

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Vestavěný systém pro verifikaci osob na  
základě otisku prstu**

Embedded System for Person Verification Based  
on Fingerprint Analysis

2016

Matouš Procházka

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Matouš Procházka**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik  
Téma: **Vestavěný systém pro verifikaci osob na základě otisku prstu**  
**Embedded System for Person Verification Based on Fingerprint**  
**Analysis**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky zpracování obrazu a identifikace na základě otisku prstu.
2. Návrh systému pro verifikaci osob na základě otisku prstu.
3. Realizace systému pro verifikaci osob na základě otisku prstu.
4. Srovnání měřených a analyzovaných výsledků s teoretickými předpoklady.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

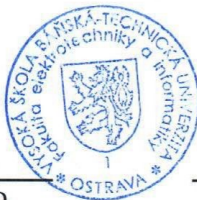
- [1] RAK, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. *Biometrie a identita člověka ve forezních a komerčních aplikacích*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2008, 631 s., 32 s. obr. příl. ISBN 978-80-247-2365-5.
- [2] ASHWINI, Barb, Jadhav Shivaji DIGAMBARRAO a S.P PATIL. Performance analysis of finger print sensors. In: *2010 2nd International Conference on Mechanical and Electronics Engineering* [online]. 2010 [cit. 2015-06-06]. DOI: 0.1109/icmee.2010.5558571.
- [3] ŠČUREK, Radomír. *Biometrické metody identifikace osob v bezpečnostní praxi: studijní text*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2008. 58s. Dostupný z: [http://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/040/.content/sys-cs/resource/PDF/biometricke\\_metody.pdf](http://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/040/.content/sys-cs/resource/PDF/biometricke_metody.pdf).

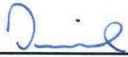
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Macháček, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016



  
doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě, dne: 20.4.2016



Matouš Procházka

## Poděkování

Mé poděkování patří Ing. Zdeňku Macháčkovi, Ph.D. za kvalitní a odborné vedení práce, pomoc a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Děkuji také Lucii Petráskové za pomoc při gramatické kontrole práce.

## **Abstrakt**

Cílem této práce je vytvořit kompaktní a nezávislý systém společně se zařízením, které je schopno porovnávat, ukládat, mazat uložené otisky z databáze a zobrazovat aktuální operační stavy na display. Ve své práci se zaměřuji převážně na vysvětlení principu nejpoužívanějších senzorů na trhu, daktyloskopii a způsob, jakým jsou snímány a zpracovány otisky prstů. Zvolený problém jsem vyřešil pomocí programovatelného mikrokontroléru (Arduino), LCD displeje, optického senzoru otisků prstů a ovládacích prvků. Získaná data jsem vyhodnocoval pomocí naprogramovaného algoritmu pro příslušné režimy. Vytvořený přístroj dává možnost zapojit tento systém například do zdravotnictví jako verifikační zařízení pro kontrolu pacientů před operacemi nebo pro správné přidělení narozeného dítěte rodičům. Na základě vytvořeného návrhu jsem sestavil a naprogramoval přesné a kompaktní zařízení pro verifikaci osob.

## **Klíčová slova**

Otisk prstu, snímač otisku prstu, identifikace, verifikace, biometrie, daktyloskopie, papilární linie, markanty, dermatoglyfy, epidermis, škára, podkožní vazivo, optický senzor, elektronický senzor, opto-elektronický senzor, kapacitní senzor, tlakový senzor, teplotní senzor, ultrazvukový senzor, DPI, FAR, FRR, segmentace, skeletizace, Arduino, mikrokontrolér

## **Abstract**

The aim of this work is create a compact and independent system together with device, which is able to compare, save and delete stored fingerprints from the database and show the current operating states on display. In my work I focus mainly on explanation of principle the most widely used fingerprint sensors on market, dactyloscopy and way in which the picture are taken and processed. The chosen problem I solved using the programmable microcontroller (Arduino), LCD display, optic fingerprint sensor and control buttons. The obtained data, I evaluated by using a programmed algorithm for different mode. Device creates possibility to engage this system in hospital as a verification device for control patients before surgery or correct allocation of born child to parents. On basis of the generated design I compile and program accurate and compact device for verification of persons.

## **Key Words**

Fingerprint, fingerprint sensor, identification, verification, biometrics, biometry, dactyloscopy, papilar lines, markants, dermatoglyph, epidermis, dermis, tela subcutanea, optic sensor, electronic sensor, opto-electronic sensor, capacitive sensor, pressure sensor, thermic sensor, ultrasound sensor, DPI, FAR, FRR, segmentation, skeletonization, Arduino, microcontroller

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
	<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>BIOMETRIE</b> .....	<b>2</b>
2.1	ZÁKLADNÍ POJMY BIOMETRIE .....	2
2.2	BIOMETRIE OTISKU PRSTU .....	3
<b>3</b>	<b>ANATOMICKÉ SLOŽENÍ PRSTU</b> .....	<b>3</b>
3.1	POKOŽKA (EPIDERMIS).....	3
3.2	ŠKÁRA (DERMIS) .....	5
3.3	PODKOŽNÍ VAZIVO (TELA SUBCUTANEA) .....	5
3.4	PAPILÁRNÍ LINIE.....	5
<b>4</b>	<b>HISTORIE OTISKU PRSTU</b> .....	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>DAKTYLOSKOPIE</b> .....	<b>7</b>
5.1	DAKTYLOSKOPICKÉ STOPY A JEJICH VZNIK .....	8
5.2	AUTOMATIZACE ZPRACOVÁNÍ OTISKŮ PRSTŮ.....	8
<b>6</b>	<b>TYPY SENZORŮ OTISKU PRSTU</b> .....	<b>8</b>
6.1	SENZORY KONTAKTNÍ .....	9
6.1.1	OPTICKÉ SENZORY .....	9
6.1.2	ELEKTRONICKÉ SENZORY .....	10
6.1.3	OPTO-ELEKTRONICKÉ SENZORY .....	10
6.1.4	KAPACITNÍ SENZORY.....	10
6.1.5	TLAKOVÉ SENZORY .....	11
6.1.6	TEPLOTNÍ SENZORY .....	11
6.1.7	RADIOFREKVENČNÍ SENZORY .....	12
6.2	SENZORY BEZKONTAKTNÍ.....	12
6.2.1	OPTICKÉ SENZORY .....	12
6.2.2	ULTRAZVUKOVÉ SENZORY.....	13
<b>7</b>	<b>ZÁKLADNÍ PARAMETRY SENZORŮ</b> .....	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>POČÍTAČOVÉ VYHODNOCENÍ OTISKU PRSTU</b> .....	<b>15</b>
8.1	PŘEDZPRACOVÁNÍ SNÍMANÉHO OBRAZU .....	15
8.2	VYHLEDÁNÍ A ROZBOR MARKANTŮ .....	15
8.3	ROZPOZNÁVÁNÍ OTISKŮ .....	16
<b>9</b>	<b>VYUŽITÍ SENZORŮ OTISKU PRSTU PRO KOMERČNÍ ÚČELY</b> .....	<b>16</b>
	<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>17</b>
<b>10</b>	<b>UPLATNĚNÍ VESTAVĚNÉHO VERIFIKAČNÍHO SYSTÉMU V KOMERČNÍ SFÉŘE</b> .....	<b>17</b>

<b>11</b>	<b>NÁVRH PŘÍSTROJE PRO VERIFIKACI OSOB.....</b>	<b>18</b>
11.1	PLATFORMA ARDUINO.....	18
11.2	PROTOTYP PŘÍSTROJE A BLOKOVÉ SCHÉMA.....	20
<b>12</b>	<b>HARDWAROVÁ REALIZACE PŘÍSTROJE .....</b>	<b>22</b>
12.1	POUŽITÉ KOMPONENTY PRO SESTAVENÍ PŘÍSTROJE .....	22
12.1.1	ARDUINO MEGA 2560 .....	22
12.1.2	DISPLAY.....	24
12.1.3	SENZOR OTISKŮ SEEED GROVE .....	26
12.1.4	ZDROJ NAPÁJENÍ .....	27
12.1.5	OSTATNÍ KOMPONENTY.....	28
12.2	HARDWAROVÉ ZAPOJENÍ PŘÍSTROJE .....	28
12.2.1	HARDWAROVÉ ZAPOJENÍ JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ PŘÍSTROJE.....	28
12.2.2	VÝVOJOVÝ DIAGRAM PŘÍSTROJE.....	30
12.2.3	JEDNOTLIVÉ UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ.....	31
12.2.4	UŽIVATELSKÝ KOMUNIKAČNÍ PROGRAM .....	32
<b>13</b>	<b>SOFTWAREOVÁ REALIZACE PŘÍSTROJE .....</b>	<b>32</b>
13.1	PROGRAMOVÁNÍ VE VÝVOJOVÉM PROSTŘEDÍ ARDUINO IDE .....	32
13.2	ZÁKLADNÍ ALGORYTMUS PRO SNÍMÁNÍ OTISKŮ .....	34
<b>14</b>	<b>TESTOVÁNÍ A ANALÝZA VESTAVĚNÉHO SYSTÉMU .....</b>	<b>38</b>
14.1	TESTOVÁNÍ PŘESNOSTI SNÍMÁNÍ ORISKU .....	38
14.2	ANALÝZA RYCHLOSTI SNÍMÁNÍ, ZAPISOVÁNÍ A MAZANÍ .....	40
14.3	TESTOVÁNÍ VÝDRŽE AKUMULÁTORU.....	41
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>42</b>
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>43</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....</b>	<b>44</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>46</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>46</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>47</b>

# 1 ÚVOD

Díky zvyšujícímu se trendu elektrotechniky a informačních systémů se otevírá prostor pro přesnější, kvalitnější a bezpečnější identifikaci osob pomocí digitálních biometrických ukazatelů, které nám slouží k usnadnění práce s osobami, věcmi, verifikacemi a kontrolami osobních údajů. Stále častěji se hovoří o potřebě lépe zabezpečovat zneužitelná data, osobní a firemní informace nebo platební operace. V historii se tyto problémy řešily pomocí papírové dokumentace, která již v dnešní době zaostává a začíná být nedostačující jak z hlediska kvality a bezpečnosti uchování dat tak z hlediska možnosti uchování velkého objemu dat. Dnes je tento problém již vyřešen díky osobním počítačům, serverům a cloudovým systémům. Jedním z mnoha zabezpečovacích a verifikačních systémů, kterými se zabývám v této bakalářské práci, je vytvoření kompaktního a mobilního zařízení, které je bez nutnosti neustálého připojení k počítači schopno kontrolovat pacienty v nemocnici, např. zda jsou to právě ty osoby, se kterými máme provádět operační zákrok, podávat léky nebo jestli nově narozené dítě je správně zařazené k matce.

Svou bakalářskou práci jsem rozdělil na dvě části. První část se zabývá základními pojmy z oblasti obecné biometrie a biometrie otisku prstu, dále pak anatomickou problematikou, ve které detailněji popisují složení všech kožních a podkožních částí konečků prstů jako je pokožka, škára a podkožní vazivo. Z hlediska otisku jako takového se věnuji popisu toho nejdůležitějšího, co dělá otisk otiskem, a to jsou papilární linie. Dále vysvětluji původ zkoumání otisku prstu a vědy, která tento způsob identifikace "proslavila", daktyloskopii. Nejdůležitější oblast první části popisují v kapitolách, které se zabývají moderními snímacími senzory pro detekci otisku prstu, jako jsou kontaktní a bezkontaktní (nejmodernější) senzory. S tím souvisí i počítačové zpracování obrazu, kde popisují jednotlivé kroky od prvotního snímání až po porovnávání otisků s databází. Nakonec vysvětluji, jakým způsobem se v dnešní době řeší výroba a komercializace takovýchto produktů společně s možným využitím mnou vytvořeného přístroje v nemocniční oblasti.

Ve své druhé a nejpodstatnější praktické části detailně popisují návrh, vývoj a testování kompaktního zařízení, které je schopno snímat otisk prstu pomocí kontaktního optického senzoru, ukládat snímky do paměti senzoru a mikrokontroléru, kontrolovat otisky prstů, mazat otisky z paměti a zobrazovat je uživateli na podsvícený čtyřřádkový display. Na začátku praktické části vysvětluji, jaké používám komponenty pro svůj přístroj, možnosti jejich zapojení a jakým způsobem tento vestavěný systém pracuje. Dále popisují blokové schéma přístroje a diagramy stavů systému. Porovnávám možné využití přístroje s již používanou nemocniční identifikací pomocí zápěstních pásků. Detailněji vysvětluji vlastní software pro snímání a programování přístroje na vyňatých částech z kódu. Nakonec se zabývám analýzou fungování přístroje z pohledu rychlosti, přesnosti snímání a také výdrže. Tyto poznatky prokládám obrázky společně s fotografiemi vlastního řešení a testování zařízení.

# TEORETICKÁ ČÁST

## 2 BIOMETRIE

Biometrie je věda, která slouží k rozpoznávání lidí pomocí jejich osobních a zároveň unikátních biologických rozpoznávacích charakteristik. Slovo biometrie pochází ze spojení dvou řeckých slov "bios", což znamená život, a "metron", které znamená měřit nebo měřítko. V oboru IT se tímto slovem označuje především způsob či postup, jak rozpoznávat lidské vlastnosti. Abychom mohli osoby identifikovat pomocí unikátních biologických znaků, musí mít každý jedinec své jedinečné identifikační informace stejné po celý život. Jedním z neznámějších a nepoužívanějších osobním znakem je např. otisk prstu, identická chůze, řeč, tvář, DNA aj.. S biometrií se dnes nejčastěji můžeme setkat v kriminalistice, která používá daktyloskopické metody k rozpoznávání zločince díky nevyvratitelnému důkazu, jako je právě otisk prstu. V dnešní době se s biometrií můžeme setkat v běžném životě, např. na letištích při kontrole identifikace osoby, při vyřizování dokladů na úřadech, při přihlašování do notebooků či mobilních telefonů nebo při kontrole docházky ve firmách. Je to hlavně díky tomu, že tato kontrola je velmi přesná, rychlá a náklady jsou minimální ve srovnání s papírovou dokumentací. Biometrie má své výhody a nevýhody. Mezi její výhody patří možnost omezit pokusy o popření identity člověka, biometrie je spolehlivý a pohodlný způsob ověřování identity, snižuje riziko zfalšování osobních údajů a zaručuje bezpečnost osobních dat proti případným podvodníkům. Mezi nevýhody patří možnost napadení biometrického systému. Fakt, že biometrie není schopna deklarovat stoprocentní anonymitu, porovnání osobních údajů, nemusí být vždy jednoznačné, nicméně v dnešní době k pochybnostem o pravosti téměř nedochází. [1, 3]

### 2.1 ZÁKLADNÍ POJMY BIOMETRIE

Jedním ze základních pojmů je biometrická identifikace, biometrická verifikace a biometriky. Biometrická identifikace slouží k porovnávání osobních znaků se znaky jiných osob, které jsou součástí určité databáze. Jde tedy např. o porovnávání otisku prstu, kde uživatel zadá vlastní biometrické údaje, a ty se porovnávají s jinými otisky a systém následně nalezne shodné údaje, které vyhodnotí. Tento způsob ověřování identity je náročný pro databáze s velkým objemem dat, proto se používají nejrůznější podskupiny např. třídy otisků prstů, díky kterým se identifikace urychluje. Jde tedy o identifikaci 1:N. Zatímco u biometrické verifikace uživatel může, ale nemusí nejdříve zadat svou identifikaci např. pomocí hesla, pinu nebo zadáním určité specifikace svého údaje (ID) a až poté poskytne své biometrické informace, které se porovnávají v databázi s jinými předlohami. Nicméně biometrický záznam se nekontroluje se všemi uloženými otisky, ale porovnává se s otiskem, který je uložený pod námi požadovaným ID, heslem či pinem. Jde tedy o verifikaci 1:1, protože dochází ke kontrole právě s jedním uloženým heslem nebo jiným údajem. Biometriky jsou biometrické měřitelné charakteristiky, jako jsou obrazce a data živého organismu, které jsou snímány, vyhodnocovány a ukládány do identifikačních procesů identifikace a verifikace. Předpoklady k úspěšné identifikaci či verifikaci jsou jedinečnost, praktická měřitelnost, stálost nebo možnost dalšího zpracování. Někdy můžeme narazit na pojem autentizace, který může propojovat jak identifikaci, tak verifikaci. S tímto systémem se můžeme setkat u osobních počítačů, automobilů, výrobních a továrních prostorů aj. [2]

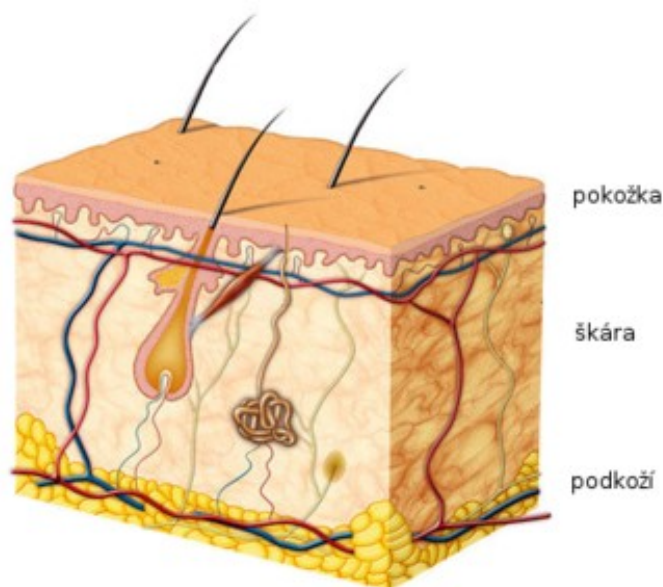


## 2.2 BIOMETRIE OTISKU PRSTU

Otisk prstu (angl. Fingerprint) je symbolem biometrické identifikace, který existuje již přes sto let a stejnou dobu je také používán. Otisky prstů jsou celosvětově rozšířeny a uznávány jako standart pro identifikaci osob ať už v policejně-soudním nebo bezpečnostně-komerčním odvětví. Tato metoda je založena na principu snímání unikátních obrazců papilárních linií na konci článků prstů. Snímání otisků dnes neprobíhá jen jako zaznamenání otisku starší metodou, kdy je prst natřen speciální černou barvou používanou v daktyloskopii, ale také pomocí nejrůznějších snímačů ať už dotykových nebo bezkontaktních pro přímé snímání tzv. live scanning. [3]

## 3 ANATOMICKÉ SLOŽENÍ PRSTU

Plocha kůže může dosahovat u dospělé osoby 1,6 až 1,8 m<sup>2</sup> a její hmotnost může činit téměř 7 procent z celkové váhy osoby. Kůže může být tlustá až 4 milimetry, a to konkrétně na zádech, nicméně její tloušťka se liší na různých místech těla, např. oční víčka mají tloušťku jen 0,4 milimetru. Kůže plní mnoho podstatných funkcí, jako je ochrana proti teplotním šokům, zabraňuje ztrátě tekutin a chrání před vstupem nečistot a mikroorganismů do těla. Má funkci vnímání, kdy smyslové buňky v kůži jsou schopny posílat informace o změně teploty nebo o vzniku poranění. Dále slouží k vylučování vody, která je využívána k ochlazení těla, skladování minerálů, vitamínů, tuků a vody.



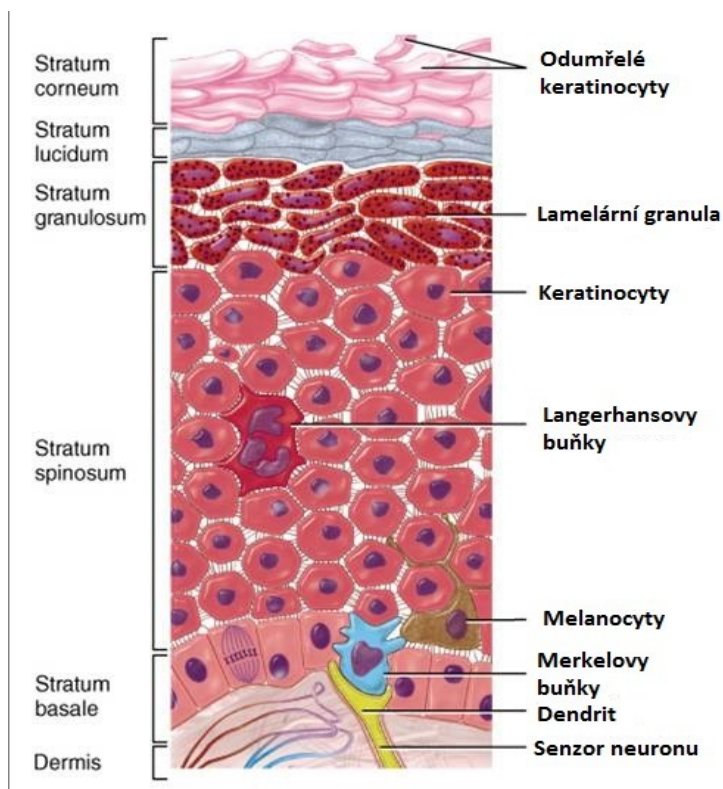
Obr. č. 1: Anatomické složení kůže

### 3.1 POKOŽKA (EPIDERMIS)

Pokožka (epidermis) je tvořena dlaždicovým epitelem s více vrstvami, který se nachází nad dermis a nasedá na něj pomocí lamia basalis. Nachází se v ní tři druhy roztroušených buněk, a to Melanocyty, Langerhansovy buňky a Merkelovy buňky. Podle druhu kůže se rozděluje kůže na tzv. tlustý typ (hladký bez vlasů) s tlustou rohovou vrstvou a tenký druh kůže, kde se nejčastěji nacházejí vlasy. Buňky, které se nacházejí ve spodní části epidermis, jsou schopné se množit, posouvají se

směrem vzhůru, kde zastupují funkci odumřelých buněk tzv. keratizovaných. Keratizace je děj, při kterém se za normálních podmínek syntetizuje specifický skleroprotein - keratin. Tento proces probíhá ve střední části epidermis a na svrchní části kůže vytváří odumřelé destičky, které se časem samy odstraní. Přibližně každé tři týdny se kůže kompletně obmění a za celý život se z kůže odloupne asi dvacet kilogramů odumřelých buněk.

Epidermis je tvořen z několika vrstev kožních buněk, které neobsahují cévy. První vrstva Stratum basale je tvořena bazofilní vrstvou nejčastěji cylindrickým nebo kubickým epitelem, který se neustále dělí na spodní části epidermis tzv. lamia basalis. Všechny buňky Stratum basale obsahují filamenta cytokeratinu asi 10 nm silná. Druhá podstatnější vrstva Stratum spinosum je tvořena polyedrickými buňkami nejčastěji oploštěnými. Buňky jsou mitoticky aktivní a jsou velmi dobře vyvinuty spojovací komplexy. Dále se v mezibuněčném prostoru nachází tkáňový mok. Třetí vrstva Stratum granulosum obsahuje 3 až 5 vrstev plochých buněk se zrny keratohyalinu, což je produkt rohování buněk a právě zde startuje proces keratizace. Stratum lucidum je tenká dvou až třívrstvá část buněk, která již neobsahuje buněčné organely, a je dobře čitelná na částech těla, kde se nachází tlustý druh kůže, jako jsou dlaně či chodidla. Pátá část Stratum corneum (0,01 až 0,04 mm) obsahuje několik vrstev bezjaderných a zcela plochých buněk. Je to povrchová část kůže skládající se z přibližně 20 vrstev. Nejsvrchnější částí je Stratum disjunctum, což jsou buňky, které ztrácejí mezibuněčná spojení a odlupují se. [5]



Obr. č. 2: Struktura pokožky (Epidermis)

## 3.2 ŠKÁRA (DERMIS)

Škára (dermis) je pevná a pružná vrstva kůže, která se skládá z vazivových vláken, nervů, cév, mizních cév buněčných elementů a je zřetelně oddělená od epidermis pomocí zvláště bazální membrány. Škára může mít rozdílnou tloušťku, závisí tak na různých částech těla. Hlavním úkolem škóry je udržovat mechanickou odolnost a pevnost kůže. Škára je také prostoupena velkým počtem krevních, lymfatických cév a nervových zakončení, díky kterým jsme schopni vnímat bolest. Ve škáře se nachází velký počet nervových zakončení, která jsou schopna vnímat teplo, chlad, dotyk a tlak. Meissnerova tělíska tzv. čidla hmatu jsou schopna vnímat dotek. Kraseova tělíska obsahují tepelné receptory pro chlad, naopak Ruffiniho tělíska jsou schopna rozeznávat teplo. Vater-Pacciniho tělísko se nachází v hlubší části škóry až v podkožním vazivu a díky němu vnímáme tah a tlak.

Dermis se skládá ze dvou hlavních vrstev, první je Stratum papillare což je vrstva, která obsahuje řídké kolagenní vazivo s velkým počtem buněk s elastickými vlákny vytvářející konické výběžky tzv. dermální papily. Tento úsek zasahuje svými papily do epidermis. Druhá vrstva je Stratum reticulare. Nachází se pod papilární vrstvou a je to hlubší vrstva škóry, která je mnohem silnější a je tvořena hustou sítí kolagenních a elastických vláken, fibril. Fibrily se dostávají směrem vzhůru k lamina basalis, kde končí jako velmi tenká vlákna a postupně ztrácejí amorfní elastinovou komponentu. Právě elasticita kůže je závislá na této části škóry. [5]

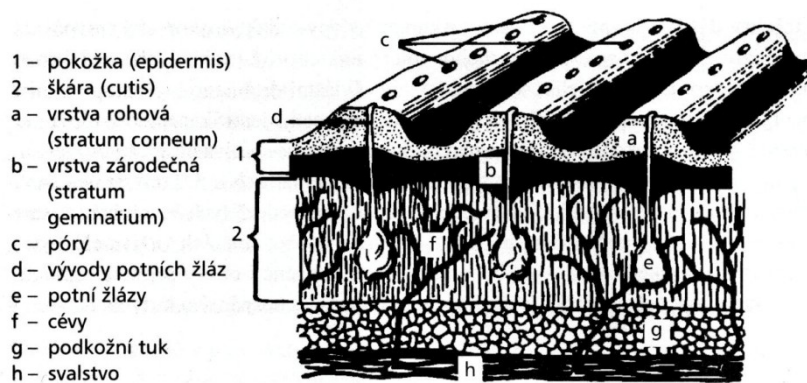
## 3.3 PODKOŽNÍ VAZIVO (TELA SUBCUTANEA)

Podkožní vazivo (tela subcutanea) obsahuje řídké pojivové buňky, tepny, cévy a nervová vlákna. Je nejspodnější vrstvou kůže, která propojuje svalovou část (svalovou facií) a tukovou část. Slouží jako řídké vazivo, které umožňuje pohyb svalů, šlach a kostí vůči kůži. Využívá se jako prostor pro ukládání energie a tepelné izolace, vitamínů (A, E, K, D), dále slouží k ochraně svalů a nervů. [4, 5]

## 3.4 PAPILÁRNÍ LINIE

Každý prst má svůj jedinečný otisk, který se skládá z papilárních linií, což jsou vyvýšeniny povrchové části pokožky, jejich výška je v rozmezí 0,1 až 0,4 mm a šířka činí 0,2 až 0,5 mm. Tyto části, které tvoří tzv. údolí a hřebeny tvoří daktyloskopické obrazce, které jsou potřebné k rozeznání osob. Zárodečné informace jsou uloženy hluboko pod pokožkou v zárodečné kůži, tím tedy dochází k tomu, že papilární linie nejsou odstranitelné, dokud není odstraněna i zárodečná kůže. Proto také při poranění nebo jiném poškození jsou schopny zárodečné buňky obnovit papilární linie do původního stavu.

Tím, že se svrchní část pokožky neustále obnovuje novými buňkami ze zárodečné kůže, která produkuje stejné informace, nemůže dojít ke změně otisku prstu za jiný. Obrazce papilárních linií se tedy nemění ani narůstajícím věkem. Již od 4. měsíce embryonálního života se na jedinci vyvíjí papilární linie, které se postupem vývoje mění jen minimálně. Bylo prokázáno, že dítě po porodu má stejné otisky prstu téměř po celý život, jen ve stáří se kvalita otisků zhoršila díky stárnutí pokožky.

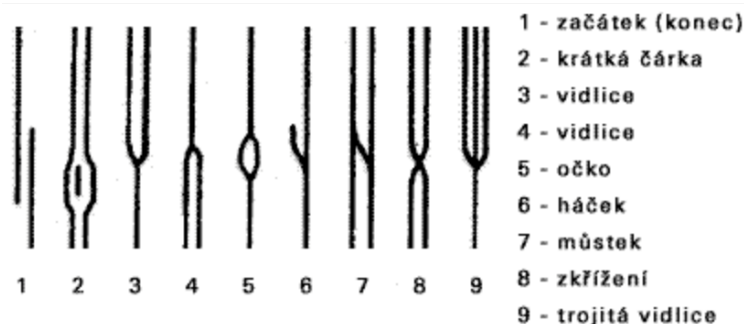


Obr. č. 3: Schéma stavby kůže s papilárními liniemi [6]

Papilární linie vytváří velké obrazce, které jsou svou podobou pro každou osobu jedinečné. Tyto obrazce se nazývají dermatoglyfy nebo třídy otisku prstu. Dermatoglyfy jsou otisky tvořené údolím (v otisku prstu jsou vyznačeny bílými linkami) a hřebeny (v otisku jsou vyznačeny černými linkami). Nacházejí se na ruce, dlaních i na nohou, jejich vzdálenost je přibližně 500 μm. Z pohledu lokálního rozdělení se obrazce dále dělí na tzv. daktyloskopické markanty, což jsou menší útvary a změny v papilárních liniích, které jsou svou podobou jedinečné, avšak nejsou jedinečné pro jednu osobu. Jednotlivé markanty může mít více osob ovšem v jiném rozložení. Pro přesnější identifikaci osob jsou důležitější právě daktyloskopické markanty. Přesné rozložení papilárních linií je dáno geneticky, a to z 90 %, zbylých 10 % je přisuzováno vnějším podmínkám, proto ani jednovaječná dvojčata nemají otisky stejné. [7]



Obr. č. 4: Dermatoglyfy: 1) plochý oblouk 2) stranový oblouk 3) ulnární smyčka 4) radiální smyčka 5) dvojsmyčka 6) spirální vír 7) koncentrický vír



Obr. č. 5: Daktyloskopické markanty: 1) začátek a konec 2) krátká čárka 3) vidlice 4) dvojitá vidlice 5) očko 6) háček 7) můstek 8) zkřížení 9) trojitá vidlice

## 4 HISTORIE OTISKU PRSTU

Počátky uvědomění si, že každý člověk vlastní unikátní obrazce na svých konečných prstech sahají několik tisíc let zpět. Mezi nejstarší archeologické nálezy patří ryté obrazce tzv. petroglyfy na kamenech nalezených v roce 1913 na území dnešního státu Indiana v USA. První nálezy, které zřejmě patřily k identifikaci osob, pochází z Asýrie a Číny, kde se pomocí otisků označovaly úřední dokumenty. Jedním z prvních možných dokumentů, kde byly účelně použity otisky, byly obchodní smlouvy, vyšetřovací dokumenty ke vloupání nebo písemné žádosti o rozvod. O prvních kriminalistických účelech se můžeme dočíst v literatuře z doby Sung (12 stol. n. l.), která se poprvé zabývala detailními popisy papilárních linií. V Evropě se dokumenty o otiscích objevují až v roce 1686, kdy si boloňský univerzitní profesor anatomie Marcello Malpighi všiml svých papilárních obrazců a brázd mezi nimi. Díky němu byla později pojmenována jedna z kožních vrstev. Průkopníkem daktyloskopie je označován Nehemiah Grew, který se věnoval umístěním pórů a papilárních linií na konečkách prstů. V roce 1684 vydal publikaci o strukturách obrazců na prstech a dlaních. Roku 1788 Johann Mayer publikoval dílo o jedinečnosti papilárních znaků u každého člověka. Nejvýznamnější osobností tohoto výzkumu byl česky profesor patologie a fyziologie Jan Evangelista Purkyně, který v roce 1823 vydal habilitační práci s názvem "Comentatio de examine physiologico organi visus et systematis cuntanei", ve které detailně popsal a rozlišil devět základních obrazců papilárních linií. Vytvořil tak základní pojmy v oboru daktyloskopie, jako jsou spirála, elipsa, kruh, příčné záhyby, šikmý záliv aj. Henry Faulds v roce 1880 představil způsob, jak využít otisky k identifikaci lidí a zároveň navrhl jak tyto otisky snímat pomocí inkoustu. O jedenáct let později Juan Vucetich oficiálně zahájil používání otisků prstů jako kriminalistické důkazy. Poslední významnou postavou byl Francis Galton, který se věnoval pravděpodobnostní shody otisku, kterou stanovil na 1 ku 64 miliardám. [3, 8]

## 5 DAKTYLOSKOPIE

Daktyloskopie je jeden z nejstarších vědních oborů patřící k nejdůležitější kriminalistické technice, která se věnuje identifikace lidí pomocí obrazců na vnitřní straně konečků prstů. Daktyloskopické zkoumání vychází z jedinečnosti obrazců ze třech oblastí na určitých částech lidského těla, jakou jsou papilární linie na konečných prstech, na dlaních a na nohou. Z hlediska kriminalistiky je důležitá Darwinovská teorie, která říká, že papilární linie jsou jedinečné pouze u lidí, tudíž nemůže dojít k zapojení zvířat do této problematiky. Vytvoření, vývoj a existence daktyloskopických obrazců je podmíněno třemi základními zákonitostmi. První zákon o individuálnosti obrazců říká, že na světě neexistuje dvě a více osob, které mají stejné daktyloskopické papilární obrazce. Díky tomu, že byly provedeny matematické kombinace, došli vědci k 64 miliardám různých variant, jak by mohly vypadat markanty společně s dermatoglyfy. Druhý zákon hovoří o neměnitelnosti obrazců po celý život člověka, které se vyvíjí ještě před narozením. V průběhu života se mění pouze délka a velikost obrazců, nicméně rozložení klasifikačních markantů zůstává neměnné. Třetí zákon popisuje neodstranitelnost papilárních linií. Profesori Locard a Witkovski prováděli drastické pokusy, kdy si konečky prstů odřezávali, opalovali, polévali olejem a vždy se jejich otisky vrátili do původní podoby, a to díky zárodečné části kůže, která otisky znovu vytvoří. [8, 9]

## 5.1 DAKTYLOSKOPICKÉ STOPY A JEJICH VZNIK

Daktyloskopické stopy jsou informace, které dočasně umožňují uchovávat obraz papilárních linií. Vznikají přímým kontaktem člověka jako zdroje informace a jiného objektu. Tato informace vzniká několika způsoby, otisk se může vytvořit jako trojrozměrný obraz v některé z měkkých struktur, které jsou schopny deformace, jako je plastelína nebo pečetní hmota, zde ale musíme dbát na to, že obraz je zrcadlově otočený. Takto vytvořený otisk se nazývá plastickou daktyloskopickou stopou. Otisk je ale nejčastěji zkoumán jako plošný dvourozměrný obraz, který vzniká díky vylučovaným látkám nebo tak, že na papilární linie je nanášena látka z jiného objektu. Díky tomu dojde k narušení povrchu nosiče stopy. Jedním z principů tohoto jevu mohou být potní kanálky, které ústí na špičkách papilárních linií a ty vylučují solný roztok, který je následně otisknut na určitý objekt. Tím vznikají tzv. navrstvené daktyloskopické stopy. Z hlediska kvality otisků pro budoucí zpracování se zajištěné stopy dělí na upotřebitelné k identifikaci, zde patří stopy, které mají minimálně deset identifikačních markantů. Tyto stopy mohou být použity jako soudní důkazy. Částečně upotřebitelné stopy zahrnují sedm až devět charakteristických markantů. Tyto stopy nesmí být použity jako důkazní materiál. Mezi neupotřebitelné stopy patří všechny ty, které mají méně než sedm markantů, vznikají jako nedokonalý, rozmazaný otisk nebo jeho část. [3, 9]

## 5.2 AUTOMATIZACE ZPRACOVÁNÍ OTISKŮ PRSTŮ

V době, kdy neexistovaly počítače a programy na klasifikaci otisků prstů se ve velkém měřítku používalo manuální prohledávání celých evidencí a svazků, které trvalo až několik dní. Bez podpory porovnávacích systémů a programů bylo vyhledávání časově, odborně i psychicky náročnou činností. Geometricky rostoucí trestná činnost, která neustále zvyšovala počty papírových svazků s otisky pachatelů, zapříčinila návrh a vývoj počítačových programů pro daktyloskopii. Tyto programy se začínaly vyvíjet již v šedesátých letech. Díky masivnímu zavádění informačních technologií a nátlaku FBI na Národní úřad pro standardizaci, se v osmdesátých a devadesátých letech v USA začaly oficiálně používat evidenční programy. Postupem času se vyvinuly dvě základní evidence. Nejběžnější se staly *jednoprsté evidence*, které obsahovaly pouze jeden otisk (poslední článek prstu), a to nejčastěji od pachatele. Druhou evidencí je *víceprstá*, ta se využívala k identifikaci neznámých lidí a zemřelých. V roce 1981 se objevily první systémy AFIS (Automated Fingerprint Identification Systems), díky kterým se mohly zavést standardy pro klasifikaci otisků prstů. Systém je schopen plnit základní funkce jako je vkládání, klasifikování, kódování, porovnávání a ukládání otisků prstů. [3, 9]

## 6 TYPY SENZORŮ OTISKU PRSTU

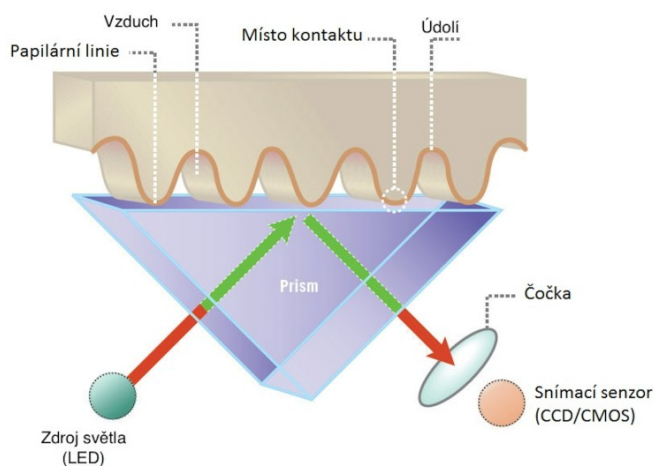
Identifikování osob pomocí otisku prstu patří z pohledu dějin k nejstaršímu biometrickému postupu, jak co nejkvalitněji rozpoznat danou osobu pomocí biometrik. Vývoji rozpoznávacích systémů pomohlo zavádění počítačových technologií, které byly dávány do oběhu v globálním měřítku. Velkou roli zde hrálo využití otisku prstu v policejním soudním odvětví, kde byly kladeny nejvyšší nároky na přesnost a kvalitu. V dnešní době se můžeme setkat se dvěma nejpoužívanějšími způsoby snímání otisků, jednak je to klasické otištění prstu na speciální daktyloskopickou papírovou kartu, která je po sejmutí všech otisků na obou rukách naskenována a uložena do počítače k dalšímu

zpracování. Druhým a dnes nejrozšířenějším je způsob snímání pomocí nejrůznějších senzorů, které musí splňovat určité technické parametry, jako je rozlišení snímače, které se pohybuje v rozmezí od 250 dpi do 1000 dpi (Dots per inch - údaj, který určuje, kolik obrazových pixelů se nachází na jednom čtverečním palci). Dále velkou roli hraje velikost snímací plochy, která je podle norem americké FBI stanovena na 1 čtvereční palec, nicméně nejčastěji se můžeme setkat s velikostí 0,7 x 0,7 cm. Pro systémy, kde je kladen důraz na množství a rychlost snímání dat, se používají plochy 10 cm x 6 cm, s těmito systémy se můžeme setkat na imigračních zónách a úřadech. Kvalitu obrazu také zaručuje počet bitů, který slouží pro zakódování barvy, nejčastěji se používá 8 bitů pro odstíny šedi, ale existují i senzory kterým stačí 3 bity. [3]

## 6.1 SENZORY KONTAKTNÍ

### 6.1.1 OPTICKÉ SENZORY

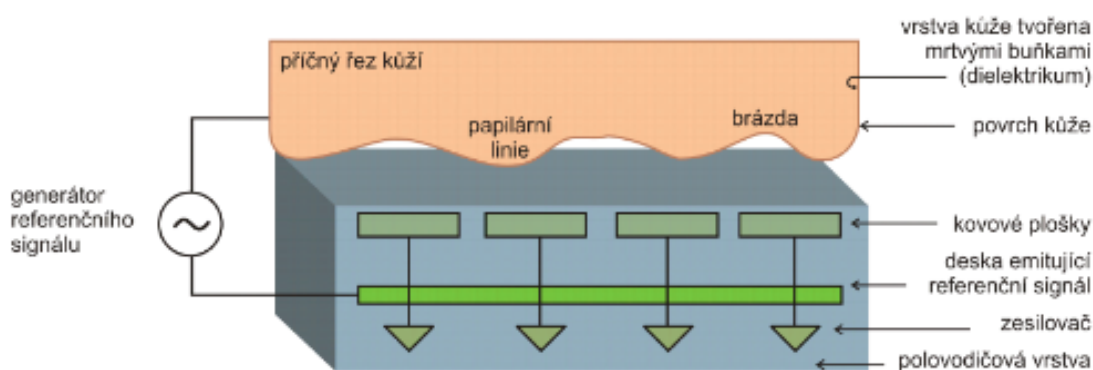
Optické senzory jsou jedny z nejstarších a nejpoužívanějších senzorů, jejich využití nastalo v 70. letech minulého století. Princip činnosti optického snímače je založený na technologii FTIR (Frustrated Total Internal Reflection) tzn. rozdílný odraz světla. Optický snímač zachycuje digitální zobrazení otisku pomocí viditelného světla (na rozhraní plochy hranolu a přiloženého prstu). Zdrojem vysílaného světla je nejčastěji laser nebo LED dioda. Obraz otisku se přenesení na maticový CCD nebo CMOS detektor, ten je následně digitalizován a dále předán pro zpracování. Pod vrstvou, na kterou se přikládá prst (dotykový povrch), je vrstva fosforu, která osvětluje celou plochu prstu. Odražené světlo od povrchu prstu prochází luminoforní vrstvou k CCD maticovému detektoru, kde se vytvoří obraz otisku. Výsledný obraz vzniká tím, že se vysílané světlo odráží od papilárních linií, které těsně dosedají na průhledný hranol senzoru. Údolí mezi papilárními liniemi se nezobrazí díky tomu, že není schopno odrazit vysílané světlo zpět ke snímači a že citlivost CCD senzoru je nastavena tak, aby světlo o určité intenzitě nezaznamenalo. Postupem času a vývoje optického snímače bylo dosaženo velmi malých rozměrů, velikost takovýchto senzorů byla v 70. letech 15 x 7,5 x 15 cm. Koncem 90. let se velikost ještě zmenšila a nyní lze zakoupit senzor s velikostí 7,5 x 1,5 x 7,5 cm (např. firma Seead). Výhodou tohoto senzoru je poměrně vysoká kvalita, malá velikost, rychlost snímání a zpracování obrazu. Nevýhodou může být náchylnost na nečistoty při snímání. [3, 8]



Obr. č. 6: Optický senzor

## 6.1.2 ELEKTRONICKÉ SENZORY

Elektronické senzory fungují na principu vytvoření elektrického pole mezi prstem přiloženým na snímač a vodivou elektricky nabitou destičkou snímače. Tím, že proměníme rovný povrch snímače na zvlněný tvar, který se vytvoří díky papilárním liniím a brázdám, se změní i velikost elektrického pole. Pokud položíme prst na snímač, uzavře se elektrický okruh tvořený vodivým kroužkem. Díky velkému množství miniaturních antén ve tvaru destiček, které se nacházejí na základní desce senzoru, vysílají signál, který je pozměňován v závislosti na pozici přiloženého prstu. Signál z těchto antén je dále zesílen a zpracován k dalšímu použití. Velkou výhodou tohoto senzoru je, že mu nijak nevádí špína a znečištění svrchní části kůže. Sensor není závislý na suché ani mokré pokožce, neboť vysílaný signál proniká do větší hloubky prstu. [3, 10]



Obr. č. 7: Elektronický senzor

## 6.1.3 OPTO-ELEKTRONICKÉ SENZORY

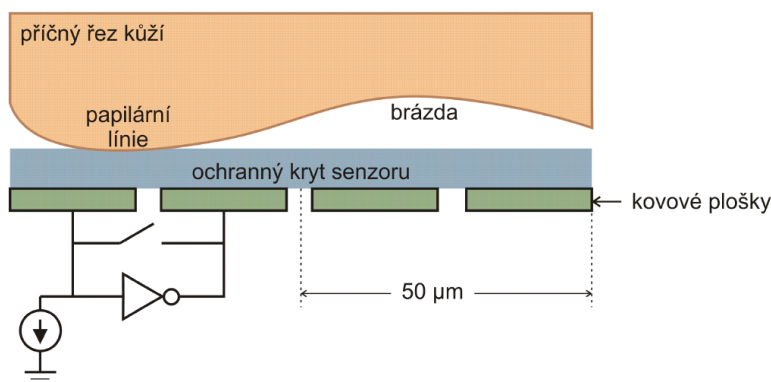
Opto-elektronické senzory se skládají ze dvou rovnoběžných vrstev. Svvrchní část senzoru, která těsně dosedá ke snímanému prstu, je vyrobena z velmi tenkého polymeru tzv. TFT, což je průhledný polymerový film, který se skládá z miniaturních tranzistorů umožňujících přepínání mezi jednotlivými pixely (pixel - nejmenší obrazová jednotka) do stavů, které vypínají a zapínají světelné signály. Tím je schopen TFT film vysílat viditelné světlo. Díky tomuto světlu je schopna další vrstva, která se nachází pod TFT filmem, zachytit toto světlo pomocí miniaturních fotodiód. Fotodiody následně převádějí viditelné světlo na elektrický signál a ten je následně zesílen a posílán do A/D převodníku a mikroprocesoru k dalšímu zpracování. Výsledkem je viditelný daktyloskopický obraz. Výhodou tohoto senzoru je velmi vysoká kvalita snímání, nízká pořizovací cena a odolnost proti vnějším vlivům, jako jsou nečistoty nebo vlhkost. Díky tomu je optimální využití tohoto senzoru ve venkovním prostředí. [3, 8, 10]

## 6.1.4 KAPACITNÍ SENZORY

Kapacitní senzory otisku prstu pracují na principu měření elektrické kapacity. Kapacitní technologie tohoto snímače funguje jako jedna velká matice složená z mnoho set tisíc malých kovových destiček, které zastupují jednu ze dvou částí reálného kapacitoru a jsou velké jen několik desítek mikrometrů. Na tyto destičky je položena tenká vrstva oxidu křemičitého, který zastupuje roli ochranného krytu, ale také jako dielektrikum. Po přiložení prstu na snímač dojde ke vzniku kondenzátoru, a to mezi papilárními liniemi, které přímo dosedají na snímač, a kovovými ploškami.



Brázdy fungují jako vzduchový izolant. Výsledkem přiložení prstu a vytvoření kondenzátorů je napětí a kapacitní úbytky mezi jednotlivými ploškami. Převodem a zesílením tohoto analogového signálu vzniká digitální mapa papilárních obrazců. Výhodou kapacitního snímače jsou velmi malé rozměry, díky nimž mohl vzniknout tzv. lineární kapacitní snímač, s kterým se můžeme setkat na některých mobilních telefonech a počítačích. Velkou nevýhodou je značná citlivost senzoru na elektromagnetický šum (síťový signál - 60 Hz), znečištění pokožky, která může měnit vodivost lidské kůže. Bylo zjištěno, že např. ochranné a léčebné krémy mohou zkreslovat kvalitu obrazu. [3, 8, 10]



Obr. č. 8: Kapacitní senzor

### 6.1.5 TLAKOVÉ SENZORY

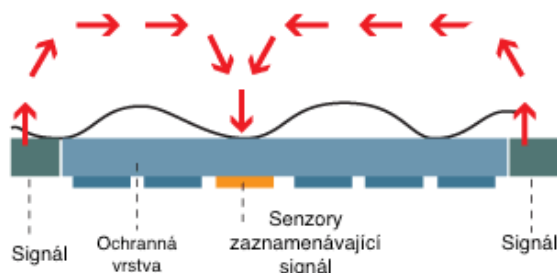
Tlakové senzory pracují na technologii tlakového stlačení prstu proti snímací ploše, která je složená ze třech základních vrstev. První (svrchní) plocha je tvořená z elastického, piezoelektrického materiálu, který díky své elasticitě je schopen tlak papilárních linií převést na elektrický signál. Druhá vrstva je tvořena z nevodivého gelu. Třetí vrstva je opět elektrovedivá. Při přiložení prstu na snímací plochu dojde ke stlačení nevodivého gelu tak, že papilární linie tlačí k sobě první a třetí vodivou vrstvu, a tím dojde ke vzniku elektrického signálu v místě spojení. Následně se signál zesílí a zpracuje. Tlakové senzory jsou známé tím, že jsou schopné pracovat jak ve vlhkém tak suchém prostředí. [3, 8]

### 6.1.6 TEPLOTNÍ SENZORY

Teplotní senzory využívají rozdílů teplot mezi papilárními liniemi a brázdami. Při snímání se papilární linie přímo dotýkají snímací plochy a dochází tak k přenosu tepla na citlivé miniaturní pyrodetektory. Ty snímají rozdíl teplot mezi brázdami a papilárními liniemi. Jedním ze způsobů snímání pomocí teplotního senzoru jsou lineární snímače, ty pracují na principu posouvání prstu po senzoru. Výsledný obraz vznikne spojením jednotlivých segmentů obrázků, které vznikají při snímání. Nevýhodou je velká nepřesnost, která se vytváří v důsledku nesprávného přiložení a posouvání prstu na senzoru. Výhodou je velká odolnost proti vnějším podmínkám (jedna z nejvyšších), kde je snímač schopen pracovat ve velmi nízkých i vysokých teplotách (-40 až +80°C), malé rozměry (0,5 až 1,5 cm), relativně vyšší bezpečnost díky nutnosti přítomnosti prstu a absence citlivosti na elektromagnetické rušení. Využití tento snímač našel hlavně ve výpočetní technice, díky svým malým velikostem se s ním můžeme setkat na mobilních telefonech, počítačových myších a noteboocích. [11]

## 6.1.7 RADIOFREKVENČNÍ SENZORY

Principem radiofrekvenčního snímače je vytvoření připojení generátoru střídavého signálu na dvě rovnoběžné desky (jedna deska je plocha snímače a druhá je plocha otisku prstu). Díky tomu, že je vlnová délka mnohem větší než délka desek (miniaturních antén), objevuje se pouze složka elektrického pole bez pole magnetického. Pokud tedy bude jedna z desek otisk prstu, tvar pole se změní a bude kopírovat tvar papilárních linií, tzn. výběžky a brázdy otisku prstu. Vodivého prostředí mezi prstem a plochou je docíleno pomocí vodivé plochy kolem každého snímače, a proto i suché prsty nejsou problémem, neboť se pracuje s živou tkání těsně pod povrchem pokožky. Zvlněním pole, které je způsobené přiloženým otiskem prstu, dopadá na antény signál s rozdílnou velikostí signálu. Výběžky vysílají větší signál a tzv. brázdy nižší signál. Radiofrekvenční senzory tak měří rozdílnou velikost vysílaných vln mezi výběžky a brázdami. Výhodou je odolnost proti znečištění prstu, protože je snímána jen "živá" část kůže. Nevýhodou je doba trvání snímání (1-3 sekundy), protože snímač provádí smyčku snímání, dokud nedojde k vytvoření kompletního obrazu otisku. [11, 13]

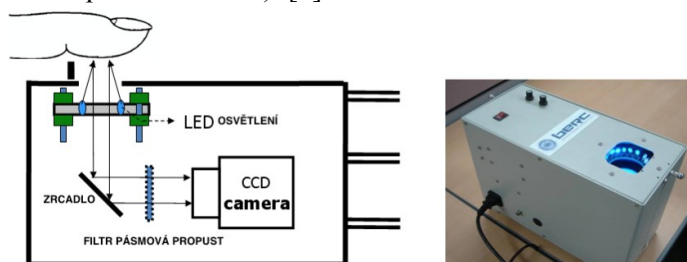


Obr. č. 9: Princip radiofrekvenčního senzoru

## 6.2 SENZORY BEZKONTAKTNÍ

### 6.2.1 OPTICKÉ SENZORY

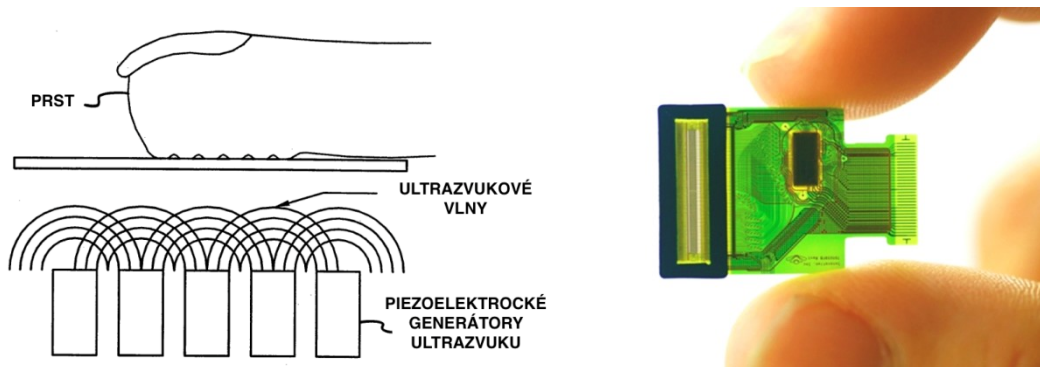
Způsob snímání obrazu pomocí bezkontaktního optického senzoru je obdobný senzoru kontaktnímu. Při snímání však nedochází k přímému kontaktu prstu se snímačem. Prst je umístěn nad plochu senzoru nejčastěji ve vzdálenosti tři až pět centimetrů. Aby se zabránilo pohybu a tím i možností zkeslení snímaného obrazu, se prst vkládá do pomocné konstrukce, která drží stabilitu prstu. Díky tomu nedochází k zašpinění snímací plochy a zároveň nezůstávají na snímači otisky z předchozího snímání. Pro zviditelnění struktury otisku se používají dva zdroje světla umístěné po stranách senzoru. Jako senzor je nejčastěji použit digitální fotoaparát nebo CCD kamera. Nevýhodou je nízký kontrast papilárních linií a brázd. Jednou z technologických výhod je možnost 3D post-processingu (3D vizualizace prstu s otiskem). [3]



Obr. č. 10: Princip snímání otisku pomocí bezkontaktního optického senzoru

## 6.2.2 ULTRAZVUKOVÉ SENZORY

Ultrazvukové snímače vycházejí z principu odrazu krátkovlnného zvuku od papilárních linií. Snímač se skládá ze dvou částí. První částí je piezoelektrický vysílač akustických pulsů, který vysílá krátkovlnný svazek směrem k papilárním liniím. Druhou částí jsou detektory odraženého zvuku. Nejdůležitější částí je třetí echo pocházející od papilárních linií (první a druhé echa jsou vytvořeny odrazem od ochranné destičky). Vysílaný signál má hodnoty od 4 do 24 MHz. Obraz vzniká pomocí pevných nebo pohyblivých (rotačních) sensorů, které snímají závislost na odražených a dopadajících vlnách. Vzniklý obraz je nezkraslený, trojrozměrný, velmi přesný (přesnost 0,1 mm) a s velkým kontrastem. Výhodou tohoto snímače oproti optickým a jiným sensorům je nezávislost na čistotě a vlhkosti prstu. Sensor je také schopen odhalit zfalšování otisku pomocí nalepovacího odlitého otisku. Na rozdíl od teplotního senzoru je možné jej použít v kriminalistice pro odebrání otisků mrtvých osob. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a doba snímání (několik sekund). [3]



Obr. č. 11.1: Princip ultrazvukového senzoru      Obr. 11.2: Ultrazvukový senzor firmy Sonavation

## 7 ZÁKLADNÍ PARAMETRY SENZORŮ

### 1. Rozlišení:

U sensorů pro otisk prstu se používá označení DPI, což je zkratkou anglického Dot Per Inch, která je přeložena do češtiny jako počet bodů na palec. Již z překladu je patrné, že DPI označuje v podstatě hustotu nějaké, v našem případě, obrazové informace. Pokud se budeme bavit o určitém zařízení provádějícím digitalizaci obrazu (např. skener), udává rozlišení v DPI to, jak jemně je rozlišována předloha a kolik obrazové informace je získáváno. Čím vyšší je rozlišení, tím menší detaily jsou v předloze rozlišovány a zaznamenávány. Pokud se bavíme o výstupním rozlišení (tiskárna, obrazovka), pak jde naopak o to, jak jemně jsou poskládány jednotlivé obrazové body na médium. Což znamená, že čím vyšší je rozlišení, tím menší body s vyšší hustotou jsou vytvářeny. Nejnižší hodnoty DPI pro senzory otisku prstu jsou v rozmezí 200 až 300 DPI. Standardem pro optimální snímání je 500 DPI. [23]

### 2. Počet pixelů:

Pixel je nejmenší bezrozměrná jednotka digitální rastrové (bitmapové) grafiky. Představuje jeden svítící bod na monitoru, resp. jeden bod obrázku zadaný svou barvou, v případě otisku prstu

nejčastěji šedou. Počet pixelů lze vypočítat z rozlišení jako vynásobení výšky a šířky snímané plochy a rozlišení snímače v DPI. Vzorec je: počet pixelů =  $(R \cdot \text{Výška}) \cdot (R \cdot \text{Šířka})$ , [R je rozlišení]

### 3. Velikost snímané plochy:

Velikost plochy udává, jak velká je aktivní plocha snímání. Pro jednorstvé senzory je velikost standardní plochy nejčastěji 2,54 x 2,54 cm ( jeden čtvereční palec). Nejčastější velikost otisku je od 1,3 x 1,3 cm do 3,2 x 3,2 cm. Pro víceprstvé snímače (přístupové) se používá velikost 10 x 6 cm.

### 4. Bitové rozlišení obrazu:

Mezi základními parametry, které snímače obsahují je tzv. barevná (někdy také bitová) hloubka. Označuje počet bitů použitých pro uložení barvy každého kanálu v barevném modelu. Jestliže barevný model používá např. tři základní barvy (model RGB), potom intenzita každé barvy je určena jedním číslem, které je vytvořeno určitým počtem bitů. Například u senzorů nejpoužívanější 8bitová hloubka se zobrazuje ve 256 odstínech šedi. Hodnota 0 představuje černou barvu a hodnota 255 barvu bílou.

### 5. Geometrická přesnost:

Geometrická přesnost snímače určuje, jak velké je zkreslení obrazu způsobené např. čočkami a jinými optickými součástkami snímače. Zkreslení je vada, při které se předmět deformuje v důsledku změny příčného zvětšení v závislosti na úhlu zorného pole. Je určeno v procentech změny os x a y. Rozeznáváme dva typy zkreslení, prvním je zkreslení soudkovité – vnější body předmětu jsou zvětšeny více než vnitřní body. Druhým je zkreslení poduškovité – vnější body předmětu jsou zvětšeny méně než vnitřní body.

### 6. FAR a FFR:

False Acceptance Rate (FAR) je neoprávněné vpuštění do systému. Jedná se o chybu, kdy osoba, která nemá přístup do systému na základě otisku prstu, se do něj dostane. Jde se o bezpečnostní riziko a kritickou chybu systému. Vyjadřuje se v procentech a u komerčních senzorů se pohybuje chyba FAR < 0,0001 %

$$FAR = \frac{\text{počet neoprávněných přijetí}}{\text{počet neoprávněných pokusů o identifikaci}} \cdot 100 [\%]$$

False Rejection Rate (FRR) je chyba, kdy je odmítnut oprávněné osobě vstup do systému. Při žádosti osoby, která je zaregistrovaná v systému a má uložený otisk, je pokus o identifikaci zamítnut. Bezpečnostně tato chyba nepředstavuje tak velké riziko jako FAR, nicméně kvalita systému tímto klesá. Chyba FRR se pohybuje v rozmezí < 0,01 %

$$FRR = \frac{\text{počet chybných odmítnutí}}{\text{počet pokusů oprávněných osob k identifikaci}} \cdot 100 [\%]$$

[13]

## 8 POČÍTAČOVÉ VYHODNOCENÍ OTISKU PRSTU

Charakteristické vlastnosti vzniklého obrazu otisku prstu jsou závislé na několika faktorech, ať už na vlastnostech senzoru, tak i na anatomické a fyziologické proporcionalitě bříška prstu. Dále záleží na povrchu snímaného prostředí, z jakého materiálu je vyroben, jestli je možnost upevnění prstu na senzor nebo zda zanechává otisky po předchozím snímání. Z pohledu člověka jsou podstatné i psychologické jevy např. stres, který může způsobit pocení prstů, a tím změnit charakter otisku. Snímaný obraz má několik variant vzhledu, a to podle toho, v jakém stavu přišel prst do kontaktu se snímanou plochou. Rozeznáváme tzv. velmi suché a suché otisky, na kterých jsou málo zřetelné papilární linie, tudíž je i celý obraz velmi nekvalitní a pro zpracování obtížný. Opakem jsou tzv. velmi mokré a mokré otisky, na kterých jsou velké plochy se stejnou intenzitou barvy a papilární linie splývají v jednu. I tyto otisky jsou téměř nezpracovatelné. Nevýhodou při zpracování je velký šum otisku což znamená, že se na obraze s otiskem nachází zbytečné obrazce, které nemají nic společného s papilárními liniemi. [3, 7]

### 8.1 PŘEDZPRACOVÁNÍ SNÍMANÉHO OBRAZU

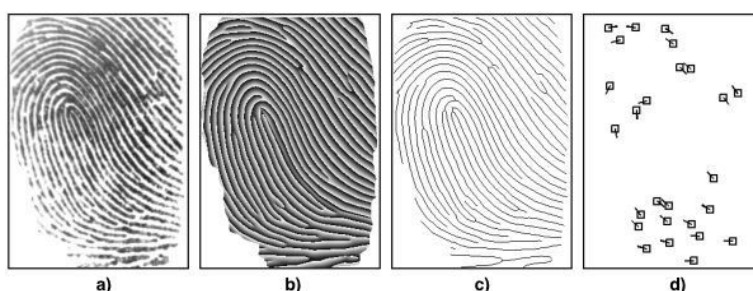
Podstatou předzpracování je odstranění rušivých složek z obrazu a zvýraznění papilárních linií s markanty. Těmito rušivými složkami mohou být nechtěné šumy, jako jsou nekvalitní, nečištěné oblasti, falešné markanty a jizvy. Hlavním cílem je zvýšení kontrastu papilárních linií. Toho docílíme pomocí filtrů obrazu, jako je prahování. Prahování je metoda segmentace obrazu, která se zaměřuje na hodnocení jasu každého pixelu z obrazu. Cílem je určit střední hodnotu z histogramu ve škále odstínů šedi. Pokud je hodnota daného pixelu menší, než je střední hodnota, přiřadí se mu hodnota pozadí. Pokud je ale hodnota pixelu větší než střední hodnota, pak mu odpovídá hodnota popředí. Další operací pro odstranění šumu je prostorová konvoluce, která změní papilární linie v malé vektorové šipky určující směr jednotlivých linií. Filtr způsobí zvýraznění jednotlivých obrazových pixelů, které se nacházejí v blízkosti směru šipek, a ostatní pixely utlumí. Po zakončení filtrace se obraz převede na jeden barevný odstín, tedy na barvu bílou a jeden šedý odstín. Tento proces se nazývá binarizace. Konečnou fází předzpracování je proces skeletizace. Neboť jsou pro počítačové zpracování papilární linie příliš široké, provádí se průměrování jednotlivých papilárních linií (jejich okrajů) na čáry s tloušťkou jednoho pixelu. [3, 7]

### 8.2 VYHLEDÁNÍ A ROZBOR MARKANTŮ

K vyhledávání důležitých markantů pro identifikaci slouží výše uvedená skeletizace. Pro detailnější porovnání se používá šablona markantů, ze které se následně vybírají obrazce a porovnávají se s pořízeným obrazcem. Téměř většina softwarových aplikací využívá pouze dva daktyloskopické markanty, a to začátek a ukončení papilární linie (první a poslední pixel papilární linie) a dvojitou vidlici. Tyto markanty jsou nejvíce zastoupeny na otisku, nicméně jejich rozpoznávací hodnota je malá. Dále je potřeba pomocí algoritmů eliminovat ostatní falešné markanty jako je háček, přímočaré linie nebo krátká čára. Pokud je nalezen jeden z výše uvedených markantů, tak je určen jeho typ, například tím, jak je dlouhý. Dále souřadnice  $x$ ,  $y$  a směr. Po nalezení charakteristických bodů se všechny jednotlivé části spojí v grafickou mapu a určuje se jejich pořadí. Takto vytvořená grafická mapa se ukládá do databáze otisků a slouží k budoucímu rozpoznávání otisků. [3, 7]

## 8.3 ROZPOZNÁVÁNÍ OTISKŮ

Při identifikaci nebo verifikaci osob se nejčastěji využívá porovnávání uložených šablon v databázi s otisky, které jsou snímány. Hlavním postupem pro porovnávání otisků je metoda založená na markantech, pomocí které se porovnávají charakteristické znaky otisků. U této metody dochází ke zjištění a následné extrakci množin markantů z obou porovnávaných otisků. Obě části markantů se porovnávají a hledá se většinou určitý počet markantů nacházejících se na stejném místě. Dalším postupem je definování umístění jádra a tvarování linií mezi spárovanými body. Porovnávání skončí, pokud jsou vyčerpány všechny možnosti kombinace a varianty rozložení obou otisků nebo je nalezena shoda otisku. Další je metoda založená na korelaci. Při tomto porovnávání jsou obrazy s papilárními liniemi položeny přes sebe a je spočítána korelace mezi pixely obou otisků při různých pozicích, jako je posunutí a otočení. [3, 7]



Obr. č. 12: a) klasický odebraný otisk bez úprav, b) binarizovaný otisk (pouze dva odstíny), c) skeletizovaný otisk, d) nalezené markantní body (šablona otisku)

## 9 VYUŽITÍ SENZORŮ OTISKU PRSTU PRO KOMERČNÍ ÚČELY

Díky vývoji informačních technologií, snímacích senzorů a mikroprocesorové techniky bylo možné vytvořit vestavěné systémy, které mohou být implementovány do všedních, kompaktních přístrojů. Tím, že byl kladen důraz na rostoucí vývoj snímacích prvků a byla ve velkém množství započata výroba křemíkových čipů a základních desek. Bylo možné snížit výrobní cenu těchto prvků potřebných pro složení základního snímacího senzoru, a tím i rozšíření biometrické identifikace. Na rozdíl od profesionálních, úředních a policejních biometrických systémů se ty komerční liší v tom, že dochází k verifikaci a identifikaci v poměru 1:1 nebo 1:N v počtu jen několika desítek až tisíc osob. Oproti velkokapacitním systémům jako je např. AFIS, kde se využívá poměr 1:FEW, se pohybuje počet uložených snímků v miliónech. Komerční zařízení nejsou tolik rozměrná a není kladen důraz na výkonnost počítačové jednotky. Typickým příkladem komerčního využití je kancelářské a domácí prostředí. Setkat se tak můžeme s klávesnicí, počítačovou myší nebo notebookem (DELL a Lenovo), které obsahují senzor otisku prstu pro ověření uživatele. Pro přístupové oprávnění se používají tzv. čipové karty. Ty slouží jako dvojí kontrola osoby. Na klasické čipové kartě jsou uloženy základní osobní údaje a šablona otisku prstu. Karta se při verifikaci zasune do skeneru, který také obsahuje senzor otisků. K povolení přístupu je nutné, aby se shodovala data na kartě se snímaným otiskem. S tímto systémem se můžeme setkat např. ve státním a finančním sektoru, VIP klubech, sportovních klubech nebo leteckých společnostech. Další možnou implementací verifikačního systému jsou prvky pro kontrolu vstupu do obydlí (senzory na klikách) nebo trezorové zabezpečení. [3, 8]

# PRAKTICKÁ ČÁST

## 10 UPLATNĚNÍ VESTAVĚNÉHO VERIFIKAČNÍHO SYSTÉMU V KOMERČNÍ SFÉŘE

Klíčovou částí při vytváření návrhu přístroje pro verifikaci osob na základě otisku prstu je možnost využití takového zařízení v komerčním odvětví. Zaměřil jsem se na již léta používaný systém, který používá pacientské náramky, na kterých jsou napsány jen základní osobní údaje, anebo na pokročilejší formu náramků s čárovým kódem. Na náramcích s čárovým kódem mohou být uloženy informace o případné alergii na léky, místo hospitalizace, nejrůznější označení rizik, jako jsou pády, nutrice, porucha kožní integrity aj.. Tyto náramky jsou skenovány pomocí čtečky čárových kódů, což je přístroj, ve kterém je zabudovaný klasický lineární CCD nebo CMOS senzor. Podmínky pro používání náramků v nemocničním prostředí jsou poměrně náročné a nákladné. Je nutné, aby náramek byl pevný, vodotěsný, zdravotně nezávadný, měl adekvátní velikosti a aby se na něj mohly zaznamenávat požadované informace. Všechny tyto aspekty u přístroje na snímání otisků prstů odpadají.

Při kontrole je potřeba jen jedno zařízení, které zastává tři funkce najednou, zapisování osoby do databáze, kontrola dané osoby a mazání osoby při odchodu z nemocnice. U systému, kde se používá náramek, je potřeba workstation (pracovní stanice), která je schopna vytisknout přesně navolený náramek, čtečka čárových kódů a dále je potřeba, aby měl náramek pacient neustále u sebe. Nejnákladnější je čtečka čárových kódů pracovní stanice. Aby vše fungovalo, musí celý tento systém být na sobě závislý. U kompaktního přístroje pro kontrolu pacientu je potřeba jen jediný přístroj a pacient. Velkou nevýhodou náramků je možná ztráta, poničení, nepohodlnost nebo záměna identifikace. U otisku prstu není možná ani jedna z uvedených variant. Ztratit se nelze, jelikož je zašifrován a uložen v databázi, zničit jej také není možné, protože fyzicky neexistuje, a záměna identifikace v dnešní době moderních snímačů je téměř nemožná. Cílem verifikačního přístroje založeného na snímání pacientových otisků je eliminovat potenciální rizika, jako jsou mimořádné události a chybovost v průběhu identifikace pacienta. [17]

### **Mezi příklady rizik pro pacienty patří:**

- Medikamentační chyba (podávání léků jinému pacientovi nebo nesprávná velikost a síla léku).
- Diagnostický či terapeutický výkon proveden na nesprávném pacientovi (kontrola pacienta před výkonem – operace, transplantace).
- Zamezení rizika záměny novorozence bezprostředně po porodu, popř. při dalším ošetřování (díky vývoji papilárních linií již od 4. měsíce těhotenství, lze snímat i novorozence za použití vysoce citlivých senzorů např. ultrazvukových).

### **Pacienti, kterým je tento přístroj určen, jsou:**

- Pacienti s kognitivním deficitem.
- Pacienti s kvalitativní i kvantitativní poruchou vědomí.
- Pacienti pod vlivem celkové anestézie a farmak.
- Novorozenci a dětští pacienti
- Všichni pacienti, u kterých není možné identifikaci ověřit dotazem (jazyková a smyslová bariéra).



*Obr. č. 13: Identifikační náramek pacienta.*

*Identifikace je založena na snímání čárového kódu pomocí lineárního CCD snímače*

Úkolem takového přístroje je zaevidovat každého nově hospitalizovaného pacienta ihned při příchodu na dané oddělení. Po zapsání pacienta do databáze zůstává otisk uložen, dokud není z paměti vymazán nebo přepsán. Dále je potřeba pacienta informovat o tomto způsobu verifikace. Pacient s tímto rozhodnutím nemusí souhlasit, verifikace pomocí přístroje pro zaznamenávání otisků je pouze jeho dobrovolné rozhodnutí stejně, jako je informovaný souhlas, který dává potvrzení nad určitými kroky. Na rozdíl od náramků není potřeba informovat o nežádoucích vlivech na pacienta, jako jsou otoky či zaškrcení části končetin nebo volit správné umístění náramku. Mezi další nepříznivé aspekty patří nutná kontrola náramku, zda není přetržený, ztracený a poškozený. Opět tyto potřeby není nutné provádět, pokud je použit senzor otisků. Kontrola pacienta tak může probíhat jen tehdy, pokud je to nutné, např. před použitím medikamentů, před operací nebo po narození novorozence. U mazání otisku tak pacient nemusí být přítomen a zařízení může ovládat zdravotní sestra nebo proškolený pracovník nemocnice. [17]

## **11 NÁVRH PŘÍSTROJE PRO VERIFIKACI OSOB**

### **11.1 PLATFORMA ARDUINO**

Arduino je název pro open-source zařízení, konkrétně tedy miniaturní jednodeskový počítač schopný vykonávat naprogramované funkce. Arduino (Arduino IDE) je také označení pro grafické uživatelské prostředí pro vývoj a zobrazení vytvořených příkazů a dějů. Je určeno pro vývojáře, designéry a domácí kutily jednoduchých až středně složitých systémů. Programování je založeno na jazyku C/C++ nebo Wiring, což je zjednodušená forma jazyka C. Jelikož samotný přístroj nedisponuje tak velkým prostorem pro ukládání lokálních proměnných, globálních proměnných a samotného programu, byl v rámci studentské soutěže v roce 2005 vytvořen projekt Wiring. Postupem času byl jazyk Wiring schopen zjednodušit jazyk C/C++ a vytvořit tak příkazy díky nimž se mohly sto řádkové kódy zmenšit na deset řádků a zvýšit tak prostor pro ukládání větších algoritmů. Díky velkému úspěchu a oblibě tohoto přístroje tak v následujících pěti letech začaly vznikat komerční a modernější typy, kterých se prodalo více než sto tisíc kusů. Filosofii Arduina je vytvořit otevřenou a dostupnou platformu pro uživatele, kteří chtějí vyvíjet nové nebo vylepšovat staré projekty pomocí jazyka

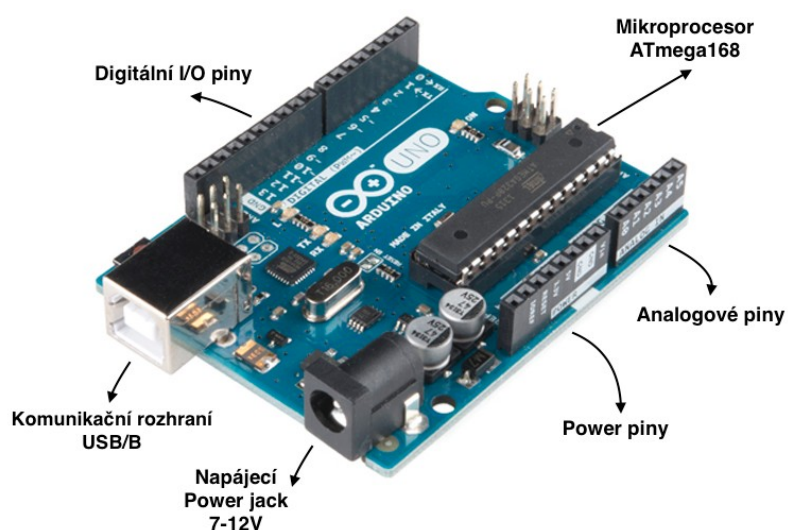


C/C++. Snaží se také udržet cenovou dostupnost, která se pohybuje v základních deskách mezi 600 až 1500 korunami. Výhodou oproti jiným malým jednodeskovým počítačům, jako je Raspberry Pi, je v tom, že nepotřebuje operační systém a má malou spotřebu elektřiny. Programy jsou vytvářeny ve vývojovém prostředí a poté přímo nahrány do mikrokontroléru. Ten vykonává smyčku naprogramovaných příkazů a je schopen na ně reagovat pomocí připojovacích pinů.

Základním přístrojem z celé řady vývojových desek této značky je Arduino UNO, což je jeden z nejmenších počítačů na světě díky jeho velikost, která je 69 x 52 mm. Nejdůležitější součástí je 8bitový mikroprocesor od firmy Atmel vytvořený na architektuře AVR. Arduino UNO využívá mikroprocesory ATmega168 nebo také ATmega328 pracující na frekvenci 16 MHz. Výkonnější modely používají procesory ATmega1280, ATmega2560. Nejvýkonnější deska Arduino DUE obsahuje 32bitový ARM čip, nicméně ne všechny funkce a programovací knihovny jsou s tímto přístrojem kompatibilní. Další podstatnou částí jsou kontaktní patice pro připojení nejrůznějších senzorů, servomotorů, WI-FI shieldy a další komunikační zařízení. Kontaktní patice základního modelu má 14 digitálních pinů, z toho 6 je schopno PWM modulace a 6 analogových Input/Output pinů vybavených 10bitovými A/D převodníky, dále jsou zde napájecí (3,3V-5V) a uzemňovací piny.

Podstatnou částí tvoří sériová linka (RS-232), která slouží k připojení počítače s Arduinem a "posílání" programu do paměti. Ta je realizována pomocí USB/B rozhraní. Sériová linka se nachází i na samotném Arduinu a je označena piny 0 a 1. Arduino je možné napájet napětím v rozmezí 7-12V buď pomocí USB/B, nebo power jackem s průměrem 2,1 mm. Napětí je dále stabilizováno na pracovních 5V. Jediným ovládacím prvkem na desce je resetovací tlačítko sloužící k opětovnému spuštění programu. Pro signalizaci pracovního průběhu Arduina jsou na desce umístěny čtyři LED diody. První je označena PWR, svítí zeleně, pokud je přístroj zapojený, další dvě oranžové diody slouží k signalizaci přenosu informace na desku (TX - odesílání informace a RX - přijímání informace). Poslední zelená je připojená na 13 pin a lze ji naprogramovat jako signalizační.

[14, 15, 16]



Obr. č. 14: Základní model Arduino UNO s mikroprocesorem ATmega168

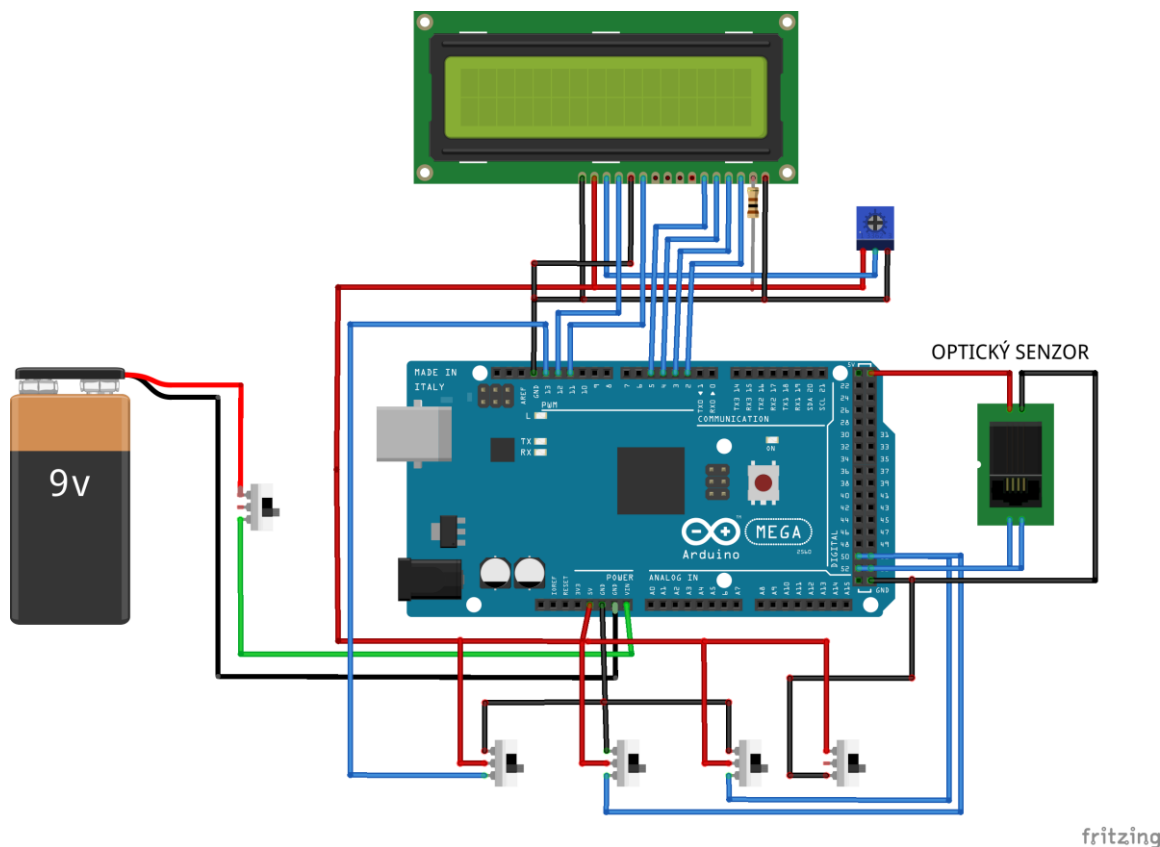
Důvodů, proč jsem si zvolil tento mikrokontrolér, je mnoho. Začal bych u dostupnosti. Arduino je obecně nejdostupnější sériově vyráběný minipočítač, který lze na trhu koupit buď už z oficiálních stránek výrobce přímo z Itálie nebo je možné zakoupit klony těchto přístrojů všude po celém světě nejčastěji z Číny, a to hlavně díky open-source platformě. Výrobce sám uvádí blokové schémata a rozložení jednotlivých součástek. Se zakoupením Arduina z Číny mám osobní zkušenost, kvalita výrobku se sice nedá srovnávat s oficiální produkcí, nicméně přístroj pracuje tak, jak má. V dnešní době je možné zakoupit Arduino i na českém trhu, ceny se pohybují v základním modelu od 600 do 800 korun.

Dalším důvodem je snadnost programování a absence operačního systému. Tím, že bylo Arduino vytvořeno jako studentský projekt, tedy mělo sloužit jako snadný nástroj k programování a vytváření užitečných systémů, se stalo jedním z nejpoužívanějších vývojových nástrojů. Na rozdíl od jiných výrobců složitějších mikrokontrolerů jakými jsou Raspberry Pi, Galileo 2 nebo Intel Edison, nepotřebuje Arduino žádný operační systém jako je Linux aj. Programování je poměrně jednoduché a intuitivní, probíhá v programu Arduino IDE (integrated development environment = integrované vývojové prostředí), což je výrobcem vytvořená aplikace v jazyce Java, ve které se píše příkazy a algoritmy. Ty se zde nakonec kompilují a posílají přímo do Arduina, což je to mnohem jednodušší než instalovat operační systém a teprve v jiných programech vytvářet příkazy. Vývojovou aplikaci je možné si stáhnout na téměř jakýkoliv operační systém. Na druhou stranu jsou výše uvedené mikrokontroléry výkonnější, univerzálnější a schopny ukládat nebo posílat větší množství dat.

Posledním důvodem je velké množství kontaktních pinů a velikost flash paměti. Vzhledem k tomu, že můj přístroj vyžaduje početné I/O kontakty, jsem zvolil prodlouženou verzi základního modelu (Arduino UNO) Arduino MEGA 2560. Je stejně dobře dostupný a nenákladný. Procesorová jednotka je stejná, nicméně je sestavena tak, aby mohla přijímat informace z většího počtu pinů. Takové množství kontaktů slouží pro posílání dat a napájení senzoru otisku prstů, display, který sám o sobě využije deset kontaktů nebo napájení doprovodných a ovládacích prvků. Výhodou oproti jiným deskám Arduino je ve velikosti flash paměti, do které ukládám program. Ta je přibližně osmkrát větší, než mají základní modely.

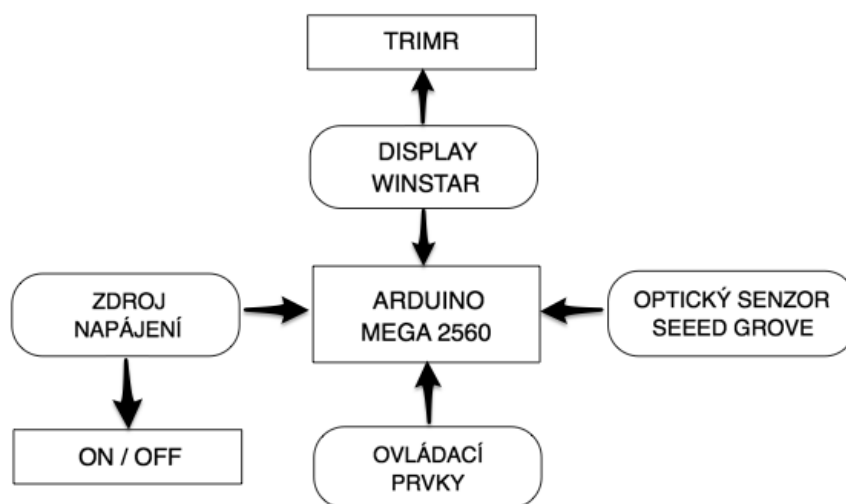
## 11.2 PROTOTYP PŘÍSTROJE A BLOKOVÉ SCHÉMA

Před samotným složením všech součástek a připojení kontaktů bylo zapotřebí vyzkoušet na nepájivém poli, zda jsou obvody správně zapojeny a zda senzor, display a tlačítka pracují, tak jak jsou naprogramována. Na Obr. č. 14 je znázorněno zapojení všech součástek, které se podílejí na práci přístroje. Schéma bylo vytvořeno v programu Fritzing, což je open-source aplikace, ve které je možné vytvářet virtuální desku s elektronickými prvky, PCB desky a profesionální návrhy pro program Eagle. Srdcem přístroje je mikrokontrolér Arduino MEGA 2560. Ten je napájen akumulátorem s napětím přibližně 9V (při plném nabití je napětí 9,30V). Akumulátor je připojen přes tlačítkový spínač na pin s označením VIN, ten slouží jako externí napájení desky. Tlačítkový spínač u akumulátoru funguje jako "hlavní vypínač", jelikož je akumulátor připojen přímo na desku, vznikal by velký úbytek napětí. Napětí je dále stabilizováno na pracovních 5V, které napájí display, senzor otisku prstu a ovládací prvky. Pro zobrazení aktuálních operací je připojen pomocí dvanácti kontaktů display, ten zabírá největší počet pinů. Na display je připojen trimr pro nastavení kontrastu displeje.



Obr. č. 15: Schéma návrhu přístroje vypracované v programu Fritzing

Ovládací prvky v podobě čtyř tlačítkových spínačů s aretací jsou zobrazeny ve spodní části obrázku. Fungují jako tři základní režimy pro verifikaci otisku prstu (zápis, mazání, kontrola). Čtvrté tlačítko slouží jako ON/OFF tlačítko. Optický senzor je standardně napájen pěti volty a připojen pomocí RX a TX kontaktů (sériové linky) na mikrokontrolér.



Obr. č. 16: Blokové schéma návrhu přístroje pro verifikaci otisků prstu

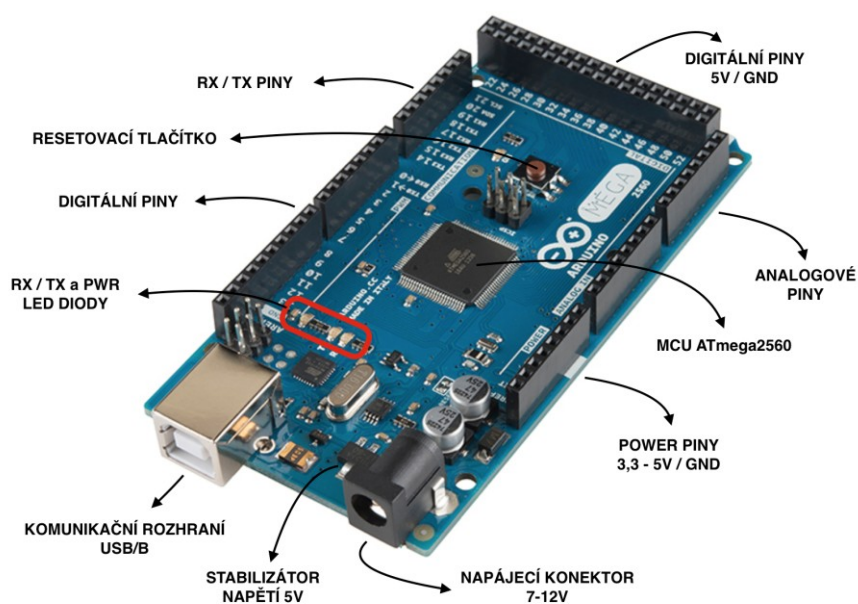
Na obrázku č. 15 je již zjednodušené blokové schéma jednotlivých segmentů zařízení, tedy hlavních komponentů přístroje. Hlavním blokem je zde opět mikrokontrolér, na který jsou symbolicky připojeny další komponenty tedy display, senzor otisků prstů, ovládací prvky (tlačítka pro volbu režimu) a zdroj napájení (akumulátor 9V). Blok ON/OFF značí "hlavní vypínač" a TRIMR značí 10kΩ potenciometr pro nastavení kontrastu displeje.

## 12 HARDWAROVÁ REALIZACE PŘÍSTROJE

### 12.1 POUŽITÉ KOMPONENTY PRO SESTAVENÍ PŘÍSTROJE

#### 12.1.1 ARDUINO MEGA 2560

Pro svůj přístroj jsem jako hlavní komponentu použil mikrokontrolér od firmy Arduino. Arduino MEGA 2560 je jednodesková vývojová platforma sloužící k vytváření jednoduchých až středně složitých systémů, u nichž je potřeba více pinů pro možnost připojení ostatních zařízení. Navazuje na svého mladšího zástupce ze skupiny AVR mikrokontrolérů na Arduino UNO. Arduino MEGA 2560 na rozdíl od ostatních mikrokontrolérů obsahuje mnohem větší flash paměť pro ukládání složitějších programů a větší RAM pro ukládání proměnných. Mikrokontrolér je založený na MCU jednotce ATmega 2560. Obsahuje 54 digitálních vstupních a výstupních pinů, přičemž 15 z nich mohou být použity jako PWM (PWM - pulsně šířková modulace) výstupy. Dále obsahuje 16 analogových vstupů např. pro senzory neelektrických veličin (senzor tepla, vlhkosti, atp.), 4 UART porty pro sériovou komunikaci s jinými přístroji (4 TX a 4 RX), 16 MHz oscilační krystal pro řízení obvodu, ICSP piny pro připojení přídavných a složitějších obvodů, jako je např. display. Poslední částí je na desce umístěný Power jack pro připojení napájení a resetovací tlačítko pro obnovení programu. [18]



Obr. č. 17: Popis hlavních součástí mikrokontroléru Arduino MEGA 2560

Programování probíhá v aplikaci Arduino IDE, která bude detailněji popsána v dalších kapitolách. Mikroprocesory řady ATmega jsou schopny pro převod programu do mikrokontroléru používat bootloader (dále jen zavaděč) k programování paměti flash a eeprom. Paměť flash je rozdělena do dvou částí. První část tvoří samotná aplikace (napsaný program) a druhou volitelnou částí je bootloader (zavaděč). Zavaděč pro svou komunikaci se zařízením využívá protokol STK500. Programovat MCU lze i pomocí ICSP (In-Circuit Serial Programming) pinů. Pro tuto metodu programování se používá Arduino ISP, což je velmi malý programátor, který slouží k nahrávání kódů a zavaděče. Při používání externího programátoru, jako je Arduino ISP bývá výhodou v tom, že není potřeba nahrávat zavaděč před nahráním samotného kódu a tím se ušetří prostor pro případný velký a složitý kód. [18, 19]

Napájet Arduino je možné třemi způsoby. Tím nejpoužívanějším je napájení pomocí USB připojení ať už přímo z počítače, které je upravené na 5V stejnosměrného napětí, nebo pak ze sítě, za použití zdroje stejnosměrného napájení (např. nabíječka telefonu). Pokud je mikrokontrolér připojen přes USB do počítače, je napájen a zároveň je možné jej programovat. Druhým, externím způsobem je použití Power jacku, který se připojuje přímo do základní desky z AC/DC zdroje napájení nebo baterie (nejčastěji 9V). Třetím a posledním způsobem napájení je pomocí připojení zdroje napětí na VIN a GND piny. Výhodou je absence připojovacích konektorů a tím i ušetření místa pro případné uložení do boxu nebo krabičky. Na mikrokontrolér je možné připojit napětí v rozmezí 6 až 20V. Optimální rozsah napájení je však 7 až 12V. Napětí je vždy stabilizováno regulátorem na pracovních 5V nebo 3,3V při proudu 50 mA. Při napájení vyšším než je 12V, může dojít k přehřátí a spálení desky. Pro připojení přídatných zařízení např. senzorů, servo motorů, displeje, aj. je na Arduino vyhrazeno 54 vstupně výstupních digitálních pinů. Při programování těchto pinů se používají základní funkce, jako je nastavení pinu (pinMode()), posílání informace do pinu (digitalWrite()) nebo čtení informace z pinu (digitalRead()). Existuje i řada jiných funkcí, ale ty jsou složitější. Každý digitální I/O pin pracuje s napětím 5V a proudem 20 mA. Ke komunikaci, tedy k připojení externího zařízení, slouží RX a TX piny, ty jsou na desce čtyřikrát. Arduino MEGA 2560 obsahuje i analogové vstupní piny. Těchto pinů je 16, každý má rozlišení 10bitů a je schopen měřit napětí od 0 do 5V, přičemž horní hranice měření lze zvýšit pomocí AREF pinu a funkce analogReference(). Arduino MEGA 2560 je vybaveno flash pamětí o velikosti 256 kB pro ukládání vytvořeného programu. Necelých 8 kB z flash paměti zaujímá zavaděč. Pro ukládání proměnných je použita 8 kB statická paměť SRAM, ta je po vypnutí z napájení smazána. Dále je možnost použít 4 kB elektricky mazatelnou paměť EEPROM, která je ovladatelná díky funkcím uloženým v EEPROM knihovně. Při chybném stavu mikrokontroléru je možné použít RESET tlačítko, které se nachází v rohové části desky. Pokud mikrokontrolér na tento reset nereaguje, používá se 110 kΩ rezistor, který se připojí mezi pin 5V a pin RESET, tím se MCU restartuje. [18]

Tab. č. 1.1: Technická specifikace Arduino MEGA 2560

<b>Mikrokontrolér</b>	ATmega2560
<b>Pracovní napětí</b>	5V a 3,3V
<b>Vstupní napětí (doporučené)</b>	7-12V
<b>Vstupní napětí (maximální)</b>	6-20V
<b>Digitální I/O piny</b>	54 ( 15 z nich jako PWM výstup)
<b>Analogové vstupní piny</b>	16

Tab. č. 1.2: Technická specifikace Arduino MEGA 2560

<b>DC proud I/O piny</b>	20 mA
<b>DC proud pro 3,3 V</b>	50 mA
<b>Flash paměť</b>	256 kB (8 kB vyhraněno pro Bootloader)
<b>SRAM</b>	8 kB
<b>EEPROM</b>	4 kB
<b>Rychlost procesoru</b>	16 MHz
<b>Délka</b>	101,52 mm
<b>Šířka</b>	53,3 mm

## 12.1.2 DISPLAY

Jako zobrazovací komponentu jsem použil klasický LCD znakový, monochromatický display od firmy Winstar. Ten je schopen zobrazovat znaky na 16 sloupcích a 4 řádcích. Display může zobrazovat předem definované znaky pomocí řadiče typu RW1067, ten obsahuje dvě základní paměťové jednotky. První je paměť CGRAM (Character Generator Random Acces Memory), ta umožňuje dynamickou změnu sady znaků, kterou lze zobrazit na display nebo jsou na ní uloženy základní abecedně-číselné znaky, doplněné o řadu speciálních znaků či písem. CGRAM se může využívat pro zobrazování specifických znaků, jako má např. český jazyk. Znaky české abecedy s diakritikou lze na displeji zobrazit jen nahráním jejich matice do CGRAM paměti displeje. Počet možných znaků je ovšem podstatně větší než kapacita CGRAM (8 znaků). Je tedy třeba zajistit, aby v paměti byly nahrány jen znaky, které jsou právě zobrazovány. V mém případě používám pouze znaky bez diakritiky, tedy anglickou abecedu. Druhou a důležitější pamětí je DDRAM (Display Data Random Acces Memory), která slouží k uložení přesně daných pozic znaků a kurzoru na displeji. Při zapsání určitého kódu znaků a daných adres do paměti DDRAM dojde k zobrazení znaků na displeji na určitém řádku a sloupci. Na obrázku č. 18 je zobrazena paměť DDRAM, kterou používám pro svůj display se 16 sloupci a 4 řádky. [19]

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F

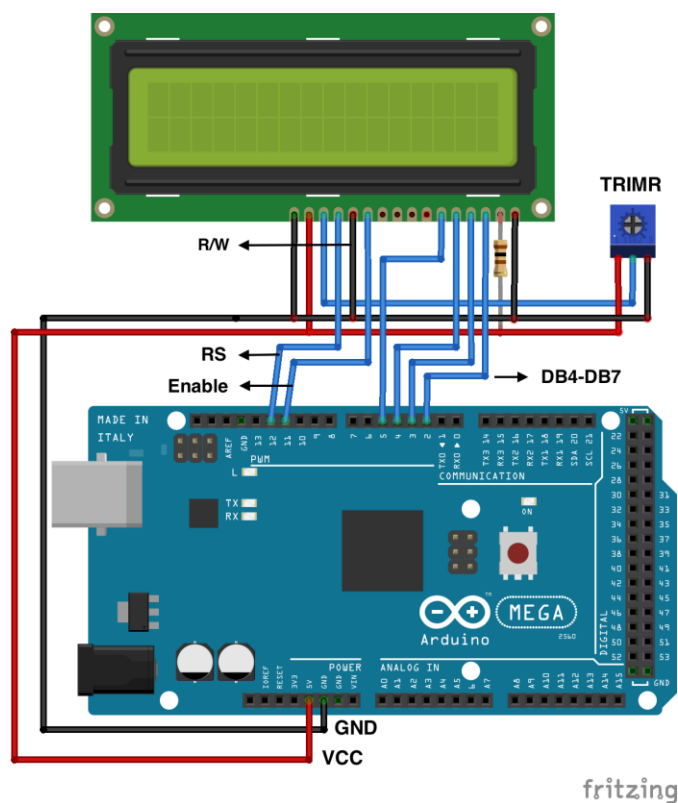
Obr. č. 18: Příklad hexadecimálních adres znaků v paměti DDRAM, pro display s 16 sloupci a 4 řádky

Ke komunikaci mezi Arduinem a LCD displejem slouží předem vytvořená knihovna instrukcí (Liquid Crystal Library), která je součástí každého programovacího prostředí Arduino IDE. Na displeji se nachází 16 pinů, které jsou připojeny na desku Arduino MEGA 2560. První pin GND slouží pro uzemnění. Druhý Vcc pro napájení, které je 5V. Třetí pak pro připojení 10 kΩ trimru k nastavení kontrastu displeje. Další tři piny RS/ RW/ E slouží k řízení řadiče displeje. Pin RS má dvě úrovně, a to 0 pro zapsání instrukcí a 1 pro zápis dat. Pin RW má taktéž dvě úrovně 0 pro zápis dat do LCD a 1 pro

čtení z LCD. A pin E slouží k povolení přenosu. Piny 7 až 14 s označením DB0 až DB7 jsou datové piny pro přenos informace opět s úrovní 0 nebo 1. Poslední dva piny nejsou povinností, nacházejí se na displejích, které jsou podsvícené. Pin 15 s označením LED+ slouží k napájení elektroluminiscenční vrstvy (ta může mít mnoho barev dle typu displeje), pin 16 s označením LED- je uzemnění. Napájení podsvícení je vedeno zvlášť, neboť má velkou spotřebu napětí.

Komunikace mezi Arduinem a displejem probíhá díky paralelní datové sběrnici, která má šířku přenosu 4 bity nebo 8 bitů. Ta je nastavována programem, který ji deklaruje ihned po zapnutí displeje. Výchozí komunikační režim je 8 bitový, pokud je použito všech osm datových cest (DB0 až DB7). Podle pinu RS se určí, zda bude display pracovat se znakovými daty nebo instrukcemi (RS = 1 nebo RS = 0). Pin R/W určí, zda bude display zapisovat data nebo je z něj vyčítat (R/W = 1 nebo R/W = 0). Pokud jsou data na displeji zapisována nebo vyčítána, je pin E na sestupné hraně tedy 0. Kdyby byl na úrovni 1, display by nevykonával naprogramované funkce.

Můj display je zapojen pomocí 4bitové komunikační sběrnice, tedy jsou připojeny pouze datové piny DB4 až DB7 ostatní jsou uzemněny. Komunikace probíhá stejně jako je u komunikace 8 bitové, nicméně při zapnutí je potřeba provést tzv. inicializaci a poté posílat všechna data dvakrát. Při zapnutí je třeba nastavit režim Function set, který přes pin DB4 určí, zda bude komunikace probíhat 4bitově či 8bitově (DB4 = 0 je 4 bitová komunikace, DB4 = 1 je 8 bitová komunikace). Rychlost všech přenosů informací probíhá velmi rychle, od 39  $\mu$ s do 1,64 ms. [19]

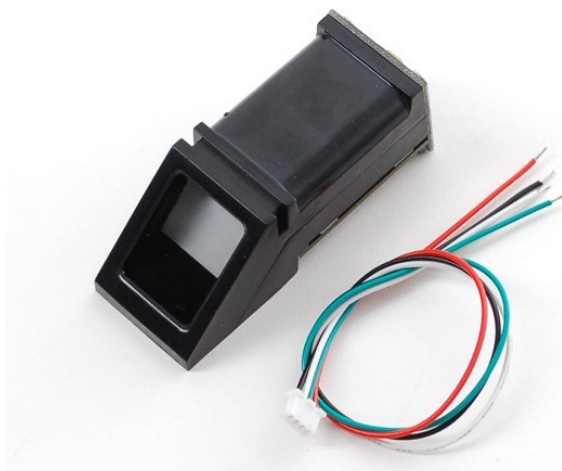


Obr. č 19: Připojení displeje Winstar WH1604E na desku Aduino MEGA 2560 za použití 4bitové sběrnice a 10 k $\Omega$  trimru.

### 12.1.3 SENZOR OTISKŮ SEEED GROVE

Důležitou součástí pro zjišťování identifikace osob je senzor otisků prstů. Pro svůj přístroj jsem použil dotykový optický senzor od firmy Seeed Studio, která se zabývá výrobou a návrhem nejrůznějších programovatelných senzorů neelektrických veličin. Tyto senzory patří do skupiny senzorů Seeed Grove. Senzor je možné připojit k jakémukoliv programovatelnému mikrokontroléru pomocí čtyř vodičů. První a druhý s označením VIN a GND slouží k napájení a uzemnění (jsou označeny červenou a černou barvou), třetím a čtvrtým jsou TTL datové vodiče s označením TX a DX. TX vodič označený žlutou (zelenou) barvou slouží k přenosu dat do Arduina. Naopak DX vodič označený bílou barvou má za úkol přijímat data. Senzor může být napájen v rozmezí od 3,6 do 6,0 V/DC a maximální povolený proud je 120 mA, nicméně senzor je napájen pracovními 5V z desky. Vzhledem k tomu, že tento senzor není profesionálním zařízením, je možné na něj uložit pouze 162 snímků otisků prstů, na rozdíl od profesionálních, kde je kapacita i několik desítek tisíc.

Senzor disponuje velkým bezpečnostním zabezpečením díky velmi nízkému FAR, které je menší než jedna tisícina procenta a FRR, kde je pravděpodobnost menší než jedno procento. Tím se senzor zařazuje mezi tzv. Security level 3, což je nejvyšší zabezpečení určené pro forenzní data. Režim sériové komunikace pracuje na tzv. USART - Asynchronním přenosu, ten využívá posílání 8bitového souboru pomocí Start/Stop bitu. Na začátek 8bitové informace je připojena jednobitová log. 0, která určuje Start signálu. Na konec je připojena log. 1, která uzavírá datový přenos tzv. Stop bitem. Celá 10bitová informace pak vypadá následovně: |0|00101100|1|. Nastavení rychlosti posílání dat je možné nastavit v rozmezí od 9600 až 115200 bps, nicméně v základním režimu je senzor nastaven na 57600 bps. Zapnutí senzoru trvá přibližně 500 ms a během této doby nereaguje na příkazy. Senzor je vybaven červenými SMD LED diodami pro signalizaci probíhajícího snímání nebo chybného stavu. [19]



*Obr. č. 20: Optický senzor Seeed Grove s propojovacími kontakty. Černý GND, červený VIN, žlutý (zelený) TX, bílý DX.*

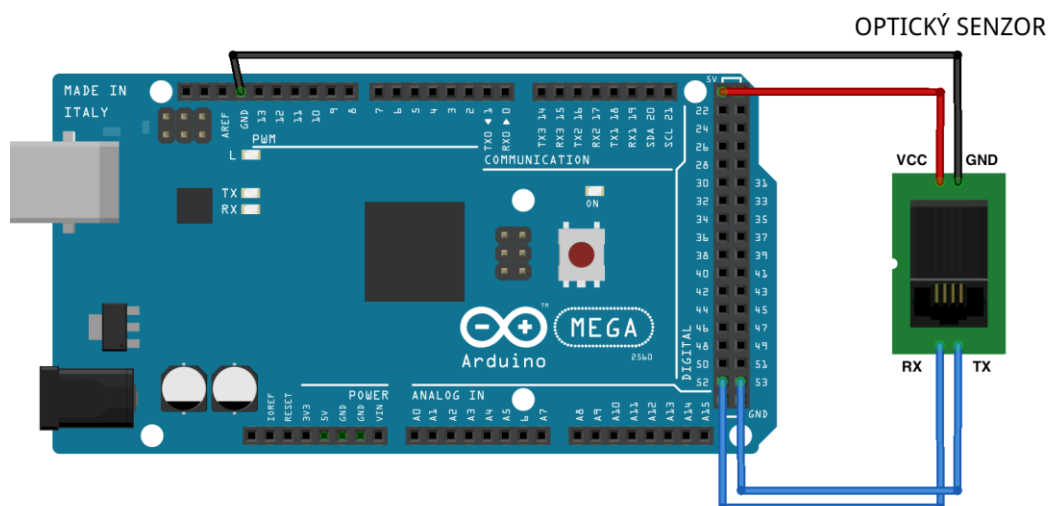
Mezi senzorem otisků a mikrokontrolérem Arduino probíhá přenos dat pomocí komunikačního protokolu, který je podle něj kódovaný. Data ze senzoru jsou posílána pomocí tzv. datových paketů. Formát datových paketů se skládá z šesti částí. První je "Hlavička", která je vždy na začátku



přenosové informace, značí se pomocí hodnoty EF01H a má velikost 2 bajty. Druhou částí je "Přípona" o velikosti 4 bajty a v základním nastavení má hodnotu 0xFFFFFFFF, nicméně může být změněna příkazy pro operaci snímání otisků. Další je "Identifikátor souborové sady", má velikost 1 bajt a určuje stav komunikace nebo chybové situace. Obsahuje přibližně 23 stavů komunikace, např. stav 02h říká, že není přiložen prst na senzoru, nebo stav 08h značí, že otisk nebyl správně zachycen. Čtvrtá část "Délka paketu" s velikostí 2 bajty určuje délku obsahu paketu. Soubor tak obsahuje příkazové a datové pakety společně s kontrolním součtem. Předposlední a nejdůležitější částí je "Obsah paketu" s maximální délkou 256 bajtů. V této části paketu jsou data ze samotného otisku prstu, jako jsou hodnoty odstínů šedi v otisku a rozmístění dermatoglyfů v šabloně. Poslední částí je "Kontrolní součet" o velikosti 2 bajty, ve které se nachází aritmetický součet třetího, čtvrtého a pátého paketu. [19]

Tab. č. 2: Komunikační protokol senzoru

HLAVIČKA	PŘÍPONA	IDENTIFIKÁTOR PAKETU	DÉLKA PAKETU	OBSAH PAKETU	SOUČET
2 bajty	4 bajty	1 bajt	2 bajty	max. 256 bajtů	2 bajty



Obr. č. 21: Zapojení senzoru otisků prstu na Arduino MEGA 2560.  
Data jsou posílány přes RS-232 do pinů 52 a 53.

#### 12.1.4 ZDROJ NAPÁJENÍ

Arduino, a tedy i celé zařízení, lze napájet třemi způsoby, buď přímo pomocí 2,1 mm Power jacku, kterým je možné připojit základní desku ke stejnosměrnému napětí o velikosti 7 až 12 V, nebo pomocí USB kabelu z počítače či externího zdroje. Pro svůj přístroj jsem jako zdroj napájení použil 9V Ni-Mh akumulátor od firmy Varta. Jde o klasický akumulátorový (dobíjecí) E-Block s kapacitou 200 mAh. Akumulátor je připojen přímo na desku Arduino pomocí napájecích kontaktů ve formě patentky a dvou vodičů, ty jsou zapojeny do pinů VIN a GND. Mezi kladný (červený) vodič je sériově připojeno spínací tlačítko s aretací, to slouží jako hlavní vypínač, jelikož je akumulátor permanentně připojen k základní desce, vznikal by velký úbytek napětí, a tedy i mnohem menší výdrž přístroje. Výhodou oproti jiným akumulátorovým bateriím typu Ni-Cd je větší kapacita článků se stejnými rozměry, jako mají Ni-Cd akumulátory. Při porovnání s lithiovými mají Ni-Mh akumulátory malý vnitřní odpor, který může být i desetkrát menší. Nevýhodou Ni-Mh akumulátorů je jejich vysoká cena,

hmotnost a samovybíjení. U tohoto novějšího akumulátoru je samovybíjení minimální. Jedná se o RTU (Ready To Use) akumulátor, což je označení speciální řady Ni-Mh baterií s nízkým samovybíjením. Dodané napětí je na Arduinu stabilizováno na pracovní napětí 5V a 3,3V. Při nabíjení akumulátoru je optimální povolené napětí 10,5V a proud 20 mA (při teplotě 20°C). U rychlého nabíjení je povoleno maximální dobíjecí napětí 10,5V a proud o velikosti 100 až 200 mA (při teplotě přibližně 10°C). Podle IEC standardu je počet nabíjecích cyklů stanoven na minimálně 500.



Obr. č. 22: Akumulátor Varta 9V, 200 mAh

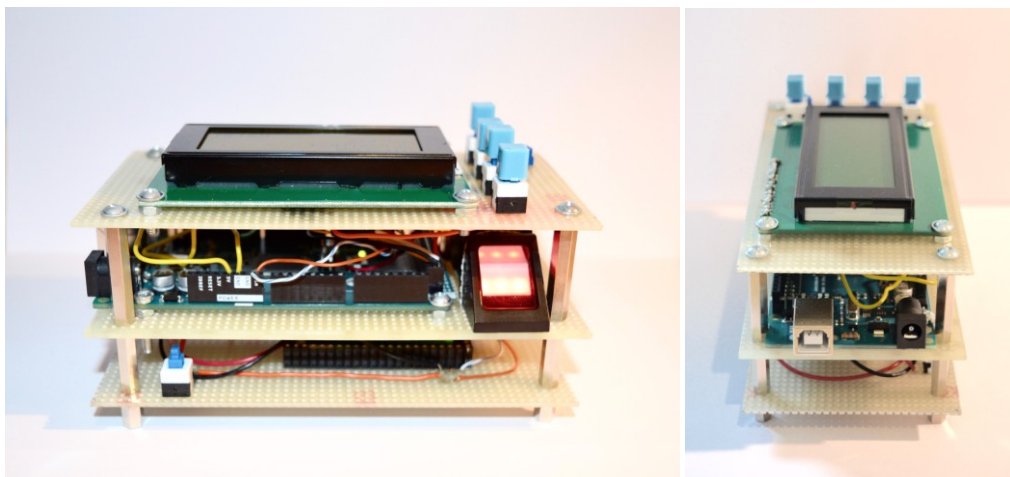
## 12.1.5 OSTATNÍ KOMPONENTY

Mezi ostatní doplňující komponenty patří především konstrukční prvky pro vytvoření uceleného celku přístroje. Hlavní konstrukční součástí je univerzální pájivé pole s vrtanými kulatými otvory o průměru 1,00 mm a vzájemnou vzdáleností 2,54 mm. Spoje jsou nařezány na požadovanou velikost 13 x 7 cm. Celkem jsou pro přístroj použita tři pájivá pole o stejné velikosti. Na plošné spoje jsou připájeny a připevněny hlavní přístrojové komponenty, jako je display, mikrokontrolér a akumulátor. Dalšími doplňujícími součástkami jsou tlačítkové spínače s aretací pro volbu snímacího režimu, trimr pro nastavení kontrastu displeje a tlačítko pro hlavní vypínač. Posledními komponenty jsou propojovací izolované kontakty o průměru 1 mm, šroubky a kovové distanční sloupky typu M3, ty slouží jako prvky spojující jednotlivé pájivé pole a vytvářejí tak pevný celek přístroje. Sloupků je celkem 12 a to o velikosti 10 mm, 20 mm a 30 mm. Osm z nich je typu samec-samice a čtyři samice-samice (bez závitu).

## 12.2 HARDWAROVÉ ZAPOJENÍ PŘÍSTROJE

### 12.2.1 HARDWAROVÉ ZAPOJENÍ JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ PŘÍSTROJE

Samotné finální zapojení přístroje se týká výše uvedených komponentů. Zařízení je rozděleno do tří částí, které jsou k sobě trvale připevněny pomocí distančních sloupků a vytváří tak jeden ucelený přístroj. Hlavní část je složena z desky plošných spojů, základní desky Arduino MEGA 2560 a senzoru otisků prstů. Díky několika otvorům v Arduinu je možné základní desku připevnit k desce plošných spojů o velikosti 13 x 7 mm prostřednictvím čtyř šroubků a matic typu M3. V bezprostřední blízkosti Arduina je umístěn senzor otisků prstů, ten bohužel nemá žádné konstrukční upevňovací prvky, tudíž je zafixován pomocí několika drátků připájených k desce plošných spojů. Výhodou přímé blízkosti obou zařízení je jednoduché konstrukční připojení senzoru k základní desce. Na upevňovací desce se rovněž nachází malý otvor pro přívod kontaktů ze spodního patra (napájení).



Obr. č. 23: Přední pohled na sestavený přístroj se senzorem otisků, displejem a napájením  
 Obr. č. 24: Boční pohled na přístroj, kde je možné připojení na napájení a externí zařízení

V první, tedy horní části se nachází LCD displej, který disponuje čtyřmi 3 mm otvory pro přichycení. Původně měl displej 2,5 mm otvory, ty musely být převrtány na již zmíněné 3 mm pro lepší kompatibilitu. K displeji je připájena šestnácti pinová kolíková lišta, která je prodloužena do spodní části desky. Displej je pomocí těchto kontaktů připojen k desce Arduino v prostřední části přístroje. Mezi další komponenty, které se nacházejí na svrchní části přístroje, patří čtyři ovládací tlačítkové spínače s aretací. Ty jsou opět připájeny ze spodní strany desky. Každé tlačítko má celkem šest pinů, na které je možné připojit až dvě zařízení, nicméně mnou použitá tlačítka mají pouze jednu funkci a tedy používají jen tři piny. První pin na tlačítku je přes kontaktní drátky připevněn na VCC, druhý na GND a třetí je vždy unikátní a zaujímá určitý naprogramovaný pin na desce Arduino. Takto stejně jsou připojena tři tlačítka, čtvrté je připojeno pouze pomocí prvních dvou pinů (VCC a GND) a slouží jako zapínací tlačítko přístroje. Posledním prvkem je 10 kΩ trimr, ten slouží k nastavení kontrastu displeje a je připájen k desce plošných spojů. Má tři piny připojené na napájení VCC, uzemnění GND a třetí pin na LCD displej, který slouží k připojení trimru. Celá svrchní část je k té spodní připevněna pomocí čtyř 30 mm kovových distančních sloupků a šroubků typu M3.

V poslední, nejnižší části se nachází zdroj napájení celého přístroje. Je zde umístěn akumulátor Varta 9V/ 200 mAh. Akumulátor není nijak fyzicky připevněn z důvodu možné výměny za novou nabitou baterii nebo akumulátor. Zdroj napájení se nachází v ohrádce tvaru "U", vytvořené z dutinové lámací lišty připájené ke spodní desce plošných spojů. Tím je relativně dobře fixován proti vypadnutí a odpojení od přístroje. Akumulátor je k Arduino připojen pomocí připínacího klipu typu I pro 9V baterie. Jeho kontaktní vodiče jsou provlečeny vytvořeným 3 mm otvorem ve druhé (prostřední) desce a dále připojeny k Arduino. Poslední komponent je opět tlačítkový spínač s aretací, který slouží jako hlavní vypínač celého napájení přístroje.

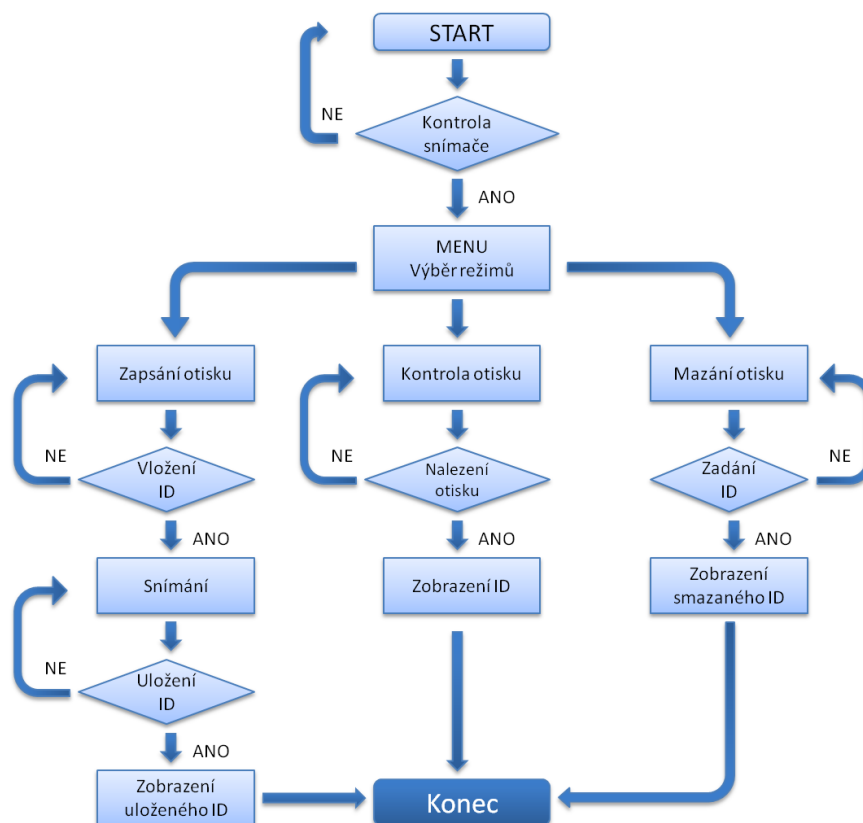
Tab. č. 3: Základní parametry přístroje

<b>Výška</b>	8,4 cm
<b>Délka</b>	13 cm
<b>Šířka</b>	7 cm
<b>Váha</b>	285 g
<b>Cena součástek</b>	3650 Kč

Tab. č. 4: Celkové parametry a použité komponenty přístroje

Základní deska	Arduino MEGA 2560 rev. 3
Senzor	Seed Studio - Seed Grove sensor
Display	Winstar WH1604E
Ovládací prvky	WEALTHMETAL PB-22E08
Zdroj napájení	Varta 9V ACCU
Výdrž při používání (baterie)	7 minut 20 sekund
Výdrž v pohotovostním režimu	10 minut
Kapacita uložených otisků	162 snímků/otisků
Rychlost ukládání	17,44 sekund
Rychlost identifikace	2,225 sekund
Rychlost mazání	7,08 sekund

## 12.2.2 VÝVOJOVÝ DIAGRAM PŘÍSTROJE



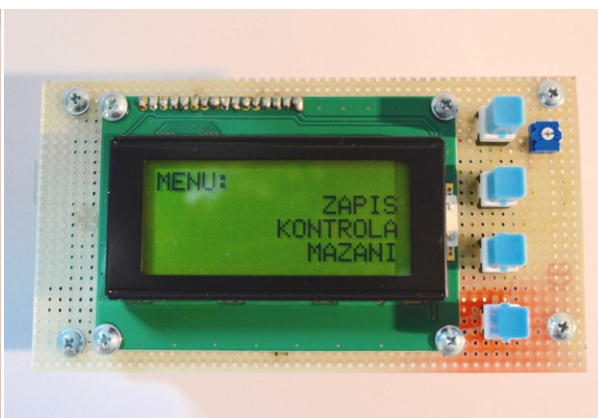
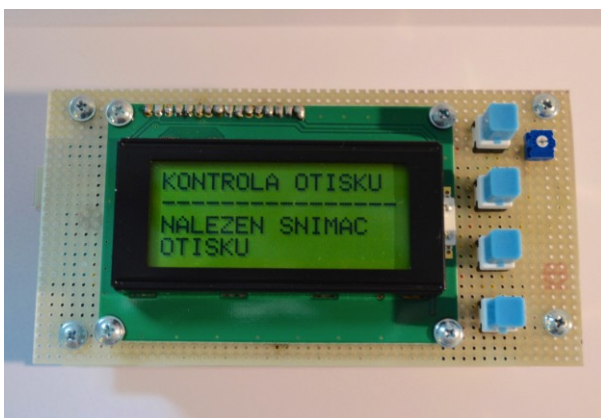
Obr. č. 25: Vývojový diagram přístroje pro identifikaci osob na základě otisku prstu

Při zapnutí přístroje stlačením tlačítka ON/OFF proběhne automaticky naprogramovaná kontrola přístroje, zda je připojen senzor otisků prstů. Pokud je připojen a je připojen správně, přístroj se automaticky přepne do uživatelského menu, kde je možné zvolit jeden ze tří naprogramovaných módů, a to zapsání pacienta do databáze, identifikace pacienta a vymazání jeho otisků z databáze. Zvolení vybraného režimu proběhne stlačením odpovídajícího tlačítka (na svrchní části přístroje). Pokud si uživatel zvolí první režim tedy zapsání otisku, je vyzván pomocí textu zobrazeného na LCD

displeji "Napište číslo pacienta (ID)" aby prostřednictvím programu (viz. kapitola 11.2.4), který komunikuje s přístrojem zadal číslo, pod kterým bude otisku uložen a později i vyhledáván. Poté, co je číslo úspěšně zadáno, vyzve přístroj uživatele k přiložení prstu (palce) na snímač. Tento proces se opakuje ještě jednou, aby byla zvýšena přesnost otisku. Po procesu snímání je otisk uložen do databáze a je zobrazeno uložené ID na display.

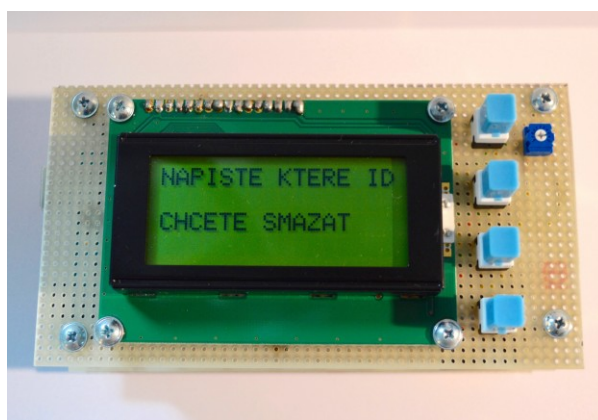
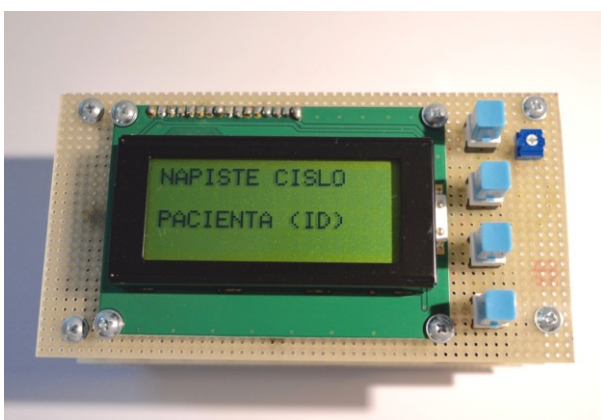
Ve druhém režimu je proces nejjednodušší. Po stisknutí tlačítka sloužícího ke kontrole pacienta (otisku prstu) je možné ihned přiložit prst na snímač, který musí svítit červeně. Pokud je otisk v databázi, zobrazí se na displeji nalezené ID pacienta a zobrazí se přesnost otisku právě snímaného s otiskem uloženým. Čím vyšší je číslo přesnosti, tím je přesnější identifikace. Maximální přesnost je charakterizována číslem 255. Svítí-li snímač přerušovaně, přístroj nenalezl shodu. Při volbě režimu mazání se stejně jako v prvním případě zobrazí na LCD displeji sdělení, které vyzývá uživatele, aby do programu zapsal číslo (ID). Informace vypadá následovně: "Napište, které ID chcete smazat". Jestliže přístroj přijal požadavek a pokud takové ID existuje, provede operaci a ID (pacienta) vymaže z databáze. Následně na displej zobrazí, které ID bylo smazáno.

### 12.2.3 JEDNOTLIVÉ UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ



Obr. č. 26: Zobrazení počáteční kontroly přístroje a senzoru otisků prstů, zda je správně připojený

Obr. č. 27: Uživatelé menu přístroje, výběr ze tří režimů: zápis pacienta, kontrola pacienta a mazání ID

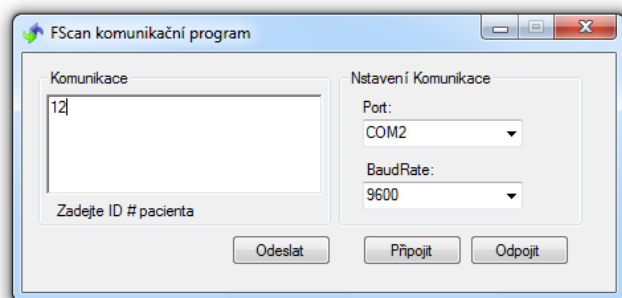


Obr. č. 28: Zobrazení informativní hlášky, která vyzývá k zadání čísla pro uložení pacienta

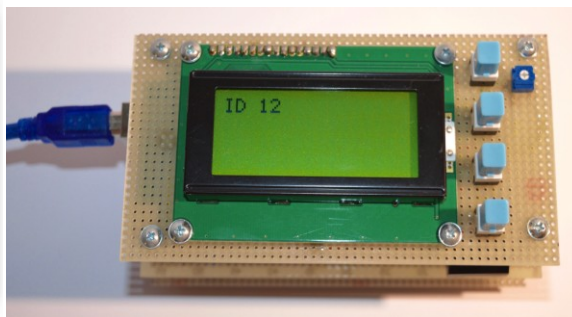
Obr. č. 29: Zobrazení informativní hlášky, která vyzývá k zadání čísla pro vymazání pacienta z databáze

## 12.2.4 UŽIVATELSKÝ KOMUNIKAČNÍ PROGRAM

Přístroj sám o sobě nedokáže zapisovat ID čísla při zadávání nebo mazání pacienta. K tomuto účelu jsem naprogramoval v programu Visual Studio jednoduchou aplikaci, která tento problém řeší. Aplikace s názvem "FScan" je program komunikující s přístrojem na snímání otisků prstů. Pokud chceme zadávat a posílat informace o pacientech a jejich otiscích do přístroje, musíme použít tento program. Při startu aplikace je nutné nastavit tzv. sériovou linku (sériovou komunikaci). Ta spočívá v nastavení portu (COM) na ten, ke kterému je přístroj připojen. Dále je potřeba nastavit "BaudRate", což je jednotka modulační rychlosti, která udává počet změn stavů za sekundu. Pro tento přístroj je tato rychlost přesně daná a je stanovena na 9600 baudů. Následně je možné přístroj připojit a komunikovat s ním. Komunikace probíhá zadáním zvoleného čísla (ID) a odesláním do přístroje, ten informaci zpracuje a popřípadě vyzve uživatele, aby přiložil prstu na snímač. Přístroj, konkrétně základní deska Arduino je po celou dobu komunikace s počítačem připojena pomocí USB kabelu typu A/B. Následná kontrola pacienta není závislá na počítači a přístroj je tak přenosný.



Obr. č. 30: Aplikace pro komunikaci mezi počítačem a přístrojem pro snímání otisků prstů



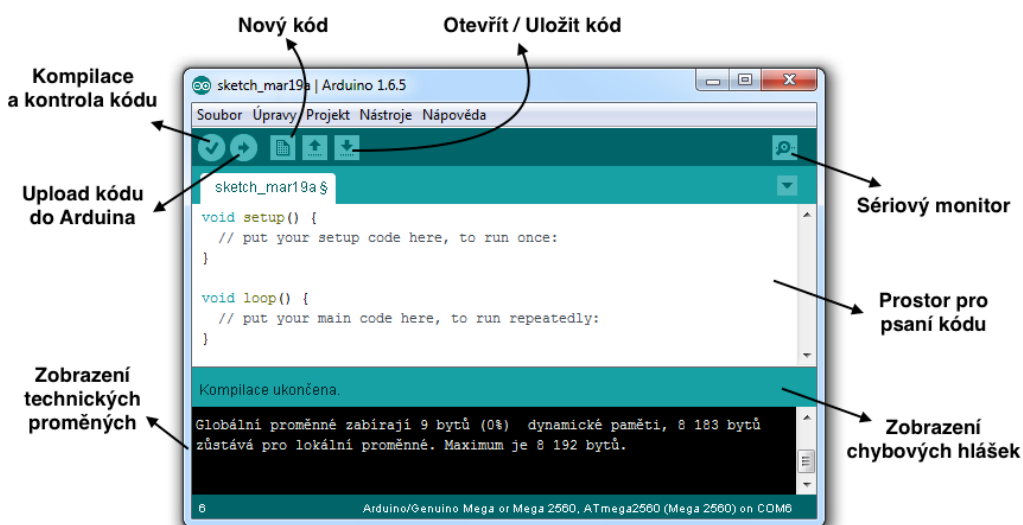
Obr. č. 31: Zapsání ID č. 12 do přístroje

## 13 SOFTWAREVÁ REALIZACE PŘÍSTROJE

### 13.1 PROGRAMOVÁNÍ VE VÝVOJOVÉM PROSTŘEDÍ ARDUINO IDE

Vytváření programu, který je "srdcem" celého systému probíhá v open-source aplikaci zvané Arduino IDE (Integrated Development Environment). Jde o intuitivní aplikaci vytvořenou přímo výrobcem mikrokontrolerových desek Arduino. Vývojové prostředí se skládá z několika základních komponentů, které řídí proces vytváření kódu. Hlavní a největší částí aplikace je textové pole určené pro vytváření kódu. Dále pak horní lištu, kde se nacházejí základní nabídky programování. Ve spodní části se nachází černé pole (messages – je jakousi formou zpětné vazby pro programátora), kde aplikace zobrazuje chybové hlášky, velikost napsaného kódu a využitelnost proměnných, které nám zobrazují velikost RAM a FLASH paměti v Arduinu. Na obrázku č. 32 je možné vidět, jak vypadá aplikace při zapnutí a popsané její hlavní komponenty. Samotný program, který vytváříme, se nazývá "Sketch" tedy návrh. Koncovkou programu je ".ino". V pravém dolním rohu se zobrazují právě připojené a programované desky, tedy o jaký druh desky jde a na jaký port v počítači je připojena. Aplikace je dostupná na oficiálních stránkách výrobce [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc) a je možné ji používat na všech operačních systémech, jako je Windows, Mac OSX a Linux. [22]

Při psaní softwaru se neobejdeme bez používání ovládacích prvků, které se nacházejí v horní liště. Ta obsahuje důležité komunikační tlačítka "Verify" a "Upload". Při stisku tlačítka "Verify" proběhne kontrola celého napsaného kódu, zda je napsán správně nebo jestli je připojena deska Arduino do zvoleného portu. Pokud se při kontrole objeví chyba, její charakter je červeně vypsán do černého pole (messages). Jestliže kontrola neobjevila žádnou chybu a kód byl zkompileován, můžeme jej nahrát do Arduina. K tomu slouží tlačítko "Upload". Po nahrání kódu se zobrazí stavové oznámení, které informuje o správném nahrání softwaru na desku. Dále se v horní liště nacházejí tlačítka pro vytvoření nového programu, otevření již uloženého programu nebo uložení vytvořeného programu (New, Open, Save). Posledním tlačítkovým prvkem je sériový monitor, ten slouží jako náhradní displej pro zobrazování naprogramovaných funkcí, které mají za úkol zobrazovat hodnoty. [22]



Obr. č. 32: Popis jednotlivých programovacích prvků aplikace Arduino IDE

Posledními ovládacími prvky jsou příkazy, které se nacházejí v pěti nabídkách. První je nabídka "Soubor". V té se nacházejí základní operace s programem, jako je otevření nového projektu, otevření již předem vytvořených kódu, uložení projektu, tisk skriptu a ukončení aplikace. V nabídce "Úpravy" se nacházejí funkce pro operace s kódem. Těmi jsou např. vyjmout, kopírovat, vložit komentář, zmenšit nebo zvětšit písmo, zvětšit či zmenšit odsazení atp. Nabídka "Projekt" obsahuje funkce pro verifikaci a nahrání kódu do Arduina (Verify, Upload), dále pak příkazy pro přidání kódu z jiného projektu nebo možnost nahrát novou předem vytvořenou knihovnu (Import Library). Nejdůležitější nabídkou jsou "Nástroje", ve kterých se nacházejí volby pro nastavení: Vývojová deska, Procesor a Port. V nabídce Vývojová deska je možné vybrat jednu z desítek desek, kterou chceme programovat. Nabídka procesor skrývá možnost volby konkrétního MCU, který deska obsahuje. V neposlední řadě volba Portu slouží k výběru USB vstupu v počítači, na který je vývojová deska připojena. Výhodou této aplikace je možnost vytvářet program pro velké množství produktů firmy Arduino, Intel, aj. Poslední nabídkou je "Nápověda", která nabízí pomocné rady a odkazy na často kladené otázky nebo řešení jednotlivých problémových oznámení. [22]

V mém případě je programování nastaveno na desku Arduino MEGA 2560 následovně: Vývojová deska: Arduino/Genuino MEGA nebo MEGA 2560. Procesor: ATmega2560 (Mega 2560). Port: COM3. Programátor, který zprostředkovává upload, se nazývá USBtinyISP.

## 13.2 ZÁKLADNÍ ALGORYTMUS PRO SNÍMÁNÍ OTISKŮ

Software je kompletně napsán v jazyce Wiring, což odpovídá jazyku C, nicméně jazyk Wiring je upraven pro použití na jednoduchých mikrokontrolérech, jako je Arduino. Důvodem je menší FLASH paměť pro ukládání naprogramovaného softwaru. Jazyk Wiring ničím nevybočuje od klasického jazyka C. Jeho výhodou je však zjednodušení softwaru jako takového, například sto řádkový skript v jazyce C je schopen Wiring převést na dvacet řádků za použití jednoduchých funkcí a operací a ušetřit tak paměť pro další kódy. Základní programování v aplikaci Arduino IDE se skládá z vytvoření dvou funkcí void setup(), kde nastavujeme parametry celého programu a funkce void loop(), kde píšeme samotný kód, který má vykonávat určitý děj.

V mém případě je celý software rozdělený do mnoha částí, nicméně základní strukturu s funkcemi void setup() a void loop() obsahuje. Skript začíná definicemi a deklaracemi proměnných. Jako první jsou deklarovány tři knihovny, se kterými pracuji. Knihovna Adafruit.Fingerprint.h je nejdůležitější, definuje binární operace při zpracovávání otisků a vytváří tak funkce, kterými mohu přístroj ovládat. Druhou knihovnou je SoftwareSerial.h, je to zastaralejší knihovna určená pouze pro hardwarovou komunikaci mezi 16 MHz procesorem a senzorem. Knihovna dále specifikuje hardwarové připojení snímače k Arduino a sériovou linku díky které, probíhá přenos informací. Poslední knihovnou je LiquidCrystal.h, ta slouží k definování a přenosu informací do LCD displeje. Další částí jsou definice určené k připojení a ovládání hardwarových součástek. Nejprve jsou definována tlačítka, která ovládají režimy pro kontrolu otisku prstu. Konstanta buttonPin1 a další, přiřazuje umístění tohoto tlačítka na pin 50, který je umístěn na desce Arduino. S tlačítky souvisí jejich poloha stlačení, která je definována konstantou buttonState na hodnotu 0. Znamená to tedy, že neutrální poloha tlačítka je nesepnuto (poloha LOW). V předposlední části jsou deklarovány konkrétní piny pro připojení senzoru otisku prstu (piny 52 a 53) a v poslední řadě pak piny pro připojení LCD displeje (piny 12, 11, 5, 4, 3, 2) a stanovení proměnné "finger" jako informaci pocházející z pinů 52 a 53.

```
#include <Adafruit_Fingerprint.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <LiquidCrystal.h>

int getFingerprintIDez();
const int buttonPin1 = 50;
const int buttonPin2 = 51;
const int buttonPin3 = 13;
int buttonState1 = 0;
int buttonState2 = 0;
int buttonState3 = 0;

SoftwareSerial mySerial(52, 53);
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

Adafruit_Fingerprint finger = Adafruit_Fingerprint(&mySerial);
```

V následující sekci se nachází detailní přednastavení celého přístroje a kontrola senzoru, zda je připojen správným způsobem. Skript začíná deklarací specifického datového typu void setup(). V něm se nachází stanovení sériové komunikace pomocí konstanty Serial.begin(9600), která určuje modulační rychlost na 9600 baudů a dále pak připojení tlačítek pomocí konstanty pinMode. Po tomto definování dojde k samotnému spuštění přístroje a zobrazení prvního textu "FScan" na displej.



K tomu, aby mohl být tento text na displeji zobrazen, slouží právě knihovna LiquidCrystal.h, která definuje konstantu lcd.begin(16, 4) jako přesné určení počtu sloupců a řádků na displeji. Dále pak konstanta lcd.setCursor(0, 0) určuje, odkud se má text vypisovat, v tomto případě je to na první řádek a první sloupec displeje. Po spuštění přístroje a zobrazení uvítacího textu následuje kontrola, zda je senzor připojen k desce Arduino. Tento proces začíná příkazem finger.begin(57600), který začne pracovat jako sériová linka. Pokud je podmínka, která ověřuje připojení senzoru, platná zobrazí se informativní hláška, že snímač byl nalezen. Pokud podmínka neplatí, zobrazí se hláška "Nenalezen snímač otisku".

```

void setup()
{
  pinMode(buttonPin1, INPUT);
  pinMode(buttonPin2, INPUT);
  pinMode(buttonPin3, INPUT);

  Serial.begin(9600);

  lcd.begin(16, 4);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("FScan");
  delay(1000);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("KONTROLA OTISKU");
  finger.begin(57600);

  if (finger.verifyPassword())
  {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("NALEZEN SNIMAC");
    lcd.print("OTISKU");
    delay(1700);
  }
  else
  {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("NENALEZEN SNIMAC");
    lcd.print("OTISKU");
    delay(1700);
    while (1);
  }
}

```

Po ukončení výše uvedeného skriptu se dostaneme do nejdůležitější části kódu, který vytváří srdce celého softwaru. Kód se nyní přesune do stavu, kdy probíhá ve smyčce pořád dokola, dokud není vyvolána funkce, která kód přemístí na místo, kde má vykonávat určitý proces. Smyčka je popsána datovým typem void loop(). V ní jsou umístěné tři podmínky, které zastávají tři tlačítka. Každá jednotlivá funkce má své podmínky a příkazy. Než jsou podmínky vyvolány, proběhne deklarace konstant buttonState pro umožnění čtení digitální informace z tlačítek (stisknutí). První podmínka je vyvolána, pokud je tlačítko stisknuto a týká se zapsání otisku prstu (pacienta) do databáze. Stisknutím prvního tlačítka se zobrazí informativní sdělení "Napište číslo pacienta (ID)" a začne probíhat podmínka, ve které se uloží zadané číslo do proměnné „id“. Po ukončení zadávacího procesu je vyvolána následující funkce getFingerprintEnroll(id), která vyvolá snímání a zapsání otisku prstu pod vybrané ID. Druhá podmínka se týká kontroly otisku prstu a je ze všech tří nejkratší. Při stisku tlačítka se pouze vyvolá funkce getFingerprintIDez a dojde k porovnávání uložených otisků s přiloženými.

```

void loop()
{
  buttonState1= digitalRead(buttonPin1);
  buttonState2= digitalRead(buttonPin2);
  buttonState3= digitalRead(buttonPin3);

  if (buttonState1 == HIGH)
  {
    lcd.clear();
    lcd.print("NAPISTE CISLO");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" PACIENTA (ID)");
    int id = 0;
    while (true)
    {
      while (! Serial.available());
      char c = Serial.read();
      if (! isdigit(c))
        break;
      id *= 10;
      id += c - '0';
    }
    lcd.clear();
    lcd.print("ID OTISKU #");
    lcd.print(id);

    getFingerprintEnroll(id);
  }
}

```

Poslední podmínka je opět závislá na stisku tlačítka, v tomto případě třetího, a má za úkol vyvolat funkci, která vymaže uložené ID a otisk z paměti přístroje. Podmínka je velice podobná té první s jediným rozdílem, a to je poslední příkaz, kterým je deleteFingerprint(id). Touto poslední podmínkou je smyčka uzavřena. Následují tři rozsáhlé nezávislé celky kódů, které jsou vyvolány stiskem určitého tlačítka a vykonáním podmínky.

```

if (buttonState2 == HIGH)
{
  lcd.clear();
  lcd.print("PRILOZTE PRST");
  delay(1500);
  getFingerprintIDez;
}

if (buttonState3 == HIGH)
{
  lcd.clear();
  lcd.print("NAPISTE KTERE ID");
  lcd.print("CHCETE SMAZAT");
  uint8_t id = 0;
  while (true){
    while (! Serial.available());
    char c = Serial.read();
    if (! isdigit(c))
      break;
    id *= 10;
    id += c - '0';
  }
  lcd.clear();
  lcd.print("MAZANI ID #");
  lcd.print(id);
  delay(1500);

  deleteFingerprint(id);
}
}

```

V první sekci podprogramů je umístěn skript pro kontrolu otisku prstu pomocí připojeného senzoru. Tento kód je vyvolán pomocí funkce getFingerprintIDez a skládá se z hlavní operační funkce, tří podmínek a tří příkazů switch, které umožňují vybírat mezi více alternativami. Pokud je ze všech tří příkazů switch vybrána hodnota FINGERPRINT\_OK, která říká, že byl otisk nalezen v databázi, operační funkce se třemi podmínkami ji vyhodnotí jako správnou a následuje vypsání informativní hlášky "Nalezeno ID #" společně s číslem (ID) odpovídající uloženému a zároveň nalezenému otisku. Za tímto číslem se dodatečně nachází číslo odpovídající přesnosti shody nalezeného a uloženého otisku, která je od 0 do 255 (čím větší číslo tím přesnější shoda otisků). Obě tyto informace se ihned po nalezení shody zobrazí na LCD displeji. Definované konstantní výrazy typu FINGERPRINT\_OK jsou součástí knihovny AdafruitFingerprint.h. Příklad jednoho z celkem tří příkazů switch je vypsán níže společně s konečným skriptem pro vypsání nalezených hodnot.

*Část skriptu určena k vypsání čísla nalezeného ID otisku a jeho číselné přesnosti.*

```

lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("NALEZENO ID #");
lcd.print(finger.fingerID);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("S PRESNOSTI");
lcd.print(finger.confidence);

```

*Část skriptu určena pro správné vyhodnocení nálezu otisku prstu a případné nalezení chyby.*

```

switch (p)
{
  case FINGERPRINT_OK
    lcd.clear();
    lcd.print("OBRAZ JE ULOZENY");
    delay(1500);
    break;

```

```

  case FINGERPRINT_NOFINGER:
    lcd.clear();
    lcd.print("OTISK NENALEZEN");
    delay(1500);
    break;
  case FINGERPRINT_PACKETRECEIVEERR:
    lcd.clear();
    lcd.print("CHYBA KOMUNIKACE");
    delay(1500);
    break;
  case FINGERPRINT_IMAGEFAIL:
    lcd.clear();
    lcd.print("CHYBA SNIMANI");
    delay(1500);
    break;
  default:
    lcd.clear();
    lcd.print("NEZNAMA CHYBA");
    delay(1500);
    return p;
}

```

Ve druhé sekci podprogramů je umístěn skript pro zapsání otisku do paměti Arduina. Tento skript je vyvolán ze smyčky void loop() a spuštěn funkcí getFingerprintEnroll(id), která se nachází na konci první podmínky. Při vyvolání tohoto procesu dojde k přesunu na část kódu, kde jsou vypsané jednotlivé operační celky, které mají za úkol zapsat otisk do paměti. Na začátku tohoto režimu pro uložení otisku je uživatel (pacient) vyzván, aby zadal pomocí komunikačního programu číslo, pod kterým se otisk uloží a pod kterým budeme v budoucnu otisk hledat. Následně dojde ke spuštění hlavní funkce getFingerprintEnroll(id). V ní se na začátku nachází upozornění "Čekání na zvolený otisk", které má přimět uživatele, aby přiložil prst na snímač. Následují dva důležité příkazy switch. Ty mají za úkol řídit proces snímání, ukládání a informovat o probíhajícím snímání. Pokud jsou oba příkazy switch vyhodnoceny první hodnotou FINGERPRINT\_OK, která následně uživatele informuje o úspěšném sejmutí a převedení obrazu otisku, pokračuje skript do fáze, kdy je uživatel nucen otisk odstranit ze snímací plochy a přiložit jej znovu. Tím je vyvolána nová sekce skriptu a celý proces se opakuje ještě jednou. Tedy opět jsou vyvolány dva příkazy switch, které jsou totožné s těmi prvními. Po absolvování tohoto zapisování následují poslední příkazy switch určené ke konečnému uložení otisku do proměnné "id". Poslední částí jsou podmínky if a else if, které řídí proces ukládání otisku. Pokud je vyvolána první podmínka týkající se úspěšného nalezení otisku, uloží tuto informaci do proměnné "p", se kterou následně pracuje funkce finger.storeModel(id). Ta ji uloží do paměti a tím končí zapisování otisků. Během celého procesu ukládání je uživatel informován o právě probíhajících operacích pomocí informativních sdělení umístěných v příkazech switch.

#### *Část skriptu určená pro opětovné vyvolání snímání*

```

lcd.clear();
lcd.print("ODSTRANTE PRST");
lcd.print(" ZE SNIMACE");
delay(2000);

while (p != FINGERPRINT_NOTFINGER)
{
  p = finger.getImage();
}
p = -1;
lcd.clear();
lcd.print("PRILOZTE ZNOVU");
lcd.print(" STEJNY PRST");
delay(2000)

```

#### *Finální podmínka sloužící k uložení zachyceného otisku do paměti a zobrazení čísla ID, které jsme uložili.*

```

p = finger.createModel();

if (p == FINGERPRINT_OK)
{
  lcd.clear();
  lcd.print("OTISK ZACHYCEN");
  delay(1500);
}

```

```

else if (p == FINGERPRINT_PACKETRECEIVEERR)
{
  lcd.clear();
  lcd.print("CHYBA KOMUNIKACE");
  delay(1500);
  return p;
}
else if (p == FINGERPRINT_ENROLLMISMATCH)
{
  lcd.clear();
  lcd.print("OTISK NEZACHYCEN");
  delay(1500);
  return p;
}
else
{
  lcd.clear();
  lcd.print("NEZNAMA CHYBA");
  delay(1500);
  return p;
}

```

```

lcd.clear();
lcd.print("ID ");
lcd.print(id);
delay(1500);

p = finger.storeModel(id);

```

Poslední sekci z podprogramů je mazání dříve uloženého otisku. Tento skript je ze všech tří nejkratší a obsahuje pouze jednu funkci a jeden příkaz switch. K vyvolání kódu pro mazání otisku dojde opět ve smyčce void loop() při stisku třetího a tím i posledního tlačítka. Pro zadávání čísla ID

slouží již zmíněný komunikační program. Při vyvolání procesu mazání nás přístroj vyzve hláškou "Napište, které ID chcete smazat" a uživatel tak musí do komunikačního programu zapsat a odeslat zvolené číslo. Následuje samotné vyvolání funkce deleteFingerprint(id), která se nachází na konci třetí podmínky ve smyčce void loop(). Touto akcí se vykonávání skriptu přesune na poslední část podprogramu, kde je díky funkci finger.deleteModel(id) otisk smazán a pomocí příkazu switch je vyvoláno poslední informativní upozornění "Otisk byl smazán". Pokud nelze otisk smazat zobrazí se na displeji jiné chybové hlášky (viz. skript). Touto poslední částí je kód ukončen. Celý 550 řádkový kód je možné najít na přiloženém CD.

```

p = -1
p = finger.deleteModel(id);

if (p == FINGERPRINT_OK)
{
  lcd.clear();
  lcd.print("OTISK BYL");
  lcd.print("VYMAZAN");
  delay(1500);
}
else if (p == FINGERPRINT_PACKETRECEIVEERR)
{
  lcd.clear();
  lcd.print("CHYBA KOMUNIKACE");
  delay(1500);
  return p;
}
else if (p == FINGERPRINT_BADLOCATION)
{
  lcd.clear();
  lcd.print("NELZE ODSTRANIT");
  delay(1500);
  return p;
}
else if (p == FINGERPRINT_FLASHER)
{
  lcd.clear();
  lcd.print("CHYBA ZAPISOVANI");
  lcd.print("DO PAMETI");
  delay(1500);
  return p;
}
else
{
  lcd.clear();
  lcd.print("NEZNAMA CHYBA");
  lcd.print("0x");
  lcd.print(p, HEX);
  delay(1500);
  return p;
}
}

```

## 14 TESTOVÁNÍ A ANALÝZA VESTAVĚNÉHO SYSTÉMU

### 14.1 TESTOVÁNÍ PŘESNOSTI SNÍMÁNÍ OTISKU

Testování vytvořeného a naprogramovaného přístroje pro snímání otisků je možné vyložit buď jako testování procentuální nalezení shody mezi uloženým a snímaným otiskem, nebo jako testování kvality snímaného obrazu a jeho opětovné nalezení shody. Testování jsem rozdělil do několika částí. V první části se zabývám schopností senzoru uložit požadovaný otisk a následně jej rozpoznat při kontrole otisku. Tato problematika se týká velkých a malých prstů (dětí), a tedy i rozdílné přesnosti snímání. Ve druhé části je testována procentuální přesnost nalezení shody otisku a číselná přesnost jednotlivých pokusů o verifikaci. V poslední části zkoumám schopnost programu správně vymazat požadované ID. Tedy jestli otisk, který chci, aby byl odstraněn z paměti přístroje, byl opravdu vymazán a nedocházelo tak k nechtěným verifikacím jiných osob. Testování jsem prováděl s deseti pokusy na jednotlivých režimech pro zapisování, kontrolu a mazání. Jelikož snímač, který používám, je poloprofesionální není zaručena velká přesnost ukládaných otisků jako je u profesionálním bezpečnostních senzorů. Jednotlivé fáze testování jsou znázorněny v tabulce číslo 5, která je rozdělena na část testování pro velké otisky a část pro otisky malé. Testování se skládá z deseti pokusů, kdy každý pokus zastupuje jiný otisk. Z výsledků vyplývá, že schopnost uložení a opětovné nalezení shody

otisku je pravděpodobnější u větších otisků. Důvodem je lepší přichycení prstu na senzoru a větší velikost rozpoznávacích znaků a dermatoglyfů. Naopak při snímání menších až velmi malých prstů je schopnost uložení horší. Je to dáno velikostí snímací plochy, kvalitou snímacího zařízení, typem senzoru a dobou, při které musí být prst přiložený na snímači (malé děti neumí udržet prst bez pohybu). Z testů také vyplývá, že při opětovné kontrole (přiložením prstu na snímač) dojde ve většině případů ke správné verifikaci. Testování bylo provedeno na osobách ve věku od 2 do 50 let.

Tab. č. 5: Testování schopnosti uložení otisku a opětovného nelezení při kontrole

	VELKÉ OTISKY			MALÉ OTISKY		
	Uložení otisku	První pokus kontroly	Opětovná kontrola	Uložení otisku	První pokus kontroly	Opětovná kontrola
1.	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano
2.	Ano	Ano	Ano	Ne	-	-
3.	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano
4.	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
5.	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
6.	Ano	Ano	Ano	Ne	-	-
7.	Ano	Ne	Ne	Ne	-	-
8.	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano
9.	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
10.	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano

Druhá fáze testování se zabývá přesností snímání jako takového. Přesnost určuje číselná shoda uloženého otisku s otiskem snímaným při verifikaci uživatele. Interval přesnosti je stanoven od 0 do 255 a znázorňuje přesnost pomocí stupně šedi. Z výsledků vyplývá, že u menších otisků je číselná přesnost menší a u velkých otisků naopak. U velkých otisků je průměrná přesnost 66,6 %, u malých otisků je přesnost menší, tedy 30,5 %. Tyto výsledky ovlivňuje hlavně typ a kvalita senzoru.

Tab. č. 6: Testování procentuální shody (přesnosti) mezi uloženými a kontrolovanými otisky

	VELKÉ OTISKY		MALÉ OTISKY	
	% Shoda otisku	Číselná shoda	% Shoda otisku	Číselná shoda
1.	56,4 %	144	16,8 %	43
2.	91,3 %	233	-	-
3.	68,2 %	174	47,1 %	120
4.	99,6 %	254	17,6 %	45
5.	43,1 %	110	25,5 %	65
6.	38,4 %	98	-	-
7.	-	-	-	-
8.	90,1 %	230	34,9 %	89
9.	82,7 %	211	30,1 %	77
10.	29,8 %	76	41,5 %	106
Průměr	66,6 %	170,0	30,5 %	77,8

Posledním typem testování je kontrola mazání zvoleného otisku a následná zkouška, zda již není možné přiložený prst rozpoznat. V prvním případě jsem mazal velké a následně malé otisky pomocí komunikačního programu "FScan". V obou případech proběhlo mazání otisků bez problému, jelikož proces mazání není závislý na senzoru. Mazání probíhá pouze pomocí sériové linky, díky které komunikuje Arduino s aplikací "FScan" a mazání je čistě elektronické. Následná kontrola však odhalila některé nedostatky senzoru. U velkých otisků došlo pouze k jedné chybné verifikaci, ačkoli otisk již byl předtím smazán. Otisk se sice nehlásil pod dříve uloženým ID, nicméně použil jiné, a tím i nesprávné ID. Například při snímání otisku se již nezobrazovalo uložené ID 10, ale jiné ID. U malých otisků se stejná chyba vyskytovala dvakrát. V tomto případě je to dáno malými velikostmi charakteristických dermatoglyfů, které způsobují tuto nevyžádanou chybu.

Tab. č. 7: Zobrazení správně smazaných otisků a následná kontrola verifikace u velkých otisků

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Smazání	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kontrola verifikace	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tab. č. 8: Zobrazení správně smazaných otisků a následná kontrola verifikace u malých otisků

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Smazání	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kontrola verifikace	✓	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	✓

## 14.2 ANALÝZA RYCHLOSTI SNÍMÁNÍ, ZAPISOVÁNÍ A MAZÁNÍ

Z měření vyplývá, že nejrychlejší režim je v procesu snímání otisku dané osoby, které v průměru trvá 2,225 sekund. Následuje mazání otisku s časem 7,08 sekund a posledním je zapisování s časem 17,2 sekund.

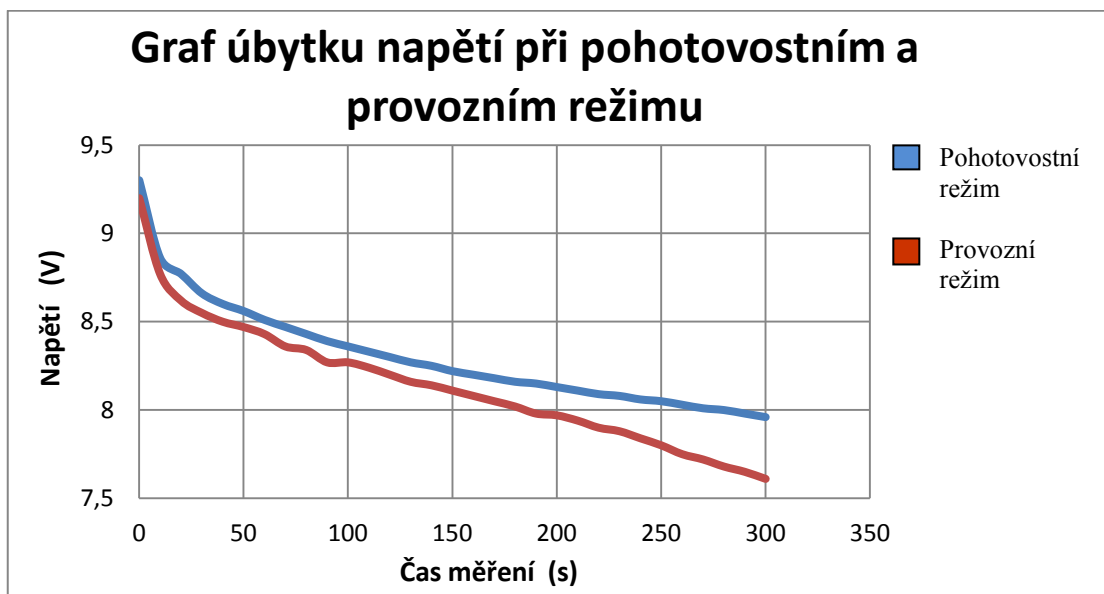
	Rychlost zapisování (s)	Rychlost snímání (s)	Rychlost mazání (s)
1.	17,5	2,25	7,1
2.	18,0	2,20	7,0
3.	16,0	1,95	6,8
4.	16,5	2,35	7,5
5.	17,5	2,10	7,2
6.	18,4	2,15	6,5
7.	19,0	2,35	7,0
8.	17,5	2,50	7,4
9.	16,8	2,30	7,8
10.	17,2	2,10	6,5
Průměr	17,44	2,225	7,08

Tab. č. 9: Testování rychlosti jednotlivých režimů

Snímání dřívě uloženého otisku je nejrychlejším procesem, a to díky tomu, že stačí pouze přiložit prst na snímač. Záleží tak pouze na osobě, jak dlouho nechá položený prst na snímači. Nicméně ze statistiky na deseti osobách tento čas nepřesáhl tři sekundy. Opakem je zapisování otisku do paměti přístroje. Tento proces je ovlivněn několika faktory, které prodlužují dobu trvání zapisování otisku. Jednak tím, že samotný kód má naprogramované zpoždovací úseky mezi jednotlivými dílčími částmi kódu, a jednak i rychlostí pokládání prstu na snímací plochu a následné odstranění. Ve střední časové délce se nachází mazání otisku. To je osvobozeno od nutného přiložení prstu na snímač, jelikož jde pouze o elektronické mazání, tedy záleží jen na rychlosti manipulace s komunikačním programem. Měření probíhalo na profesionálních sportovních stopkách.

### 14.3 TESTOVÁNÍ VÝDRŽE AKUMULÁTORU

Celková výdrž akumulátoru je poměrně nedostatečná díky velké spotřebě přístroje a malé kapacitě akumulátoru, která je pouhých 200 mAh. Z měření vyplynulo, že maximální možný provoz akumulátoru činí 10 minut v pohotovostním a 7,5 minuty v pracovním režimu. Tato délka pracovní doby však stačí pro případný provoz v části nemocnice, kde není možné přístroj připojit na trvalý zdroj elektrické energie. Tento důležitý aspekt přístroje je možný v budoucí době vylepšit lepším a kvalitnějším akumulátorem o větším napětí a kapacitě. Akumulátor je možné nabít na maximální napětí 9,3 V, které bylo zároveň i počáteční při testování přístroje. Měření probíhalo v délce pěti minut (300 sekund) a každých deset sekund byly zaznamenávány hodnoty aktuálního napětí akumulátoru. Při měření stavu napětí akumulátoru v provozním režimu byly každých deset sekund přikládány prsty na snímač, a tím se vytvářelo potencionální pracovní zatížení přístroje. Z grafu na obrázku č. 33 je patrné, že napětí ihned při zapnutí přístroje razantně kleslo z 9,3 V na 8,8 V a dále pak klesalo jen pozvolně. V provozním režimu jsou úbytky napětí o něco větší než u pohotovostního režimu, kdy je přístroj pouze zapnutý. Přístroj se sám odpojí od akumulátoru, pokud napětí klesne pod 5 V, což je minimální pracovní napětí základní desky. Měření napětí probíhalo pomocí digitálního milimetru Voltcraft VC150.



Obr. č. 33: Graf úbytku napětí na akumulátoru při pohotovostním a pracovním režimu

## ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo vytvořit vestavěný systém určený k verifikaci osob na základě otisku prstu a vypracovat zásady dané problematiky. V prvním bodě jsem se zabýval teoretickým rozбором anatomie prstu, daktyloskopií a historií snímání otisků prstů. Detailně jsem popsal způsoby, jakými jsou v dnešní době snímány otisky a jak se tato problematika řešila v historii. Z pohledu teorie jsem se velkou částí bakalářské práce zabýval typy senzorů pro snímání otisků a jejich popisem. Důležitým aspektem bylo vytvoření přístroje, který by byl schopný fungovat jako verifikační platforma v nemocničním prostředí. Zde by si určitě mohl svou pozici najít jako náhrada dnes již zavedeného systému se zápěstními náramky, které jsou zastaralé a v určitém směru omezující pro pacienty. V druhém bodě mé práce jsem se soustředil na vývoj a návrh systému pro verifikaci osob. Zabýval jsem se, jakými způsoby je možné takový to přístroj vytvořit a zkonstruovat. Pro návrhy jsem použil open-source aplikace a nepájivé poje, kde jsem vytvářel budoucí přístroj, který se skládá z mikrokontroléru Arduino, LCD displeje a senzoru pro snímání otisků.

Celý takto vytvořený a naprogramovaný systém jsem přepracoval a sestavil v hotový a použitelný přístroj. Všechny dílčí kroky, jako jsou popisy jednotlivých hardwarových součástí a sestavením přístroje jsem detailně zdokumentoval a popsal ve své práci společně s příloženými obrázky. Velkou část jsem věnoval vysvětlení vytvořeného programu, který je implementován v přístroji. Poslední součástí práce byla také analýza, ve které jsem zkoumal chování přístroje. Analyzoval jsem přesnost a kvalitu snímání přístroje pomocí deseti dobrovolníků a zkoumal jsem procentuální přesnost shody velkých i malých otisků při její kontrole a následné chybové stavy při verifikaci. Dále jsem měřil rychlost samotného snímání, zapisování otisku do paměti přístroje a také mazání. Součástí této analýzy bylo měření výdrže přístroje ve stavu zatížení a ve stavu pohotovosti. Tímto mohu deklarovat, že přístroj, který jsem vytvořil je plně funkční a použitelný pro budoucí vývoj.

Vzhledem k tomu, že přístroj i když je plně funkční, má určité nedokonalosti, jakými jsou malá výdrž a kapacita akumulátoru, primitivní LCD displej a absence boxu či obalu, jsem se rozhodl pokračovat v tomto duchu vývoje i v budoucnu a tímto vytvořit prostor pro možnou diplomovou práci. Již dnes mám vytvořené možné návrhy pro vylepšení přesnosti, kompaktnosti a výdrže přístroje. Vývoj tohoto přístroje v sobě skrývá velký potenciál při zvýšení osobní bezpečnosti pacientů v nemocnicích a jiných zdravotnických zařízeních. Náramkové pásky jsou dnes zastaralé a je potřebné obměnit tento způsob identifikace pacientů lepším a bezpečnějším systémem.



## LITERATURA

---

- [1] *Letmý pohled do světa biometrie*. 2014. Systemonline.cz [online]. Brno: CCB, spol. s r. o., červen 2014 [cit. 2015-11-11]. Dostupné z: <http://www.systemonline.cz/it-security/letmy-pohled-do-sveta-biometrie.htm>;
- [2] *Biometriky* [online]. 2011. Brno: ABBAS, a.s., 2011 [cit. 2015-11-11]. Dostupné z: <http://www.biometricke-ctecy.cz/biometriky/otisk-prstu/>
- [3] RAK, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. 2008. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. 1. vyd. Praha: Grada, 631 s., 32 s. obr. příl. Profesionál. ISBN 9788024723655.
- [4] BENEŠ, Jiří. *Studijní materiály* [online]. ©2007. [cit. 2015-12-10]. <<http://jirben2.chytrak.cz/>>.
- [5] MARTÍNEK, Jindřich a Zdeněk VACEK. 2009. *Histologický atlas*. 1. vyd. Praha: Grada, 134 s. ISBN 9788024723938.
- [6] PORADA, Viktor. 2001. *Kriminalistika*. 2001. Brno: CERM, 746 s. ISBN 8072041940.
- [7] NÚDZIKOVÁ, Pavlína a Zdeněk SLANINA. 2014. *Elektromobilita I* [online]. 2014. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, FEI, 2014 [cit. 2015-11-12]. ISBN 978-80-248-3531-0. Dostupné z: [http://netfei.vsb.cz/downloads/autorske\\_texty/Elektromobilita%20I.pdf](http://netfei.vsb.cz/downloads/autorske_texty/Elektromobilita%20I.pdf)
- [8] DRAHANSKÝ, Martin a Filip ORSÁG. *Biometrie*. 1. vyd. [Brno: M. Drahanský], 2011, 294 s. ISBN 978-80-254-8979-6.
- [9] STRAUS, Jiří et al. *Kriminalistická technika*, 3. vyd., Plzeň: Aleš Čeněk, 2012, s. 37 - 42
- [10] ASHWINI, Barb, Jadhav Shivaji DIGAMBARRAO a S.P PATIL. Performance analysis of finger print sensors. In: *2010 2nd International Conference on Mechanical and Electronics Engineering* [online]. 2010 [cit. 2015-06-06]. DOI: 10.1109/icmee.2010.5558571.
- [11] QIU, Lunji. Fingerprint sensor technology. In: *2014 9th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications* [online]. 2014 [cit. 2015-06-10]. DOI:10.1109/iciea.2014.6931393
- [12] ŠČUREK, R: *Biometrické metody identifikace osob v bezpečnostní praxi*: studijní text. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2008, 34-43 s. [cit. 2015-06-10].
- [13] KOVÁČ, Petr. *Návrh biometrického identifikačního systému pro malou organizaci*. Fakulta aplikované informatiky, 2009. 85 s. [cit. 2015-05-10]. Diplomová práce. UTB Zlín, FAI.
- [14] HERNANDO, Barragán. *About Wiring* [online]. [cit. 2016-01-05]. Dostupné z: <http://wiring.org.co/about.html>
- [15] *Arduino* [online]. Wikipedia.org, 2016 [cit. 2016-01-31]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [16] *Arduino UNO* [online]. Arduino.cc, 2016 [cit. 2016-01-31]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>

- [17] MARKÉTA, Hellerová. *Zavedení identifikace pacientů hospitalizovaných ve zdravotnickém zařízení*. Ministerstvo zdravotnictví. 2009. Metodická doporučení [cit. 2016-02-01] Dostupné z: [http://www.mzcr.cz/dokumenty/zavedeni-identifikace-pacientu-hospitalizovanych-ve-zdravotnickem-zarizeni\\_3805\\_1841\\_15.html](http://www.mzcr.cz/dokumenty/zavedeni-identifikace-pacientu-hospitalizovanych-ve-zdravotnickem-zarizeni_3805_1841_15.html)
- [18] *Arduino MEGA 2560* [online]. Arduino.cc, 2016 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- [19] *ZFM user manual* [online]. Adafruit.com, 2008 [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <https://www.adafruit.com/datasheets/ZFM%20user%20manualV15.pdf>
- [20] *Arduino ISP* [online]. Arduino.cc, 2016 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoISP>
- [21] *Ovládání znakových LCD s řadičem HD44780 – 1. díl*. [online]. Pandatron.cz, 2009 [cit. 2016-02-14]. Dostupné z: [http://pandatron.cz/?685&ovladani\\_znakovych\\_lcd\\_s\\_radice\\_m\\_hd44780\\_%96\\_1.\\_dil](http://pandatron.cz/?685&ovladani_znakovych_lcd_s_radice_m_hd44780_%96_1._dil)
- [22] *Arduino IDE* [online]. Arduino.cz, 2012 [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <http://arduino.cz/arduino-ide/>
- [23] *Co znamená jednotka DPI a kde se s ní můžeme setkat?* [online]. Grafika.cz, 2002 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.grafika.cz/rubriky/photoshop/co-znamená-jednotka-dpi-a-kde-se-s-ni-muzeme-setkat--130235cz>

## SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

---

[Obr. č. 1] <b>Anatomické složení kůže</b> .....	3
<a href="http://www.hojeni-ran.cz/dbpic/kuze-330">http://www.hojeni-ran.cz/dbpic/kuze-330</a>	
[Obr. č. 2] <b>Struktura pokožky</b> .....	4
<a href="https://jessicamilleranatomy.files.wordpress.com/2012/10/epidermis.jpg">https://jessicamilleranatomy.files.wordpress.com/2012/10/epidermis.jpg</a>	
[Obr. č. 3] <b>Stavba kůže s papilárními liniemi</b> .....	6
PORADA, Viktor. <i>Kriminalistika</i> . Brno: CERM, 2001, 746 s. ISBN 80-7204-194-0.	
[Obr. č. 4] <b>Dermatoglyfy</b> .....	6
<a href="http://kabcizj.gjn.cz/OPPA/VM_B/B08_VM_Dermatoglyfy.pdf">http://kabcizj.gjn.cz/OPPA/VM_B/B08_VM_Dermatoglyfy.pdf</a>	
[Obr. č. 5] <b>Daktyloskopické markanty</b> .....	6
<a href="http://krimi-spk.sweb.cz/02_exper/expertiz/02a_dakt/02dakt02.gif">http://krimi-spk.sweb.cz/02_exper/expertiz/02a_dakt/02dakt02.gif</a>	
[Obr. č. 6] <b>Optický senzor</b> .....	9
<a href="http://m.eet.com/media/1114862/0411esdli02.jpg">http://m.eet.com/media/1114862/0411esdli02.jpg</a>	
[Obr. č. 7] <b>Elektronický senzor</b> .....	10
RAK, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. 2008. <i>Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích</i> . 1. vyd. Praha: Grada, 631 s., 32 s. obr. příl. Profesionál. ISBN 9788024723655.	
[Obr. č. 8] <b>Kapacitní senzor</b> .....	11
<a href="http://docplayer.cz/docs-images/25/6566221/images/36-0.png">http://docplayer.cz/docs-images/25/6566221/images/36-0.png</a>	
[Obr. č. 9] <b>Radiofrekvenční senzor</b> .....	12
<a href="http://biometrics.mainguet.org/types/fingerprint/physics/sensing_active_capacitive.gif">http://biometrics.mainguet.org/types/fingerprint/physics/sensing_active_capacitive.gif</a>	

[Obr. č. 10] <b>Optický senzor</b> .....	12
<i><a href="http://cherup.yonsei.ac.kr/images/homepage%20image/Touchless%20Fingerprint%205.bmp">http://cherup.yonsei.ac.kr/images/homepage%20image/Touchless%20Fingerprint%205.bmp</a></i>	
[Obr. č. 11.1] <b>Princip ultrazvukového senzoru</b> .....	13
<i><a href="https://patentimages.storage.googleapis.com/US20070258628A1/US20070258628A1-20071108-D00003.png">https://patentimages.storage.googleapis.com/US20070258628A1/US20070258628A1-20071108-D00003.png</a></i>	
[Obr. č. 11.2] <b>Ultrazvukový senzor Sonavation</b> .....	13
<i><a href="https://lh4.googleusercontent.com/-HJKVrw2Cb0/Utk4t887tFI/AAAAAAAAACE/4N5SU6oxM3M/w800-h800/fingers.png">https://lh4.googleusercontent.com/-HJKVrw2Cb0/Utk4t887tFI/AAAAAAAAACE/4N5SU6oxM3M/w800-h800/fingers.png</a></i>	
[Obr. č. 12] <b>Zpracování otisku</b> .....	16
<i><a href="http://www.intechopen.com/source/html/16502/media/image2.jpg">http://www.intechopen.com/source/html/16502/media/image2.jpg</a></i>	
[Obr. č. 13] <b>Identifikační náramek pacienta</b> .....	18
<i><a href="https://ghshospital.org/sites/Granville/Uploads/images/Quality/Patient%20Safety/emar_bmv%20(2).jpg">https://ghshospital.org/sites/Granville/Uploads/images/Quality/Patient%20Safety/emar_bmv%20(2).jpg</a></i>	
[Obr. č. 14] <b>Arduino UNO</b> .....	19
<i><a href="https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno_R3_Front_450px.jpg">https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno_R3_Front_450px.jpg</a></i>	
[Obr. č. 15] <b>Schéma návrhu přístroje vypracované v programu Fritzing</b> .....	21
<i>Vlastní obrázek, zpracováno v programu Fritzing</i>	
[Obr. č. 16] <b>Blokové schéma návrhu přístroje pro verifikaci otisků prstu</b> .....	21
<i>Vlastní obrázek</i>	
[Obr. č. 17] <b>Popis hlavních součástí mikrokontroléru Arduino MEGA 2560</b> .....	22
<i><a href="http://www.robotshop.com/media/files/images2/rb-ard-33-1.jpg">http://www.robotshop.com/media/files/images2/rb-ard-33-1.jpg</a></i>	
[Obr. č. 18] <b>Příklad hexadecimálních adres znaků v paměti DDRAM</b> .....	24
<i><a href="http://web.alfredstate.edu/weimandn/lcd/lcd_addressing/LCD-16x4-lines(b).gif">http://web.alfredstate.edu/weimandn/lcd/lcd_addressing/LCD-16x4-lines(b).gif</a></i>	
[Obr. č. 19] <b>Připojení displeje Winstar WH1604E na desku Arduino MEGA 2560</b> .....	25
<i>Vlastní obrázek, zpracováno v programu Fritzing</i>	
[Obr. č. 20] <b>Optický senzor Seeed Grove s propojovacími kontakty</b> .....	26
<i><a href="https://blog.adafruit.com/wp-content/uploads/2012/03/window-2-39.jpg">https://blog.adafruit.com/wp-content/uploads/2012/03/window-2-39.jpg</a></i>	
[Obr. č. 21] <b>Zapojení senzoru otisků prstu na Arduino MEGA 2560</b> .....	27
<i>Vlastní obrázek, zpracováno v programu Fritzing</i>	
[Obr. č. 22] <b>Akumulátor Varta 9V, 200 mAh</b> .....	28
<i>Vlastní obrázek</i>	
[Obr. č. 23] <b>Přední pohled na sestavený přístroj se senzorem otisků, displejem a napájením</b> ...	29
<i>Vlastní obrázek</i>	
[Obr. č. 24] <b>Boční pohled na přístroj, kde je možné připojení na napájení a externí zařízení</b> ...	29
<i>Vlastní obrázek</i>	
[Obr. č. 25] <b>Vývojový diagram přístroje pro identifikaci osob na základě otisku prstu</b> .....	30
<i>Vlastní obrázek, zpracováno v programu PowerPoint</i>	
[Obr. č. 26 – 29] <b>Zobrazení jednotlivých uživatelských rozhraní přístroje</b> .....	31
<i>Vlastní obrázky</i>	
[Obr. č. 30] <b>Aplikace pro komunikaci mezi počítačem a přístrojem pro snímání otisků prstů</b> ...	32
<i>Vlastní obrázek</i>	
[Obr. č. 31] <b>Zapsání ID č. 12 do přístroje</b> .....	32
<i>Vlastní obrázek</i>	

[Obr. č. 32] Popsání jednotlivých programovacích prvků aplikace Arduino IDE .....	33
<i>Vlastní obrázek</i>	
[Obr. č. 33] Graf úbytku napětí při pohotovostním a pracovním režimu .....	41
<i>Vlastní obrázek</i>	

## SEZNAM TABULEK

---

[Tab. č. 1.1]: Technická specifikace Arduino MEGA 2560.....	23
[Tab. č. 1.2]: Technická specifikace Arduino MEGA 2560.....	24
[Tab. č. 2]: Komunikační protokol senzoru.....	27
[Tab. č. 3]: Základní parametry přístroje.....	29
[Tab. č. 4]: Celkové parametry přístroje.....	30
[Tab. č. 5]: Testování schopnosti uložení otisku a opětovného nelezení při kontrole.....	39
[Tab. č. 6]: Testování procentuální shody (přesnosti) mezi uloženými a kontrolovanými otisky.....	39
[Tab. č. 7]: Zobrazení správně smazaných otisků a následná kontrola verifikace u velkých otisků.....	40
[Tab. č. 8]: Zobrazení správně smazaných otisků a následná kontrola verifikace u malých otisků.....	40
[Tab. č. 9]: Testování rychlosti jednotlivých režimů.....	40

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

---

A/D	analogově číslicový převodník
AFIS	mezinárodní databáze otisků
ARM	označení architektury procesorů
AVR	označení pro rodinu 8bitových a některých 32bitových mikročipů
BPS	rychlost modulační jednotky za sekundu
CCD	elektronická součástka používaná pro snímání obrazové informace
CGRAM	znaková paměť displeje
CMOS	technologie výroby integrovaných obvodů (čipů)
COM	hardwarové označení pro počítačový vstup
DDRAM	typ paměti používaný v počítačích
DNA	nukleová kyselina – nositel genetické informace
DPI	údaj určující počet pixelů na jeden palec
EEPROM	elektricky mazatelná počítačová paměť
FAR	chybné přijetí při verifikace
FLASH	elektricky programovatelná počítačová paměť
FRR	chybné odmítnutí při verifikaci
FTIR	metoda spektroskopické techniky
GND	elektrické uzemnění
ICSP	metoda přímého programování čipů uvnitř obvodu
ID	identifikace ve výpočetní technice
IDE	programové prostředí
IEC	mezinárodní elektrotechnická komise
I/O	zařízení, které zprostředkovává kontakt počítače s okolím
IT	informační technologie

LED	elektronická polovodičová součástka
LCD	tenké a ploché zobrazovací zařízení
MCU	integrováný obvod obsahující mikropočítač
mAh	akumulátorová vykonat dodávat proud do obvodu
PCB	deska plošných spojů
PWM	pulzně šířková modulace
PWR	označení pro napájení obvodu
RAM	polovodičová paměť umožňující čtení i zápis
RGB	označení pro tři základní barvy
RTU	označení pro ihned použitelný akumulátor
RX	označení pro přijímaná data
SMD	součástky určené pro povrchovou montáž
SRAM	paměť RAM, která k uchování svých dat nepotřebuje jejich periodickou obnovu
TFT	druh dotykového displeje
TTL	standard používaný pro integrované obvody
TX	označení pro odesílaná data
UART	zařízení pro asynchronní sériovou komunikaci
USART	zařízení pro asynchronní nebo synchronní sériovou komunikaci
V	volt, jednotka elektrického napětí
VCC	označení pro napájení
VIN	označení externího vstupu pro napájení
$\Omega$	ohm, jednotka elektrického odporu

## SEZNAM PŘÍLOH

---

### Obsah příloženého CD

Na příloženém CD jsou umístěny tyto doplňující materiály:

- Bakalářská práce ve formátu PDF/A
- Zdrojové kódy použitého softwaru ve formátu .cpp
- Doplňující fotografie vytvořeného přístroje