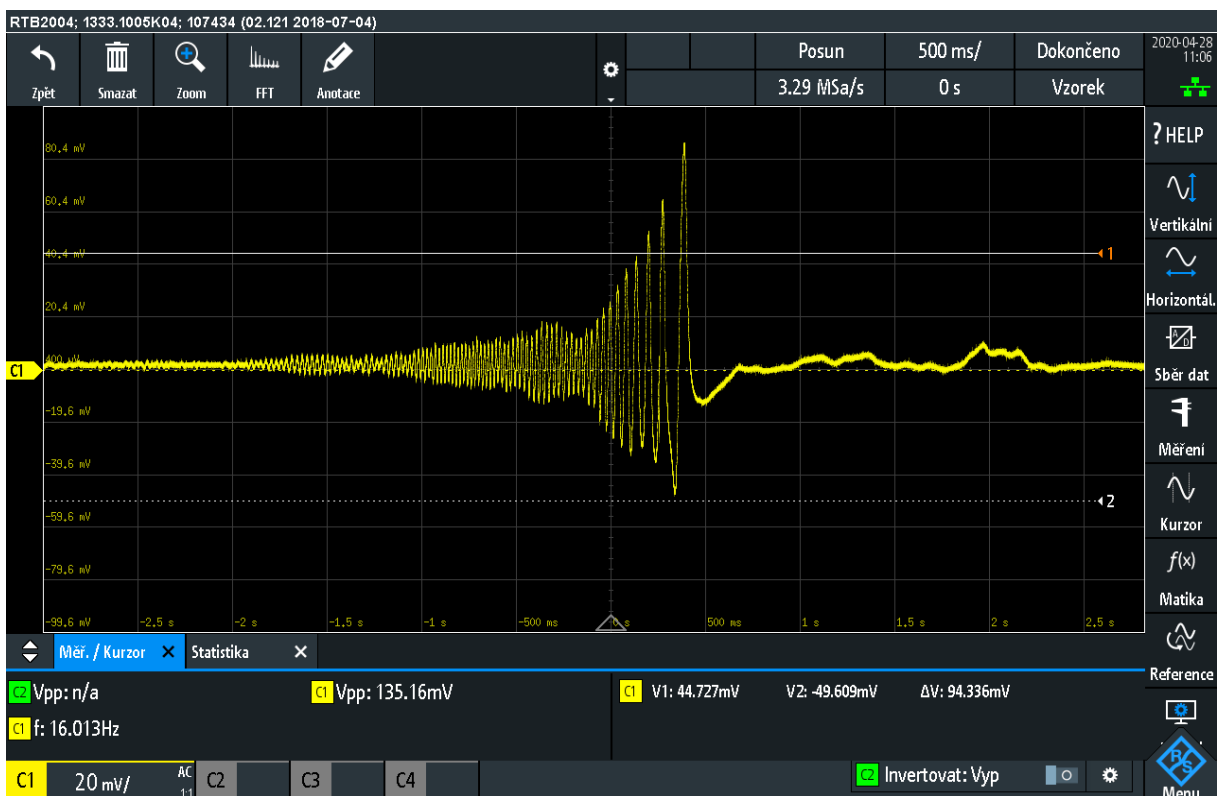
v je rychlost pohybu odrazné překážky,

f_0 je nosná frekvence senzoru 10,525 GHz.

Při pohybu překážky 0,5 m/s způsobí Dopplerův jev posuv frekvence o přibližně 17 Hz. Opět záleží i na úhlu odrazu, který stejně jako u výpočtu velikosti odrazné plochy zanedbávám.

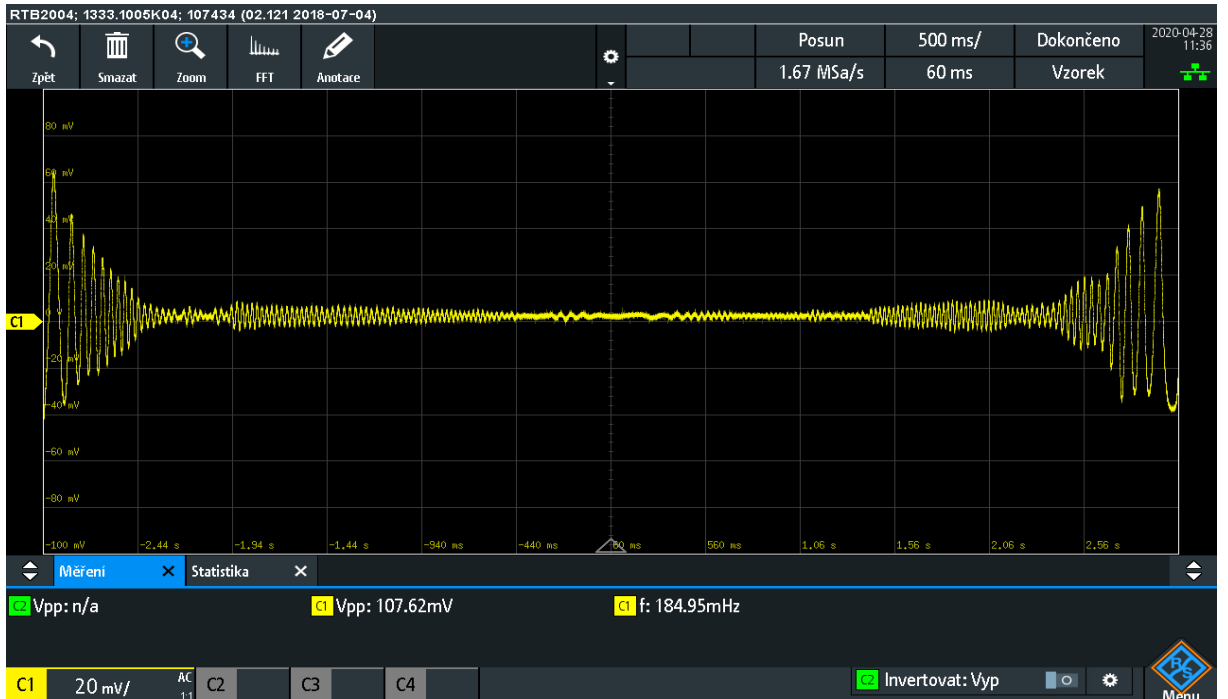


Obrázek 14: Měření odrazu od kovové desky 45x32cm

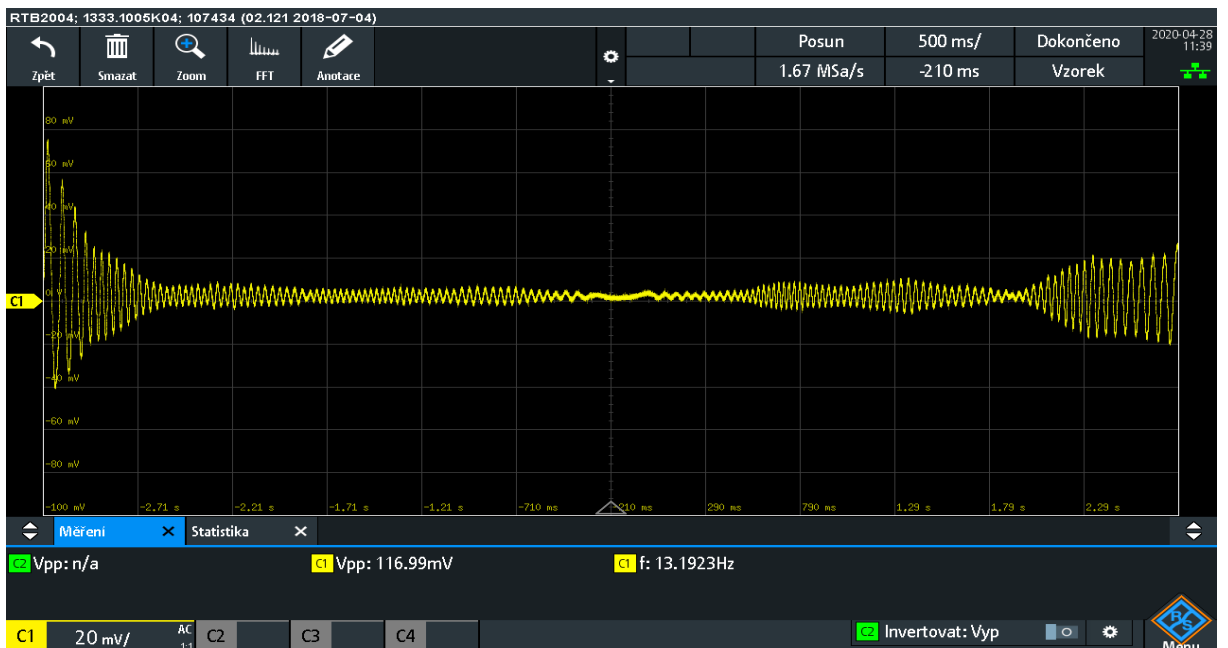


Obrázek 15: Měření odrazu od kovové desky 45x32cm – v blízkosti senzoru

Jako třetí překážku jsem si vybral telefon o velikosti 15x7cm. Důvodem, proč jsem si vybral telefon, bylo zjištění, jestli bude telefon lepší odraznou plochou než ruka. Pokud ano, tak jestli bude senzor schopný telefon snímat do větší vzdálenosti a jak moc se telefon svými odraznými vlastnostmi přiblíží kovové desce.



Obrázek 16: Měření odrazu od telefonu – větší vzdálenost



Obrázek 17: Měření odrazu od telefonu 1

Předpoklad se nepotvrdil, telefon se chová obdobně jako jakákoliv jiná překážka.

Jako poslední překážku jsem si vybral člověka, který jde proti senzoru. Chtěl jsem zjistit, zdali senzor správně určí vzdálenost a také rychlost, jakou se člověk pohybuje směrem k senzoru nebo od něj.



Obrázek 18: Měření odrazu od telefonu 2

Odrasná plocha v podobě lidské postavy je velmi komplikovaná a lze určit přibližně rychlost pohybu, v tomto případě odpovídá frekvence 13 Hz rychlosti pohybu přibližně 0,4 m/s. Vzhledem k podmínkám měření nebylo možné provést měření odrazu od lidské postavy až do blízkosti senzoru.

Obecně lze konstatovat, že použitý mikrovlnný senzor lze použít pro detekci rychlosti a vzdálenosti, a to bez ohledu na velikost odrazné plochy sledovaného objektu. Velikost objektu nebo jeho plochy určit nelze.

ZÁVĚR

Při měření PIR infračerveného senzoru GP2Y0A710K0F se ukázalo, že informace dodávané výrobcí jsou velmi přesné. Parametry z datasheetu se potvrdily jako opakovaně ověřitelné. Použitý PIR senzor lze použít pro detekci vzdálenosti, a to bez ohledu na velikost sledovaného objektu. Další parametry, jako je rychlost a velikost objektu, nelze detekovat. Svým zaměřením senzor není na tyto aplikace určen. I přesto lze při nižších rychlostech pohybu odhadovat rychlost vyhodnocením změny napětí v závislosti na čase.

Díky měření mikrovlnného senzoru HB100 lze zjistit, že se data s datasheetu lehce liší, v datasheetu bylo uvedeno, že senzor je přesný zhruba do 1 metru. Naše měření ukázalo, že senzor je schopen větší překážky detekovat až do vzdálenosti zhruba 2 metrů. Testovaný mikrovlnný senzor je vhodný pro detekci rychlosti a vzdálenosti, a to bez ohledu na velikost sledovaného objektu a jeho odrazné. Obdobně jako u PIR senzoru nelze určit velikost objektu.

Cílem práce bylo i navržení algoritmu pro detekci pohybové aktivity, rychlosti a velikosti objektu, popř. i vzdálenosti. Tato část práce společně s implementací algoritmu byly po dohodě s vedoucím práce zjednodušeny na popis uvedený v dílčích podkapitolách kapitoly 2 Měření senzorů pohybu.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Prostorová ochrana. Alarmsecurity.cz* [online]. Majdalena, Česká republika: Pavel Kučera, 2019 [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://www.alarmsecurity.cz/www-alarmsecurity-cz/5-TECHNICKA-PODPORA/38-Typy-pohybovych-senzoru>.
- [2] *What is a Microwave Motion Detector: A Quick Guide. Protect America* [online]. Round Rock, Texas, USA: Protect America, 2019 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: https://www.protectamerica.com/home-security-blog/tech-tips/what-is-a-microwave-motion-detector-a-quick-guide_20042.
- [3] *How PIRs Work. Adafruit* [online]. New York, New York, USA: Adafruit, c2019 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor/how-pirs-work>
- [4] *Pyroelektrický pasivní infračervený snímač. Blaja průmyslová automatizace* [online]. Vsetín, Česká republika: Jaroslav Blažek, 2019 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.blaja.cz/mar/pyroelektricky-pasivni-infracervený-snimac.html>
- [5] *PIR Sensor Introduction and How PIR Motion Sensor works with Arduino and Raspberry Pi. Seeed Studio Blog: The IoT Hardware Enabler* [online]. Shenzhen, Čína: Seeed Technology Co., c2014 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/08/03/pir-sensor-introduction-and-how-pir-motion-sensor-works-with-arduino-and-raspberry-pi/>
- [6] *Jak funguje pohybový detektor. Zabezpečovací zařízení* [online]. Příbram, Česká republika: ČIP Trading, 2017 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/pohybove-detektory/jak-funguje-pohybovy-detektor-%5Bb058%5D>
- [7] *Advantages of PIR sensor / disadvantages of PIR sensor. RF Wireless World* [online]. RF & Wireless Vendors and Resources, c2012 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-PIR-sensor.html>
- [8] *Complete Guide for Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino. Random Nerd Tutorials* [online]. Porto, Portugal: RandomNerdTutorials.com, c2019 [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/>

- [9] *Advantages of Ultrasonic sensor / Disadvantages of Ultrasonic sensor. RF Wireless World* [online]. RF & Wireless Vendors and Resources, c2012 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-disadvantages-of-Ultrasonic-Sensor.html>
- [10] *Ultrasonic Sensors: Advantages and Limitations. MaxBotix* [online]. Fort Mill, Jižní Karolína, USA: MaxBotix, c2017 [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <https://www.maxbotix.com/articles/advantages-limitations-ultrasonic-sensors.htm/>
- [11] *Ultrazvukové senzory přiblížení - funkce, provedení, použití. Automatizace.hw.cz: Rady a poslední novinky z oboru* [online]. Praha, Česká republika: Antonín Vojáček, 2017 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/ultrazvukove-senzory-priblizeni-funkce-provedeni-pouziti.html>
- [12] *Ultrasonic Detection – Basics & Application. Elprocus: Electronics - Projects - Focus* [online]. Hyderabad, Indie: Elprocus, c2019 [cit. 2019-11-31]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/ultrasonic-detection-basics-application/>
- [13] *History of Motion Detectors. Classroom* [online]. Santa Monica, Kalifornie, USA: Leaf Group, c2019 [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://classroom.synonym.com/history-of-motion-detectors-12225168.html>
- [14] BEZOUŠEK, Pavel a Pavel ŠEDIVÝ. *Radarová technika*. Praha: Vydavatelství CVUT, 2004. ISBN 80-01-03036-9.
- [15] DOBEŠ Josef a Václav ŽALUD. *Moderní radiotechnika*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-132-2.
- [16] *Advantages of motion sensor / disadvantages of motion sensor. RF Wireless World* [online]. RF & Wireless Vendors and Resources, c2012 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-motion-Sensor.html>
- [17] Emcore Corporation [online katalogový list]. *1542 22 GHz 1310 nm Microwave DFB Laser. 2013.* [2019-10-31]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/554800/EMCORE/1542.html>

- [18] CFsunbird [online katalogový list]. *HC-SR501 PIR MOTION DETECTOR*. [2019-10-31].
Dostupné z: https://components101.com/sites/default/files/component_data-sheet/HC%20SR501%20PIR%20Sensor%20Datasheet.pdf
- [19] Elecfreaks, Inc. [online katalogový list]. *Ultrasonic Ranging Module HC - SR04*. [2019-10-31]. Dostupné z: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>