



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

**ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ**

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

**BEZKONTAKTNÍ ZAŘÍZENÍ PRO MULTISPEKTRÁLNÍ  
SNÍMÁNÍ RUKOU**

CONTACTLESS DEVICE FOR MULTISPECTRAL HAND SCANNING

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**MAREK HLAVAČKA**

**VEDOUČÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. MARTIN SAKIN**

BRNO 2021

## Zadání bakalářské práce



Student: **Hlavačka Marek**  
Program: Informační technologie  
Název: **Bezkontaktní zařízení pro multispektrální snímání rukou**  
**Contactless Device for Multispectral Hand Scanning**  
Kategorie: Vestavěné systémy

### Zadání:

1. Prostudujte vlastnosti lidské kůže na prstech a dlani. Zaměřte se na optické vlastnosti kůže ve vztahu k různým vlnovým délkám.
2. Navrhněte zařízení, které bezkontaktně nasníma ruce pod různými vlnovými délkami.
3. Sestrojte navržené zařízení schopné samočinně snímat ruce a ukládat informace snímaného prostředí (metadata).
4. Nasnímejte databázi rukou minimálně 20 osob.
5. Zhodnoťte kvalitu nasnímané databáze a diskutujte další možné pokračování této práce.

### Literatura:

- Ying Hao, Zhenan Sun, Tieniu Tan and Chao Ren, "Multispectral palm image fusion for accurate contact-free palmprint recognition," *2008 15th IEEE International Conference on Image Processing*, San Diego, CA, 2008, pp. 281-284, doi: 10.1109/ICIP.2008.4711746.
- Kanjar De, V. Masilamani, "Image Sharpness Measure for Blurred Images in Frequency Domain", *Procedia Engineering*, Volume 64, 2013, Pages 149-158, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.09.086>.
- M. Maheswari, S. Ancy and G. R. Suresh, "Selecting best spectrum using multispectral palm texture," *2013 International Conference on Recent Trends in Information Technology (ICRTIT)*, Chennai, 2013, pp. 195-201, doi: 10.1109/ICRTIT.2013.6844204.
- Sandström, Marie, "Liveness Detection in Fingerprint Recognition Systems", LITH-ISY-EX-3557-2004, Linköping 2004.
- Nikolskaia, Kseniia & Ezhova, Nadezhda & Sinkov, Anton & Medvedev, Maksim, "Skin Detection Technique Based on HSV Color Model and SLIC Segmentation Method", 2018.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Splnění bodů 1 a 2.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Sakin Martin, Ing.**  
Vedoucí ústavu: Hanáček Petr, doc. Dr. Ing.  
Datum zadání: 1. listopadu 2020  
Datum odevzdání: 12. května 2021  
Datum schválení: 11. listopadu 2020

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývala návrhem a implementací bezkontaktního zařízení pro multispektrální snímání rukou. První část se zaměřovala na potřebné znalosti biometrie, vlastností lidské kůže a elektromagnetického záření. Při návrhu práce byl kladen důraz na pohodlí uživatele i kvalitu zpracování. Bylo vytvořeno modifikovatelné řešení snímající jak viditelné světlo, tak blízké infračervené záření. V rámci práce byla vytvořena databáze rukou 21 různých osob o velikosti 400 snímků.

## Abstract

This bachelor thesis concerned to design and implementation of a contactless device for multispectral hand scanning. The first part was focused on the necessary knowledge of biometrics, properties of human skin and electromagnetic radiation. When designing the work, emphasis was placed on user comfort and quality of processing. A modifiable solution sensing both visible light and near infrared radiation has been developed. As part of the work, a database of hands of 21 different people was created with a size of 400 images.

## Klíčová slova

Biometrie, vlnová délka, snímání rukou, kůže, elektromagnetické záření, viditelné světlo.

## Keywords

Biometrics, wavelength, hand scanning, skin, electromagnetic radiation, visible light.

## Citace

HLAVAČKA, Marek. *Bezkontaktní zařízení pro multispektrální snímání rukou*. Brno, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Sakin

# Bezkontaktní zařízení pro multispektrální snímání rukou

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Martina Sakina. Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....

Marek Hlavačka

11. května 2021

## Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Martinovi Sakinovi za vedení mé bakalářské práce, cenné rady a odborný dohled. Dále bych rád poděkoval rodině a přátelům, kteří se podíleli na vytvoření snímků do databáze.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Biometrie</b>	<b>4</b>
2.1	Biometrický systém . . . . .	4
2.2	Identita, verifikace a identifikace . . . . .	5
2.3	Kvalita biometrických systémů . . . . .	6
2.4	Metody pro snímání prstů a ruky . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Struktura Kůže</b>	<b>12</b>
3.1	Kůže (derma) . . . . .	12
3.1.1	Pokožka . . . . .	13
3.1.2	Škára . . . . .	14
3.1.3	Podkožní vazivo . . . . .	14
3.2	Kožní lišty (cristae cutis) . . . . .	14
3.3	Kožní onemocnění . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Elektromagnetické záření</b>	<b>16</b>
4.1	Rádiové vlny . . . . .	17
4.2	Infračervené záření . . . . .	17
4.3	Viditelné Světlo . . . . .	18
4.4	Ultrafialové záření . . . . .	19
4.5	Rentgenové záření . . . . .	20
4.6	Gama záření . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Návrh</b>	<b>22</b>
5.1	Návrh zařízení . . . . .	22
5.2	Pozadí snímků . . . . .	25
5.2.1	Volba vhodného materiálu . . . . .	26
5.2.2	Úprava parametrů kamery . . . . .	26
5.3	Využívané technologie . . . . .	28
<b>6</b>	<b>Implementace</b>	<b>30</b>
6.1	Sestavení zařízení . . . . .	30
6.1.1	Prototypy . . . . .	30
6.1.2	Finální verze zařízení . . . . .	32
6.2	Algoritmus snímání . . . . .	34
6.3	Tvorba metadat . . . . .	35
6.4	Samočinné snímání . . . . .	35

6.5 Ukládání snímků . . . . .	36
<b>7 Popis a zhodnocení databáze</b>	<b>37</b>
7.1 Popis databáze . . . . .	37
7.2 Zhodnocení databáze . . . . .	39
<b>8 Závěr</b>	<b>41</b>
<b>Literatura</b>	<b>42</b>
<b>A Obsah paměťového media</b>	<b>46</b>
<b>B Výpis použitých součástek</b>	<b>47</b>
<b>C Schéma zapojení</b>	<b>48</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Biometrie se pomalu stává každodenní součástí našich životů. S jejím využitím se potkáváme, aniž bychom si to mnohdy vůbec uvědomovali. V dnešní době již téměř každý „chytrý telefon“ disponuje čtečkou otisku prstů a stále častěji i se systémem na rozpoznání obličeje. S biometrickými systémy se také čím dál častěji setkáváme ve firemním prostředí, ať už se jedná o docházkové systémy či zabezpečovací systémy.

Biometrické vlastnosti a jejich použití jsou známy již delší dobu, ať už se jedná o rozpoznání osob podle hlasu, obličeje, způsobu chůze nebo otisku prstů. Tyto vlastnosti se označují jako biometrické vlastnosti osob, které se zaznamenávají a zpracovávají.

S rozšířením těchto systémů se také začíná zvyšovat počet útočníků, kteří by chtěli systém obejít. Dnes jsou ovšem tyto systémy často postaveny na multispektrální technologii, která na základě detekce živosti dokáže systém ochránit před falzifikací biometrických vlastností a následným prolomením systémů.

Multispektrální snímání rukou je proces, při kterém dochází k vytvoření snímků rukou osvětlených různými vlnovými délkami. Tyto snímky se následně využívají k dalšímu zpracování v oblasti biometrie, například detekce živosti ruky či prstů.

Cílem práce bylo sestavení zařízení pro bezkontaktní a samočinné snímání rukou pod různými vlnovými délkami elektromagnetického záření. Toto zařízení bylo následně využito pro vytvoření databáze snímků využívanou pro další výzkum.

Tato práce je rozdělena do osmi kapitol. Kapitola 2 se zaměřuje na stručný popis základů biometrie, hodnocení kvality jejích systémů a metody zaměřené na ruce využívané pro rozpoznávání osob na základě různých charakteristik od otisků prstů až po dynamiku stisku klávesy. Kapitola 3 popisuje jednotlivé vrstvy lidské kůže a vliv elektromagnetického záření na každou z nich. Další část této kapitoly je zaměřena na popis kožních lišt a kožních onemocnění negativně ovlivňující kvalitu snímků z důvodu snižování počtu biometrických charakteristik na rukách. Kapitola 4 pojednává o elektromagnetickém záření. Nejprve je popsáno jeho složení a následně je charakterizováno dělení podle rozsahu vlnových délek, kdy každá část obsahuje popis základních vlastností a využití.

Kapitola 5 obsahuje základní popis zařízení a požadavky na něj, dále popisuje výběr vhodných součástí využívaných při sestavení a následně hlavní technologie využívané pro implementaci zařízení. Kapitola 6 se zabývá detailním popisem zapojení všech součástí zařízení a popisu implementovaného algoritmu. Kapitola 7 je zaměřena na tvorbu databáze snímků a jejich zhodnocení. Na závěr je shrnuta celá práce, její výsledky a možné pokračování.

## Kapitola 2

# Biometrie

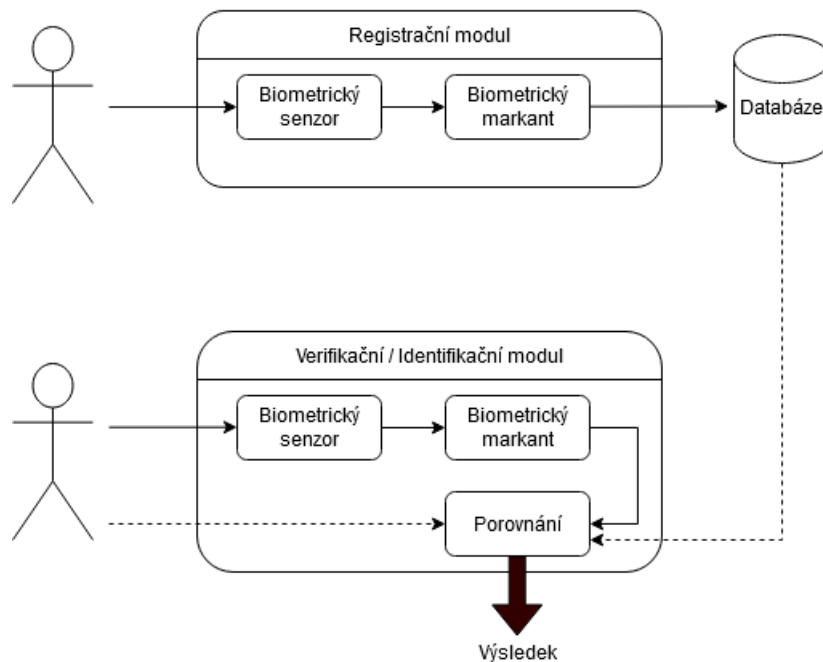
V informačních technologiích je biometrie vědní obor zabývající se stanovením identity jednotlivce na základě jeho charakteristických anatomických rysů (např. rozpoznání otisku prstů, obličeje, duhovky, žilních vzorů) a charakteristického chování (např. rozpoznání hlasu, podpisu nebo dynamika stisku kláves). V moderní společnosti je biometrie posílena potřebou velkých systémů na správu identit, kdy je funkčnost závislá na přesném stanovení identity jednotlivce. Zajišťuje tedy větší bezpečnost oproti tradičním metodám zjišťování identity osoby, jako jsou mechanismy založené na znalostech (např. hesla) nebo průkazy totožnosti. Příkladem využití může být provádění vzdálené finanční transakce, nástup na komerční let nebo udělení přístupu k jaderným zbraním. [22, 34]

### 2.1 Biometrický systém

Obvykle se skládá ze dvou modulů, registračního a verifikačního/identifikačního. Oba moduly obsahují biometrický senzor sloužící k získání biometrických informací, které následně převádí do digitální podoby. Dále se v obou modulech nachází extrahované rysy z biometrických informací ze vstupu tzv. „biometrické markanty“. [12]

- **Registrační modul** – slouží pro registraci uživatele do systému. Biometrický senzor získává biometrický markant, který je následně uložen do databáze. [12]
- **Verifikační / identifikační modul** – biometrický senzor získá biometrický markant, následně podle druhu modelu (verifikační/identifikační) je získaný markant porovnáván s databází. [12]





Obrázek 2.1: Zjednodušené schéma biometrického systému [12]

Biometrické vlastnosti se dělí do dvou kategorií: anatomické vlastnosti a dynamické vlastnosti. **Anatomické vlastnosti** nejsou lehce ovlivnitelné, proto se metoda analyzující tyto vlastnosti nazývá jako statická. Jeden pevný rys anatomické vlastnosti je jednou biometrickou vlastností, do této kategorie se řadí: otisk prstu, geometrie ruky, dlaň či DNA. Na druhou stranu **dynamické vlastnosti** se spojují s akcí uživatele, což způsobuje lehkou ovlivnitelnost a často dochází k vytvoření odlišné sady biometrických vzorků při snímání určité biometrické vlastnosti. Jako dynamické vlastnosti se označují: hlas, pohyby rtů, chůze nebo dynamika stisku kláves. Podle biometrických vlastností se také rozlišují biometrické systémy na: [12]

- **Unimodální** – systémy pracující pouze s jednou biometrickou vlastností, což může vést k nižší spolehlivosti. Unimodální biometrické systémy jsou v praxi více využívány, především z důvodu cenové dostupnosti a rychlosti systému. [12]
- **Multimodální** – systémy využívají více biometrických vlastností (rozpoznání obličeje zároveň s rozpoznáním duhovky) nebo více příznaků jedné biometrické vlastnosti (statické a dynamické vlastnosti podpisu), čímž je zajištěna vyšší bezpečnost. Avšak náklady na tato zařízení jsou značně vyšší. [12]

## 2.2 Identita, verifikace a identifikace

Biometrický systém může pracovat v režimu verifikace nebo identifikace. Častokrát dochází k záměně těchto dvou základních pojmů. [7]

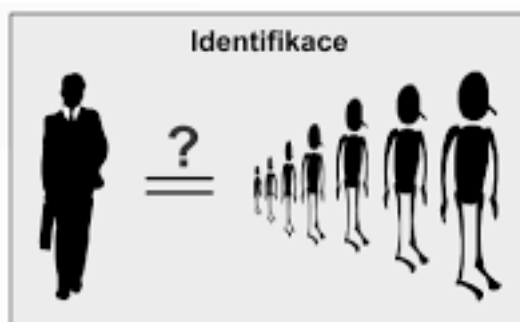
- **Verifikace** – systém vyhledá šablonu v databázi na základě elektronické identity osoby (např. PIN kódu, uživatelského jména nebo čipové karty), není-li šablona nalezena, dochází k zamítnutí uživatele, je-li nalezena, dochází následně k porovnání

vyhledané šablony s biometrickými charakteristikami jednotlivce. Jedná se tedy o porovnání 1:1, neboť se porovnávají jedny vstupní data s jedněmi daty z databáze. Na obrázku 2.2 je vidět grafické znázornění verifikace uživatele v biometrickém systému. [12, 22]



Obrázek 2.2: Verifikace uživatele v biometrickém systému [15]

- **Identifikace** – systém rozpozná jednotlivce prohledáním šablon všech uživatelů v databázi. Dochází tedy k porovnání 1:N za účelem zjištění identity jednotlivce, bez požadování jeho identity. Grafické znázornění identifikace uživatele v biometrickém systému je zobrazeno na obrázku 2.3. Systém založený na identifikaci je pro uživatele více přívětivý, avšak jedná se o časově i výpočetně náročnější proces u rozsáhlých systémů, neboť dochází k prohledání všech šablon v databázi. [22, 7, 12]



Obrázek 2.3: Identifikace uživatele v biometrickém systému [15]

- **Identita** – jedná se o jednoznačnou charakteristiku každé osoby. Identita se rozlišuje na fyzickou a elektronickou. Fyzická identita je definována na základě vzhledu a chování, tudíž by neměla existovat žádná osoba se stejnou identitou. Elektronických identit si ovšem můžeme vytvořit kolik chceme. [12]

## 2.3 Kvalita biometrických systémů

Hodnotit kvalitu biometrických systémů lze podle řady chybových měř: [12]

- **Míra chybného přijetí (False acceptance rate, FAR)** – udává pravděpodobnost selhání biometrického systému při klasifikaci dvou odlišných biometrických vzorů, kdy

neoprávněná osoba je přijata jako oprávněná. Dochází tedy k přijetí možného útočníka. Označuje se jako chyba II. kategorie. Míru chybného přijetí můžeme vypočítat pomocí vzorce: [12, 39]

$$\mathbf{FAR} = \frac{\text{Počet shodných porovnáání rozdílných vzorů}}{\text{Celkový počet porovnáání rozdílných vzorů}}$$

- **Míra chybného odmítnutí (False rejection rate, FRR)** – Jedná se o pravděpodobnost, kdy dva biometrické vzory od stejné osoby jsou systémem klasifikovány jako rozdílné, což způsobí selhání při přijetí oprávněného uživatele. Bývá nazývána chybou I. kategorie. Její výpočet je možné provést následujícím vzorcem: [12, 39]

$$\mathbf{FRR} = \frac{\text{Počet porovnáání vzorů osoby A vedoucí k neshodě}}{\text{Celkový počet porovnáání vzorů osoby A}}$$

- **Míra chybné shody (False matche rate, FMR)** – udává podíl neoprávněných osob, které jsou během srovnávacího procesu systémem nesprávně vyhodnoceny jako oprávněné. Na rozdíl od FAR nezapočítává snímky odmítnuté před samotným porovnáním, například kvůli špatné kvalitě snímaného obrazu. [12, 39]
- **Míra chybné neshody (False non-match rate, FNMR)** – jedná se o podíl oprávněných osob, které jsou během srovnávacího procesu vyhodnoceny systémem nesprávně jako neoprávněné. V porovnání s FRR nejsou brány v potaz pokusy nepřijaté před porovnáním kupříkladu snímky špatné kvality. [12, 39]
- **Míra neschopnosti nasnímat (Failure to acquire, FTA)** – vyjadřuje podíl chybných záznamů snímacího zařízení. U zaznamenaného snímku je biometrická charakteristika sice přítomna, přesto dochází k jejímu odmítnutí. Čím nižší hodnotě odpovídá, tím je senzor spolehlivější pro zaznamenání dané biometrické charakteristiky. Hodnotí tedy kvalitu senzoru. Výpočet lze provést vzorcem: [12, 39]

$$\mathbf{FTA} = \frac{\text{Celkový počet pokusů o nasnímání}}{\text{Počet nepodařených pokusů}}$$

- **Míra neschopnosti zaregistrovat (Failure to enroll, FTE)** – udává procentuální počet osob, u kterých nebyl systém schopen se je naučit. Často se využívá u systémů s kontrolou kvality biometrických charakteristik, tudíž můžeme **FTE** brát jako údaj schopnosti pracovat s méně kvalitními vzory. Pro výpočet slouží vzorec: [12, 39]

$$\mathbf{FTE} = \frac{\text{Počet nepodařených pokusů}}{\text{Celkový počet pokusů o nasnímání}}$$

- **Míra neschopnosti porovnat (Failure to match, FTM)** – míra vyjadřující procentuální podíl biometrických charakteristik, jež nemohly být zpracovány, či porovnány se šablonou. Lze tedy říct, že míra slouží k poukázání na neschopnost systému udělat rozhodnutí. Vypočítat lze následujícím vztahem: [12, 39]

$$\mathbf{FTM} = \frac{\text{Porovnáání bez výsledku}}{\text{Celkový počet pokusů}}$$

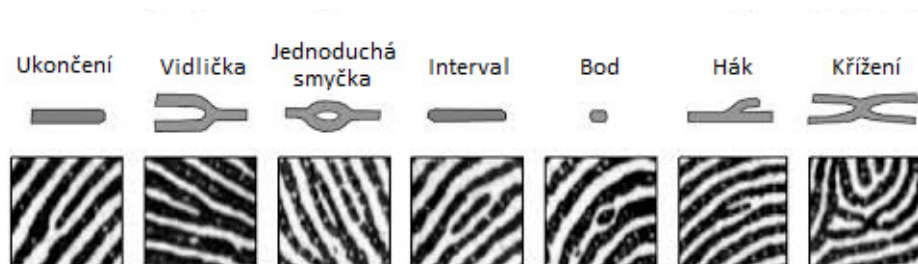
## 2.4 Metody pro snímání prstů a ruky

Lidská ruka obsahuje množství jedinečných a zároveň měřitelných charakteristik, které se dají využít v biometrii k rozpoznávání. Nejvyužívanější charakteristiky budou rozebrány v následující podkapitole. Jedná se například o otisk prstu, geometrii ruky a tvar kožního lůžka.

### Rozpoznání podle otisku prstu

Otisk prstu je jedna z neznámějších a nejstarších charakteristik. Začíná se vyvíjet ve stadiu plodu, přičemž již v jeho sedmém měsíci jsou plně vyvinuty. Po zbytek života se nemění, avšak mohou být ovlivněny poraněním nebo kožním onemocněním, které je více popsáno v podkapitole 3.2. V dnešní době se otisk prstů využívá především v oblastech zabezpečení a při forenzní metodě. [34]

Otisk je rozlišován na základě útvarů tvořených papilárními liniemi nazývanými markanty. Základními markanty v přístupových systémech jsou ukončení a vidlička. Společně s dalšími typy markantů je můžeme vidět na obrázku 2.4. Pro jejich rozpoznání se využívají následující technologie: optická, kapacitní, ultrazvuková, elektrooptická, tlaková a termická. [12, 7]



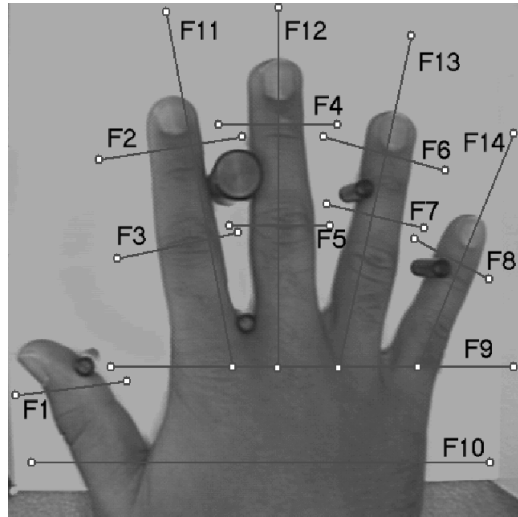
Obrázek 2.4: Základní typy markantů [29]

### Rozpoznání geometrie ruky

Zakládá se na tvrzení jedinečnosti lidské ruky. Pro charakteristiku ruky a následné rozlišení jedince se využívá délka, šířka, výška, zakřivení a lokální anomálie prstů. [12]

Skener snímající geometrii ruky využívá CCD (Charge-coupled device) kameru, infračervené diody, zrcátka s reflektory k zachycení černobílého obrazu ruky a distanční sloupky sloužící pro optimální polohu ruky a prstů. Na obrázku 2.5 můžeme vidět ruku na podložce s distančními kolíky. Registrace probíhá opakovaným přiložením ruky na určenou plochu, následně se provede zprůměrování snímků a uložení do šablony. Verifikace poté probíhá ověřením identity a opětovným položením ruky na určenou plochu. [12, 37]

Výhodou tohoto systému je ignorování povrchových detailů, kterými jsou otisky prstů, jizvy a barva kůže. Avšak nevýhodou této metody je nevhodnost využití u dětí, neboť se nachází v období růstu (spolehlivě od věku 8 let). Dalším problémem může být omezená obratnost způsobená například revmatoidní artritidou, jejíž rentgenový snímek můžeme vidět na obrázku 4.3, nebo použití šperků snižující kvalitu rozpoznání, což způsobuje chybné zamítnutí jedince. [34, 12, 37]

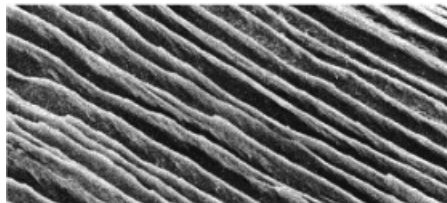


Obrázek 2.5: Příklad snímku ruky na podložce s distančními kolíky [37]

### Rozpoznání podle nehtů

Na povrchu každého nehtu vznikají jedinečné čárové nerovnosti kopírující lůžka nehtů zůstávající konstantní po celý život. Mezi lůžkem a nehtem nalezneme přírodní polymer zvaný keratin, který mění orientaci dopadajícího polarizovaného světla. Nasvítíme-li nehet polarizovaným světlem pod správným úhlem, můžeme analyzovat fázové změny paprsku po odrazu. Výsledkem bude reprezentace lůžka nehtu připomínající „čárový kód“. [12, 7]

Nehty je možné také využít k přechodné biometrii a především nehtové destičky, které se v průběhu času mění vlivem jejich růstu. [2]



Obrázek 2.6: Povrch nehtu pod mikroskopem [12]

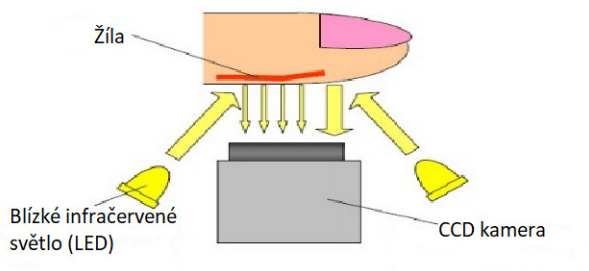
### Rozpoznání podle žil

Tato Technologie se zakládá na křižujících vzorcích žil pod povrchem lidské kůže. Tyto vzorce jsou jedinečné pro každou osobu i prst a zůstávají totožné i v dospělosti. Ukrytí žil uvnitř těla způsobuje nízké riziko padělání. [20]

Z důvodu ukrytí žil pod kůží není možné je pozorovat viditelným světlem. Je tedy potřeba využít blízkého infračerveného záření 4.2 o vlnových délkách 700–1000 nm a snímače citlivé pro tuto vlnovou délku. Infračervené světlo je schopno procházet tkáněmi, avšak hemoglobin obsažený v krvi toto světlo blokuje, což způsobuje tmavé zbarvení žil na snímcích. V závislosti na umístění zdroje blízkého infračerveného záření rozlišujeme tři metody. [20]

- **Reflexivní** – světelný zdroj i obrazový snímač jsou umístěny na stejné straně zařízení, čehož si lze všimnout na obrázku 2.7. Toto umístění umožňuje sestavit menší zařízení

než v případě transmisivní metody. Prst uživatele se umísťuje proti zařízení. Obraz vzoru žil je tvořen rozdíly v intenzitě odraženého světla způsobeného pohlcováním světla žilami. Prst osvětlený touto metodou je k vidění na obrázku 2.8. [20]

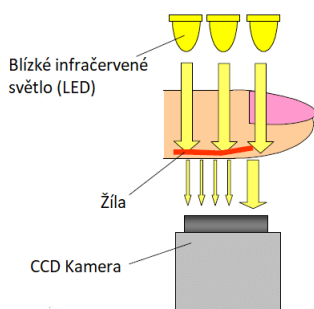


Obrázek 2.7: Zařízení s reflexivním osvětlením prstu [20]

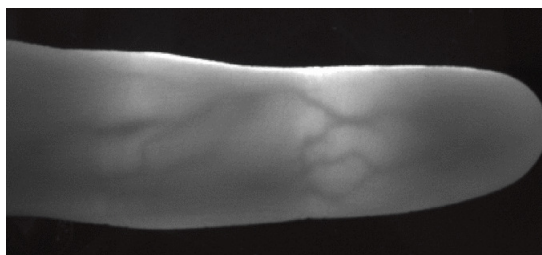


Obrázek 2.8: Reflexivně osvětlený prst [20]

- **Transmisivní** – prst je umístěn mezi světelný zdroj a snímač. Znázornění tohoto systému je vidět na obrázku 2.9. To má vliv na velikost zařízení a občas může pro uživatele působit nekomfortně. Na druhou stranu tato metoda zajišťuje vysoký kontrast žil na snímku a je schopna eliminovat odraz vlivem přenosu světla z opačné strany prstu. Kontrast žil obou metod je k porovnání na snímcích 2.10 a 2.8. [20]

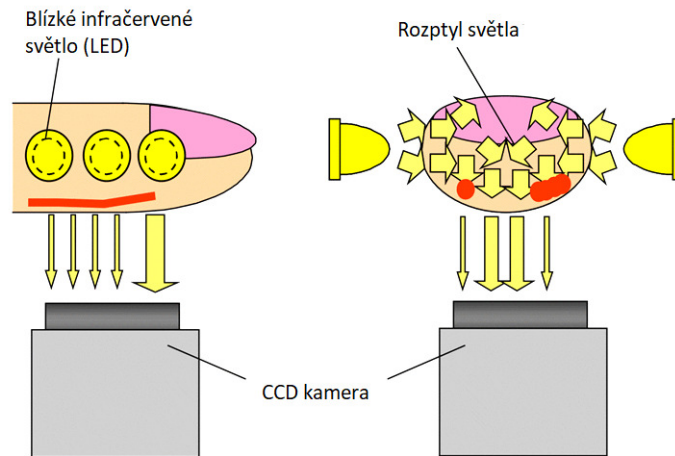


Obrázek 2.9: Zařízení s transmisivním osvětlením prstu [20]



Obrázek 2.10: Transmisivně osvětlený prst [20]

- **S bočním osvětlením** – světelné zdroje jsou umístěny po obou stranách prstu, zatímco obrazový senzor je umístěn na spodní straně. Umístění lze vidět na obrázku 2.11. Infračervené světlo prosvítá po stranách prstu, následně je rozptylováno uvnitř a nakonec prochází druhou stranou prstu, kde je detekováno obrazovým snímačem. Metoda poskytuje vysoký kontrast obrazu a snadné umístění prstu. [20]



Obrázek 2.11: Zařízení s bočním osvětlením [20]

## Rozpoznávání podle dynamiky stisku kláves

Jedná se o proces analyzující způsob psaní uživatele na klávesnici založený na identifikování přirozeného rytmu psaní. Rytmus psaní je ovlivňován neurofyzilogickými faktory, které jsou pro každou osobu jiné a tím vzniká jednoznačná šablona psaného vzoru každé osoby. K popisu vzoru psaní uživatele jsou používány následující rysy: časové prodlevy mezi úspěšnými stisky kláves, délka trvání každého stisku, poloha prstu na klávese, tlak aplikovaný na klávesu a celková rychlost psaní.

Mezi výhody této metody spadá neinvazivnost spojená s dobrou přijatelností pro uživatele, který nepotřebuje žádný přídavný hardware. Avšak metoda je velmi citlivá na změnu fyzického či psychického stavu uživatele nebo okolí, což způsobuje vysokou míru chybovosti FRR. [12]

## Kapitola 3

# Struktura Kůže

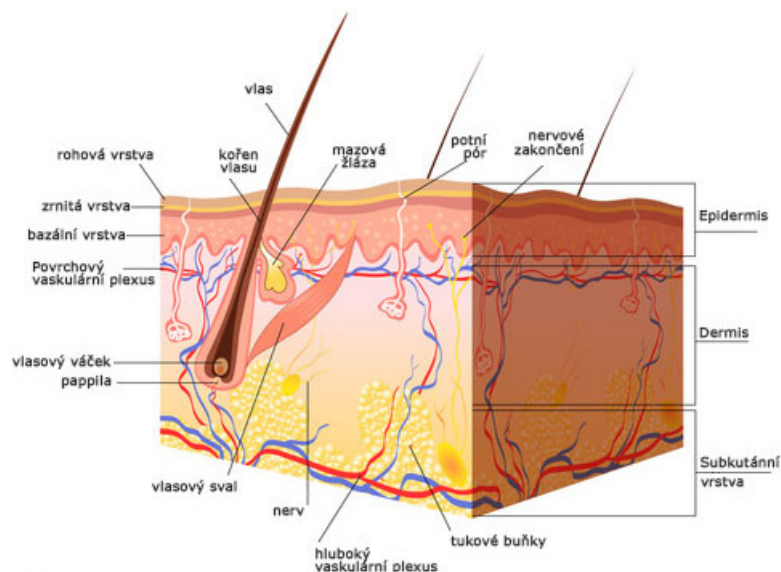
V této kapitole byly rozebrány základní poznatky o lidské kůži. První část se zaměřovala na základní vrstvy kůže, složení jednotlivých vrstev a vlivu světla na ně. V další části byly popsány základní charakteristiky kožních lišt. Poslední část se zabývala onemocněním, které ovlivňuje kožní soustavu a mohlo by mít negativní vliv na snímky při snímání rukou.

### 3.1 Kůže (derma)

Kůže je největší orgán lidského těla tvořící jeho ochranný obal. Plošný rozsah měří podle velikosti těla 1,5–2 m<sup>2</sup>, což tvoří 5–9 % tělesné hmotnosti. Její tloušťka se pohybuje v rozmezí 1–4 mm. Nejsilnější část kůže se nachází na dlaních a chodidlech, poněvadž se jedná o místa vystavovaná největšímu tlaku, což může způsobovat tzv. „mozoly“. Na druhou stranu nejtenčí a nejjemnější kůži nalezneme na očních víčkách. Kůže se dělí do tří základních vrstev, jejich rozložení můžeme vidět v řezu lidskou kůží na obrázku 3.1.

- Pokožka (epidermis),
- škára (dermis, corium),
- podkožní vazivo (stratum subcutaneum). [19, 5]





Obrázek 3.1: Řez lidskou kůží a její vrstvy [35]

### 3.1.1 Pokožka

Povrchová vrstva kůže, která je tvořena mnohvrstevným dlaždicovým epitelem. Její tloušťka se pohybuje v průměru mezi 0,3–1,5 mm. Pokožka se sestává z pěti vrstev: bazální, ostnitou, zrnitou, lesklou a rohovou (stratum corneum). V rohové vrstvě dochází k rohovatění buněk. Jedná se o proces, při němž buňky směrem k povrchu rohovatí a odlupují se. Ztracené buňky se obnovují mitotickým dělením v zárodečné vrstvě. Do pokožky zasahují nervová vlákna, avšak nenachází se v ní obsáhle žádné cévy. Pokožka šíří a absorbuje světlo. Její absorpční vlastnosti pocházejí ve většině případů z přírodního chromoforu, melaninu. [9, 19, 5, 14]

Melanin dělíme na dva typy: feomelanin (žlutooranžový či zrzavý) a eumelanin (hnědočerný), který převažuje a má vliv na barvu kůže. Poměr v koncentraci těchto dvou melaninů se liší od jednotlivce k jednotlivci. Jejich absorpční spektra jsou široká s vyššími hodnotami pro kratší vlnové délky. [14]

- **Bazální vrstva (stratum basale)** – tvořena jednou vrstvou palisádovitě uspořádaných buněk keratinocytů a zrněk melaninu. Melanin je tvořen přibližně 5 % buněk, které se nazývají melatocyty. [9, 19, 5]
- **Ostnitá vrstva (stratum spinosum)** – spolu s bazální vrstvou tvoří zárodečnou vrstvu pokožky. Zajišťuje mechanickou odolnost kůže pomocí cytokeratinových filament. [9, 19, 5]
- **Zrnitá vrstva (stratum granulosum)** – skládá se z jedné a více vrstev plochých buněk. Vrstva chrání kůži před účinkem látek z okolí. [9, 19, 5]
- **Lesklá vrstva (stratum lucidum)** – vyskytuje se pouze u kůže tlustého typu. Skládá se ze souvislé vrstvy oploštělých buněk, které na sebe navazují. [9, 19, 5]
- **Rohová vrstva (stratum corneum)** – pohlcení světla v rohové vrstvě je nízké, přičemž množství procházejícího světla z viditelného spektra je rovnoměrné. [9, 19, 5]

### 3.1.2 Škára

Tvoří ji tuhé vazivo skládající se z plstovité sítě elastických a kolagenních vláken, která zajišťují pevnost, tažnost a pružnost kůže. Její tloušťka se pohybuje mezi 1–3 mm. Stejně jako v pokožce zde dochází k šíření a pohlcování světla. Nacházejí se zde vlasové folikuly, mazové žlázy, potní žlázy, sítě krevních cév, sítě mízních cév a nervová zakončení umožňující vnímat teplo, chlad, tlak či bolest. Její funkce spočívá v ochraně těla před vnějšími vlivy a dráždivými látkami. [9, 19, 5]

Škára se sestává ze dvou vrstev: povrchové a hluboké vrstvy. Povrchová vrstva (stratum papillare) je část tvořená převážně elastickými vlákny, které vybíhají směrem proti pokožce v podobě papil. Hluboká vrstva (stratum reticulare) je tvořena pomocí hustých pletení kolagenních a elastických vláken, které se nachází pod povrchovou vrstvou. [9, 19, 5]

Krevní buňky obsahují přírodní chromofor hemoglobin, který dodává krvi načervenalou barvu a pohlcuje světlo. Hemoglobin dělíme na dva typy oxyhemoglobin a deoxyhemoglobin, každý má mírně odlišná absorpční spektra. Ve škáře nalezneme další dva pigmenty přenášející se krví, bilirubin a  $\beta$ -karoten, které můžeme zpozorovat v rohové vrstvě pokožky. Tyto dva pigmenty se podílejí na olivovém nebo nažloutlém odstínu kůže. [9, 14]

### 3.1.3 Podkožní vazivo

Tvořeno řídkým kolagenním vazivem přecházejícím svými vlákny do škáry. Tloušťka se pohybuje v rozmezí 0,5–10 cm. Vrstva je charakterizována zanedbatelnou absorpcí světla ve viditelném spektru. Většina viditelného světla, které se do této tkáně dostává se odráží zpět do vyšších vrstev. [9, 19, 14]

V některých částech těla se podkožní tuk nenachází, například víčka u očí či hřbetu nosu. Podkožní vazivo obsahuje silnější cévy a nervy směřující svými větvemi do škáry. Uplatňuje se jako mechanický a tepelný izolátor hlubších vrstev těla. [9, 19]

## 3.2 Kožní lišty (cristae cutis)

Jedná se o lineární vyvýšeniny vytvořené na kůži dlaní, chodidel a na polštářcích prstů rukou a nohou, které tvoří jemné, dlouhé a souběžné řady odděleny od sebe rýhami. Hmatové lišty jsou dotykově velmi citlivé, neboť obsahují hmatové tělíska (Meissnerova). Jsou tvořeny složitými charakteristicky uspořádanými strukturami z kliček a obloučků (daktyloskopické obrazce), které jsou individuálně variabilní a po celý život neměnné. Využívají se při identifikaci osob (daktyloskopie). [9, 19]

## 3.3 Kožní onemocnění

Existuje mnoho kožních onemocnění ovlivňující kvalitu snímků rukou a prstů, což způsobuje zvýšení míry chyby snímání, registrace, či špatné rozhodnutí, tudíž dochází k zamítnutí oprávněného uživatele nebo chybnému povolení útočníka. Onemocnění lze rozdělit do tří podskupin podle konkrétního vlivu, které vykazují: histopatologické změny v oblasti pokožky a škáry, změny zbarvení kůže, histopatologické změny v oblasti mezi pokožkou a škárou, kde se nachází tvar papilárních linií. [13]

Napadlo-li onemocnění strukturu papilárních linií v pokožce a škáře, dochází k jejich nenávratnému poškození. To vede k růstu nových linií s jiným tvarem, nebo k jejich ztrátě,

přestože již prsty nenesou žádné příznaky kožního onemocnění. Poškození může také způsobit obtížnější nalezení markantů. [11]



Obrázek 3.2: Nepoškozený otisk prstu [21]



Obrázek 3.3: Poškozený otisk prstu hyperkeratotickým ekzémem [21]

Mezi onemocnění ovlivňující pokožku a škáru řadíme atopický ekzém, který můžeme vidět na obrázku 3.4, psoriáza (lupénka), dermatida ruky atd. [13]



Obrázek 3.4: Atopický ekzém na prstech ruky [13]

## Kapitola 4

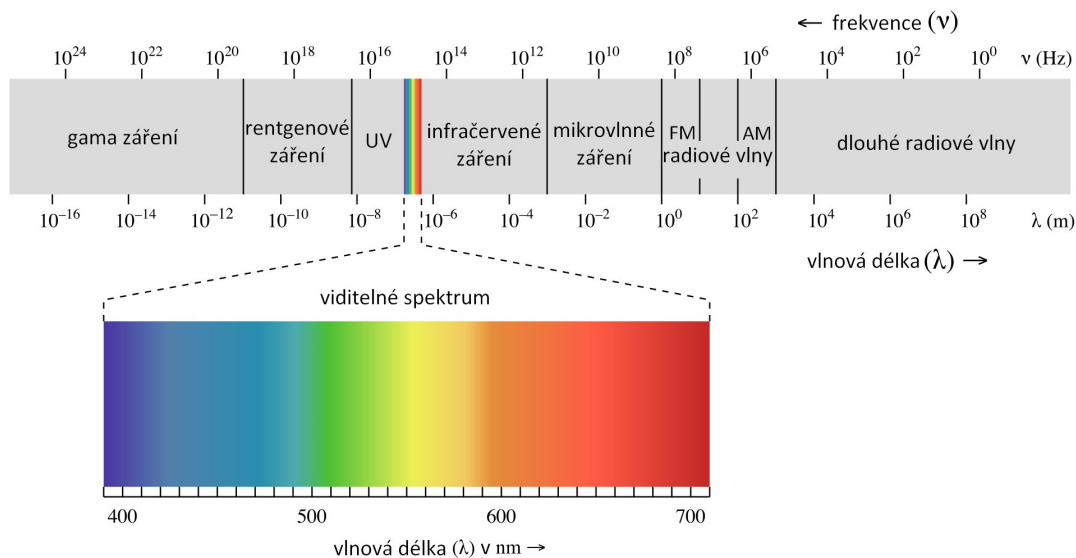
# Elektromagnetické záření

Elektromagnetické záření se nachází na všech místech okolo nás. Ať už se jedná o viditelné světlo vnímatelné lidským okem nebo jiné frekvence, které se mohou využívat například pro přenos dat, ultrafialové záření sloužící pro sterilizaci prostor či rentgenové a gama záření využívané v lékařství.

V této kapitole je nejprve stručně rozebráno složení a rozdělení elektromagnetického záření podle vlnové délky. Následně je každý druh elektromagnetického záření popsán.

Elektromagnetické záření se skládá ze dvou složek, elektrické a magnetické složky. Každá z nich je charakterizována vektorem. Tyto vektory jsou vzájemně kolmé. Přenos energie je společnou vlastností elektromagnetického záření. Jednotlivé druhy záření mezi sebou nemají pevnou hranici, tudíž rozsah záření v různých literaturách se může lišit. Elektromagnetické záření rozdělujeme podle vlnové délky: [32]

- rádiové vlny (od 1 mm),
- infračervené záření (760 nm–1 mm),
- viditelné světlo (390 nm–760 nm),
- ultrafialové záření (10nm–390 nm),
- rentgenové záření (1 pm–10 nm),
- gama záření (menší než 100 pm).



Obrázek 4.1: Elektromagnetické spektrum [28]

## 4.1 Rádiové vlny

Částí elektromagnetického záření jsou radiové vlny s vlnovými délkami od 1 mm. Dále je můžeme dělit na: dlouhé, střední, krátké a velmi krátké. Jejich zdrojem je otevřený oscilační obvod. Výhodou rádiových vln je jejich velký dosah. V dnešní době se využívají především v telekomunikaci. [25]

## 4.2 Infračervené záření

Účinky a průchodnost látkami je závislá na vlnové délce pohybující se v rozmezí od 760 nm do 1 mm. Tento rozsah je pro lidské oko neviditelný a nebezpečný. Důsledkem vibračních a rotačních energetických stavů molekul a atomů je záření emitováno molekulami látky nebo atomy. Infračervené záření můžeme dělit do tří pásem: blízké pásmo, střední pásmo a vzdálené pásmo. Přírodním zdrojem infračerveného záření je sluneční světlo.

Negativními účinky infračerveného záření mohou být zvýšená citlivost kůže k ultrafialovému záření 4.4, tepelnými účinky vyvolaný oční zákal, vznik tepelného erytému při pohlčení pokožkou. [6, 38]

### Blízké pásmo

Pásmo s největší energií pronikající nejhluběji do tkáně. Blízké pásmo odpovídá vlnové délce 0,76–1,4  $\mu\text{m}$ . Využívá se pro analýzu krve, tělesných tekutin nebo dálkové ovládání televizního přijímače. [6, 38, 4]

### Střední pásmo

Střední pásmo infračerveného záření se nachází na rozmezí 1,4–3  $\mu\text{m}$ . Dokáže proniknout sklem, ovšem je silně pohlcováno vodou, tudíž nepronikne až do podkoží. Jako zdroj se využívají různé typy žárovek a zářivek. [6, 38]

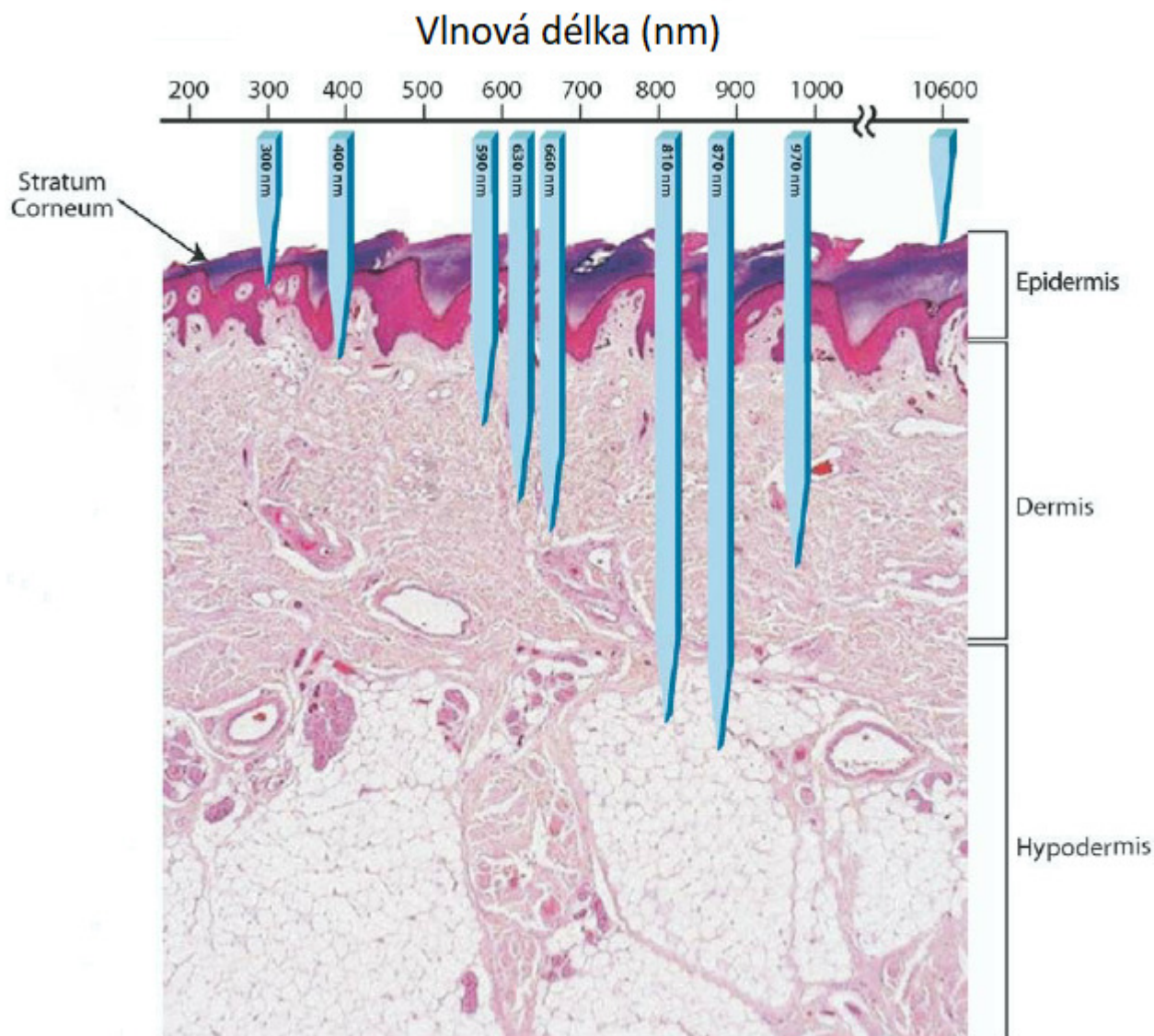
## Vzdálené pásmo

Záření vzdáleného pásma je větší než  $3\ \mu\text{m}$ . Je silně pohlcováno sklem a vodou, což vede k absorpci pokožkou, na rozdíl od blízkého pásma, které proniká až do podkoží. Zdrojem jsou topná tělesa. [6, 38]

## 4.3 Viditelné Světlo

Světlo je viditelnou součástí elektromagnetického záření, které leží v intervalu vlnových délek od 390–760 nm. Ze světelného zdroje je světlo šířeno vlnoplochami. Světlo o těchto vlnových délkách dopadem na fotoreceptory lidského oka (tyčinky a čípky) vyvoláváající zrakový vjem. Nejkratší vlnová délka náleží barvě fialové, kdežto nejdelší vlnová patří barvě červené, viz obrázek 4.1. [31]

Různé vlnové délky pronikají do různých vrstev kůže. Z obrázku 4.2 můžeme vidět, že vlnové délky na rozmezí ultrafialového záření a světla pronikají do pokožky. Vlnové délky ve středu intervalu světla zvládají proniknout až do škáry. Při přechodu do infračerveného záření dochází k průniku až do podkožního vaziva. [3]



Obrázek 4.2: Průnik vlnových délek kůží [3]

#### 4.4 Ultrafialové záření

Vlnová délka ultrafialového záření zaujímá velikosti 10–390 nm (ve vzduchu). Dále jej můžeme rozdělit podle účinků na tři oblasti: UVA (blízké pásmo) 315–390 nm, UVB (střední pásmo) 280–315 nm a UVC (vzdálené pásmo) 200–280 nm, řadí se mezi nejnebezpečnější. Mezi přírodní zdroje patří slunce, avšak UVB i UVC jsou pohlcovány zemskou atmosférou, na Zemi tedy dopadá 99 % záření o vlnové délce UVA. [27, 26, 38]

Ultrafialové záření o vlnových délkách UVA a UVB je schopno proniknout pouze do povrchové vrstvy lidského organismu, avšak záření o vlnové délce UVC je mnohem agresivnější. Kůže po ozáření zčervená, dochází ke změně pigmentace (zhnědnutí) a tvorbě vitamínu D. Nadměrné vystavení UV záření působí negativně na lidský organismu a může dojít ke vzniku kožních nádorů. Přestože je ultrafialové záření okem neviditelné, jeho účinky na

zrakový orgán jsou škodlivé a mohou způsobit poškození oční rohovky, čočky nebo spojivky. V dnešní době je UVC hojně využíváno k ničení virů a bakterií. [27, 26, 38]

## 4.5 Rentgenové záření

Bylo objeveno v 19. století německým fyzikem Wilhelmem Conrad Röntgenem. Jedná o se elektromagnetické záření ležící v intervalu od 10 nm do 1 pm vlnové délky. Dále jej lze dělit na měkké a tvrdé rentgenové záření. Jeho přirozeným zdrojem je záření hvězd, které se následně šíří vesmírem, umělým zdrojem je rentgenka – výbojová trubice obsahující anodu pracující s urychlovacím napětím a katodou z těžkého kovu.

V praxi se využívá při rentgenových vyšetření v lékařství, avšak jeho nadměrné množství může být pro člověka škodlivé. Rentgenový snímek můžeme vidět na obrázku 4.3, zobrazující ruce postižené revmatoidní artritidou. [27, 8]

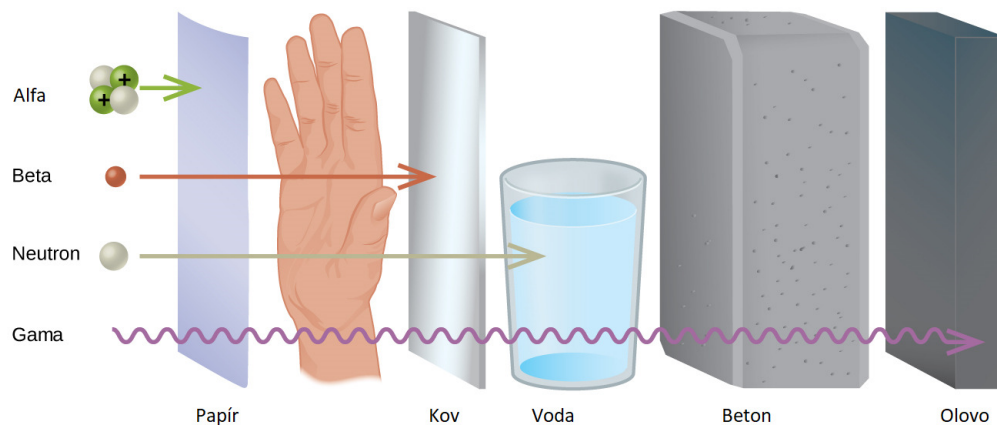


Obrázek 4.3: RTG snímek rukou postižených revmatoidní artritidou. [36]



## 4.6 Gama záření

Nejpronikavější záření s velmi krátkou délkou vlny o velikosti menší než 100 pm, proto se v magnetickém poli neodchyluje, ale pouze provádí jaderné děje. Záření gama zapříčiňuje vyrovnání energetických rozdílů mezi různými energetickými stavy atomového jádra. Vzniká společně s alfa a beta zářením při radioaktivním rozpadu jader. V lékařství se uplatňuje při léčbě nádorových onemocnění (gama nůž). [23, 38]



Obrázek 4.4: Průchodnost různých záření materiálem [16]

# Kapitola 5

## Návrh

Tato kapitola práce se zaměřuje na návrh bezkontaktního zařízení pro multispektrální snímání rukou. První část kapitoly rozebírá výběr součástek pro sestavení zařízení a výběr výkonných LED. Druhá část se zabývá vhodnými způsoby pro potlačení pozadí snímků. Ve třetí části se nachází popis využívaných technologií a knihoven použitých při implementaci.

### 5.1 Návrh zařízení

Navrhované zařízení má za úkol snímat ruku osvětlenou různými vlnovými délkami elektromagnetického záření popsaným v kapitole 4. Mezi hlavní požadavky na zařízení patří bezkontaktnost, samočinné snímání a ukládání informací snímaného prostředí prostřednictvím metadat.

Pro zajištění bezkontaktnosti bylo nutno zvolit vhodný snímač nevyžadující kontakt s uživatelem. Samočinné snímání bylo možné realizovat využitím pohybového senzoru zachycujícího vložení ruky do snímacího zařízení. Toto zařízení bylo vhodné ovládat jednodeskovým mini počítačem, avšak tyto počítače většinou neposkytovali dostatečně velký proud a napětí zvládající napájení výkonných LED. Bylo tedy pro ně potřeba vybrat externí zdroj napájení. Ukládání snímků probíhalo na USB flash paměť s odpovídajícími metadaty.

### Výběr snímače

Pro vytvoření kvalitních snímků rukou bylo nutné vybrat správný snímač s dostatečnou citlivostí pro používané vlnové délky viz podkapitola 5.1. Vybíralo se ze dvou typů snímacích senzorů: CCD (Charge-Coupled Device) a CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) senzory. Oba senzory pracovaly na principu převodu světelné energie na energii elektrickou, tzn. každá buňka citlivá na světlo převáděla světelnou informaci na elektrický náboj, který se následně ve formě elektrického napětí zesiloval a převáděl A/D převodníkem na digitální číslo určené k zpracování. [30, 40]

- **CMOS** – technologie využívala výrobu integrovaných obvodů vysoké hustoty umožňující umístit na čip velké množství MOS tranzistorů. Tranzistory bylo možné adresovat jako jednotlivé buňky matice s označením sloupců a řádků. Velkou výhodou těchto senzorů byla nízká spotřeba energie, nižší napájecí napětí a levnější náklady z důvodu sériové výroby. [30, 40]
- **CCD** – přes matici tvořenou Schottkyho fotodiodami se přesouval nakumulovaný náboj ve formě analogového signálu. Jednotlivé pixely byly reprezentovány elektrony,

kteře byly přesouvány do výstupního zesilovače, kde následně docházelo k převodu elektrického náboje na elektrické napětí. Oproti CMOS snímači měl lepší světelnou citlivost projevující se lepší kvalitou obrazu při špatném osvětlení. Další výhodou byl rychlejší převod signálu na výsledný obraz snižující množství šumu. Hlavní nevýhodou těchto senzorů byla jejich vyšší pořizovací cena. [30, 40]

Na základě výběru LED o vlnových délkách zasahujících do blízkého infračerveného světla viz podkapitola 5.1 došlo k rozhodnutí využít dvě kamery. Každá kamera využívala jiný snímací čip, což zajistilo vyšší rozsah citlivosti pro vlnové délky blízkého infračerveného světla.

- **Logitech Webcam C920<sup>1</sup>** – kamera obsahovala CMOS čip, z tohoto důvodu byla určená pro snímání viditelné elektromagnetické záření. Kamera byla připojena k mini počítači univerzální sériovou sběrnici typu A.
- **Raspberry Pi NoIR kamera V2<sup>2</sup>** – kamera obsahující CCD IMX219 čip od společnosti sony. Odstraněný infračervený filtr v kombinaci s CCD čipem umožňoval snímat blízké infračervené světlo na rozdíl od kamery s CMOS čipem, která snímání infračerveného světla nezvládala. K jednodeskovému mini počítači byla kamera připojena pomocí konektoru CSI (Camera serial interface).

## Pozice kamery

Při návrhu zařízení byl kladen důraz na zvolení vhodné polohy kamery vůči ruce. Voleno bylo mezi čtyřmi polohami: kamerou na spodní straně, na vrchní straně, na levé straně nebo na pravé straně.

Nacházela-li se kamera na levé či pravé straně bylo možné snímat pouze jednu ruku, avšak to by byl problém, pokud by osoba danou ruku nemohla použít, například z důvodu kožního onemocnění, proto došlo k vyloučení této varianty. V případě, že se kamera nacházela na vrchní straně, docházelo k dobré eliminaci okolního osvětlení, nicméně tato poloha nebyla dostatečně komfortní po uživatele zařízení, z této příčiny byla upřednostněna poslední varianta. Poslední polohou a také zvolenou byla kamera na spodní straně. Výhodou této polohy byl komfort a možnost snímat jak levou, tak pravou ruku. Nevýhodou, kterou mohlo toto řešení způsobovat bylo riziko stropního světla a vznik nežadoucích útvarů, jako tomu bylo v případě databáze CASIA<sup>3</sup>. Proto bylo potřeba vymyslet řešení předcházející této nevýhodě. Šlo si také všimnout, že snímek 5.2 dosahuje vyšší kvality, než snímek 5.1 s kamerou na horní straně.

---

<sup>1</sup><https://www.logitech.com/en-hk/products/webcams/c920-pro-hd-webcam.960-001062.html>

<sup>2</sup><http://www.farnell.com/datasheets/2056180.pdf>

<sup>3</sup><http://biometrics.idealtest.org/dbDetailForUser.do?id=6>



Obrázek 5.1: Kamera umístěná na horní straně



Obrázek 5.2: Kamera umístěná na spodní straně

### Pohybový senzor

Rozlišovaly se tři základní typy pohybových senzorů: pasivní infračervený detektor, vysokofrekvenční detektor a ultrazvukový detektor. Každý pohybový senzor využíval jiný technologický způsob. Jejich používání záviselo na prostředí, ve kterém byl umístěn. [1]

- **Pasivní infračervený detektor (PIR – Passive Infrared)** – senzor velmi citlivý na infračervené záření vycházejícího z tepla snímané osoby, či jiného objektu, tím pádem nebylo nutné zónu sledování přisvětlovat. Senzor reagoval ve chvíli, kdy se hodnoty vysílaného záření dostávaly do kontrastu s teplotou povrchů jiných povrchů ve snímané zóně. Jako pozitivum PIR senzoru byla hodnocena možnost omezení snímané oblasti pomocí clonek. Nevýhodou těchto senzorů je proměnlivý dosah závislý na mnoha faktorech, například směr pohybu k čidlu, kdy při tomto pohybu docházelo k horší reakci, než při podélném směru. [1]
- **Vysokofrekvenční detektor (HF čidlo – High Frequency)** – někdy byly též označovány jako mikrovlnné, či radarové senzory pohybu. Jednalo se o radiofrekvenční zářič, využívající nejčastěji 5,8 GHz pásmo, reagující na změny homogenity v elektromagnetickém poli. Nevýhodou těchto senzorů byl průchod tenkými materiály, což způsobovalo nežádoucí spínání v okamžiku, kdy nebylo vyžadováno. [1]
- **Ultrazvukový detektor (US čidlo – Ultra sonic)** – ultrazvukový vysílač nejčastěji používal pásmo 44 KHz neslyšitelné pro lidské ucho. Senzor zachycoval i nepatrné změny zvuku vyvolané pohybem objektů. Výhodou byla vysoká reakce při pohybu směrem k senzoru. Nevýhodou těchto senzorů bylo použití v místech se zvukovou ozvěnou. [1]

Na základě nevýhod ultrazvukového a vysokofrekvenčního detektoru bylo nejvýhodnější použít pasivní infračervený detektor (PIR) HC-SR501<sup>4</sup>, neboť v případě zbylých dvou by mohlo docházet k samovolnému spínání. To by vedlo k vytváření prázdných snímků. Požadované napětí senzoru se pohybovalo v rozmezí od 5 V do 20 V.

<sup>4</sup><https://datasheetspdf.com/pdf/775434/ETC/HC-SR501/1>

## Osvětlovací prvky

Na základě nastudovaných vlastností lidské kůže z kapitoly 3 a kapitoly o elektromagnetickém záření 4 bylo vhodné vybrat LED (elektroluminiscenční dioda) diody pokrývající všechny vrstvy lidské kůže (pokožka, škůra, podkožní vazivo).

Na základě informací z odborných článků [41, 18] by se rozsah vlnových délek diod měl pohybovat v rozmezí 400 nm až 720 nm, kdy v závislosti na citlivosti kamery lze zvolit i blízké infračervené světlo. LED diody zvolené v tomto rozsahu umožňovaly snímat vrstvy lidské kůže od pokožky až po podkožní vazivo. Dále bylo potřeba zajistit rovnoměrné nasvícení ruky, což umožňují výkonové LED diody s dostatečným vyzařovacím úhlem LED diod. Jejich přehled společně s důležitými parametry zobrazuje tabulka 5.1.

Název LED	barva	vlnová délka	napětí
OSB5XZE3E1E	modrá	460–470 nm	3,5–4,5 V
OSG5XZE3E1E	zelená	525 nm	3,5–4,5 V
PM2B-1LPS-Y	žlutá	579–581 nm	2.85–4.1 V
OSR5XME3E1E	červená	625 nm	2,5–3,5 V
PK2N-2LJS-SD	IR	840–870 nm	1,6 V

Tabulka 5.1: Přehled zvolených LED diod s parametry

Z obrázku 4.2 zobrazujícího průnik vlnových délek kůží šlo vidět, že vybrané LED diody pronikaly do různých vrstev kůže. Modrá LED dioda (OSB5XZE3E1E) o vlnové délce 465 nm pronikala do pokožky. Zelená (OSG5XZE3E1E), žlutá (PM2B-1LPS-Y) a červená (OSR5XME3E1E) LED dioda pronikala do různých hloubek škůry. Poslední LED dioda (PK2N-2LJS-SD) vyzařující infračervené záření pronikala do podkožního vaziva. Jak jsme se mohli dočíst v podkapitole 3.1.2, hemoglobin pohlcuje záření, tudíž šlo pomocí infračerveného světla získat snímek obsahující dlaňové žíly.

Pro umístění LED diod byl zvolen plošný spoj STAR<sup>5</sup> od společnosti OPTOSUPPLY<sup>6</sup>. Především z důvodu jednotnosti, neboť některé LED diody, přesněji PM2B-1LPS-Y a IR vysílač PK2N-2LJS-SD byly podobnými plošnými spoji již osazeny z výroby. Jednalo se o chladič plošný spoj pro 1 W diody, avšak v tomto případě nebylo nutné, aby plnil chladič funkci, neboť diody se využívaly především na blikání, tudíž nedocházelo k jejich přehřívání.

## Externí napájení osvětlovacích prvků

Neboť minipočítač nedosahoval dostatečného napětí pro napájení osvětlovacích prvků bylo nezbytností zvolit jejich externí napájení. Nejvhodnějším řešením byl modul DEV-10618 od společnosti Sparkfun, který umožňoval použít počítačový zdroj k napájení LED diod a jejich ovládání přes piny minipočítače. Modul byl osazen šesti N-kanálovými mosfety (RFP30N06LE) s přechodovým odporem o velikosti 0,047  $\Omega$ .

## 5.2 Pozadí snímků

Aby bylo možné výsledné snímky dále efektivně zpracovávat bylo potřeba zajistit, aby pozadí působilo, jako co nejméně rušivý element. Vliv na něj měl materiál pozadí, okolní světlo pronikající do zařízení a nastavení základních parametrů kamery.

<sup>5</sup><https://www.switchelectronics.co.uk/pub/media/pdf/480928.pdf>

<sup>6</sup><http://www.optosupply.com/>

### 5.2.1 Volba vhodného materiálu

Volba materiálu pozadí měla velký vliv na výsledné snímky. Při použití lesklého materiálu docházelo k odrazům záření z diod, což způsobovalo nežádoucí světlo na pozadí snímku ovlivňující jeho kvalitu a větší složitost při jeho vyříznutí, například při segmentaci ruky.

Pro testování byly zvoleny tři materiály: vodou ředitelná matná barva Balakryl v odstínu 1999 (černá)<sup>7</sup>, netkaná textilie pegatex<sup>8</sup> a černá látka. Na základě testování těchto materiálů vyšla nejlépe černá látka odrážející světlo nejméně, což je vidět na snímcích 5.3, 5.4 a 5.5.



Obrázek 5.3: Barva



Obrázek 5.4: Netkaná textilie



Obrázek 5.5: Látka

### 5.2.2 Úprava parametrů kamery

Při správně nastavených základních parametrech kamer, především velikost clony, rychlost závěrky a citlivost (ISO), dosáhlo se potlačení pozadí na výsledném snímku. Avšak každá kamera nemusela umožňovat nastavení těchto parametrů. [17]

Na obrázcích 5.6 až 5.8 lze vidět, vzhled snímků před úpravou parametrů. Snímky 5.6 a 5.9 byly silně osvětleny a jejich pozadí by bylo složité odstranit, zatímco snímky 5.7 a 5.8 neměly pozadí tak viditelné, i přes to nedosahovaly požadované úrovně. Všechny snímky byly pořízeny v prototypu zařízení.

<sup>7</sup><https://www.balakryl.cz/nase-barvy/univerzalni-barvy/balakryl-uni-mat>

<sup>8</sup><http://www.pfnonwovens.cz/netkana-textilie-pegatex-s>



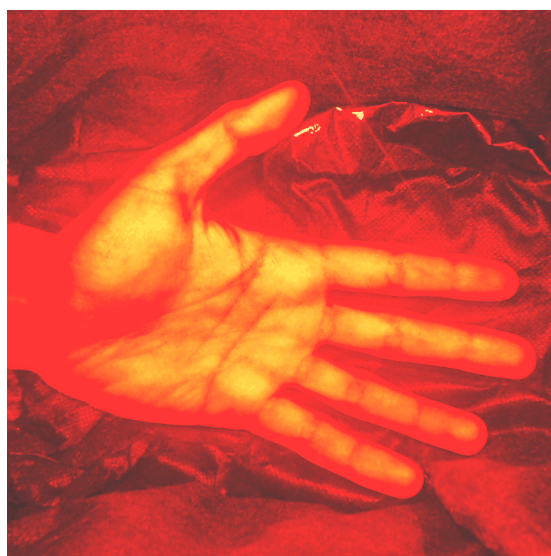
Obrázek 5.6: Modrá barva před úpravou parametrů a pozadí



Obrázek 5.7: Žlutá barva před úpravou parametrů a pozadí



Obrázek 5.8: Zelená barva před úpravou parametrů a pozadí



Obrázek 5.9: Červená barva před úpravou parametrů a pozadí

### **Rychlost závěrky**

Pomocí závěrky se může ovládat množství světla dostávající se na snímač kamery. V případě pomalé závěrky dochází k vystavení snímače světlu na delší dobu, což přispívá k rozmazání fotografie z důvodu pohybu snímaného objektu, tak k pohybu kamery. Naproti tomu rychlá závěrka omezuje vystavení snímače světlu a tím zvyšuje ostrost snímku. [24]

## Nastavení clony

Clona určuje množství světla přicházejícího na snímací čip. Jejím hlavním úkolem je práce s hloubkovou ostroť, což přesněji řečeno znamená možnost rozostřit pozadí. Čím je tedy clona více otevřená, tím dochází k většímu rozostření pozadí. [17]

## Citlivost (ISO)

V dobách filmových materiálů označovalo ISO citlivost filmů na světlo. U digitálních fotoaparátů tomu je podobné, čím vyšší ISO nastavíme, tím vyšší citlivostí se získané světlo na snímači vynásobí, avšak nedochází pouze k násobení získaného světla, ale i šumu vznikajícího při expozici na snímači. Tento jev je vidět na obrázku 5.10 znázorňující citlivost při různých hodnotách. Aby tedy nebylo nutné používat vysoké hodnoty citlivosti, je potřeba objekt dobře osvětlit. [10, 33]



Obrázek 5.10: Vliv citlivosti na obrázek při různých hodnotách [33]

## 5.3 Využívané technologie

### Python<sup>9</sup>

Python je vysokoúrovňový skriptovací jazyk s dynamickou kontrolou datových typů nabízející různá programátorská paradigmata: procedurální, imperativní, funkcionální, či objektové orientované. Svou popularitou se řadí mezi nejpoužívanější jazyky a to především díky velkému množství knihoven usnadňující práci.

V této bakalářské práci byl využíván pro implementaci společně s knihovnami OpenCV, I2C-LCD-Display, Pillow a picamera, jejichž popis následuje.

### OpenCV<sup>10</sup>

Otevřená multiplatformní knihovna zaměřená na práci s obrazem. Knihovna se hojně využívá při zpracování obrazu v reálném čase a počítačovém vidění. Tato práce tuto knihovnu

<sup>9</sup><https://www.python.org/>

<sup>10</sup><https://opencv.org/>



využívala pro vytvoření snímků kamerou c920 od společnosti Logitech a k jejich následnému uložení.

## **I2C-LCD-Display**<sup>11</sup>

Knihovna jazyka Python sloužící pro práci s LCD displejem komunikujícím přes I<sup>2</sup>C sběrnici. Knihovna obsahuje funkce pro obsluhu displeje. V implementaci jsou využívány především funkce umožňující výpis na displeji a smazání obsahu displeje.

## **v4l2-ctl**<sup>12</sup>

Nástroj používaný k ovládání ovladače video4Linux<sup>13</sup>. Byl tedy schopen ovládat téměř jakýkoliv aspekt zařízení pokrývajícího celé rozhraní V4L2. Umožňoval měnit dostupné parametry kamer a docílit tím vyšší kvality snímků, využíval se pro kameru c920 od společnosti Logitech, neboť pro kameru Raspberry Pi NoIR v2 se ukázal jako nevhodný z důvodu omezeného množství parametrů.

## **picamera**<sup>14</sup>

Knihovna poskytovala rozhraní pro modul kamery Raspberry Pi NoIR v2. Její hlavní výhodou bylo mnohem větší množství parametrů oproti v4l2-ctl, což umožňovalo snímání kvalitnějších snímků.

## **Pillow**<sup>15</sup>

Knihovna jazyka Python vytvořená pro práci s obrázky. Předností této knihovny je množství podporovaných formátů. V práci byla využívána pro ukládání metadat ke snímkům ve formátu png (Portable Network Graphics – přenosová síťová grafika), ve kterém se snímky ukládaly.

---

<sup>11</sup><https://github.com/bradgillap/I2C-LCD-Display>

<sup>12</sup><https://www.mankier.com/1/v4l2-ctl>

<sup>13</sup><https://www.kernel.org/doc/html/v4.12/media/v4l-drivers/index.html>

<sup>14</sup><https://picamera.readthedocs.io/en/release-1.13/>

<sup>15</sup><https://python-pillow.org/>

# Kapitola 6

## Implementace

Tato kapitola se zaměřuje na sestavení zařízení pro multispektrální analýzu. V první části je popsáno zapojení všech součástek potřebných pro zařízení. Další část popisuje algoritmus zaměřující se na snímání rukou a následné uložení snímků. V poslední části jsou popsána metadata používaná pro jednotlivé snímky databáze.

### 6.1 Sestavení zařízení

Tato část se zabývá sestavením zařízení a to jak prototypu, tak finální verze. Popisuje postup sestavování od výběru odporů až po popis zapojení jednotlivých pinů přes univerzální vstupní/výstupní piny či I<sup>2</sup>C komunikaci přes SCL a SDA.

#### 6.1.1 Prototypy

V první fázi byl sestaven prototyp z kartonové krabice, které můžeme vidět na obrázku 6.1. Na obrázku 6.2 lze vidět umístění LED diod a kamer. Tento prototyp sloužil pro výběr vhodného materiálu pozadí, pozice kamer a úpravy parametrů kamer. K jejich sestavení bylo využito LED diod popsaných v podkapitole 5.1, materiálů zvolených v podkapitole 5.2.1 a následujících součástek:

- **Raspberry Pi NoIR kamera V2** – kamera pro snímání IR
- **Logitech Webcam C920** – kamera
- **Raspberry Pi 4 Model B** – minipočítač
- **Raspberry Pi USB-C Power Supply** – napájecí adaptér pro Raspberry Pi
- **SparkFun DEV-10618** – Modul pro regulaci výkonu
- **Počítačový zdroj** – pro napájení SparkFun DEV-10618

Prototyp byl ovládán minipočítačem **Raspberry Pi 4 Model B** napájeným 5 V přes napájecí adaptér pro Raspberry Pi. V této fázi ještě nebylo implementováno samočinné snímání pasivním infračerveným detektorem, tudíž byl k minipočítači využíván i monitor společně s myší a klávesnicí, což umožňovalo pohodlnější kontrolu snímků.

Před kompletací prototypu bylo potřeba připájet jednotlivé LED diody na plošné spoje **STAR** od výrobce **OPTOSUPPLY** pro výkonné LED diody. Diody byly specifické svým



Obrázek 6.1: Prototyp



Obrázek 6.2: Umístění LED diod a kamer v prototypu

vysokým výkonem a z toho plynoucím zahříváním, proto je bylo nutné používat pouze na bliknutí, aby nedocházelo k jejich přehřátí. Následně byly LED diody spojeny kabelem o průměru 0,5 mm do sériového zapojení podle jednotlivých barev. Z důvodu nejednotných odporů pro každou sérii a vysoké citlivosti na přepětí jednotlivých LED bylo potřeba pro každou sérii využít předřadný odpor, aby se zamezilo jejich zničení. Předřadný odpor byl vypočítán vzorcem 6.1. Všechny diody viditelného světla byly napojeny na 12 V logiku modulu **SparkFun DEV-10618**, zatímco IR zářič 5 V logiku, protože nepotřeboval tak velké napětí, jako ostatní LED diody.

$$R = \frac{U - U_{LED}}{I_{LED}} \quad (6.1)$$

Výpočet předřadného odporu pro sérii tří LED diod OSB5XZE3E1E s pracovním napětím 3,5 V až 4,5 V a proudem 700 mA vyšel předřadný odpor o velikosti 2,14  $\Omega$ . Následně tedy došlo k vybrání rezistoru, jehož hodnota odporu byla z hora nejbližší. Při výpočtu bylo počítáno s pracovním napětí jedné diody o velikosti 3,5 V odpovídající vlnové délce 460 nm. Hodnotu všech odporů pro prototypové zařízení lze nalézt v tabulce 6.1.

Název diody	předřadný odpor v $\Omega$
OSB5XZE3E1E	2,2
OSG5XZE3E1E	2,2
PM2B-1LPS-Y	1
OSR5XME3E1E	4,7
PK2N-2LJS-SD	1

Tabulka 6.1: Přehled zvolených LED diod s odpory pro prototyp

Pro ovládání LED diod přes logiku byly využity piny 35 až 40 z minipočítače připojeny na modul pro regulaci výkonu, přesněji na jeho piny D3, D5, D6, D9, D10 a zem (GND). Série LED diod viditelného spektra byly připojeny do kladné 12 V části svorkovnic anodami, zatímco katody byly zapojeny i do záporné části 5 V svorkovnic, neboť bylo potřeba každou katodu připojit zvlášť. Podrobné schéma zapojení lze vidět v příloze C.

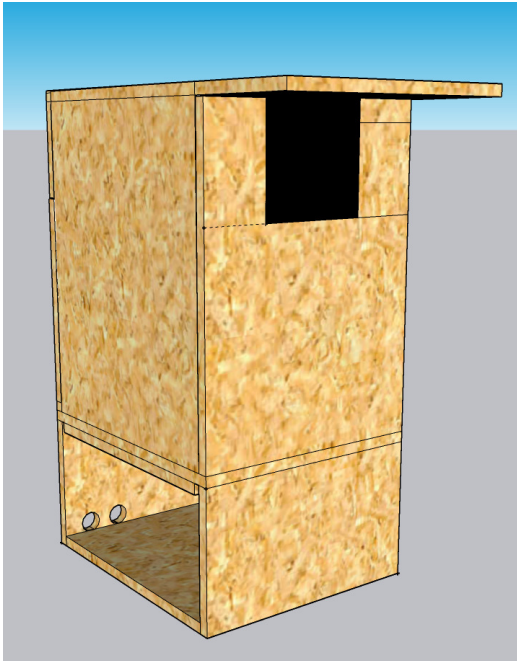
### 6.1.2 Finální verze zařízení

Na rozdíl od prototypu byla finální verze zařízení zhotovena z bukové překližky, jejíž návrh je na obrázku 6.3. Celkově se skládala ze čtyř částí: stropní díl, tělo, dno a podstavec. Celkové rozměry zařízení byly 22,5 cm na šířku, 26 cm na délku a 45 cm na výšku. Části byly spojeny vruty do dřeva. Jednotlivé části mají takový tvar, aby do sebe vzájemně zapadaly a nebylo je obtížné složit, či rozložit pro případné úpravy. To zajišťuje, že v případě potřeby by bylo možné zařízení používat i pro ostatní polohy snímání. Aby bylo zabráněno stropnímu světlu a vzniku nežádoucího útvaru, jako bylo popsáno v 5.1 byl stropní díl o 9 cm prodloužen. Vnitřní část zařízení byla natřena vodou ředitelnou barvou Balakryl v černém odstínu, ovšem na stropní díl byla navíc přidána látka z černé barvy dosahující nejlepších výsledků při odrazu světla podle testů provedených v rámci prototypu, který je rozebrán v podkapitole 5.2.1. Vnější část zařízení byla opatřena ochranou lazurou od firmy **Osmo**<sup>1</sup>. Finální verze byla také rozšířena o následující součástky:

- **LCD displej 1602** – displej o velikosti 16 znaků a 2 řádky
- **HC-SR501** – pasivní infračervený detektor

---

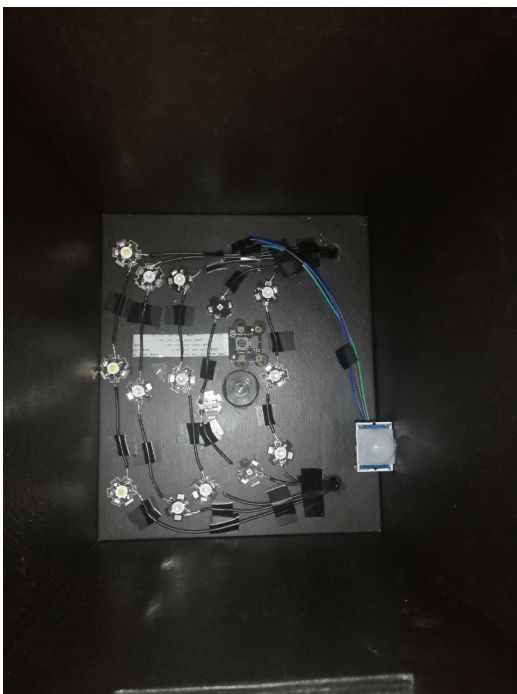
<sup>1</sup><https://www.osmo.cz/>



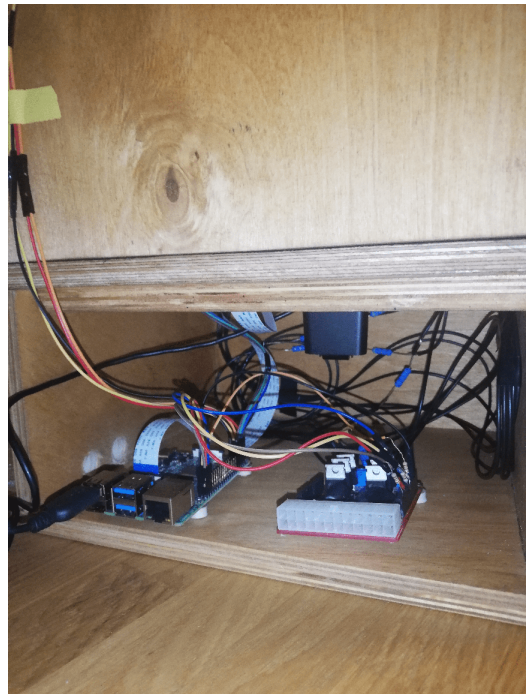
Obrázek 6.3: Návrh finálního řešení



Obrázek 6.4: Vzhled dokončeného zařízení



Obrázek 6.5: Umístění LED diod a kamer ve finálním řešení



Obrázek 6.6: Prostor pro umístění mini-počítače

Displej byl propojen 2., 3., 5. a 9. pinem minipočítače. Pin číslo 2 zajišťoval napájení o velikosti 5 V. Piny 3 a 5 sloužily pro I<sup>2</sup>C komunikaci, tedy hodinový signál (SLC) a datový kanál (SDA). Poslední pinem byla připojen na zem (GND). Jeho hlavní funkcí bylo vypisovat informační hlášky pro uživatele, aby věděl, zda snímání stále probíhalo nebo již skončilo.

Pasivní infračervený detektor využíval celkově tři piny: 4, 6 a 8. Pin 4 sloužil k napájení detektoru pomocí 5 V, pin 6 byl využit pro připojení země a poslední pin 8 funguje jako standardní výstupní pin (GPIO), který přijímal signál z detektoru. Schéma zapojení je k vidění v příloze C.

V rámci finální verze došlo také k úpravě některých odporů z důvodu velké intenzity záření. Finální odpory byly shrnuty v tabulce 6.2.

Název diody	předřadný odpor v $\Omega$
OSB5XZE3E1E	5,6
OSG5XZE3E1E	4,6
PM2B-1LPS-Y	1
OSR5XME3E1E	9,2
PK2N-2LJS-SD	1

Tabulka 6.2: Přehled zvolených LED diod s odpory pro finální verzi

## 6.2 Algoritmus snímání

Tato část se zaměřuje na popis skriptu sloužícího k tvoření snímků. Skript je spouštěn při zapnutí minipočítače Raspberry Pi. Implementace probíhala v programovacím jazyce Python 3.7 s využitím knihoven `time`, `os`, `RPi`, `sys`, `PIL`, `subprocess`, `datetime`, `argparse`, `lcd_driver` a `cv2`. Řešení se skládalo z hlavního skriptu `scannig.py` a modulů `arg_parse`, `fun_lib`, `storage`, `f_metadata`, `cams_init` obsahujících funkce využívané v hlavním skriptu. Skript `scanning.py` v první fázi nastavil funkcí `setup` z knihovny `RPi` piny jako univerzální výstupní piny pro ovládání LED diod a univerzální vstupní pin pro ovládání pasivní infračerveného detektoru. Piny byly číslovány dle výstupu z procesoru (`GPIO.BCM`).

Inicializace displeje probíhala pomocí třídy `lcd_driver.lcd()` z knihovny `lcd_driver`. Kamera c920 od společnosti Logitech byla inicializována ve funkci `camera_init()`. Tato funkce také za pomoci nástroje `v4l2-ctl` vypínala automatické nastavení parametrů (`exposure_auto`, `white_balance_temperature_auto`, `focus_auto`), a následně upravovala společné parametry kamery (`backlight_compensation`, `sharpness`, `focus_absolute`) pro všechny druhy LED diody a vracela slovník, který obsahoval inicializovanou kameru, příkaz s parametry (`exposure_absolute`, `brightness`, `contrast`, `saturation`, `gain`, `white_balance_temperature`) pro změnu před snímáním jednotlivých snímků, neboť tyto parametry již nebyly stejné pro každou vlnovou délku. Inicializace kamery **Raspberry Pi NoIR v2** probíhala funkcí `pi_camera_init()`.

Dalším krokem bylo již spuštění nekonečné smyčky sloužící pro snímání. Každou sekundu byla kontrolována hodnota pasivního infračerveného detektoru a v případě, že přišel od něj signál, snímání se zapnulo. Snímání lze rozdělit do tří částí: snímání viditelného spektra, blízkého infračerveného a přiřazení metadat. Informace týkající se metadat byly popsány v následující podkapitole.

Snímání viditelného spektra probíhá funkcí `take_picture(cam_parameters, cur_time, display)`. Byla volána v cyklu, procházející jednotlivé vlnové délky viditelného

spektra. Funkce nejprve změnila parametry kamery pro danou vlnovou délku, následně funkcí `turn_on_led(pin)` se zapínaly LED diody určité vlnové délky odpovídající zadanému pinu. Další krok spočíval ve vytvoření sekvence patnácti snímků, ze kterých byl uložen pouze poslední. Sekvence snímků umožňovala kameře zaostřit na ruku a dosáhnout tím vyšší kvality, než kdyby se dělal pouze jeden snímek. Posledním krokem bylo vypnutí diod funkcí `turn_off_led(pin)`.

Snímání infračerveného světla již nevyužívalo cyklus, neboť kamera umožňovala měnit parametry jako rychlost závěrky. Vytvoření snímku tedy probíhalo pouze zapnutím diod, následným vytvořením a uložením snímku metodou `capture()`. Po vytvoření docházelo k vypnutí led a následnému přiřazení metadat, čímž končil cyklus snímání.

### 6.3 Tvorba metadat

Tvorbu metadat zajišťoval modulu `f_metadata.py` založený na knihovně PIL obsahující následující funkce: `set_metadata(path, data)`, `get_camera_param()` a `create_metadata(c_time, wavelength, params=get_camera_param())`. Metadata se skládala z parametrů kamer, rozlišení a času, avšak každá kamera pracovala s jinými parametry, tudíž se jejich tvar lišil.

Zatímco metadata pro kameru **Logitech c920** bylo nutno vytvořit při každém snímku zvlášť, neboť se některé parametry měnily pro každou vlnovou délku. Parametry tedy byly získány funkcí `get_camera_param()`, která zpracovávala výstup z nástroje `v4l2-ctl -d1 -l` a vracela slovník obsahující parametr kamery a jeho aktuální hodnotu. Následně funkce `create_metadata()` převedla slovník na třídu `PngInfo()`.

Metadata pro snímky kamery **Raspberry PI NoIR v2** se vytvářela při její inicializaci, neboť jediný parametr, který se u metadat měnil, byl čas. Byl tedy vytvořen slovník s parametry kamery, ke kterému byl přidán čas posledního snímku. Tento slovník se poté převedl funkcí `create_metadata` také na třídu `PngInfo()`.

Jakmile byly nasnímány všechny snímky, došlo k volání funkce `set_metadata` zajišťující přiřazení metadat k daným snímkům, tedy obrázek byl znovu načten a byla mu přiřazena odpovídající metadata ve formátu třídy `PngInfo()` z knihovny PIL

### 6.4 Samočinné snímání

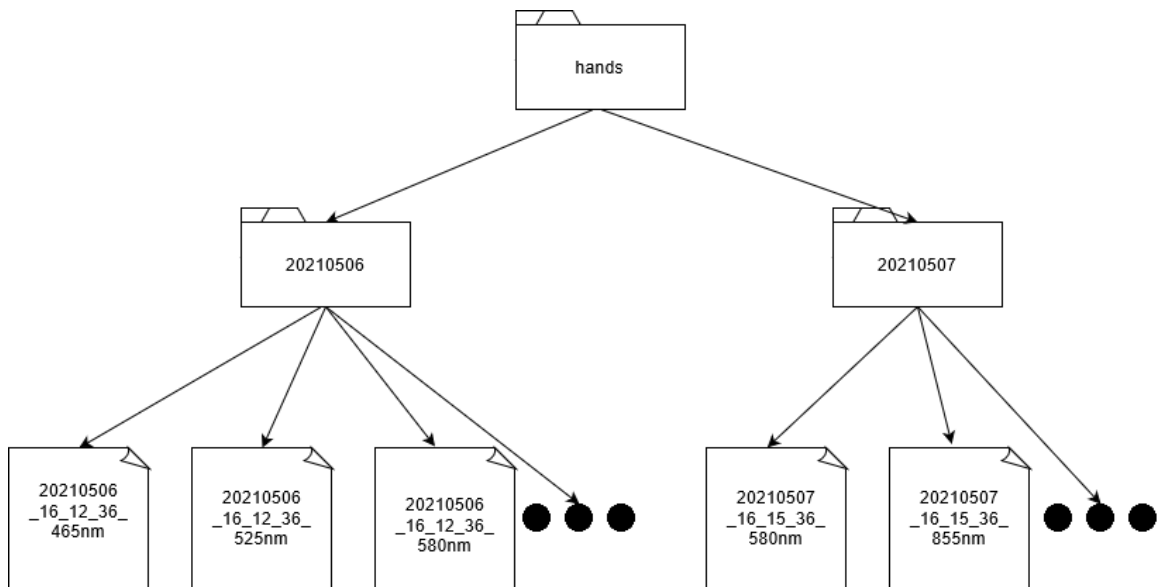
Samočinné snímání zajišťoval pasivní infračervený detektor ve spojení se správným nastavením minipočítače. Spouštění programu při startu minipočítače zajišťoval systém automatického spuštění (autostart). Pro jeho spuštění bylo nutné vytvořit složku: `/home/pi/.config/autostart`, do které byla následně umístěna složka obsahující následující informace:

```
[Desktop Entry]
Type=Application
Name=scanning
Exec=xterm -hold -e '/usr/bin/python3 /home/pi/program/scanning.py'
```

K zařízení se bylo možné připojit pomocí SSH či VNC a sledovat postup snímání pomocí xtermu, který obsahoval výpisy ze snímání. Na samočinné snímání měly také podíl funkce `find_cam(camera_name)` a `get_usb_path()`. První zmíněná funkce vyhledávala pozici připojení zadané kamery, zatímco druhá se starala o správnou lokaci pro uložení snímků, tedy pokud nebylo nalezeno externí úložiště, ukládaly se snímky do paměti minipočítače.

## 6.5 Ukládání snímků

Aby se nebylo třeba připojovat k zařízení, bylo implementováno ukládání snímků na externí úložiště do složky `/media/pi/název_externího_uložiště/hands/` v případě jeho připojení, nebylo-li připojeno ukládají se snímky do složky v adresáři `/home/pi/hands/`. Ve složce `hands` se vytvářely složky podle data snímání, tedy ve tvaru `YYYYMMDD` (rok, měsíc a den), do kterých byly ukládány jednotlivé snímky s názvem `YYYYMMDD_HH_MM_SS_XXXXX` (rok, měsíc, den, hodina, minuta, sekunda, vlnová délka s jednotkou). Výsledná cesta ke snímku na externím úložišti vytvořeném 6.5.2021 v 16:12 byla tedy `/hands/20210506/20210506_16_12_36_855nm`. Názorně můžeme uložení vidět na snímku 6.7. Všechny funkce potřebné k ukládání snímků se nacházely ve vytvořeném modulu `storage`.



Obrázek 6.7: Znázorněné uložení jednotlivých snímků



## Kapitola 7

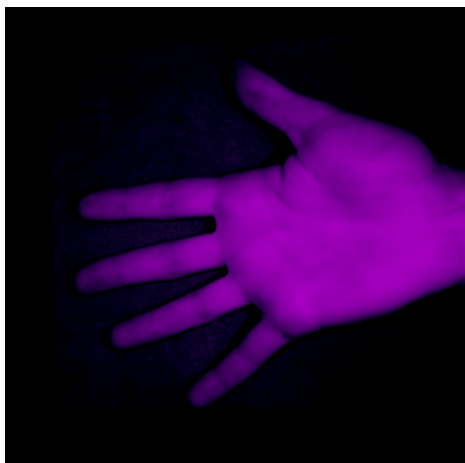
# Popis a zhodnocení databáze

V této kapitole byl popsán postup získávání snímků rukou do databáze a její následné zhodnocení. Tvorba databáze byla ztížena aktuální epidemiologickou situací a dodržování epidemiologických opatření. Všechny osoby zúčastněné snímání byly otestovány či očkovány proti onemocnění covid-19.

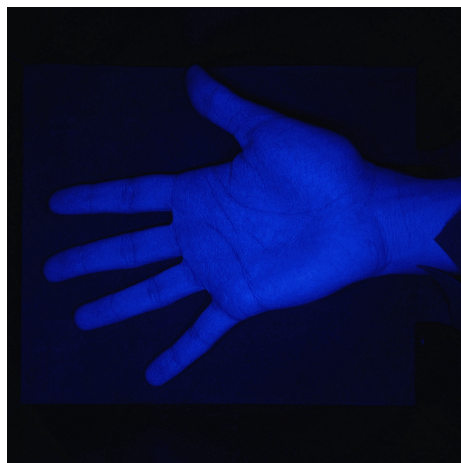
### 7.1 Popis databáze

Celkově došlo k nasnímání 21 různých osob a vzniklo 80 snímků každé vlnové délky, celkem tedy 400 snímků. Neboť každá ruka obsahovala jedinečné charakteristiky, využilo se tedy předností zařízení snímat jak levou, tak pravou ruku každé osoby. Aby bylo dosaženo většího množství snímků, byla každá ruka nasnímána v různých polohách. Věk snímaných osob se pohyboval v rozmezí 20 až 80 let, databáze tedy pokrývala téměř všechny věkové kategorie vhodné pro snímání rukou. K osvětlení bylo využito celkově pět různých vlnových délek: 465 nm, 525 nm, 580 nm, 625 nm a 855 nm. Snímání prvních čtyř vlnových délek probíhalo CMOS kamerou, zatímco pátá vlnová délka se snímala CCD kamerou bez infračerveného filtru.

Ukládání jednotlivých snímků bylo popsáno v podkapitole 6.5. Některé výsledné snímky můžeme shlédnout na obrázcích 7.1 až 7.7. Na snímku 7.6 je vidět negativní vliv kožního onemocnění na snímek. Snímek 7.7 obsahoval rušivý element v podobě prstenu.



Obrázek 7.1: Finální snímek o vlnové délce 855 nm



Obrázek 7.2: Finální snímek o vlnové délce 465 nm



Obrázek 7.3: Finální snímek o vlnové délce 525 nm



Obrázek 7.4: Finální snímek o vlnové délce 625 nm



Obrázek 7.5: Finální snímek o vlnové délce 580 nm



Obrázek 7.6: Snímek ruky s kožním onemocněním

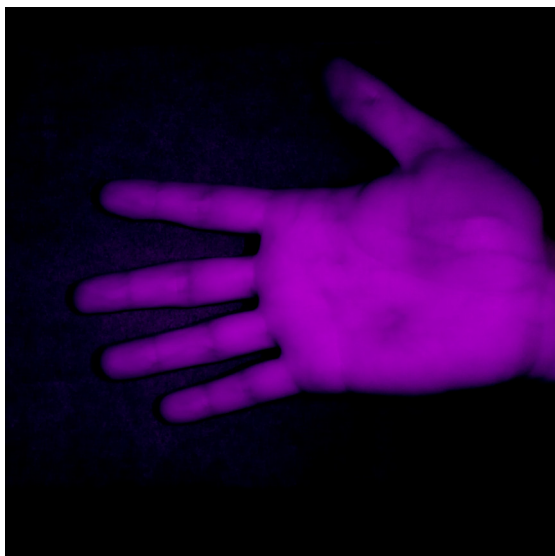


Obrázek 7.7: Snímek ruky s prstenem působícím jako rušivý element

## 7.2 Zhodnocení databáze

Na základě vytvořené databáze lze zhodnotit kvalitu výsledných snímků. Každá ruka byla jedinečná, a proto docházelo i k různě kvalitním snímkům, avšak ve finále lze prohlásit, že většina snímků dosahovala požadované kvality. Porovnáme-li nově vytvořenou databázi s databází CASIA zaměřující se také na multispektrální analýzu. Na první pohled lze vidět rozdíl v barevnosti snímků. Snímky z databáze CASIA byly uloženy v 256 stupních šedi, na rozdíl od snímků v nově vytvořené databázi zachovávající původní barvu snímků, což zajišťuje větší množství informací z daného snímku. Další výhodou snímků nové databáze byla vyšší rozlišení umožňující zobrazení větších detailů rukou a tím větší množství biometrických charakteristik. Velkým rozdílem byla také absence „světelné díry“ ztěžující segmentaci ruky, což by u nově vytvořené databáze nemělo působit problém.

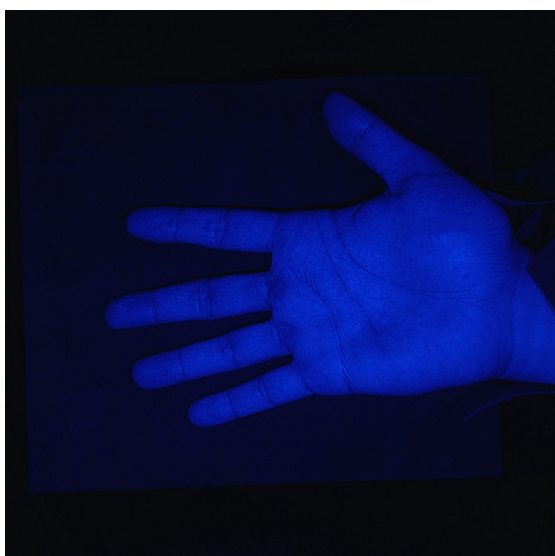
Jako nedostatek lze považovat nedostatečně viditelné žíly v případě infračervených snímků, avšak to mohlo být způsobeno manuálním ostřením kamery s CCD snímačem, reflexivní metodou snímání (transmisivní metoda nemohla být zvolena, neboť umístění LED diod by mohlo mít negativní vliv na ostatní snímky), či dobrovolníky u nichž nemusely být žíly dostatečně viditelné.



Obrázek 7.8: Infračervený snímek o vlnové délce 855 nm



Obrázek 7.9: Snímek z databáze CASIO o vlnové délce 850 nm



Obrázek 7.10: Modrý snímek o vlnové délce 465 nm



Obrázek 7.11: Snímek z databáze CASIO o vlnové délce 460 nm

# Kapitola 8

## Závěr

Hlavním cílem této práce bylo vytvořit bezkontaktní zařízení umožňující snímání rukou osvětlenou různými vlnovými délkami a následně tímto zařízením vytvořit databázi snímků, obsahujících metadata o snímaném prostředí, o minimální velikosti alespoň dvaceti rukou různých osob.

První fází k úspěšnému řešení bylo potřeba nastudovat literaturu týkající se biometrie, biometrických metod pro snímání rukou, vlastností lidské kůže a elektromagnetického záření, které jsou nad rámec bakalářského studia. Na základě těchto poznatků došlo k vybrání vhodných vlnových délek LED diod a kamer.

Druhá fáze se zaměřovala na vytvoření návrhu zařízení. Při návrhu byl kladen důraz jak na pohodlí uživatele, tak na vytvoření kvalitních snímků. Toho bylo docíleno vytvořením prototypu sloužícího pro testování správného materiálu pozadí, parametrů kamery a úpravy odporů LED diod.

Třetí fáze se zabývala vytvořením finální verze zařízení. Zde došlo ke zkompletování zařízení skládající se ze čtyř dílů. Řešení umožňovalo lehce měnit polohy, díky čemuž šlo provádět snímání i s kamerou na horní straně, či pouze snímání jedné ruky umístěním kamery na bok. Dále byla součástí této fáze implementace, vytvoření algoritmu pro snímání a metadat uložených ke snímku.

Poslední fází bylo vytvoření databáze nejméně 20 rukou dvaceti různých osob a následná diskuze o kvalitě snímků, avšak tato fáze byla ztížena epidemiologickou situací, ale i přes její nepřízeň se podařilo bezpečně nasnímat celkem 21 rukou osob a vytvořit 400 různých snímků obsahujících metadata.

Neboť zařízení umožňuje snímat pravou i levou ruku, naskytuje se možnost budoucího postupu ve vytvoření algoritmu pro rozpoznání orientace rukou, tak aby tyto informace byly popsány metadaty či uvedeny v názvu snímku. Dalším možným pokračováním může být zaměření se na segmentaci rukou ze snímků, pro kterou jsou snímky připraveny, popřípadě následné využití pro detekci živosti ruky nebo identifikace.

# Literatura

- [1] A LIGHT. *Pohybová čidla - kompletní průvodce* [online]. 2017 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://www.e-light.cz/zprava/cidla-pohybu-a-svitidla-s-cidlem-zakladni-rady-a-tipy>.
- [2] BARBOSA, I. B., THEOHARIS, T., SCHELLEWALD, C. a ATHWAL, C. *Transient biometrics using finger nails*. IEEE, Zář 2013, s. 1–6 [cit. 2021-01-26]. DOI: 10.1109/BTAS.2013.6712730. ISBN 978-1-4799-0527-0.
- [3] BAROLET, D. Light-Emitting Diodes (LEDs) in Dermatology. *Seminars in cutaneous medicine and surgery* [online]. 1. vyd. Leden 2009, sv. 27, č. 1, s. 227–38, [cit. 2020-12-28]. DOI: 10.1016/j.sder.2008.08.003. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Optical-penetration-depth\\_fig6\\_23797391](https://www.researchgate.net/figure/Optical-penetration-depth_fig6_23797391).
- [4] BEĆ, K. B., GRABSKA, J. a HUCK, C. W. Near-Infrared Spectroscopy in Bio-Applications. *Molecules*. 1. vyd. MDPI AG. Jun 2020, sv. 25, č. 12, s. 2948, [cit. 2021-01-14]. DOI: 10.3390/molecules25122948. ISSN 1420-3049. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules25122948>.
- [5] BENEŠ, J. *Studijní materiály* [online]. 2007 [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <http://jirben2.chytrak.cz/>.
- [6] BENEŠ, J., STRÁNSKÝ, P. a VÍTEK, F. *Základy lékařské biofyziky*. 2. vyd. Praha 1, Ovocný trh 3: Karolinum, 2007 [cit. 2020-12-26]. 144 s. ISBN 978-80-246-1386-4. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:020f2e80-8f04-11e7-accf-005056827e51?page=uuid:a1daf080-a772-11e7-a093-005056825209>.
- [7] BITTO, O. *Šifrování a biometrika, aneb, Tajemné bity a dotyky*. 1. vyd. Kralice na Hané: Computer Media, 2005 [cit. 2021-01-26]. 118–150 s. ISBN 80-86686-48-5.
- [8] CHUDÁČEK, Z. *Radiodiagnostika*. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995 [cit. 2021-04-08]. 9-13 s. ISBN 80-7013-114-4.
- [9] DOKLÁDAL, M. a PÁČ, L. *ANATOMIE ČLOVĚKA III* [online]. 1. vyd. 2002 [cit. 2020-12-22]. 3–13 s. ISBN 8021030275. Dostupné z: <http://media0.webgarden.name/files/media0:50f871d0380f1.pdf.up1/Anatomie%20%C4%8Dlov%C4%9Bka%20%20skripta%20Brno.pdf>.
- [10] DOLEJŠÍ, T. *Jak optimalně nastavit citlivost ISO*. fotorádce, 2011 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.fotoradce.cz/jak-optimalne-nastavit-citlivost-iso>.

- [11] DOLEŽEL, M., DRAHANSKÝ, M., URBÁNEK, J., BŘEZINOVÁ, E. a TAE KIM hoon. Influence of Skin Diseases on Fingerprint Quality and Recognition. In: YANG, J. a XIE, S. J., ed. *New Trends and Developments in Biometrics*. InTech - Open Access Publisher, 2012, s. 275–303 [cit. 2021-02-23]. DOI: 10.5772/51992. ISBN 9789535108597. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/research/publication/9922>.
- [12] DRAHANSKÝ, M. *Biometrické systémy*. Studijní opora, 1. vyd. Brno: Fakulta informačních technologií VUT v Brně, 2006 [cit. 2021-01-26]. 3–8 s. Dostupné z: [https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/BIO/private/BIO\\_Studijni\\_opora.pdf](https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/BIO/private/BIO_Studijni_opora.pdf).
- [13] DRAHANSKÝ, M., BŘEZINOVÁ, E., ORSÁG, F. a LODROVÁ, D. Dermatologické faktory ovlivňující snímání otisků prstů pro biometrické účely. *Kriminalistika*. 2010, sv. 43, č. 3, s. 196–206. ISSN 1210-9150. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/webpm/clanek/dermatologicke-faktory-ovlivnujici-snimani-otisku-prstu.aspx>.
- [14] DRAHANSKÝ, M., KANICH, O., BŘEZINOVÁ, E. a SHINODA, K. Experiments with optical properties of skin on fingers. *International Journal of Optics and Applications*. 1. vyd. 2016, sv. 2016, č. 2, s. 37–46, [cit. 2020-12-28]. DOI: 10.5923/j.optics.20160602.03. ISSN 2168-5053. Dostupné z: <http://article.sapub.org/10.5923.j.optics.20160602.03.html#Sec3>.
- [15] DRAHANSKÝ, M., ORSÁG, F., DOLEŽEL, M. a AL. et. *Biometrie*. 1. vydání. Computer Press, s.r.o, 2011. 294 s. ISBN 978-80-254-8979-6. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/research/publication/9468>.
- [16] FLOWERS, P., ROBINSON, W. R., LANGLEY, R. a THEOPOLDK, K. *Chemistry*. 1. vyd. Houston, Texas: OpenStax, 2015 [cit. 2021-04-08]. ISBN 80-7013-114-4. Dostupné z: <https://openstax.org/books/chemistry/pages/21-6-biological-effects-of-radiation>.
- [17] FLÖSSLER, R. *Fotoškola online – naučte se jak fotit. Za půl hodiny* [online]. 2018 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://www.flor.cz/blog/fotoskola-naucte-se-jak-fotit/>.
- [18] GUO, Z., ZHANG, D., ZHANG, L. a LIU, W. Feature Band Selection for Online Multispectral Palmprint Recognition. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*. 1. vyd. 2012, sv. 7, č. 3, s. 1094–1099, [cit. 2020-12-01]. DOI: 10.1109/TIFS.2012.2189206.
- [19] HANZLOVÁ, J. a HEMZA, J. *Kůže – cutis a její deriváty* [online]. 2013 [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/fsp/s/e-learning/zaklady\\_anatomie/zakl\\_anatomieIII/pages/kuze.html](https://is.muni.cz/do/fsp/s/e-learning/zaklady_anatomie/zakl_anatomieIII/pages/kuze.html).
- [20] HASHIMOTO, J. Finger Vein Authentication Technology and Its Future. In: *2006 Symposium on VLSI Circuits, 2006. Digest of Technical Papers*. 2006, s. 5–8 [cit. 2021-01-28]. DOI: 10.1109/VLSIC.2006.1705285. ISSN 2158-5636.
- [21] HEIDARI, M. a DRAHANSKÝ, M. Detection of Ridge Discontinuities in Fingerprint Recognition Influenced by Skin Diseases. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 1. vyd. 2018, sv. 116, č. 116, s. 13–22. DOI: 10.14257/ijast.2018.116.02. ISSN 2005-4238. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/research/publication/11697>.

- [22] JAIN, A. K. a ROSS, A. A. *Handbook of Biometrics*. 1. vyd. Massachusetts Boston: Springer, 2008 [cit. 2021-01-26]. 1–23 s. ISBN 978-0-387-71040-2.
- [23] KOPEČNÝ, J., JANUROVÁ, E., FOUKAL, J., BARČOVÁ, K., UHLÁŘ, R. et al. *Fyzika pro bakaláře*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2006 [cit. 2020-12-27]. 665 s. ISBN 80-248-1200-2. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:c3090640-cf3e-11e7-9c14-005056827e51?page=uuid:29ea09e0-e73b-11e7-8939-5ef3fc9ae867>.
- [24] KREUZIGER, P. *Vybíráme správnou rychlost závěrky* [online]. 2012 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://www.pcworld.cz/clanky/vybirame-spravnu-rychlost-zaverky/5>.
- [25] KRÁLOVÁ, M. *Rádiové vlny* [online]. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/elektromagneticke-vlny/radiove-vlny>.
- [26] KRÁLOVÁ, M. *Ultrafialové záření* [online]. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/elektromagneticke-vlny/ultrafialove-zareni4>.
- [27] LEPIL., O. *Fyzika pro gymnázia Optika*. 5. vyd. Praha 4, čestmírova 10: Prometheus, 2015 [cit. 2020-12-26]. 79–82 s. ISBN 978-80-7196-444-5. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:48926840-02ff-11e7-8830-005056827e51?page=uuid:ebad7800-1f6d-11e7-a38c-005056827e51>.
- [28] MAJER, D. *Elektromagnetické spektrum* [online]. 2019 [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://kosmonautix.cz/2019/02/komunikace-pres-paprsky-x/spektrum/>.
- [29] MALTONI, D., MAIO, D., JAIN, A. K. a PRABHAKAR, S. *Handbook of Fingerprint Recognition*. 2nd. Springer Publishing Company, Incorporated, 2009 [cit. 2021-01-30]. ISBN 1848822537.
- [30] MEROLI, S. *Active Pixel Sensor Vs CCD. Who is the clear winner?* [online]. 2019 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: [https://meroli.web.cern.ch/lecture\\_cmos\\_vs\\_ccd\\_pixel\\_sensor.html](https://meroli.web.cern.ch/lecture_cmos_vs_ccd_pixel_sensor.html).
- [31] NAVRÁTIL, L. a ROSINA, J. *Biofyzika v medicíně*. 1. vyd. Praha: Manus, 2003 [cit. 2020-12-28]. 149–157 s. ISBN 80-86571-03-3. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:cacbbda0-0627-11e6-a5b6-005056827e52?page=uuid:6ee75b10-2423-11e6-918e-5ef3fc9ae867>.
- [32] NAVRÁTIL, L. a ROSINA, J. *Medicínská biofyzika*. 4. vyd. Grada, 2005 [cit. 2020-12-26]. ISBN 978-80-247-1152-2.
- [33] RAIBER, C. *What is ISO in photography*. Modula, 2021 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://wp-modula.com/what-is-iso-in-photography/>.
- [34] SANDSTRÖM, M. *Liveness detection in fingerprint recognition systems*. Institutionen för systemteknik, 2004 [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:19729/FULLTEXT01>.
- [35] SELAVIS. *Kůže* [online]. [cit. 2021-01-28]. Dostupné z: <https://www.selavis.cz/kuze/>.



- [36] SHARMA, R. a STANISLAVSKY, A. *Rheumatoid arthritis* [online]. 2011 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://radiopaedia.org/articles/rheumatoid-arthritis>.
- [37] SINGH, A., AGRAWAL, A. a PAL, C. *Hand geometry verification system: A review*. Listopad 2009, s. 1–7 [cit. 2021-01-26]. DOI: 10.1109/ICUMT.2009.5345652. ISSN 2157-023X.
- [38] SOCHOROVÁ, H. *Základy biofyziky pro bakaláře*. 2. vyd. Ostravská univerzita v Ostravě, Zdravotně sociální fakulta, 2007 [cit. 2020-12-26]. 36–42 s. ISBN 978-80-7368-466-2. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:8fb63f90-e997-11e9-9a61-005056827e52?page=uuid:93eb3c3b-d8bc-4969-af2b-f901db47fac4>.
- [39] ŠČUREK, R. *Biometrické technologie – technické prostředky bezpečnostních služeb*. 1. vyd. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2015 [cit. 2021-04-08]. ISBN 80-7013-114-4. Dostupné z: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/060/.content/galerie-souboru/studijni-materialy/BiometrickeTechnologie.pdf>.
- [40] ŠURKALA, M. *Fotomobily: snímací čipy CMOS vs. CCD* [online]. 2009 [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://www.digimanie.cz/fotomobily-snimaci-cipy-cmos-vs-ccd/2885>.
- [41] ZHANG, D., GUO, Z., LU, G., ZHANG, L. a ZUO, W. An Online System of Multispectral Palmprint Verification. *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*. 1. vyd. Březen 2010, sv. 59, č. 2, s. 480 – 490, [cit. 2020-12-01]. DOI: 10.1109/TIM.2009.2028772.

# Příloha A

## Obsah paměťového media

- Text bakalářské práce,
- zdrojové soubory  $\text{\LaTeX}$ u pro vysázení textové části práce,
- vytvořená databáze rukou,
- zdrojové soubory programu,
- seznam potřebných knihoven,
- schéma zapojení,
- soubor readme.md.

## Příloha B

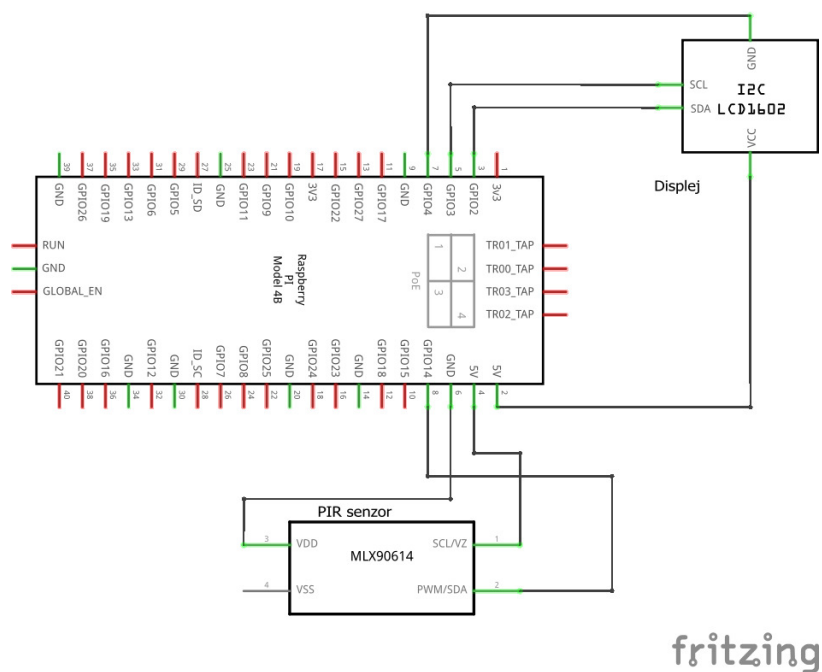
# Výpis použitých součástek

Název součástky	Počet
LCD displej 1602	1
HC-SR501	1
SparkFun DEV-10618	1
Raspberry Pi NoIR kamera V2	1
Logitech Webcam C920	1
Počítačový zdroj	1
Raspberry Pi 4 Model B	1
Raspberry Pi USB-C Power Supply	1
OSB5XZE3E1E	3
OSG5XZE3E1E	3
PM2B-1LPS-Y	3
OSR5XME3E1E	3
PK2N-2LJS-SD	3
odpor 220 $\Omega$	5
odpor 1 $\Omega$	2
odpor 4,6 $\Omega$	3
odpor 5,6 $\Omega$	1

Tabulka B.1: Výpis všech použitých součástek

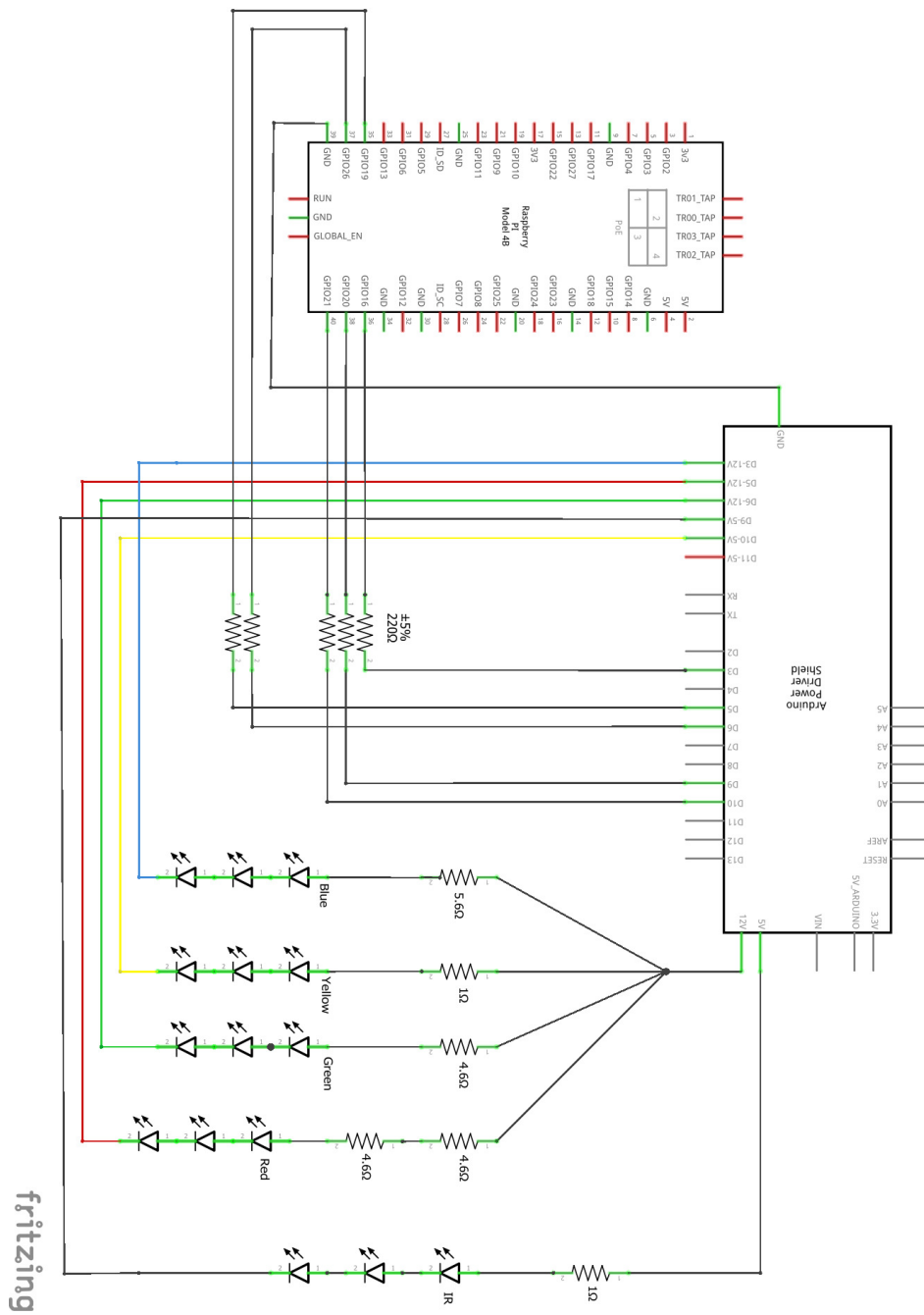
# Příloha C

## Schéma zapojení



fritzing

Obrázek C.1: schéma zapojení displeje a pasivního infračerveného senzoru



Obrázek C.2: schéma zapojení LED diod ve finální verzi