

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2022

Bc. Markéta Kroulíková



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

# DETEKCE OSOB S VYUŽITÍM BEZKONTAKTNÍHO TEPLTNÍHO SENZORU

DETECTION OF HUMAN USING IR SENSOR

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Markéta Kroulíková

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Králík

BRNO 2022

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Bioinženýrství**

Ústav biomedicínského inženýrství

**Studentka:** Bc. Markéta Kroulíková

**ID:** 203671

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2021/22

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Detekce osob s využitím bezkontaktního teplotního senzoru**

### **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1) Seznamte se s problematikou detekce osob, zaměřte se na využití bezkontaktních teplotních senzorů. 2) Teoretické znalosti shrňte v literární rešerši a na jejich základě vyberte vhodný bezkontaktní senzor a vývojovou platformu. 3) Ověřte použitelnost vybraného teplotního senzoru při pilotním měření a proveďte návrh systému pro detekci osob ve vnitřních prostorách budov. 4) Navržený systém sestavte, otestujte jeho funkčnost v reálném provozu a výsledky detekce vyhodnoťte. 5) Systém doplňte o mobilní nebo webovou aplikaci, umožňující jeho obsluhu.

### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

- [1] ANSARI, Mohd. Aquib a Dushyant Kumar SINGH. Human detection techniques for real time surveillance: a comprehensive survey. Multimedia Tools and Applications [online]. 2021, 80(6), 8759-8808. ISSN 1380-7501. Doi:10.1007/s11042-020-10103-4
- [2] YUN, Jaeseok a Sang-Shin LEE. Human Movement Detection and Identification Using Pyroelectric Infrared Sensors. Sensors [online]. 2014, 14(5), 8057-8081. ISSN 1424-8220. Doi:10.3390/s140508057

**Termín zadání:** 7.2.2022

**Termín odevzdání:** 20.5.2022

**Vedoucí práce:** Ing. Martin Králík

**doc. Ing. Radim Kolář, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### **UPOZORNĚNÍ:**

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá detekcí osob s využitím bezkontaktních teplotních senzorů. Teoretická část je zaměřena na představení některých současných možností detekce osob, bezkontaktních technik a senzorů pracujících na tomto principu. V další části je pak představen návrh systému pro detekci osob v uzavřených prostorech, jeho hardwarová a softwarová realizace a ověření jeho funkčnosti.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Detekce osob, PIR senzor, bezkontaktní snímání teploty, Raspberry Pi, infračervený senzor, systém pro detekci osob, webová aplikace

## **ABSTRACT**

This master's thesis deals with detection of human using IR sensor. The theoretical part is focused on the introduction of some current possibilities of detection of human, contactless techniques and sensors working on this principle. The next part presents the design of a system for the detection of human in enclosed spaces its hardware and software implementation and verification of its functionality.

## **KEYWORDS**

Detection of human, PIR sensor, contactless temperature sensing, Raspberry Pi, infrared sensor, human detection system, web application



KROULÍKOVÁ, Markéta. *Detekce osob s využitím bezkontaktního teplotního senzoru*.  
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2022, 57 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Martin Králík

## Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Bc. Markéta Kroulíková  
**VUT ID autora:** 203671  
**Typ práce:** Diplomová práce  
**Akademický rok:** 2021/22  
**Téma závěrečné práce:** Detekce osob s využitím bezkontaktního teplotního senzoru

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

Na tomto místě bych ráda poděkovala panu Ing. Martinu Králíkovi, vedoucímu mé diplomové práce, za odborné vedení, konzultace a podnětné návrhy k práci.

# Obsah

Úvod	12
<b>1 Vybrané možnosti detekce osob</b>	<b>13</b>
1.1 Detekce osob z obrazových dat . . . . .	13
1.2 Ultrazvukové detektory . . . . .	14
1.3 Mikrovlnné detektory . . . . .	15
1.4 Pyroelektrické infračervené detektory - PIR . . . . .	15
1.5 Termovizní systémy . . . . .	17
<b>2 Bezkontaktní metody snímání teploty</b>	<b>19</b>
2.1 Fyzikální princip . . . . .	19
2.1.1 Infračervené záření . . . . .	20
2.2 Senzory infračerveného záření . . . . .	20
2.2.1 Termočláňkové baterie . . . . .	21
2.2.2 Bolometry . . . . .	21
2.2.3 Pyroelektrické infračervené senzory - PIR . . . . .	22
<b>3 Návrh a realizace systému pro detekci osob</b>	<b>26</b>
3.1 Raspberry Pi 3B+ . . . . .	26
3.1.1 Sběrnice I <sup>2</sup> C . . . . .	28
3.2 Infračervený senzor . . . . .	29
3.3 Hardwarové řešení . . . . .	30
3.3.1 Návrh systému . . . . .	30
3.3.2 Popis zapojení senzorů . . . . .	31
3.3.3 Ověření teplotní citlivosti senzorů . . . . .	32
3.3.4 Ověření teplotní citlivosti senzorů v závislosti na vzdálenosti . . . . .	33
3.4 Softwarové řešení . . . . .	35
3.4.1 Python skript . . . . .	35
3.4.2 Python daemon skript . . . . .	37
3.5 Tvorba webových stránek . . . . .	37
3.5.1 Zobrazení dat . . . . .	39
3.5.2 Vytvořená webová aplikace . . . . .	39
3.6 Konstrukční řešení systému . . . . .	41
<b>4 Testování a vyhodnocení funkčnosti navrženého systému</b>	<b>44</b>
Závěr	48

<b>Literatura</b>	<b>49</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>53</b>
<b>A Fotodokumentace detekčního systému</b>	<b>54</b>
<b>B Zdrojové kódy</b>	<b>57</b>

# Seznam obrázků

1.1	Obecné schéma . . . . .	14
1.2	Princip ultrazvukového detektoru . . . . .	15
1.3	Směr chůze v detekční oblasti PIR detektoru . . . . .	17
1.4	Generovaný impuls v závislosti na směru chůze . . . . .	17
1.5	Blokové schéma konstrukce termokamery . . . . .	18
2.1	Emisivita těles . . . . .	20
2.2	Termočlánková baterie . . . . .	21
2.3	Bolometr . . . . .	22
2.4	Mikrobolometr . . . . .	22
2.5	Pyroelektrický čip s předzesilovačem . . . . .	23
2.6	PIR element . . . . .	24
2.7	Schéma pyroelektrického detektoru . . . . .	24
2.8	Klasická vypouklá čočka a) a Fresnelova čočka b) . . . . .	25
2.9	Generování impulsu při detekci infračerveného záření . . . . .	25
3.1	GPIO piny Raspberry Pi . . . . .	27
3.2	Raspberry Pi 3 Model B+ . . . . .	27
3.3	Blokové schéma zapojení sběrnice $I^2C$ . . . . .	29
3.4	Infračervený senzor MLX90614ESF-BA . . . . .	30
3.5	Blokové schéma navrženého zařízení . . . . .	31
3.6	Blokové schéma zapojení senzorů MLX90614ESF-BA . . . . .	32
3.7	Infračervený kalibrátor teploty Ametek JOFRA ETC-400 R . . . . .	33
3.8	Směr chůze při testování teplotní citlivosti senzoru v závislosti na vzdálenosti . . . . .	34
3.9	Teplotní citlivost senzoru v závislosti na vzdálenosti od procházející osoby . . . . .	34
3.10	Vývojový diagram Python skriptu . . . . .	36
3.11	Schéma principu fungování webových stránek pomocí HTML a PHP . . . . .	38
3.12	Blokové schéma principu zobrazení dat na webovou stránku . . . . .	40
3.13	Model krabičky pro uložení elektroniky . . . . .	42
3.14	Tělo krabičky s uloženou elektronikou . . . . .	43
4.1	Vzhled vytvořené webové stránky . . . . .	45
4.2	Monitorace počtu příchozích osob do prodejny během dne - srovnání naměřených a reálných dat . . . . .	46
A.1	Krabička s detekčním systémem . . . . .	54
A.2	Tělo krabičky s uloženou elektronikou . . . . .	55
A.3	Tělo krabičky - otvor na kabeláž . . . . .	56

# Seznam tabulek

3.1	Specifikace Raspberry Pi 3 Model B+ . . . . .	28
3.2	Specifikace bezkontaktního senzoru MLX90614ESF-BA . . . . .	29
3.3	Hodnoty referenčních a naměřených teplot . . . . .	33
4.1	Procentuální úspěšnost detekce . . . . .	47

# Úvod

Detekce přítomnosti osob či jiných objektů prostřednictvím technických prostředků jsou v dnešní době hojně využívané bezkontaktní metody, pomocí kterých jsme schopni monitorovat, kontrolovat či následně regulovat množství lidí pohybujících se v jeden okamžik na stejném místě. Hlavním aspektem je především otázka bezpečnosti či hygieny, a tedy snaha minimalizovat počet rizik s tím spojených, nebo získat statistických údajů o počtu osob v určité časové období. Tyto metody jsou tedy často využívány na místech, kde dochází ke vzniku davů – letišť, nádraží či prostory obchodních řetězců [1], kde je zejména informace o počtu osob v určitý čas vhodná pro marketingové účely.

Mezi další detekční aplikace patří také detekce polohy osob či jejich následná identifikace, zejména z obrazových dat, využívaná běžně bezpečnostními a dohledovými službami.[20]

Cílem této práce je navrhnout systém, který bude schopen detekovat přítomnost osob v uzavřených prostorách na základě registrace infračerveného záření, které vyzařují téměř všechny předměty.[34] Toto záření bude snímáno pomocí bezkontaktních infračervených senzorů a dojde tak k získání informace o pohybujiícím se předmětu, v tomto případě osoby.

Pro snadné pochopení problematiky jsou v první části práce shrnuty nejčastěji využívané typy pro detekci osob či jiných předmětů, kterých v dnešní době existuje velké množství. Vzhledem k povaze této diplomové práce jsou v další části rozebrány bezkontaktní techniky, zejména ty, založené na detekci infračerveného tepelného záření. Je popsán jejich fyzikální princip a jsou uvedeny nejvyužívanější moduly pro toto využití.

V poslední části je navrhnout systém pro detekci přítomnosti osob založený na využití jednodeskového počítače Raspberry Pi a dvou bezkontaktních infračervených senzorů pro detekci osob ve dvou směrech. Tento systém byl zkonstruován a bylo provedeno ověření funkčnosti. Výsledky testování a aktuálního počtu osob v místnosti jsou z uživatelsky přívětivějšího hlediska zobrazovány na webové stránce.



# 1 Vybrané možnosti detekce osob

V rámci této kapitoly budou představeny některé stávající a používané metody pro detekci osob, zejména detekci osob z obrazových dat, potažmo z videozáznamů a detekci přítomnosti osob pomocí ultrazvukových či mikrovlnných detektorů.

Na závěr budou rozebrány způsoby detekce infračerveného záření, které vyzařují objekty a které je následně snímáno. Jedná se zejména o možnosti detekce přítomnosti osob pomocí infračervených termovizních systémů a pyroelektrických (PIR) senzorů, které patří mezi podstatné metody pro tuto diplomovou práci.

## 1.1 Detekce osob z obrazových dat

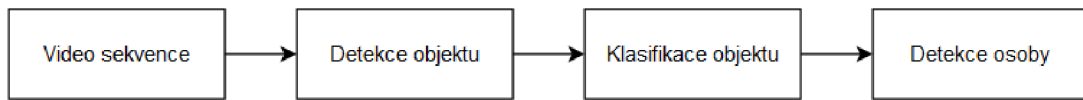
Detekce osob z obrazů patří mezi náročné aplikace z důvodu velké variability vzhledu, poloh a póz, které je lidské tělo schopno vyvinout. Tyto aplikace jsou také problematické z důvodu možného přeplněného pozadí, ze kterého je objekt detekován či špatného osvětlení, které dokáže detekci objektu mnohonásobně ztížit. Proto je důležité volit vhodné a robustní metody, pomocí kterých je možné detekovat lidskou postavu či části lidské postavy (hlavu, končetiny) z obrazových dat s vysokou přesností. Podstatným krokem je také úprava a zpracování obrazu, výběr vhodné metody a klasifikátoru.[6]

Dnes již velmi využívaným způsobem, kdy je možné zaznamenat, popřípadě rozeznat lidskou postavu, patří detekce a identifikace osob z kamerových systémů, které mají široké uplatnění zejména v zabezpečovacích a dohledových systémech – v budovách obchodních řetězců, letištích nebo vlakových nádražích, zkrátka v místech, kde dochází k přeplnění prostorů lidmi a je primárním úkolem monitorovat danou scénu za účelem zvýšení bezpečnosti osob či zjišťování jejich počtu v daných místech.[20, 28]

Problematika rozpoznávání osob a objektů z obrazů a videí je v posledních letech jedním z hlavních výzkumných zájmů založených na strojovém učení. Základní aplikací je detekce přítomnosti osoby v dané oblasti snímané scény na základě znalosti o tom, jak by měl objekt vypadat, což je v aplikaci strojových algoritmů jeden z nejtěžších a výpočetně náročných kroků. Proto je ve většině případů detekce osob založená na detekci pohybu, jelikož parametry pro identifikaci osob mohou být ovlivněny například polohou a směrem kamery, prostředím, ve kterém se osoba nachází či barvou a texturou oblečení, které má objekt na sobě.[1, 28]

Obecné schéma detekce osoby je zobrazeno na obrázku 1.1. Vstup tohoto systému je zaznamenán kamerovým modulem ve formě videosekvence, které jsou dále předány do modulu pro detekci objektů. Detekce objektů zahrnuje lokalizaci objektů

v rámci videosekvence či obrazu. Tyto objekty jsou dále pomocí zvolených metod klasifikovány na lidské či jiné objekty.[1]



Obr. 1.1: Obecné schéma detekce osoby, upraveno z [1]

Detekci osob z obrazových dat lze klasifikovat do 4 základních skupin založených na:

### **Detekci obličejů**

Detektory založené na detekci obličejů dokáží detekovat rysy a tvary obličejů a následně klasifikovat tvář osoby nalezenou na obrázku.

### **Pohybu objektů**

Detektory pohybu objektů sledují pohyby vektorů pixelů na videosekvenci a následně tyto pixely klasifikují jako pohyblivé.

### **Přítomnosti lidského těla**

Detektory identifikují přítomnost osoby v obraze na základě informace o tvaru těla, křivek a dalších informací potřebných k identifikaci přítomnosti.

### **Hlubokém učení**

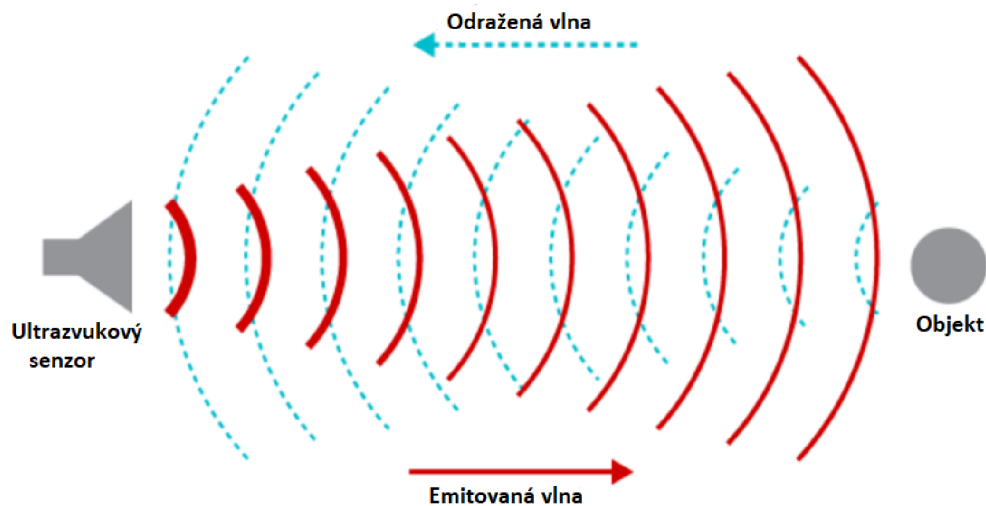
K lokalizaci osoby v obraze se využívají vícevrstvé hluboké konvoluční sítě založené na hlubokém učení, tzv. deep-learning.[1]

## **1.2 Ultrazvukové detektory**

Ultrazvukové (UZV) detektory lze díky své robustnosti, jednoduchému provedení a relativně rychlé odezvě aplikovat zejména v navigačních systémech. Díky schopnosti mapovat a shromažďovat informace o snímané scéně jsou vhodné pro detekci překážek, měření vzdáleností, detekci polohy nebo jako počítací zařízení v systémech pro detekci objektů a hran. Výhodou je schopnost ultrazvukového vlnění procházet velkým množstvím materiálů.[19]

Mezi využívané typy UZV detektorů patří zejména detektory pohybu, které slouží k prostorové detekci objektů. Jedná se o tzv. aktivní detektory, jelikož vysílají akustické vlnění o konstantní frekvenci v rozmezí 20 - 60 kHz, nejčastěji však kolem 40 kHz. Skládají se primárně ze dvou částí - vysílače a přijímače. Vysílač je zařízení, které generuje akustické vlnění a přijímač je část zařízení, které přijímá

vlnění odražené od detekovaného objektu a následně vyhodnocuje změny jeho amplitudy, frekvence a fáze způsobené pohybujícím se předmětem. Tyto změny jsou založeny na podstatě Dopplerova jevu, který vzniká při vzájemném pohybu objektu a přijímače. Zpracování a vyhodnocení signálu poté probíhá analogově či digitálně. Princip UZV detektoru je zobrazen na obrázku 1.2.[16]



Obr. 1.2: Princip ultrazvukového detektoru, upraveno z [4]

### 1.3 Mikrovlnné detektory

Další možný způsob detekce osob je pomocí mikrovlnných detektorů, které pracují na podobném principu jako ultrazvukové detektory. Využívají však elektromagnetickou formu energie s frekvencemi v rozsahu 9 - 11 GHz. Stejně jako UZV detektory se řadí mezi aktivní detektory, jelikož vysílají vysokofrekvenční signál a následně vyhodnocují změny mezi přijatým a odraženým signálem od okolí. Jejich fungování je založené opět na již zmíněném Dopplerovu jevu.[16]

Mikrovlnné detektory obsahují vysílač a přijímač konstruovaný společně v jedné části. Dosah mikrovlnných detektorů je ve vnitřních prostorách až 30 m. Nevýhodou je však ovlivnitelnost okolním rušením.[16]

### 1.4 Pyroelektrické infračervené detektory - PIR

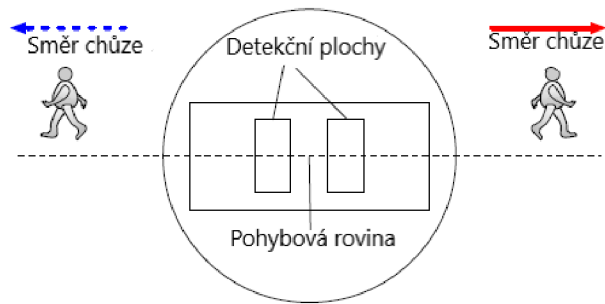
Pyroelektrické infračervené detektory (PIR - Passive Infrared Receiver) jsou využívány díky své jednoduchosti a výkonnosti jako detektory pohybu či přítomnosti osob

ve vnitřních prostorách. Fungují jako detektory pro automatické spouštění osvětlení, alarmů, topení, ventilace či klimatizace. [21, 39]

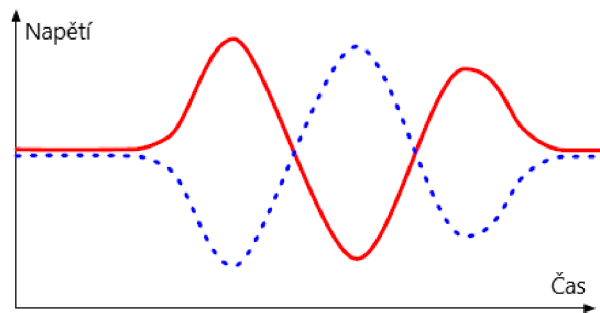
Základním mechanismem PIR detektorů je schopnost snímat a vyhodnocovat infračervené záření generované snímaným objektem. Detekčním prvkem je pyroelektrický snímač, který zaznamenává změny tohoto záření dopadající na detektor. Navzdory mnoha výhod PIR detektorů může být jejich použití ovlivněno vnějším osvětlením či slunečním zářením, dále mohou reagovat na tepelné změny v místnosti, činnost klimatizace či na přítomnost zvířat (hlodavci, ptáci), což může v detekci osob zavádět určité chyby. PIR detektor by měl být v místnosti umístěn tak, aby jeho osa byla kolmá na pohyb detekovaného objektu. Většinou se detektory umísťují do výšky 2 – 3 metrů nad zemí, aby byl zajištěn minimální vliv okolního prostředí. Pro pokrytí celého prostoru je možné využít více detektorů, jelikož jejich zorná pole se mohou překrývat. V zorném poli by se však neměli nacházet žádné další předměty, jako jsou záclony, lustry a pod.[16]

PIR detektory můžeme zařadit do kategorie tepelných infračervených detektorů. Základním materiálem PIR senzorů je krystal, který vykazuje vlastnosti pyroelektrického jevu. Tento krystal je spontánně polarizován a je schopen absorbovat dopadající infračervené záření. Po absorpci infračerveného záření následně dochází ke změně teploty krystalu, která v něm spontánně polarizuje elektrické dipóly. Ionty ve vzduchu jsou schopny neutralizovat nevyvážené náboje, podle kterých je možné tento nevyvážený náboj distribuce krystalu měřit jako elektrický signál. Tedy pokud nastane změna napětí, dojde k termoelektrické přeměně tohoto napětí na elektrický signál.[39] Jednotlivé části PIR zařízení jsou rozebrány v kapitole 2.2.3.

PIR detektory lze využít jako počítací zařízení osob v uzavřených prostorách či pro korekci obsazených míst na parkovištích. Využívají se zejména v nákupních centrech, supermarketech, letištních halách či nádražních prostorách.[1] Tento způsob detekce osob je možný provést pomocí PIR detektoru se dvěma snímacími prvky zarovnanými v pohybové rovině pro identifikaci směru chůze. PIR detektor po zachycení chůze generuje elektrický signál. Výstupní signál závisí zejména na směru a rychlosti pohybujícího se objektu, jeho vzdálenosti od detektoru či přítomnosti více lidí.[39] Vzhledem k těmto aspektům zde bude nastíněn způsob, který se zaměřuje především na rozpoznání směru pohybujícího se předmětu v zorném poli PIR detektorů. Zorné pole PIR detektoru mohou být rozšířeny a tvarovány pomocí systému Fresnelových čoček, jež jsou součástí PIR zařízení. Na obrázku 1.3 lze vidět schéma PIR detektoru se dvěma detekčními plochami. Střídáním jejich polarity můžeme rozlišovat dva signály na obrázku 1.4, zachycené podle směru chůze, tj. zleva doprava a zprava doleva. Takto je možné získat informaci o směru pohybujícího se objektu.[39]



Obr. 1.3: Směr chůze v detekční oblasti PIR detektoru, upraveno z [39]



Obr. 1.4: Generovaný impuls v závislosti na směru chůze, upraveno z [39]

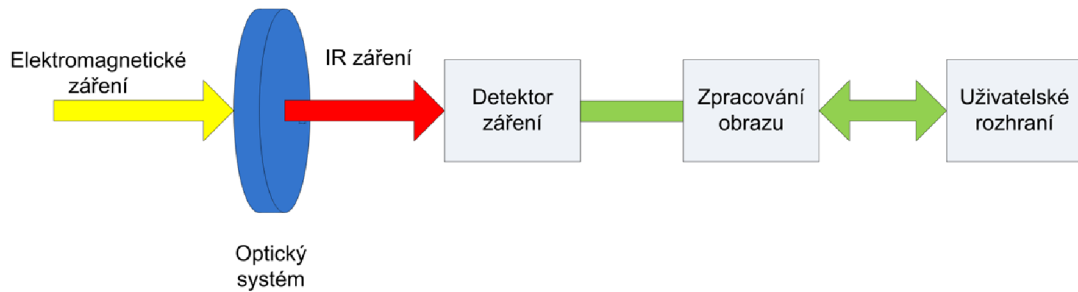
## 1.5 Termovizní systémy

Termovizní systémy neboli termokamery fungují na principu snímání infračerveného záření, který dopadá na detektor a následně dochází k převodu tohoto záření na elektrický signál. Tímto způsobem je možné detekované záření zviditelnit. Princip spočívá v bezdotykovém měření teploty povrchu tělesa a využívá skutečnosti, že každé těleso, jehož teplota je větší než 0 K vyzařuje elektromagnetické infračervené záření. Objektiv termokamery toto záření soustřeďuje na detektor, kde dochází k vyhodnocení jeho intenzity. Informace o množství tohoto záření je následně převedena do digitální podoby a převedena na snímek výsledného tepelného rozložení mezi objekty ve formě tzv. termogramu. Termogram je složen z jednotlivých pixelů, které odpovídají povrchové teplotě měřeného objektu v daném bodě.[7]

Jedním ze základních parametrů je rozlišení termogramu, které souvisí s rozlišením detektoru záření. Termokamera disponuje vysokou teplotní citlivostí a je schopna zaznamenat i nejmenší teplotní rozdíly ze vzdálenosti 10 cm od detekovaného objektu. Měřící rozsah teplot se pohybuje v rozmezí -20 °C až +350 °C.[7]

Na základě informací o rozdílné intenzitě tepelného záření snímaných objektů je možné identifikovat přítomnost či pohyb detekovaných objektů, obdobně jako s po-

mocí klasické kamery. Konstrukce termokamery je blízka klasickému digitálnímu fotoaparátu či kameře s rozdílem schopnosti snímat také infračervené záření. Konstrukce se skládá ze 3 základních částí: optiky, detektoru a elektroniky pro zpracování a prezentaci obrazu.[7] Tyto části jsou zobrazeny v podobě blokového schématu na obrázku 1.5.



Obr. 1.5: Blokové schéma konstrukce termokamery, převzato z [7]

## 2 Bezkontaktní metody snímání teploty

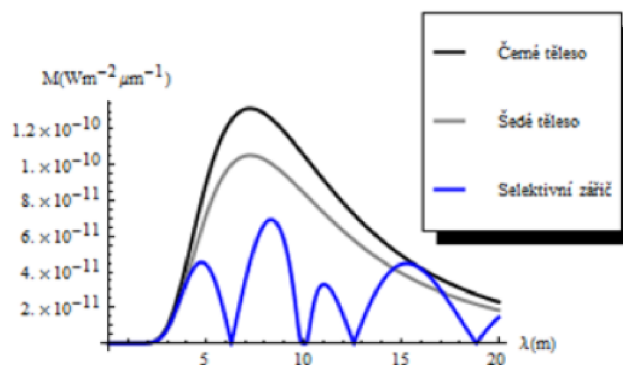
Bezkontaktní měření teploty (tzv. pyrometrie) je založeno na povrchovém měření teplot mezi tělesem, které vysílá elektromagnetické záření a senzorem, který toto záření snímá v intervalu od 0,4  $\mu\text{m}$  do 25  $\mu\text{m}$  vlnové délky. Metody bezkontaktního snímání teplot jsou založeny na měření teplot z povrchu těles, zejména ve stavebnictví, strojírenství, ale i jiných oborech. Mezi základní nedostatky těchto metod však patří výrazná závislost na okolních podmínkách měřené oblasti, úhlu k měřenému povrchu či chyby způsobené propustností prostředí. Naopak velkou výhodou je zanedbatelný vliv měřicí techniky na objekt nebo možnost měření rychlých teplotních změn.[27, 34]

K bezdotykovému snímání teplot můžeme využít tzv. pyrometry, které vyhodnocují hodnotu teploty v aktuálním měřeném bodě nebo infračervené termografické kamery (termovize), které dokáží zobrazit teplotní pole v celém záběru čočky termovizní kamery a vytvořit infračervený obraz.[34]

### 2.1 Fyzikální princip

Pro pochopení principu bezkontaktních metod měření teploty je důležité uvést základní fyzikální souvislosti. Tyto metody jsou založeny především na detekci infračerveného záření. Ke kvantifikaci jevů spojených s tímto zářením je potřeba zavést pojem idealizované *absolutně černé těleso*, které veškerou energii, která na něho dopadá pohlcuje, a naopak při dané teplotě vyzařuje nejvyšší možné množství energie. Lze si ho představit jako černý prostor s malým otvorem, do kterého se při dopadu záření veškerá energie pohltí.[11]

Ve skutečnosti ale reálná tělesa pohlcují a vyzařují menší množství tepelného záření než absolutně černé těleso. Tuto skutečnost lze popsat pomocí faktoru zvaný *emisivita*  $\epsilon$ , která je definovaná jako poměr intenzity vyzařování reálného objektu k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa při stejné teplotě. V případě absolutně černého tělesa je rovna  $\epsilon = 1$ , u reálných těles je vždy  $\epsilon < 1$  a závisí především na vlnové délce a také na teplotě a materiálu povrchu. Existují také tělesa, u kterých můžeme emisivitu považovat za konstantní, co do rozsahu vlnových délek. Taková tělesa se nazývají *šedá tělesa* s emisivitou  $\epsilon < 1$  a jsou nejvhodnější pro bezdotykové měření teploty. Souvislost mezi tělesy a emisivitou lze vidět v grafu na obrázku 2.1.[11, 12, 14]



Obr. 2.1: Emisivita těles, převzato z [31]

Mezi další podstatné veličiny související s bezdotykovým snímáním teplot patří vedle emisivity ještě *pohltivost*  $a$  neboli absorpance, která je definovaná jako poměr pohlcené a dopadající intenzity záření; *odrazivost*  $\rho$  (reflektance) je poměr odražené a dopadající intenzity a *propustnost*  $\tau$  (transmitance) je poměr prostupující a dopadající intenzity záření.[11]

### 2.1.1 Infračervené záření

Infračervené (IR) neboli tepelné záření je elektromagnetické záření s vlnovou délkou v rozmezí  $750 \text{ nm} - 1 \text{ mm}$ . [22] V elektromagnetickém spektru se nachází mezi nejkratšími rádiovými vlnami a viditelným světlem. Podstatou tohoto záření je tepelný pohyb atomů a molekul tělesa. Toto záření generuje veškerá hmota, jejíž teplota je vyšší než  $0 \text{ K}$ , tedy  $-273,15 \text{ °C}$ . [34] Vyzářená energie je přenášena od zdroje prostřednictvím elektromagnetického záření s energií, kterou lze vyjádřit pomocí vztahu 2.1

$$E = h \cdot f \quad (2.1)$$

kde  $E$  je energie fotonu v eV,  $h = 6,626 \cdot 10^{-27}$  je Planckova konstanta a  $f$  je frekvence v Hz. [13]

Intenzita infračerveného záření závisí především na teplotě a je odlišná svou vlnovou délkou. Vztah mezi těmito veličinami vysvětlují fyzikální zákony: Stefan-Boltzmannův zákon, Wienův posunovací zákon, Planckův zákon a Kirchhoffovy zákony. [11]

## 2.2 Senzory infračerveného záření

V této části budou rozebrány metody založené na detekci infračerveného záření prostřednictvím infračervených senzorů. V dnešní době již tyto aplikace mají široká



uplatnění, zejména pro oznámení systému určitou reakci, například senzor pro automatické otevírání dveří, ovládání světel, topení, ventilace či klimatizace.[21, 27, 39]

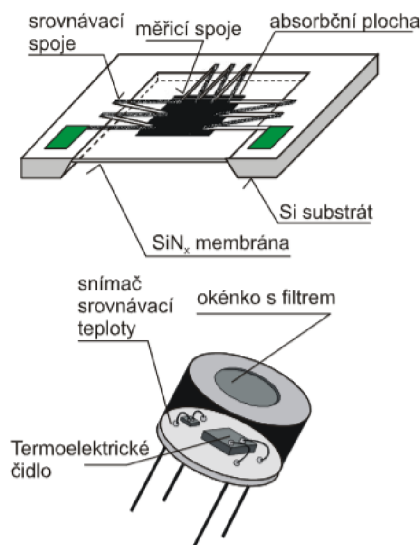
Podle interakce fotonů s materiálem senzoru dělíme senzory na tepelné a kvantové (fotodiody). V rámci této podkapitoly budou zmíněny pouze tepelné senzory.

**Mezi tepelné senzory infračerveného záření řadíme [27]:**

- termočláňkové baterie,
- bolometry,
- pyroelektrické senzory.

### 2.2.1 Termočláňkové baterie

Termočláňkové baterie jsou sériově řazené termočláňky, zhotoveny jako tenké kovové pásy nebo pásy konstruovány tenkovrstvou technologií či křemíkovou technologií. Využívají principu tzv. Seebeckova (termoelektrického) jevu, tzn., že změna termoelektrického napětí je dána rozdílem tepla mezi měřícím spojem (na který dopadá záření) a srovnávacím spojem (načerněným). Termočláňková baterie je pak nejčastěji umístěna ve vakuovém pouzdru.[27, 34]

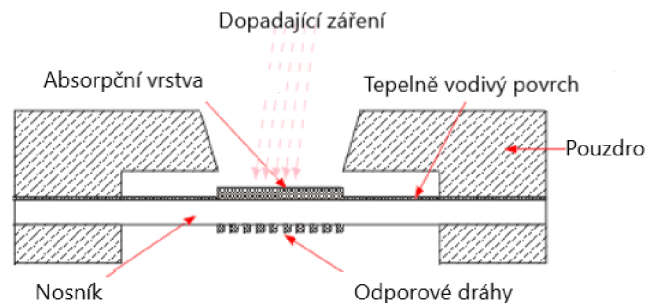


Obr. 2.2: Termočláňková baterie, převzato z [40]

### 2.2.2 Bolometry

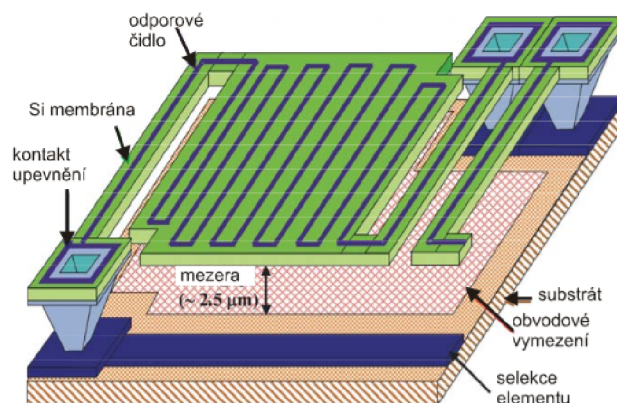
Bolometry jsou senzory používané pro bezdotykové měření teploty v případech, kdy nelze použít klasické termočláňky či pyroelektrické senzory. Využívají principu

změny odporu elementu senzoru při změně teploty. Jedná se o tenkovrstvé odporové senzory z kysličníků MgO, MnO, NiO či  $TiO_2$  nanesených na elektricky nevodivé podložce přilepené na kovový blok (nosník). Fungují na principu pyrometrie, tedy detekují celkovou intenzitu infračerveného záření.[2, 27] Bolometr jako systém lze vidět na obrázku 2.3.



Obr. 2.3: Bolometr, upraveno z [2]

Nejčastěji se však bolometry vyskytují ve formě integrovaných obvodů, složených z desítek, stovek až tisíců bolometrů uspořádaných do matice. Tyto systémy označujeme jako *mikrobolometry*, které se nejčastěji využívají v infračervených termovizních kamerách pro snímání tepelného obrazu.[2] Mikrobolometr jako systém lze vidět na obrázku 2.4.

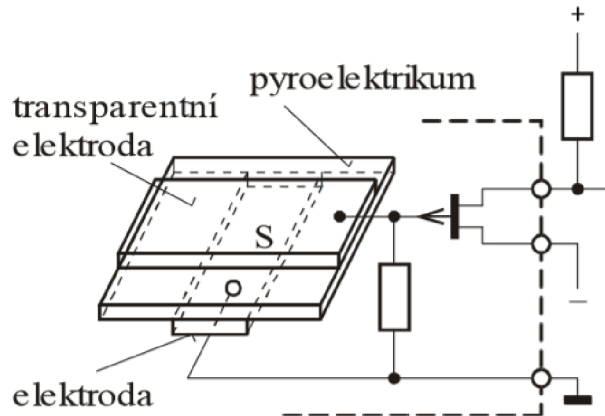


Obr. 2.4: Mikrobolometr, převzato z [40]

### 2.2.3 Pyroelektrické infračervené senzory - PIR

PIR senzory fungují na principu pyroelektrického jevu, tj. při změně teploty dokáží generovat elektrický náboj. Základem PIR senzorů je krystalický materiál ( $LiTaO_3$

nebo  $NaN\text{O}_3$ ), který po dopadu infračerveného záření generuje na svém povrchu elektrický náboj  $Q$ . Vzniklý elektrický náboj na povrchu krystalu může být následně převeden na elektrický signál. Tento signál bývá většinou slabý, proto je nutné signál zesílit přidáním zesilovače. Schéma takového senzoru je na obrázku 2.5, kde je PIR sensor zobrazen jako dvojice elektrod, z nichž musí být čelní elektroda dostatečně transparentní pro infračervené záření. Pokud dojde ke změně polarizace  $\Delta P$ , je na jeho elektrodách indukován elektrický náboj  $Q$ . [12, 17, 27, 34]



Obr. 2.5: Pyroelektrický čip s předzesilovačem, upraveno z [40]

Jako základní parametr těchto senzorů se uvádí pyroelektrický součinitel  $k_p$  daný vztahem 2.2

$$\Delta P = \frac{\delta P}{\delta T} \cdot \Delta T = k_p \cdot \Delta T, \quad (2.2)$$

kde  $\Delta P$  je změna polarizace pyroelektrického materiálu při změně teploty  $\Delta T$ . [12] Indukovaný elektrický náboj můžeme vyjádřit ze vztahu 2.3

$$\Delta Q = k_p \cdot A \cdot \Delta T, \quad (2.3)$$

kde  $A$  je plocha elektrod a  $\Delta T$  změna teploty. [12]

Indukovaný náboj na elektrodách plyne přes svodový odpor pyroelektrika a skrz vstupní odpor předzesilovače. Infračervené záření, které dopadá na sensor je nutné při každé změně teploty přerušit (zaclonit), aby se z původního záření vytvořily pulsy. Tyto výkyvy v záření odpovídají změnám polarizace  $\Delta P$ , čímž dojde k vzniku střídavého proudu, který je následně registrován předzesilovačem. [17, 27]

V praxi se vyrábí integrované pyroelektrické senzory s kompenzací, jelikož u materiálů, které podléhají pyroelektrickému jevu, vzniká při vzniku elektrického náboje na jejich povrchu parazitní jev, který způsobuje systematické chyby měření teplot.

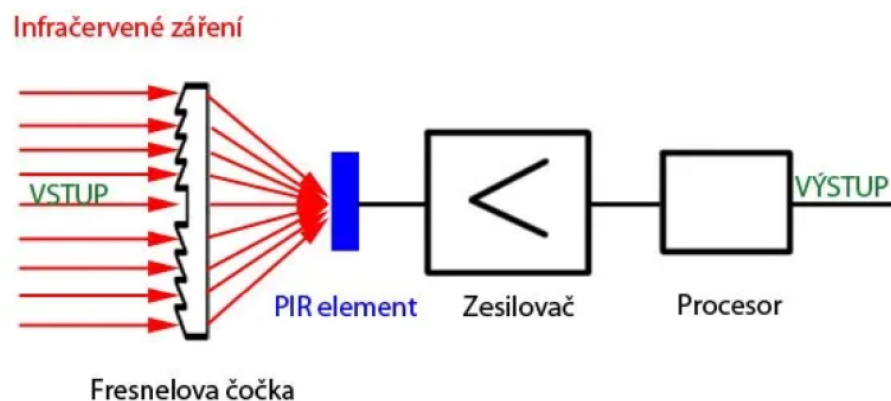
Kompenzace je založena na připojení pyroelektrického senzoru s opačným nábojem, jehož detekční plocha je pokryta vrstvou zlata. Sensory s kompenzací se využívají především u zabezpečovacích systémů, které využívají detekci infračerveného záření.[27]

Základním funkčním prvkem PIR sensorů je tzv. pyroelement (PIR element), což je polovodičová součástka na bázi lithia a tantalu. Tento prvek je zobrazen na obrázku 2.6.



Obr. 2.6: PIR element, převzato z [17]

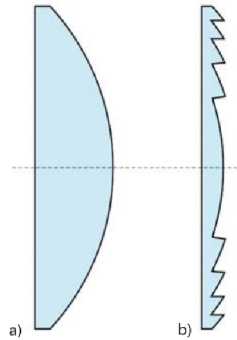
Pomocí optického systému je na pyroelement z detekčních zón soustředěno infračervené záření z povrchu objektů.[17] Tento systém lze vidět na obrázku 2.7.



Obr. 2.7: Schéma pyroelektrického detektoru, převzato z [17]

Po dopadu infračerveného záření na tento element dojde ke změně elektrického náboje. Tyto změny elektrického náboje na povrchu materiálu jsou zaznamenány citlivým FET tranzistorem implementovaným v pyroelektrickém snímači. Vzhledem k citlivosti tohoto snímače na širokou škálu vlnových délek se před snímače umísťují filtry, které propouští záření o vlnových délkách v rozsahu 8 až 14  $\mu\text{m}$ , přičemž lidské tělo emituje záření vlnové délky 9,4  $\mu\text{m}$ . Jako optický systém PIR zařízení se používají dva typy systémů: čočky a lomená zrcadla. V případě využití čoček

se nejčastěji používají tzv. stupňovité Fresnelovy čočky. Pyroelektrický snímač je konstruován tak, aby byl umístěn přímo v ohnisku této čočky. Fresnelovy čočky jsou nejčastěji tvořeny z plastických materiálů soustavou průhledných a neprůhledných prstenců, jejichž společný střed je na průhledné ploše.[16, 17] Srovnání Fresnelovy a klasické vypouklé čočky je na obrázku 2.8.

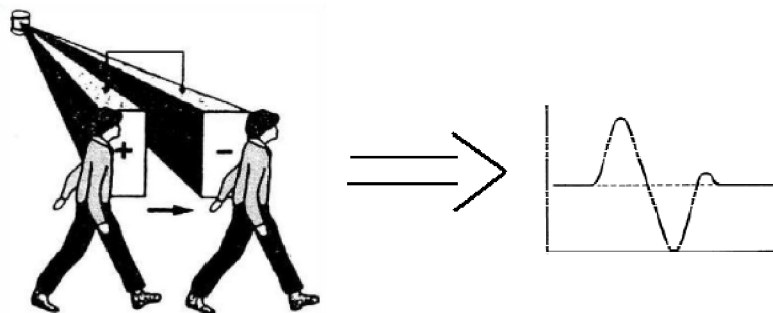


Obr. 2.8: Klasická vypouklá čočka a) a Fresnelova čočka b), převzato z [26]

Kromě Fresnelových čoček jsou u PIR zařízení využívány tak soustavy lomených zrcadel. Takový optický systém je tvořený částí parabolického zrcadla, v jehož ohnisku je umístěný pyroelektrický snímač. Výhodou těchto systémů jsou lepší optické vlastnosti.[16]

Na výstupu systému může být podle potřebné aplikace senzoru zapojeno relé či výkonný tranzistor.[17]

Infračervené záření, které dopadá na pyroelement má podobu spojitého signálu, který je možné zpracovat analogově či digitálně.[17] Vznik tohoto signálu lze vidět na obrázku 2.9.



Obr. 2.9: Generování impulsu při detekci infračerveného záření, převzato z [17]

## 3 Návrh a realizace systému pro detekci osob

Navržený systém, pomocí kterého je možné detekovat osoby vcházející a vycházející z uzavřené místnosti má jako základní řídicí jednotku Raspberry Pi 3 model B+, která je schopna s uživatelem komunikovat skrze síť Wi-Fi. Detekce osob je založená na registraci změny teploty v blízkosti infračervených bezkontaktních senzorů. Tyto senzory jsou hardwarově propojené s Raspberry Pi a získaná data následně zpracována pomocí programového prostředí Python a posílána na dynamickou webovou stránku, kde dochází k jejich zobrazení.

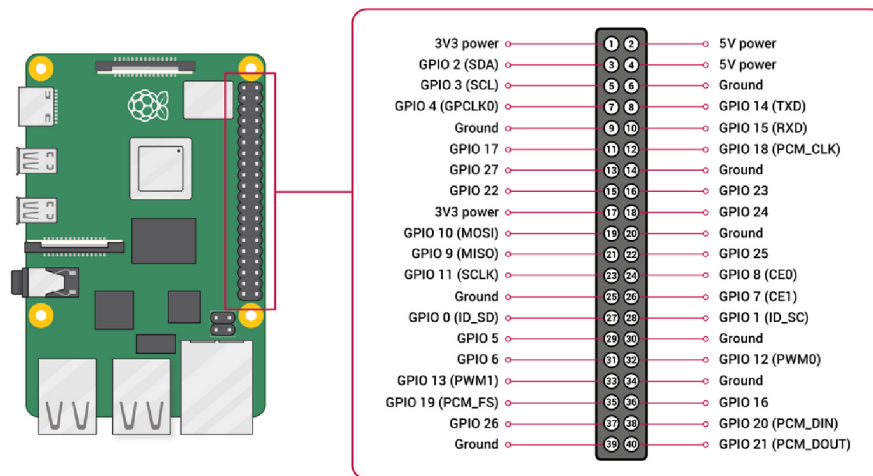
### 3.1 Raspberry Pi 3B+

Raspberry Pi je nejznámější zástupce nízkonákladových jednodeskových počítačů, který vyvinula nadace Raspberry Pi Foundation ve Velké Británii. Je to malý počítač o velikosti kreditní karty s operačním systémem Linux a sadou GPIO (general purpose input/output) pinů (obr. 3.1), které lze využít pro ovládání elektronických komponent a využít ho tak v mnoha IoT<sup>1</sup> projektech. Je možné ho připojit k počítačovému monitoru, standardní klávesnici a myši. Původně byl využíván pro edukaci ve školách v oblasti výpočetní techniky a vzhledem k mnoha možnostem jak hardwarových tak softwarových operací je využíván pro mnoho nenáročných aplikací. Disponuje mnoha možnostmi připojení komponentů, programování v jazycích Python či Scratch, procházení internetu nebo přehrávání videí ve vysokém rozlišení. Raspberry Pi bylo poprvé uvedeno na trh v roce 2012 a dnes je dostupný v mnoha verzích.[10, 37, 38] V této kapitole bude specifikován Raspberry Pi 3 model B+ (obr. 3.2) s operačním systémem Raspbian, který je založený na Debianu optimalizovaném pro Raspberry Pi hardware.[35] Tento model je využit pro praktickou část této diplomové práce.

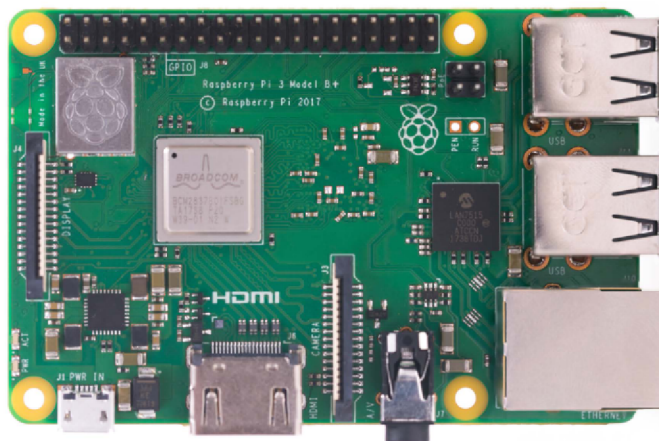
Některé základní specifikace modelu Raspberry Pi 3B+ jsou uvedeny v tabulce 3.1.[10]

---

<sup>1</sup>IoT - označení pro soubor zařízení vybavených elektronikou, softwarem či senzory, které jsou navzájem propojeny a jsou schopny si předávat data



Obr. 3.1: GPIO piny Raspberry Pi, převzato z [24]



Obr. 3.2: Raspberry Pi 3 Model B+, převzato z [25]



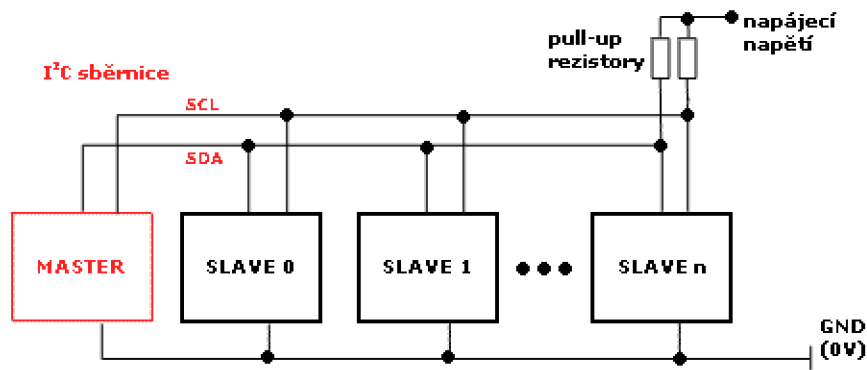
Tab. 3.1: Specifikace Raspberry Pi 3 Model B+

Datum vydání	Březen 2018
SoC	Optimalizovaný Broadcom BCM2837B0
Procesor (CPU)	1,4 GHz 64-bitový čtyřjádrový ARM Cortex-A53
Paměť (SDRAM)	1 GB
USB 2.0 porty	4 (přes zabudovaný pětiportový USB hub; jeden USB port vnitřně propojen s ethernet portem)
Interní paměť	MicroSDHC, USB Boot Mode
Integrovaná síť	Gigabitový Ethernet skrze USB 2.0 + WiFi 802.11ac, Bluetooth 4.2 BLE a PoE napájení skrze externí HAT modul
Nízkoúrovňové periferie	17x GPIO plus stejné funkce a HAT ID sběrnice
Rozměry	85,60 mm x 56,5 mm x 17 mm
Hmotnost	45 g

### 3.1.1 Sběrnice $I^2C$

Sběrnice  $I^2C$  (Inter-Integrated Circuit) je interní datová sběrnice využívaná pro komunikaci a přenos dat mezi jednotlivými integrovanými obvody často v rámci jednoho zařízení. Je využívanou sběrnicí pro komunikaci modulů pro jednodeskové mikropočítače Raspberri Pi. Využívá synchronní přenos dat pomocí dvou datových vodičů označovaných jako SDA (Serial Data Line) a SCL (Serial Clock Line), ovšem komunikace probíhá pouze poloduplexně - tedy v jeden okamžik může existovat pouze jedno zařízení v režimu vysílání a libovolný počet zařízení v režimu příjmu dat. Vodič SDA je určen k odesílání a přijímání dat a druhý vodič typu master (SCL) k odesílání synchronizačního hodinového signálu. V praxi je nutné k těmto vodičům propojit sdílenou signálovou zem (GND - ground). Nutným krokem je však vodiče SDA a SCL připojit přes pull-up rezistory, jejichž velikost se stanovuje na základě komunikační frekvence.[30, 32] Blokové schéma zapojení sběrnice  $I^2C$  je na obrázku 3.3





Obr. 3.3: Blokové schéma zapojení sběrnice  $I^2C$ , převzato z [30]

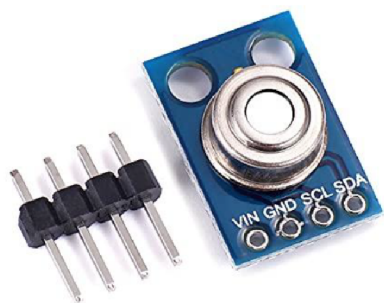
## 3.2 Infračervený senzor

Pro snímání teploty v rámci detekce osob byl zvolen infračervený senzor MLX90614. Tento měřicí modul od firmy Melexis slouží k bezkontaktnímu měření teploty a je vybaven integrovaným obvodem MLX90614ESF-BA, který komunikuje prostřednictvím sběrnice  $I^2C$ . Tento bezkontaktní senzor disponuje dvěma senzory teploty pro měření teploty okolního vzduchu a senzor pro detekci teploty pevných předmětů nacházejících se v jeho blízkosti. Základní specifikace jsou uvedeny v tabulce 3.2.[9]

Tab. 3.2: Specifikace bezkontaktního senzoru MLX90614ESF-BA

<b>Napětí</b>	3,3 až 5 V	<b>Rozměry</b>	17 x 12 x 14 mm
<b>Měřicí rozsah (okolní teplota)</b>	-40 až 80 °C	<b>Průměr montážních otvorů</b>	3 mm
<b>Měřicí rozsah (bezdotykový)</b>	-70 až 380 °C	<b>Rozteč montážních otvorů</b>	7 mm
<b>Proud</b>	<10 mA	<b>I2C adresa</b>	0x5A

Vzhledem k vysoké přesnosti měření teploty 0,5 °C a rozlišení 0,02 °C lze tento bezkontaktní senzor využít například jako teplotní čidlo pro řídicí systém klimatizace, pro obytné, obchodní a průmyslové budovy klimatizace čelního odmlžování, automobilový slepý úhel, pro domácí spotřebiče s regulací teploty, zdravotní péči či pro detekci pohybu.[9] Z důvodu těchto parametrů byl vybrán jako vhodná součástka pro detekci osob v rámci této diplomové práce. Lze jej vidět na obrázku 3.4.



Obr. 3.4: Infračervený senzor MLX90614, převzato z [9]

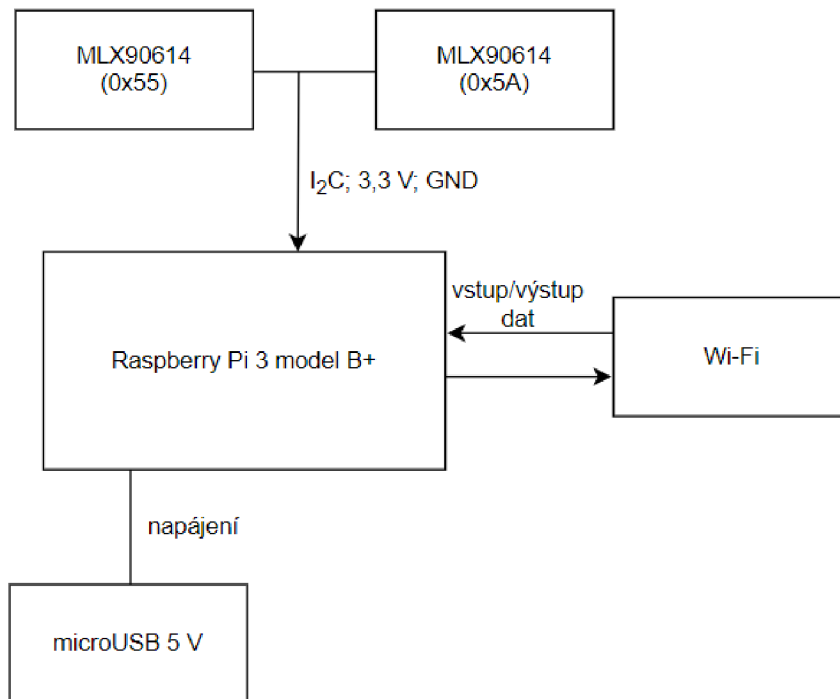
### 3.3 Hardwarové řešení

Měřící zařízení pro detekci přítomnosti osob ve vnitřních prostorech má jako řídicí jednotku Raspberry Pi 3 model B+, hardwarově propojenou s dvěma infračervenými bezkontaktními senzory MLX90614ESF-BA, které komunikují pomocí sběrnice  $I^2C$ . Pro zpracování naměřených dat bylo použito již předinstalované programové prostředí Python.

Řešení této soustavy je interpretováno pomocí blokových schémat.

#### 3.3.1 Návrh systému

Raspberry Pi je napájeno pomocí powerbanky (microUSB se vstupem 5V) a k síti připojeno pomocí Wi-Fi. Na řídicí jednotku jsou připojeny dva infračervené bezkontaktní senzory MLX90614ESF-BA napojené na vyfrézovanou desku vodivých spojů. Schéma tohoto zapojení lze vidět na obrázku 3.5.



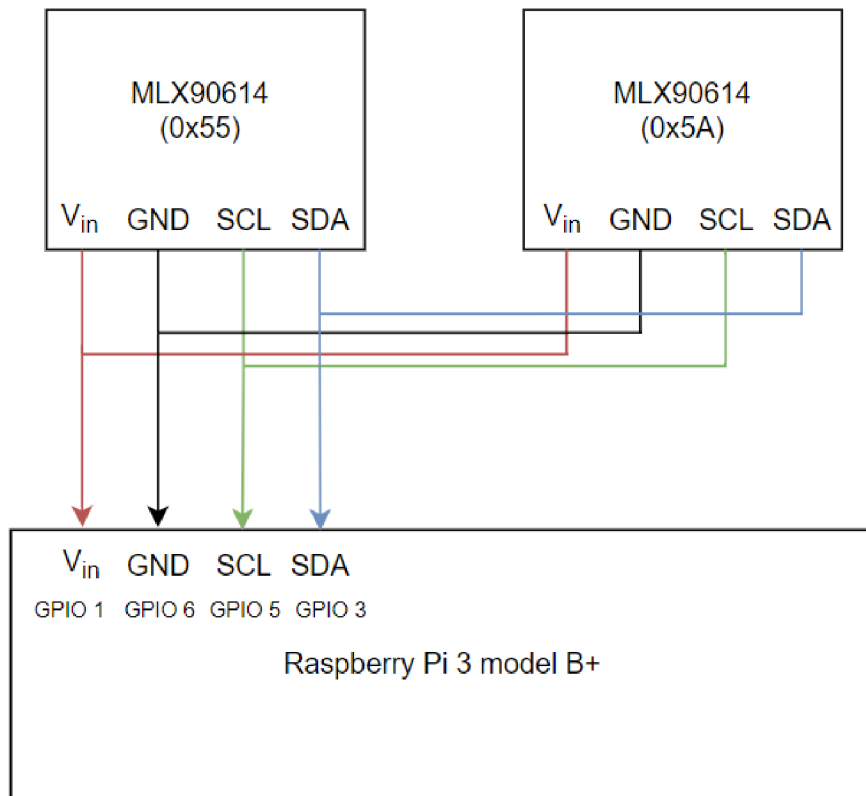
Obr. 3.5: Blokové schéma navrženého zařízení

### 3.3.2 Popis zapojení senzorů

Dva teplotní senzory MLX90614ESF-BA jsou k řídicí jednotce připojeny skrze komunikační sběrnici  $I^2C$ . Vzhledem k tomu, že komunikační adresa obou modulů je defaultně nastavena na  $0x5A$ , bylo nutné adresu jednoho senzoru změnit, aby nedocházelo ke kolizi při komunikaci. Adresa druhého senzoru byla nastavena na  $0x55$ . V tomto případě již bylo možné na sběrnici  $I^2C$  připojit obě zařízení a registrovat data z obou senzorů.

Sběrnice pro datový vodič *SDA* je dostupná na GPIO pinu 3 a pro *SCL* na GPIO pinu 5. Vstupní napětí *Vin* bylo připojeno na 3,3 V (GPIO pin 1) a GND na GPIO pin 6.

Detekce osob probíhá ve dvou směrech. Z tohoto důvodu bylo nutné připojit dva senzory, z nichž senzor s adresou  $0x5A$  registruje osoby, které vcházejí do místnosti a senzor s adresou  $0x55$  registruje osoby, které z místnosti vycházejí.<sup>1</sup>



Obr. 3.6: Blokové schéma zapojení senzorů MLX90614ESF-BA

### 3.3.3 Ověření teplotní citlivosti senzorů

Ověření teplotní citlivosti měřících senzorů MLX90614ESF-BA probíhalo s využitím kalibrátoru infračerveného záření *Ametek JOFRA ETC-400 R* (obr. 3.7), který umožňuje nastavit a udržet zvolenou referenční teplotu.

Pro ověření teplotní citlivosti, resp. přesnosti měření byl infračervený kalibrátor jako zdroj konstantní teploty nastaven na referenční teploty v rozsahu 20 - 40 °C. Měřící senzor byl umístěn 1 cm před tento zdroj a byly naměřeny hodnoty teplot jako průměr ze tří po sobě měřených hodnot. Referenční a naměřené teploty lze vidět v tabulce 3.3.

Výrobce teplotního senzoru MLX90614 uvádí, že přesnost měření je 0,5 °C.[9] Z tabulky 3.3 je patrné, že teplotní senzor s adresou 0x5A měřil s odchylkou od referenční teploty maximálně o 0,12 °C při měření teploty 37,00 °C, senzor s adresou 0x55 pak vykazoval odchylku 0,09 °C při měření stejné teploty. Průměrná odchylka od referenční hodnoty je pak v rámci všech naměřených hodnot maximálně 0,032 °C. Podle výsledků lze tedy měření senzorů považovat za velmi přesné.



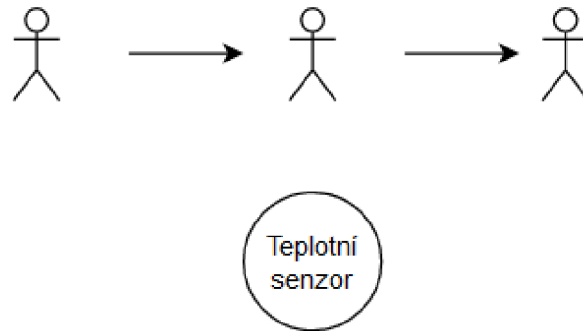
Obr. 3.7: Infračervený kalibrátor teploty Ametek JOFRA ETC-400 R

Tab. 3.3: Hodnoty referenčních a naměřených teplot

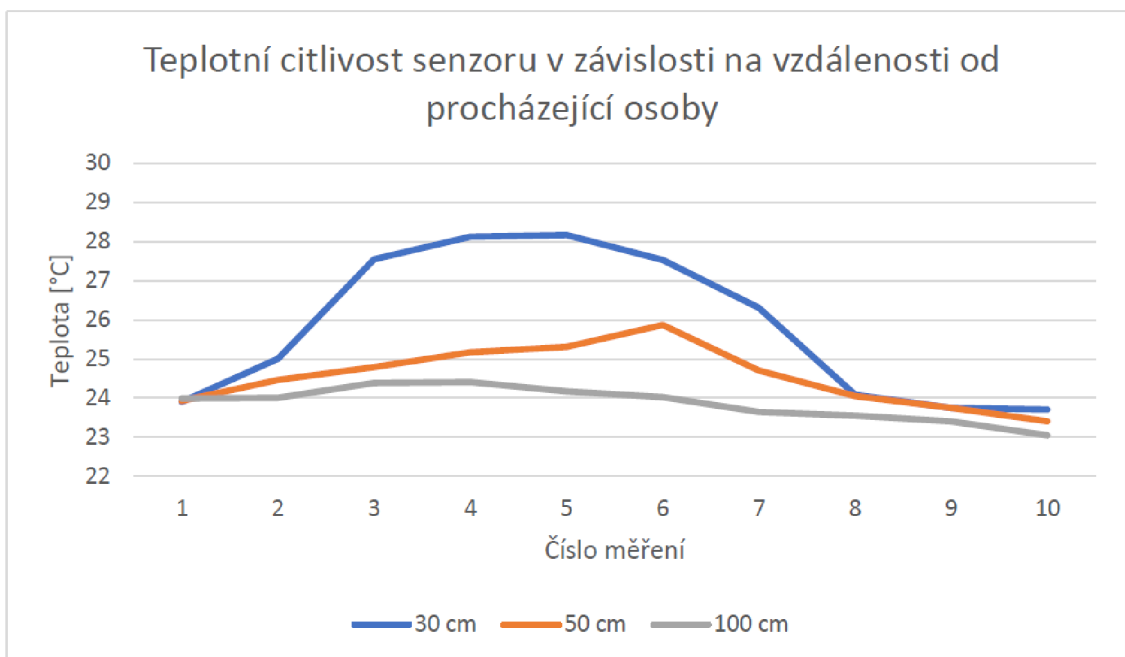
Referenční teplota [°C]	Ø teplota naměřená senzorem 0x5A [°C]	Ø teplota naměřená senzorem 0x55 [°C]
20,00	19,99	19,98
23,00	23,01	23,02
25,00	24,94	25,03
30,00	29,97	29,99
36,00	36,01	36,01
36,50	36,51	36,49
37,00	37,12	37,09
37,50	37,49	37,51
38,00	37,96	37,97
40,00	39,98	40,01

### 3.3.4 Ověření teplotní citlivosti senzorů v závislosti na vzdálenosti

V rámci ověření teplotní citlivosti senzoru v závislosti na vzdálenosti byl senzor umístěn ve vzdálenosti 30, 50 a 100 cm od snímaného objektu (lidské tělo). Hlavním cílem bylo zaregistrovat změnu teplotu v okamžiku průchodu osoby kolem senzoru z dané vzdálenosti. Směr chůze byl proveden zleva doprava od senzoru (viz. obr. 3.8).



Obr. 3.8: Směr chůze při testování teplotní citlivosti senzoru v závislosti na vzdálenosti



Obr. 3.9: Teplotní citlivost senzoru v závislosti na vzdálenosti od procházející osoby

Z grafu na obr. 3.9 lze vidět výchylky směrem k vyšším hodnotám, které představují registraci procházejícího objektu z dané vzdálenosti před senzorem. Nejvíce zřetelné vychýlení teplot bylo zaznamenáno, když se objekt nacházel ve vzdálenosti 30 cm od senzoru. Teploty byly v okamžiku registrace snímaného objektu vychýleny až o 4,26 °C a poté, když objekt nebyl v zorném poli senzoru, klesaly zpět k původní teplotě. Z grafu lze také vidět, že se zvyšující se vzdáleností objektu od senzoru jeho teplotní citlivost na procházející objekt klesá. V případě větší vzdálenosti lze vidět

pouze lehké vychýlení teploty při registraci procházejícího objektu. V závislosti na výsledcích lze konstatovat, že větší vzdálenosti by při použití těchto senzorů byly nevyhovující a mohly by zavádět chyby v detekci.

Z měření vyplývá, že nejlepší vzdálenost pro umístění senzorů je maximálně 30 cm od snímaného objektu, kdy lze vidět nejzřetelnější změnu teploty při průchodu osoby před senzorem. V závislosti na těchto výsledcích budou senzory umístěné v blízkosti dveří zárubně tak, aby tato vzdálenost od procházející osoby byla co nejvíce dodržena.

## 3.4 Softwarové řešení

V případě, že je celý systém správně hardwarově zapojen, je nutné ho zprovoznit také softwarově. Podstatnou částí je získat data, následně je zpracovat a přívětivě zobrazit výsledek koncovému uživateli. Prvním krokem je čtení dat ze senzorů, což je zajištěno pomocí instalovaných knihoven v programovém prostředí Python. Zpracovaná data jsou následně uživateli zobrazována externě pomocí dynamické webové stránky.

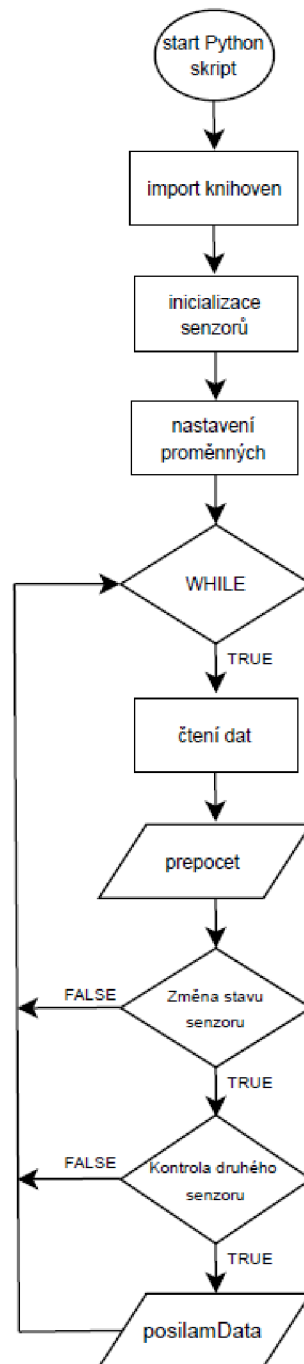
### 3.4.1 Python skript

Vytvořený Python skript, pomocí kterého jsou načítána data běží spuštěný na řídicí jednotce jako daemon program. Vývojový diagram tohoto skriptu lze vidět na obrázku 3.10. V první části skriptu jsou importovány všechny potřebné knihovny pro fungování senzorů. V další části jsou senzory inicializované a hodnoty teplot, které registrují jsou posílány do vytvořené funkce, kde dochází k ukládání aktuální a předchozí teploty obou senzorů do vektoru.

Výstup v podobě těchto hodnot nadále vstupuje do funkce *prepecet*, kde je zjišťováno, zda došlo k překročení nastavené prahové hodnoty teploty mezi aktuální a předchozí hodnotou. Tento výstup následně vstupuje do funkce *kontrola*, která slouží ke zjištění, zdali došlo k současné změně teploty i na druhém senzoru. Pokud ano, dojde k požadovanému úkonu podle směru chůze *dovnitř* místnosti či *ven* z místnosti. Tedy k přičtení dané osoby do aktuálního počtu osob nacházejících se v místnosti či její odečtení od tohoto počtu. Tato funkce slouží jako ošetření případu, kdy by osoba neprošla do místnosti, ale pouze se pohybovala v zorném poli senzorů.

Výstup ve formě aktuálního počtu osob v dané místnosti je poté pomocí funkce *posilamData* posílán do databáze MySQL pomocí příkazu *urllib.request.urlopen* z knihovny *urllib*. Tento příkaz otvírá URL webové stránky v definovaném tvaru a poté

dochází ke správnému čtení přes PHP skript a následnému zapsání hodnot do databáze. Aby nedocházelo k přehlcení databáze a paměti, je hodnota vyjadřující aktuální počet osob v místnosti posílána pouze, když dochází k její změně. Tedy když osoba vejde či vyjde z místnosti. Tyto data jsou současně zasílána s datem a časem, při kterém došlo k registraci osoby.



Obr. 3.10: Vývojový diagram Python skriptu



### 3.4.2 Python daemon skript

Spuštění daného skriptu jako daemon je podstatný proto, aby nebyla potřeba žádná intervence uživatele a program byl co nejvíce nezávislý. Daemon je program, který bývá spuštěn ihned po spuštění řídicí jednotky a nevyžaduje tak zásah uživatele. Spuštěný program běží na pozadí a vypnout ho může uživatel skrze příkazovou řádku v operačním systému Raspberry Pi. Tento druh programu lze vytvořit mnoha způsoby. V rámci této práce byl použit příkaz:

```
crontab -e,
```

použitím tohoto příkazu je otevřen crontab, kde na poslední řádek je zapsán příkaz:

```
@reboot python3 /home/pi/Documents/DPkod.py &,
```

označující cestu k souboru, kde je umístěn Python skript. Po zapojení Raspberry Pi ke zdroji napájení dojde k autonomnímu spuštění skriptu.

## 3.5 Tvorba webových stránek

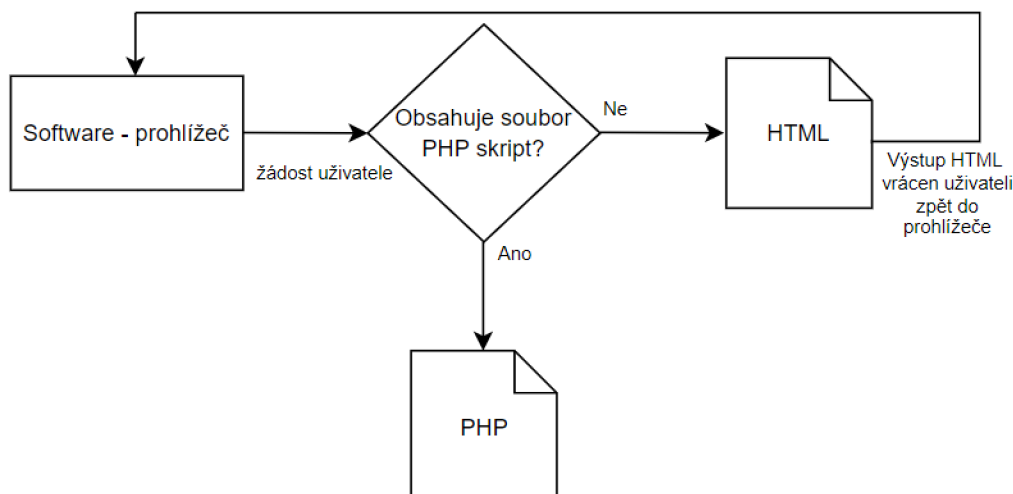
Vytvořením webové stránky lze navodit uživatelsky přívětivější prostředí pro zobrazování různých dat. Webové stránky mohou být statické, kde uživatel může využít znalost jazyka HTML. V rámci této práce je však nutné vytvořit dynamické stránky, které budou fungovat v reálném čase. Tyto webové stránky lze vytvořit pomocí skriptovacího jazyka PHP a určitého druhu databáze, v tomto případě MySQL. Pro vizualizaci dat v podobě grafů je vhodné zvolit knihovny založené na skriptovacím jazyku JavaScript.

### HTML

HTML (Hypertext Markup Language) je „značkovací jazyk“ využívaný pro tvorbu statických webových stránek. Stránka HTML obsahuje hypertextové odkazy a využívá znaky, pomocí nichž je možné navrhnout web a jednotlivé prvky obsažené na stránce. Dynamické webové stránky je pak možné vytvářet pomocí sofistikovanějších skriptovacích jazyků, zejména PHP.[15]

### PHP

PHP (Hypertext Preprocessor) je Open Source skriptovací jazyk na straně serveru, využívaný pro tvorbu statických i dynamických webů. Pro jeho použití tedy postačí pouze webový prohlížeč. Mezi hlavní výhody patří jeho jednoduchost, snadné zakomponování HTML kódu a relativně snadná komunikace s databázemi, zejména s databází MySQL. Na základě těchto výhod je hojně podporován mnoha webhostingových aplikací a jeho pravidelné vylepšování a aktualizování přináší nejnovější trendy v oblasti informačních technologií.[23, 36]



Obr. 3.11: Schéma principu fungování webových stránek pomocí HTML a PHP, upraveno z [36]

## MySQL

MySQL patří mezi Open Source systémy pro správu databází. Jedná se o tzv. relační databázi založenou na tabulkách a je využívána k tvorbě webových aplikací. Tato databáze je typová, což znamená, že každý sloupec a řádek musí mít přesně definovaný datový typ, který je nutné dodržet. S databází lze komunikovat pomocí jazyka SQL, který se vyznačuje jednoduchými srozumitelnými větami či je možné pro správu databáze využít prostředí phpMyAdmin, který je společně s MySQL dostupný na většině webhostingových aplikací. Lze ji využít pro ukládání dat ale i jiným úkonům, jako je zabezpečení, optimalizace výkonu, editace položek více uživateli v jeden okamžik, kdy jsou data uzamčena a k dispozici pouze po vykonání zápisu, či pro spojování několika dotazů do jedné transakce.[5, 18]

## JavaScript

JavaScript patří mezi objektově orientované skriptovací jazyky, které běží jak v internetovém prohlížeči, tak na straně serveru. Je víceúrovňový, dynamický, standardizovaný a snadno interpretovatelný. JavaScript je také beztypový, tudíž není nutné deklarovat datové typy jednotlivých proměnných.[29]

Existuje mnoho přidružených knihoven a frameworků, které dokáží práci s JavaScriptem ulehčit. Jednou z nich je knihovna *Chart.js*, která byla použita pro grafickou interpretaci naměřených dat v rámci této práce. Tato knihovna je bezplatná a slouží zejména pro zobrazení dat v podobě grafů různých typů.[3, 8]

JSON (JavaScript Object Notation) je snadno čitelný a zapisovatelný formát pro ukládní dat, který je založený na podmnožině skriptovacího jazyka JavaScript.

Patří mezi textové, nezávislé a univerzální datové struktury podporované téměř všemi moderními programovacími jazyky.[33]

### 3.5.1 Zobrazení dat

Proces zobrazení dat lze zajistit mnoha způsoby. Jednou z možností je vypisovat data do příkazové řádky po spuštění daného skriptu. Tato možnost však není uživatelsky přívětivá, a proto existují možnosti zobrazovat data skrze webovou stránku. Tuto stránku lze provozovat lokálně či veřejně. Pro tuto práci byla zvolena metoda zobrazení dat veřejně, a to pomocí externího webhostingu.

#### Externí webhosting

Služba externího webhostingu umožňuje pronajmout uživateli webovou stránku na cizím webu, jedná se tedy o webhosting, který je ve většině případů zpoplatněný. Výhodou je zejména jednoduchá práce se skriptovacím jazykem PHP, databázemi či snadný import dat na server pomocí FTP protokolu.

Pro řešení této práce byla zvolena bezplatná služba webhostingu od poskytovatele Hostinger, která umožňuje práci s PHP a databází MySQL. Výhodou je také možnost zřízení bezplatné domény 000webhostapp, která byla také v této práci využita. Blokové schéma propojení softwaru a webové aplikace lze vidět na obrázku 3.12

### 3.5.2 Vytvořená webová aplikace

Výsledná data v podobě aktuálního počtu osob v místnosti jsou zobrazována na webové stránce. Je tak zajištěno přívětivější prostředí pro koncového uživatele.

Po založení účtu na webhostingu byla vytvořena webová stránka:

```
pocitadloosob.000webhostapp.com,
```

jejíž blokové schéma lze vidět na obrázku 3.12

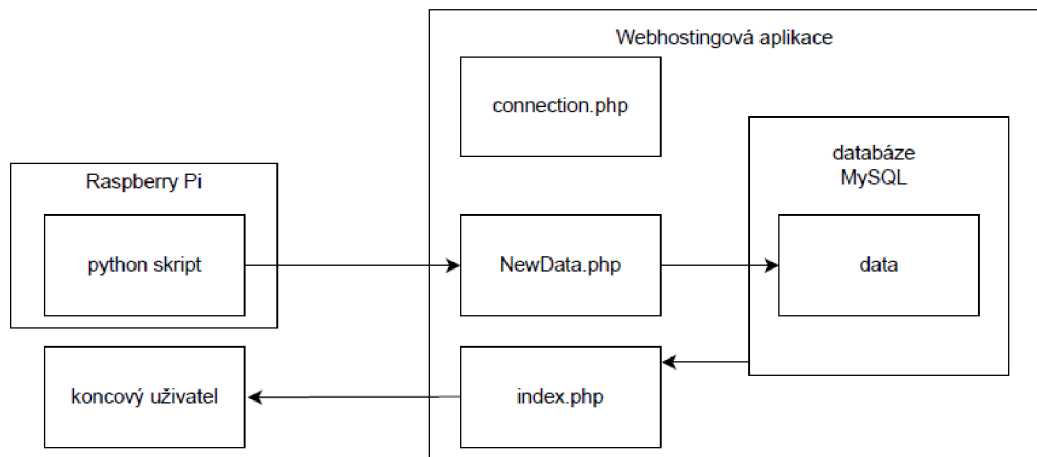
Ve složce *Database Manager* byla na webhostingu vytvořena databáze MySQL pod názvem:

```
id18746589_pocitaniosob
```

V této databázi byla pomocí správce databází phpMyAdmin vytvořena tabulka s názvem *data*, do které jsou posílány data ze spuštěného Python skriptu. Tato tabulka je tvořena položkami, které jsou načítány z daného skriptu a následně načítána do tabulky pomocí PHP skriptu.

Poté byly na webhostingu ve složce *File Manager* vytvořeny tři PHP soubory podstatné pro fungování webové aplikace. První soubor `connection.php` slouží k připojení k MySQL databázi a je opatřen výpisem informace o případném selhání připojení. Pro připojení k databázi je nutné znát uživatelské jméno, heslo,

název hosta a jméno databáze a následně pomocí funkce *mysqli* dojde k připojení k databázi MySQL.



Obr. 3.12: Blokové schéma principu zobrazení dat na webovou stránku

### PHP skript pro připojení k databázi MySQL

```
<?php
$username = "id18746589_root";
$password = "*****";
$host = "localhost";
$database = "id18746589_pocitaniosob";

$connection = new mysqli($host, $username, $password, $database);

if ($connection->connect_error) {
    die("Připojení k databázi selhalo: " . $connection->connect_error);
}
```

Druhý soubor `NewData.php` slouží pro zápis dat z Python skriptu do vytvořené tabulky s názvem `data` v MySQL databázi pomocí příkazu `INSERT INTO`, který vkládá příchozí data do tabulky. Pro posílání dat v rámci URL adresy slouží proměnná `$_GET`, pomocí které jsou data z Python skriptu zapisována na danou URL adresu do tabulky.

PHP skript pro zápis dat z Python skriptu do tabulky v databázi MySQL

```
<?php
include("connection.php");

$datetime = new \DateTime("@" . $_GET["timestamp"]);
$count = $_GET['count'];

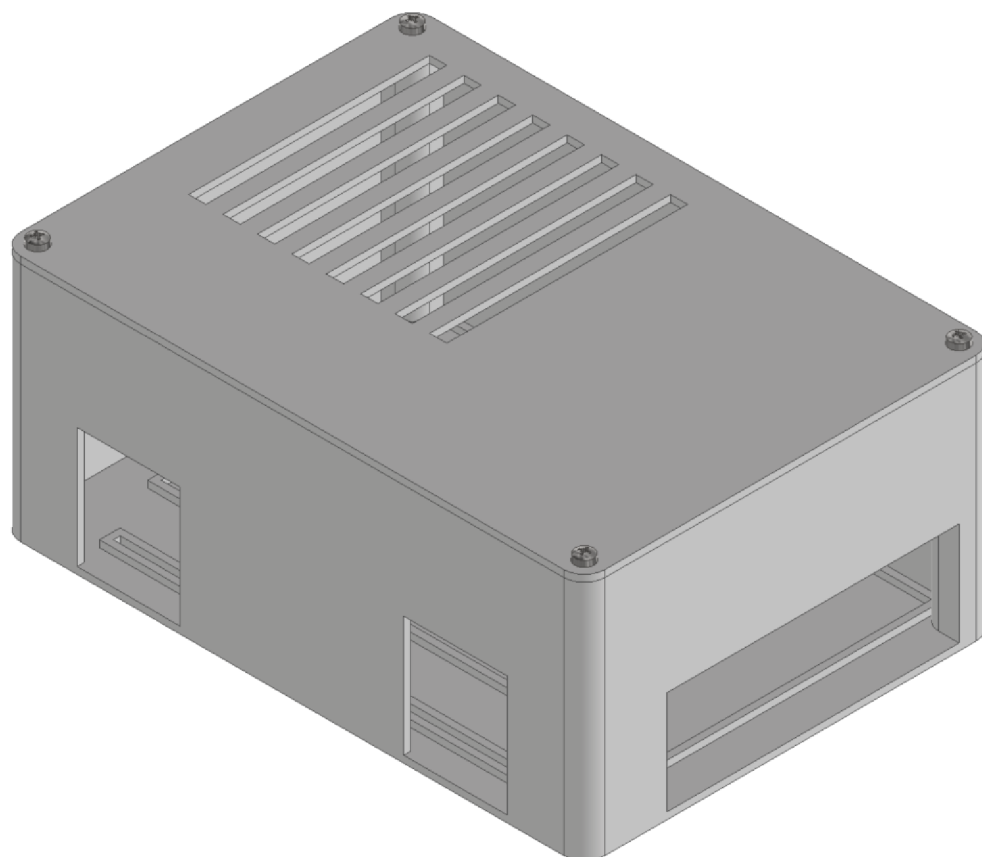
$query = "INSERT INTO data (datetime, visitors)
VALUES (\\"" . $datetime->format("Y-m-d H:i:s") . "\", " . $count . ")";

if ($connection->query($query) !== TRUE) {
    header("HTTP/1.0 500 Internal Server Error");
}
```

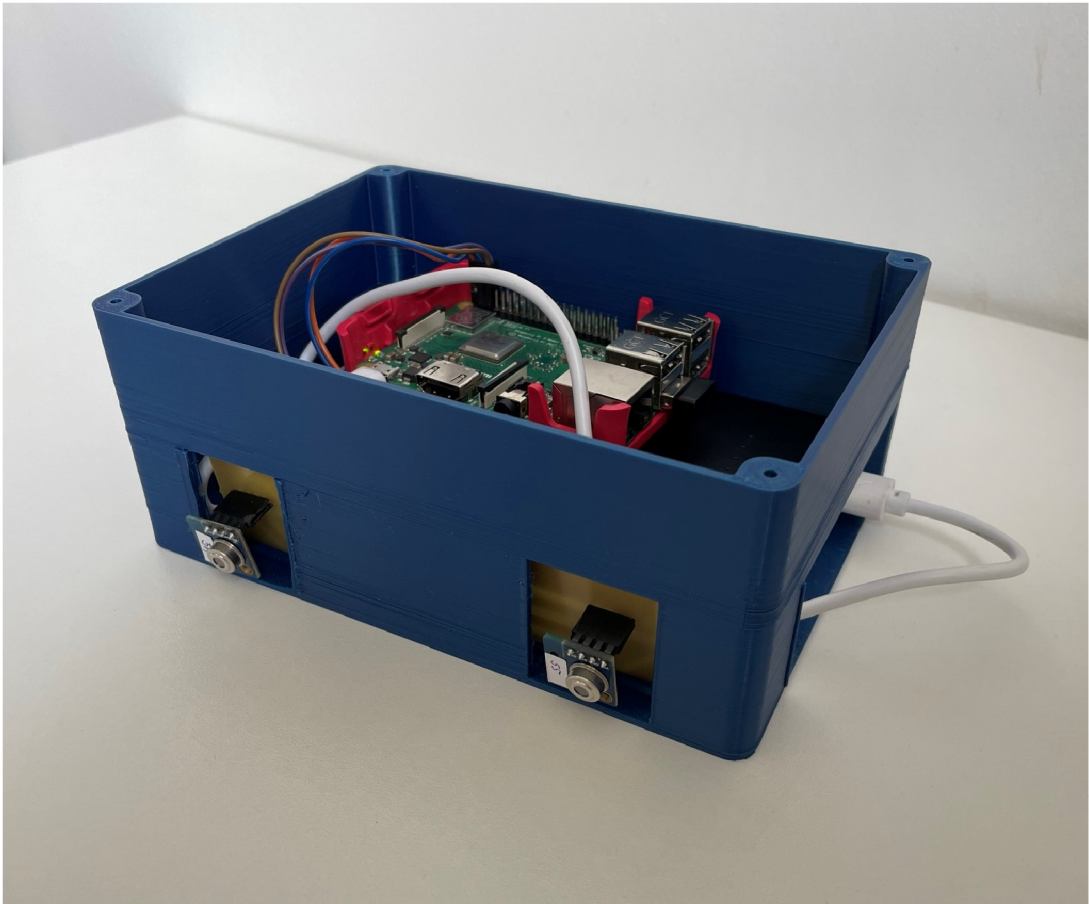
Třetím vytvořeným souborem je `index.php`, který slouží pro výpis uložených dat z tabulky `data` v databázi MySQL. S využitím příkazu `SELECT` jsou vybrány všechny data a pomocí funkce `fetch_row` je načten jeden řádek ze sady výsledků, který bude zobrazen na webové stránce. Poslední část souboru je částečně tvořena HTML kódem, který definuje umístění zobrazovaného výsledku a celkový vzhled webové stránky. Zbytek skriptu tvoří kód tvořící grafickou interpretaci dat.

## 3.6 Konstrukční řešení systému

Kompletní detekční systém je uložen v krabičce z materiálu PLA o rozměrech 12×17×7 cm vymodelované v programu *Autodesk Inventor* a následně vytisknuté na 3D tiskárně na VUT v Brně. Model krabičky obsahuje prostor pro upevnění vodivé desky se senzory a prostor pro umístění powerbanky společně s Raspberry Pi. Model krabičky s děrovaným víkem pro odvod tepla vzniklého zahříváním elektroniky lze vidět na obrázku 3.13. Toto víko je k tělu krabičky upevněno pomocí čtyř vrutů. Tělo krabičky společně s uloženou elektronikou lze vidět na obrázku 3.14



Obr. 3.13: Model krabičky pro uložení elektroniky



Obr. 3.14: Tělo krabičky s uloženou elektronikou

## 4 Testování a vyhodnocení funkčnosti navrženého systému

Testování funkčnosti navrženého systému pro detekci přítomnosti osob v uzavřených prostorech, tedy testování jeho detekční přesnosti, probíhalo ve vnitřních prostorech malé prodejny elektroniky ve Svitavách v čase 9–17 hodin. Krabice s detekčním systémem byla upevněna na stojan do výšky 1 m u vchodových dveří v blízkosti dveřní zárubně tak, aby byla dodržena nejbližší možná vzdálenost od příchozích osob, ale zároveň nebyl omezen vstup osob do prodejny.

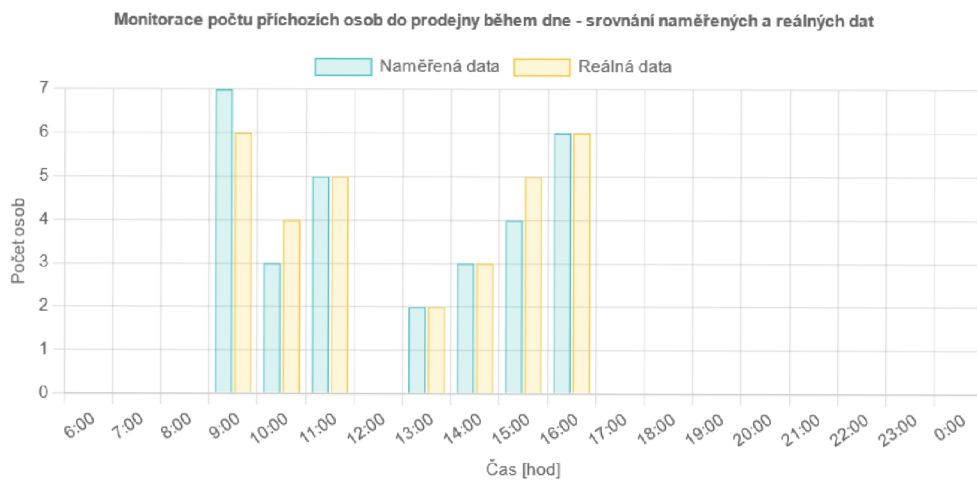
Na základě zjištěných výsledků byl vytvořen sloupcový graf, který je zobrazen na webové stránce `pocitadloosob.000webhostapp.com` a představuje srovnání naměřeného počtu příchozích osob do prodejny s jejich reálným počtem. Naměřené hodnoty představují počet osob, které byl testovaný detekční systém schopen zaznamenat. Reálná data představují skutečný počet osob, které přišly do prodejny a slouží jako „zlatý standard“ při vyhodnocení detekční přesnosti systému. Tyto hodnoty byly získávány pomocí vlastního počítání příchozích osob.

Společně s tímto grafem je na webové stránce zobrazován také aktuální počet osob v monitorované místnosti po spuštění detekčního systému. Celkový vzhled stránky lze vidět na obrázku 4.1.



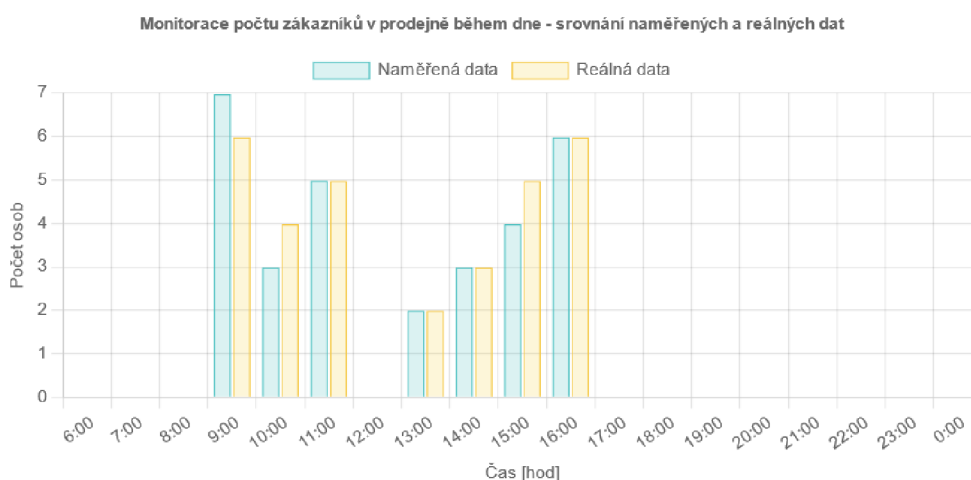
Aktuálně je v místnosti

**7 osob**



Obr. 4.1: Vzhled vytvořené webové stránky

Výsledky testování funkčnosti detekčního systému osob lze vidět v grafu na obr. 4.2.



Obr. 4.2: Monitorace počtu příchozích osob do prodejny během dne - srovnání naměřených a reálných dat

Monitorace počtu příchozích osob probíhala v časovém rozmezí 9 – 17 hodin s výjimkou přestávky od 12 – 13 hodin. Výsledky jsou zobrazeny formou sloupcového grafu, kdy každý sloupec představuje součet osob, které přišly do prodejny během jedné hodiny (např. mezi 9 – 10 hodinou). Na tomto grafu lze vidět srovnání naměřeného počtu osob detekčním systémem se skutečným počtem osob.

Při testování detekčního systému došlo celkově ke třem odchylkám v počtu osob oproti skutečnému. Tyto odchylky v detekci byly způsobeny delším setrváním osoby v zorném poli detekčního systému, průchodem více osob v jeden okamžik nebo průchodem osoby, která svojí výškou nezasahovala do zorného pole senzorů. V případě, kdy se osoba pohybovala delší dobu před detekčním systémem, došlo k opětovnému přičtení osoby do aktuálního počtu, čímž byl naměřený počet osob v daný moment vyšší, než skutečný. V dalším případě naopak detekční systém osobu vůbec do aktuálního počtu nezapočítal, jelikož se v pohybové rovině senzorů nacházely dvě osoby současně. Poslední odchylka v detekci byla způsobena neadekvátně určenou výškou, do které byl detekční systém umístěn. V tomto případě osoba při vstupu do prodejny sice prošla kolem detekčního systému, ale svojí výškou nedosahovala do detekční roviny a systém tak nebyl schopný osobu vůbec zaznamenat. Naměřený počet osob byl tedy o dvě osoby nižší, než skutečný.

Tab. 4.1: Procentuální úspěšnost detekce

<b>Celkový počet osob</b>	31	100 %
<b>Správně detekované osoby (TP)</b>	28	90,32 %
<b>Chybně detekované osoby (FN+FP)</b>	3	9,67 %
<b>Chybně detekované osoby (FN)</b>	2	6,45 %
<b>Chybně detekované osoby (FP)</b>	1	3,22 %

Jelikož navržený detekční systém funguje pouze na detekci změny teploty v blízkosti senzorů, není tak schopný správně detekovat ve složitějších případech, jako je například rozeznání více osob v jeden okamžik. Většina těchto situací však představuje riziko pro většinu detekčních systémů, a je tak potřeba zajistit určité vylepšení pro odstranění možných limitací. Vylepšení detekční přesnosti by mohlo spočívat například v opatření prostoru větším počtem senzorů pro kontrolu více úhlů snímané scény či využití komplexních systémů založených na detekci z obrazových dat.

V závislosti na zjištěných výsledcích v tabulce 4.1 lze říci, že navržený detekční systém disponuje částečnými limitacemi a během testování došlo k falešně pozitivní a falešně negativní detekci. Chyba detekce zahrnuje 9,67 % z celkového počtu osob. Výsledná úspěšnost detekce, tedy kdy systém správně detekoval příchozí osoby, je 90,32 %.

# Závěr

Cílem této práce bylo prostudovat problematiku detekce osob a shrnout nejčastěji využívané metody. Tato část je obsažena v první kapitole a je rozdělena na pět podkapitol, které popisují bezkontaktní možnosti detekce osob. Dále se práce zaměřuje na problematiku metod detekce infračerveného tepelného záření. Tyto metody jsou obsaženy ve druhé kapitole, která současně zahrnuje fyzikální princip a využívané senzory infračerveného záření.

Hlavní podstatou pro praktickou část bylo zvolit vhodný senzor. Výběr senzorů byl zvolen dle vhodných parametrů a na základě cenové relace. Pro detekci přítomnosti osob byly zvoleny senzory MLX90614ESF-BA od firmy Melexis, které mají výhodu vysoké měřicí přesnosti, možnosti použití pro detekci pohybu a umožňují komunikaci přes sběrnici  $I^2C$ , která dovoluje připojení více zařízení.

Ve třetí a čtvrté části této práce je popsán návrh a realizace detekčního systému. Celý systém funguje pomocí řídicí jednotky Raspberry Pi, což je jednodeskový mikropočítač diskutovaný ve třetí kapitole. Dále je zde popsáno hardwarové a následně také softwarové řešení této práce. V hardwarové části je představen návrh systému a zapojení použitých senzorů. V softwarové části je popsáno jakým způsobem detekce funguje. Pro zobrazování výsledných dat v podobě aktuálního počtu osob v uzavřené místnosti byla využita služba externího webhostingu, která umožňuje pronajmout prostor pro vlastní webovou aplikaci tvořenou na základě databáze MySQL a skriptovacího jazyka PHP. Výhodou této služby je zobrazování dat v reálném čase odkudkoliv, pokud uživatel obdrží URL webové stránky. Na této stránce je zobrazován také sloupcový graf, zobrazující výsledky testovacího měření a srovnání měřicí přesnosti systému s reálným výsledkem.

Možné vylepšení detekčního systému by mohlo představovat pořízení senzorů pro lepší citlivost na větší vzdálenosti, čímž by se mohly eliminovat případné chyby v detekci, pokud by zařízení nebylo umístěno do požadované vzdálenosti. Další zlepšení by také mohlo vzejít z použití více senzorů a jejich vhodnějším umístění. Bylo by tak možné zamezit chybám v detekci při průchodu více lidí do místnosti v jeden okamžik. Případným řešením by také mohlo být využití komplexních systémů založených na detekci z obrazových dat.

# Literatura

- [1] ANSARI, Mohd. Aquib a Dushyant Kumar SINGH. *Human detection techniques for real time surveillance: a comprehensive survey*. *Multimedia Tools and Applications* [online]. 2021, 80(6), 8759-8808. ISSN 1380-7501. Doi:10.1007/s11042-020-10103-4
- [2] *Co jsou BOLOMETRY a MIKROBOLOMETRY? Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz>
- [3] *CMS Domino: Užitečné javascript knihovny* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://cmsdomino.cz/webove-technologie-zdroje/javascript-knihovny/>
- [4] COLLINS, Danielle. *Ultrasonic sensors for linear position and distance measuring*. *Linear Motion Tips: A Design World Resource* [online]. 2021 [cit. 2021-11-20]. Dostupné z: [www.linearmotiontips.com](http://www.linearmotiontips.com)
- [5] ČÁPKA, David. *Lekce - MySQL krok za krokem: Úvod do MySQL a příprava prostředí*. In: *ITnetwork* [online]. [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/mysql/mysql-tutorial-uvod-a-priprava-prostredi>
- [6] DALAL, N. a B. TRIGGS. *Histogram of oriented gradients for human detection*. *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)*. San Diego, CA, USA, 2005, , 886-893. Dostupné z: doi:10.1109/CVPR.2005.177
- [7] HRINKO, Martin. *Speciální bezpečnostní technologie*. Ostrava, 2015. ISBN 978-80-7385-167-5.
- [8] *Chart.js* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.chartjs.org/>
- [9] *Infračervený teploměr MLX90614. DRÁTEK.CZ* [online]. *ECLIPSE RA MODULES*, 2021 [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <https://dratek.cz>
- [10] *Jednodeskové počítače: Raspberry Pi*. *RPishop.cz: Váš dodavatel Raspberry Pi* [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/>
- [11] KADLEC, Karel. *Měření provozních veličin v cukrovarnictví: Bezdotykové měření teploty* [online]. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze*, 2016 [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: [http://www.cukr-listy.cz/on\\_line/2016/PDF/303-307.pdf](http://www.cukr-listy.cz/on_line/2016/PDF/303-307.pdf)

- [12] KLOBOUČEK, Jan. *Snímače v průmyslu*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-828-1
- [13] KRÁLOVÁ, Magdaléna. *Infračervené záření*. Techmania Science Center: EDUPORTÁL [online]. Plzeň, 2007 [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz>
- [14] LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia*. 5., přepracované vydání. Praha: Prometheus, 2015. ISBN 978-80-7196-444-5. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/wuid/wuid:48926840-02ff-11e7-8830-005056827e51>
- [15] *HTML Definition*. In: *Tech Terms* [online]. 2015 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://techterms.com/definition/html>
- [16] LUKÁŠ, Luděk. *Bezpečnostní technologie, systémy a management I.: Teorie a praxe ochrany majetku a fyzické bezpečnosti*. Zlín: VeRBuM, 2011. ISBN 978-80-87500-05-7.
- [17] MICHALEC, Libor. *PIR detektor: skvělý sluha, ale zlý pán*. *Vyvoj.hw.cz: profesionální elektronika* [online]. 2013 [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/automatizace/pir-cidlo-skvely-sluha-ale-zly-pan.html>
- [18] MOORE, Lindsay. *MySQL*. In: *TechTarget* [online]. [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/searchoracle/definition/MySQL>
- [19] MUSTAPHA, Baharuddin, Aladin ZAYEGH a Rezaul K. BEGG. *Ultrasonic and Infrared Sensors Performance in a Wireless Obstacle Detection System*. 2013 1st International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation. 2013, , 487-492. Dostupné z: doi:10.1109/AIMS.2013.89
- [20] NGUYEN, Duc Thanh, Wangqing LI a Philip O. OGUNBONA. *Human detection from images and video: A survey*. *Pattern Recognition*. 2016, (51), 148-175. Dostupné z: doi:10.1016/j.patcog.2015.08.027
- [21] ÖZCAN, Mustafa, Fuad ALIEW a Haluk GÖRGÜN. *Accurate and precise distance estimation for noisy IR sensor readings contaminated by outliers*. *Gezce Technical University, Electronic Engineering Department, Turkey: Elsevier*, 2020. Dostupné z: doi:10.1016/j.measurement.2020.107633
- [22] PENHAKER, Marek a Jan KUBÍČEK. *Snímače a senzory v biomedicíně*. Opava: Slezská univerzita v Opavě, Filozoficko-přírodovědecká fakulta, Ústav fyziky, 2014. ISBN 978-80-7248-943-5

- [23] *Proč PHP*. In: Garth [online]. [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <http://www.garth.cz/uvod-do-php/proc-php/>
- [24] *Raspberry Pi Documentation: Raspberry Pi OS*. Raspberry Pi [online]. [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com>
- [25] *Raspberry Pi 3 Model B+*. Raspberry Pi [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/>
- [26] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Fresnelova čočka*. Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2021-11-24]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com>
- [27] RIPKA, Pavel. *Senzory a převodníky*. 2. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04696-8
- [28] SANJOJ, C.S., N. VIJAYARAJ a D. RAJALAKSHMI. *Vision approach of human detection and tracking using focus tracing analysis*. 2013 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES). 2013. Chennai, India, 2013, 64-68. ISBN 978-1-4673-5788-3. Dostupné z: [doi:10.1109/ICICES.2013.6508394](https://doi.org/10.1109/ICICES.2013.6508394)
- [29] SHOKEEN, Monty. *What is JavaScript?*. Envato-tuts+ [online]. 2021 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://code.tutsplus.com/cs/tutorials/what-is-javascript-cms-26177>
- [30] *Stručný popis sběrnice I2C a její praktické využití k připojení externí eeprom 24LC256 k mikrokontroléru PIC16F877*. Vyroj.hw.cz: profesionální elektronika [online]. 2000, 20.5. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/>
- [31] *Tepelné záření*. W-TECHNIKA: GROUP s.r.o. [online]. [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz>
- [32] TIŠNOVSKÝ, Pavel. *Komunikace po sériové sběrnici I2C*. Root.cz [online]. 2009, 8.1. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.root.cz/>
- [33] *Úvod do JSON: JSON* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.json.org/json-cz.html>
- [34] VAVŘIČKA, Roman. *Bezkontaktní způsoby měření teploty*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2013. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 978-80-02-02515-3
- [35] *Welcome to Raspbian*. Raspbian [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.raspbian.org>

- [36] *What is PHP?. Write your first PHP Program. In: Guru 99 [online]. [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.guru99.com/what-is-php-first-php-program.html>*
- [37] *What is a Raspberry Pi? Opensource [online]. United States [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://opensource.com/>*
- [38] *What is a Raspberry Pi? Raspberry Pi [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/>*
- [39] *YUN, Jaeseok a Min-Hwan SONG. Detecting Direction of Movement Using Pyroelectric Infrared Sensors. IEEE Sensors Journal. 2014, 14, 1482 - 1489. Dostupné z: doi:10.1109/JSEN.2013.2296601*
- [40] *Základy pyrometrie. DOCPLAYER [online]. [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/9987237-Zaklady-pyrometrie-pyrometrie-bezkontaktni-mereni-teploty-0-4-um-25-um-40-0-c-10-000-0-c.html>*
- [41] *Zákony tepelného záření absolutně černého tělesa: Kvantová fyzika [online]. [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: [http://homel.usb.cz/jan85/fs/fyzika\\_2/11\\_KVANTOVA\\_FYZIKA.pdf](http://homel.usb.cz/jan85/fs/fyzika_2/11_KVANTOVA_FYZIKA.pdf)*



# Seznam příloh

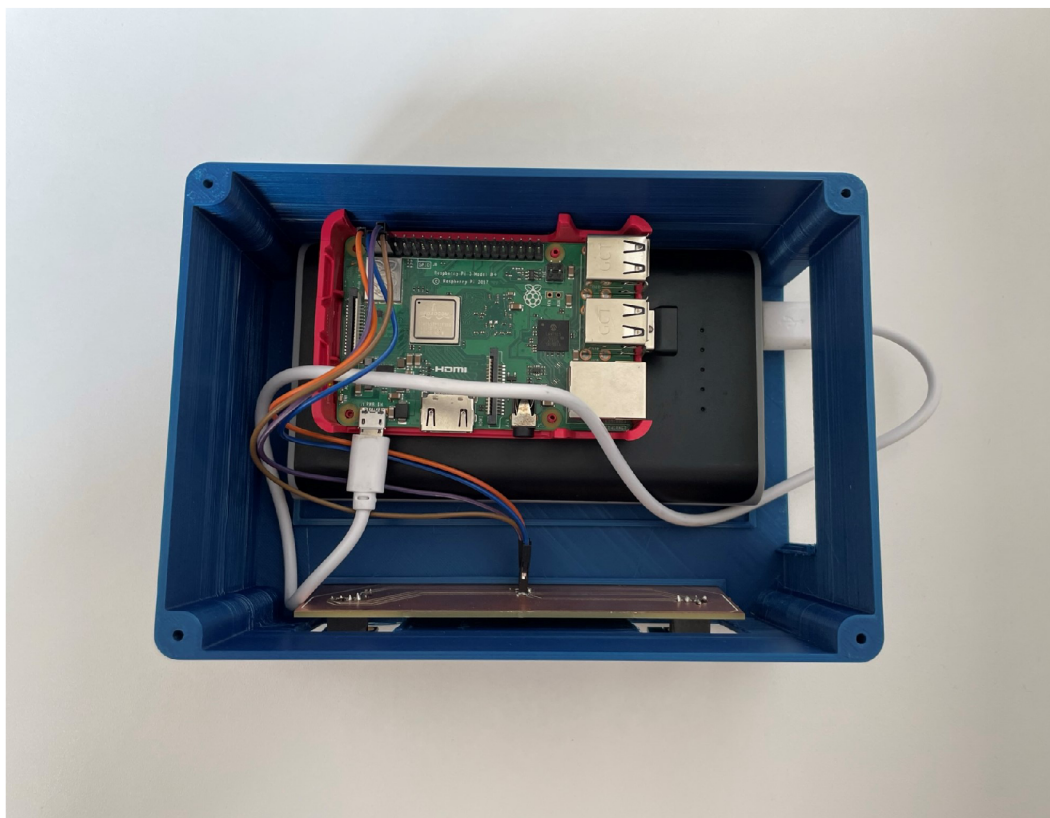
A Fotodokumentace detekčního systému	54
B Zdrojové kódy	57

## A Fotodokumentace detekčního systému

Detekční systém je umístěn ve vytisknuté krabici na 3D tiskárně na VUT v Brně (obr.A.1). Úložný prostor pro elektroniku lze vidět na obrázku A.2 a boční otvor na kabeláž na obrázku A.3.



Obr. A.1: Krabička s detekčním systémem



Obr. A.2: Tělo krabičky s uloženou elektronikou



Obr. A.3: Tělo krabičky - otvor na kabeláž

## **B Zdrojové kódy**

Součástí této diplomové práce je Zip soubor, který obsahuje čtyři zdrojové kódy. Hlavním kódem je Python skript, vytvořený pomocí programového prostředí Thonny. Další tři kódy mají příponu .php a jsou hlavními soubory při vytváření webové aplikace.