



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

**ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ**

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

**GENEROVÁNÍ PROJEVU DETERGENTŮ DO SYNTETICKÝCH OTISKŮ PRSTŮ**

GENERATION OF DETERGENTS EFFECTS INTO SYNTHETIC FINGERPRINT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**PATRIK BARTOŠ**

**VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. ONDŘEJ KANICH, Ph.D.**

BRNO 2023

## Zadání bakalářské práce



143791

Ústav: Ústav inteligentních systémů (UITS)  
Student: **Bartoš Patrik**  
Program: Informační technologie  
Specializace: Informační technologie  
Název: **Generování projevů detergentů do syntetických otisků prstů**  
Kategorie: Zpracování obrazu  
Akademický rok: 2022/23

### Zadání:

1. Prostudujte literaturu týkající se rozpoznávání podle otisků prstů a syntetického generování otisků prstů. Seznamte se s možnými poškozeními, která mohou ovlivňovat kvalitu nasnímaného otisku prstu.
2. Navrhněte vhodné modely a posléze algoritmy pro generování projevů minimálně tří detergentů do snímků syntetických otisků prstů. V případě potřeby rozšířte dostupné databáze.
3. Implementujte navržené algoritmy z předchozího bodu.
4. Otestujte algoritmy z předchozího bodu vygenerováním databáze syntetických otisků prstů (minimálně 100 snímků) s poškozením. Analyzujte vzniklou databázi pomocí vhodných metod (např. IDkit, VeriFinger, FiQiVi, apod.). Prozkoumejte vliv poškození na porovnávání otisků prstů a na určení jejich kvality.
5. Dosažené výsledky shrňte a diskutujte. Uveďte možná rozšíření vašeho řešení.

### Literatura:

- Maltoni, D., Maio, D., Jain, A.K. and Prabhakar, S.: *Handbook of Fingerprint Recognition*. Springer, 2009, pages 512. ISBN 978-1-8488-2254-2.
- Kanich, O.: *Research in Fingerprint Damage Simulations*, Disertační práce, FIT VUT v Brně, Brno, 2018.
- Dražanský, M.: *Hand-Based Biometrics: Methods and technology*, IET 2018, p. 430, ISBN 978-1-78561-224-4.

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:

- Body 1 a 2.

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

Vedoucí práce: **Kanich Ondřej, Ing., Ph.D.**  
Vedoucí ústavu: Hanáček Petr, doc. Dr. Ing.  
Datum zadání: 1.11.2022  
Termín pro odevzdání: 10.5.2023  
Datum schválení: 3.11.2022

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zbývá návrhem a implementací aplikace, která generuje poškození otisků do snímků syntetických otisků prstů. Výsledná aplikace dokáže vytvářet snímky otisků prstů poškozené vlivem vybraných detergentů – dezinfekce, abrazivního mýdla a tuhého mýdla. Před samotnou implementací aplikace byly vybrané druhy poškození analyzovány na vlastní nasnímané databázi otisků prstů poškozenými těmito detergenty. Implementované algoritmy byly následně použity pro vytvoření několika souborů dat ze snímků z databáze syntetických otisků prstů vytvořenou nástrojem SFinGe. Tyto soubory dat byly poté testovány s využitím nástroje VeriFinger.

## Abstract

This bachelor thesis describes the design and implementation of an application that generates fingerprint damage into images of synthetic fingerprints. The resulting application can generate images of fingerprints affected by selected detergents – disinfection, abrasive soap and solid soap. Prior to the actual implementation of the application, the selected damage types were analyzed on a self-scanned database of fingerprints damaged by these detergents. The implemented algorithms were then used to create several datasets from a synthetic fingerprint database generated by the tool SFinGe. These datasets were then tested using the VeriFinger tool.

## Klíčová slova

otisky prstů, poškození otisků prstů, syntetické otisky prstů, kvalita otisků prstů, dezinfekce, abrazivní mýdlo, tuhé mýdlo

## Keywords

fingerprints, fingerprint damage, synthetic fingerprints, fingerprint quality, disinfection, abrasive soap, solid soap

## Citace

BARTOŠ, Patrik. *Generování projevu detergentů do syntetických otisků prstů*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Ondřej Kanich, Ph.D.

# Generování projevu detergentů do syntetických otisků prstů

## Prohlášení

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

.....

Patrik Bartoš  
10. května 2023

## Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Ondřeji Kanichovi, Ph.D. za vedení této práce a své rodině a přátelům za podporu.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Otisky prstů</b>	<b>3</b>
2.1	Základy biometrie . . . . .	3
2.2	Metody získávání otisků prstů . . . . .	5
2.3	Charakteristické rysy otisků prstů . . . . .	7
2.4	Klasifikace otisků prstů . . . . .	8
2.5	Zpracování otisků prstů . . . . .	9
2.6	Porovnávání otisků prstů . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Syntetické otisky prstů</b>	<b>11</b>
3.1	Generování syntetických otisků prstů . . . . .	11
3.2	SFinGe . . . . .	12
3.3	SyFDaS . . . . .	13
3.4	SynFi . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Generování poškození do otisků prstů</b>	<b>15</b>
4.1	Kvalita otisků prstů . . . . .	15
4.2	Vliv detergentů . . . . .	16
4.3	Dezinfekce . . . . .	17
4.4	Abrazivní mýdlo . . . . .	18
4.5	Tuhé mýdlo . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Implementace</b>	<b>23</b>
5.1	Grafické uživatelské rozhraní . . . . .	23
5.2	Generátor . . . . .	24
<b>6</b>	<b>Testování</b>	<b>29</b>
6.1	Vstupní databáze . . . . .	29
6.2	Průběh testování . . . . .	30
6.3	Výsledky . . . . .	30
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>32</b>
	<b>Literatura</b>	<b>33</b>
<b>A</b>	<b>Obsah příloženého paměťového média</b>	<b>35</b>

# Úvod

Rozpoznání jedince podle jeho jedinečných přirozených vlastností je v dnešní době běžná záležitost. Způsoby pro takové rozpoznání se neustále rozvíjí a rozšiřují o další vlastnosti. Mezi jedinečné charakteristiky člověka patří například duhovka oka, geometrie dlaně nebo obličej, jeho chování a mimo další také otisk prstu.

Otisky prstů splňují všechny vlastnosti potřebné pro jednoznačnou identifikaci osoby. Ovšem jako u každé metody identifikace nejsou ani otisky prstů dokonalé. Největším faktorem ovlivňujícím rozpoznání osoby podle otisku prstu je jeho kvalita. Snímek otisku prstu, který se pro identifikaci používá, může být poškozený nějakými vlivy pocházejícími z různých zdrojů. Například samotný uživatel může mít nějaký druh onemocnění kůže, které se na otiscích projeví. Dále pak může záležet na metodě získání snímku otisku prstu, kdy různé metody jsou ovlivněny různými faktory.

Tato práce se zaměřuje na analýzu poškození otisků prstů způsobené detergenty, včetně návrhu a implementace algoritmů pro simulaci takového poškození na syntetických otiscích prstů. Otisky vytvořené výslednou aplikací mohou být použity například při vývoji nebo testování různých algoritmů používaných pro zpracování otisků prstů.

V kapitole 2 je popsána základní teorie týkající se otisků prstů, která přibližuje problematiku rozebíranou v této práci. Je zde psáno obecně o biometrii a dále o biologických vlastnostech kůže, které je potřeba znát pro pochopení problematiky rozpoznání osoby podle jejích otisků. Je zde rozepsán celý postup rozpoznání podle otisků prstů, včetně metod získání otisku, jeho charakteristických rysů a způsobu klasifikace otisků. Kapitola 3 poté uvádí do problematiky generování umělých otisků prstů. Jsou zde uvedeny příklady nástrojů umožňující vytváření takových otisků včetně postupů, které pro tento proces používají. V kapitole 4 jsou rozebrány různé druhy poškození, které se mohou na otiscích prstů vyskytovat a jak mohou ovlivnit jejich kvalitu. Zaměřujeme se zde na otisky prstů poškozené vlivem detergentů, tedy čisticími prostředky. Jsou zde uvedeny tři detergenty vybrané pro účely této práce, a to dezinfekce, abrazivní mýdlo a tuhé mýdlo. K těmto prostředkům jsou také uvedeny ukázky, jak se projevují na snímcích otisků prstů. Dále jsou ke každému z těchto detergentů popsány navržené algoritmy použité pro simulaci takového poškození. Programová implementace těchto algoritmů, včetně implementace grafického uživatelského rozhraní pro výslednou aplikaci, je rozepsána v kapitole 5. Nakonec v kapitole 6 je popsáno testování výstupů implementované aplikace a rozebrání těchto výsledků.

# Otisky prstů

## 2.1 Základy biometrie

Základním úkolem rozpoznání osoby je vytvořit asociaci mezi jednotlivcem a jeho osobní identitou. Osoba může být rozpoznána na základě toho, co zná, co vnějškově vlastní a kým vnitřně je. První dvě metody spoléhají na skutečnost, že jednotlivec má znalost některých tajných informací (např. heslo) nebo má výhradní vlastnictví nějakého fyzického předmětu (např. občanský průkaz nebo fyzický klíč). Třetí metoda stanovuje identitu osoby na základě jejích přirozených fyzických nebo behaviorálních rysů a je známá jako biometrické rozpoznávání. [1]

Biometrické rozpoznávání je spolehlivější řešení problému rozpoznávání osoby. S biometrickými vlastnostmi nelze snadno manipulovat, sdílet je nebo je zapomenout, nemohou být odcizeny. Biometrické vlastnosti tedy tvoří silné a trvalé spojení mezi osobou a její identitou. [1]

Mimo otisk prstu můžeme mezi fyzické znaky zařadit například tvar a geometrii obličeje, ruky, dlaně, tvar a vlastnosti duhovky oka a dále také DNA (především ve specializovaných oblastech). K behaviorálním znakům pak řadíme například hlas nebo podpis jedince. [2]

V různých aplikacích se používají různé biometrické znaky. Každý tento znak má své klady a zápory, a proto výběr biometrického znaku pro konkrétní aplikaci závisí kromě jeho rozpoznávací schopnosti také na řadě dalších problémů. Existuje několik faktorů, které je třeba zvážit při určování vhodnosti fyzického nebo behaviorálního rysu pro použití v biometrickém systému: [1]

- Univerzálnost: každý jednotlivec přistupující k aplikaci by měl mít tuto vlastnost [1].
- Unikátnost: vlastnost by měla být unikátní pro každého jednotlivce, aby se zajistilo, že systém bude schopen přesně identifikovat jednotlivce [1].
- Stabilita: vlastnost by se neměla v průběhu času výrazně měnit [1].
- Měřitelnost: vlastnost by měla být možná získat a digitalizovat pomocí vhodných zařízení, která jednotlivci nezpůsobují nepřiměřené nepříjemnosti [1].
- Výkonnost: přesnost rozpoznávání a výpočetní zdroje potřebné k dosažení této přesnosti [1].
- Přijatelnost: ochota jednotlivců poskytnout vlastnost systému, neměla by způsobovat odpor nebo nepříjemnost ze strany uživatelů [1].
- Nepřenositelnost: vlastnost by nemělo být možno napodobit. Ovlivňuje také proces zatemňování, kdy jednotlivec záměrně biometrický rys mění, aby se vyhnul rozpoznání [1].

### 2.1.1 Biometrický systém

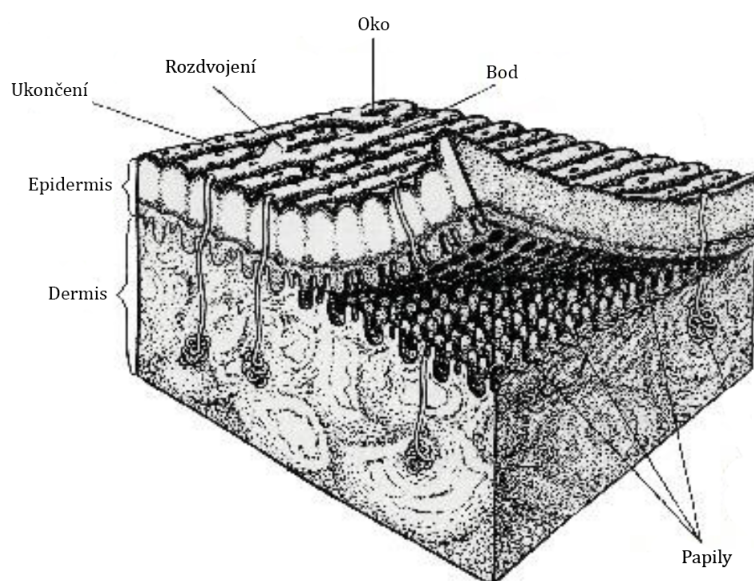
Biometrické technologie jsou automatizované metody ověřování nebo rozpoznávání identity jednotlivce na základě jeho fyzických nebo behaviorálních charakteristik. Na základě typu aplikace mohou biometrické systémy sloužit k různým účelům. Některé systémy vyhledávají známé jednotlivce nebo ověřují jejich identitu, jiné naopak neexistenci osoby v systému. [3]

Biometrické systémy můžeme klasifikovat na verifikační nebo identifikační. Verifikační systémy určují, zda vzorky pochází od jedné osoby. Identifikační systémy ověřují existenci jednotlivce v systému. [4]

Biometrický systém je technologické zařízení nebo software, který je schopen zpracovat a analyzovat fyzické a behaviorální rysy jednotlivců za účelem jejich identifikace nebo verifikace. Biometrické systémy se obvykle skládají z několika komponentů, jako jsou senzory pro získání biologických dat, algoritmy pro jejich zpracování a porovnávání a databáze pro ukládání a uchovávání biologických informací. Poté můžeme systém rozdělit na dva moduly. Modul registrační a modul verifikační nebo identifikační. Registraci se rozumí vložení vzorku do databáze, verifikací nebo identifikací pak porovnávání vzorku s vzorky již existujícími v systému. [5]

### 2.1.2 Lidská kůže

Kůže slouží pro člověka jako ochranná bariéra, chrání tělo před vnějšími podmínkami, reguluje tělesnou teplotu a zabraňuje ztrátě důležitých tělesných složek, zejména vody. Kůže je složená ze tří anatomických vrstev – epidermis, dermis a hypodermis. Struktura kůže je vyobrazena na obrázku 2.1. [6]



Obrázek 2.1: Struktura kůže. Převzáno a upraveno z [7].

Epidermis je nejvrchnější vrstva kůže, která se skládá z několika podvrstev. Hlavní funkcí epidermis je ochrana před škodlivými vlivy zvenčí, jako jsou bakterie, viry a UV záření. Zabraňuje ztrátě vody vypařováním. [6]

Dermis, nebo také škára, je vrstva pojivové tkáně, která leží pod epidermis. Obsahuje různé typy tkání, včetně vláken kolagenu a elastinu, které jsou zodpovědné za pevnost



a pružnost kůže. Dermis také obsahuje nervová zakončení, která poskytují citlivost na dotek, teplo a bolest. [8] [6]

Hypodermis, také známá jako podkoží, je nejspodnější vrstva kůže. Je to vrstva tuku a pojivové tkáně, která pomáhá udržet teplo a ochránit tělo před škodlivými vlivy. Hypodermis také slouží jako skladovací místo pro tuky, které se používají jako zdroj energie pro tělo. [6]

### 2.1.3 Papilární linie

Papilární linie jsou malé vyvýšeniny, neboli hřebeny, a rýhy, také údolí, vyskytující se na povrchu dlaní a chodidel. Jsou pevně zakořeněny ve druhé vrstvě kůže – dermis. Tyto linie pomáhají zvýšit přilnavost kůže k povrchu, což u primátů slouží pro lepší manipulaci s předměty. Vzor tvořený těmito liniemi je pro každého jednoho člověka unikátní a během života se příliš nemění. [6]

K trvalému poškození papilárních linií dochází pouze při poškození škůry. V jiných případech se kůže regeneruje se zachovanou strukturou papilárních linií. Papilární linie mohou být dále ovlivněny stárnutím, které má na papilární linii dva účinky – s věkem se kůže vrásčí a hřebeny mají tendenci se zplošťovat. Struktura papilárních linií se ovšem s věkem nemění. Díky těmto vlastnostem tvoří papilární linie dobrou fyzickou charakteristiku pro využití v biometrických systémech. [6]

## 2.2 Metody získávání otisků prstů

Před použitím papilárních linií k ověřování nebo rozpoznávání identity, musíme nejdříve získat jejich podobu použitelnou v biometrickém systému. Existují různé metody pro sejmutí otisku prstu. [9]

### 2.2.1 Off-line metody

První metodou pro získávání otisků prstů se stala inkoustová metoda. Její princip je velmi jednoduchý a spočívá v otisknutí obarveného prstu na povrch materiálu, například na papír nebo na daktyloskopickou kartu. Nejprve se prst potře černým inkoustem, prst se přitiskne nebo roluje proti papírové kartě a karta se poté převede do digitální podoby pomocí skeneru papíru. Inkoustová technika často vytváří obrazy, které obsahují oblasti s chybějícími informacemi o otiscích prstů v důsledku nadměrného nebo nedostatečného inkoustu na prstu nebo nadměrného či nedostatečného tlaku prstu. Tato metoda je stále používána například v kriminalistice. [9]

Dále existují latentní otisky, taktéž používané například v kriminalistice. Lidská kůže neustále vylučuje pot a při kontaktu prstů s předměty na nich zůstává vrstva vlhkosti a mastnoty, což se nazývá latentní otisk. V tomto případě není k dispozici skutečný prst, takže je potřeba vytvořit kopii latentního otisku z povrchu předmětu. Jejich detekce a kopie často vyžaduje určité chemické prostředky. [9]

### 2.2.2 On-line metody

Pro potřeby digitalizace otisku vznikly snímače určené k sejmutí otisků prstů. Snímače mohou fungovat různými metodami. V následujících odstavcích jsou popsány některé z těchto metod. [9]

## **Optické snímače**

Optické snímače nejprve zachytí otisk jako fotografii a poté se použijí algoritmy k detekci vzorů na povrchu prstu. To se provádí odlišením tmavých a světlých oblastí pořízeného snímku. Snímače jsou navrženy tak, aby měly specifické rozlišení. Existuje i typ optického snímače využívající OCT technologii (Optical Coherence Tomography). Taková technologie je velmi drahá, ale získává obraz z hlubší vrstvy kůže. Nevýhodou optické technologie obecně je, že snímač je citlivý na znečištěné prsty. [10] [7]

## **Polovodičové snímače**

Polovodičové snímače, také křemíkové, byly navrženy tak, aby překonaly problémy s velikostí a cenou optických senzorů, které se v dřívější době zdály být bariérou proti širokému nasazení v biometrických systémech. Tato technologie využívá polí malých kondenzátorových obvodů. Uživatel se přímo dotýká vodivých desek na povrchu a obraz otisku prstu je získán pomocí analogově-digitálního převodníku. [9] [10] [7]

## **Tepelné snímače**

Tepelné snímače jsou založeny na rozdílném tepelném záření. Hřebeny papilárních linií mají vyšší tepelné záření než údolí, takže mají vyšší teplotu. U tepelné technologie se používají průtahové snímače, protože teploty se na prstu rychle vyrovnávají. Ovšem i přesto existují dotykové snímače využívající tepelnou technologii. Hlavní výhodou tepelné techniky je, že je velmi odolná vůči elektrostatickým výbojům. [7]

## **Ultrazvukové snímače**

Ultrazvukový snímač se skládá z ultrazvukového vysílače a přijímače. Ultrazvukový impuls je vyslán proti prstu umístěném na panelu snímače. Část impulsu je absorbována a zbytek se vrací zpět, podle čehož dochází k výpočtu hloubky obrazu otisku prstu a následně samotné struktury papilárních linií. Je odolný vůči nečistotám a nahromadění oleje na prstu. Tato technologie zatím není dostatečně vyspělá pro nasazení ve velkém měřítku. [9] [10] [7]

## **Piezoelektrické snímače**

Piezoelektrické snímače se skládají ze tří vrstev. Mezi elektrovedivé vrstvy je přidán nevodivý gel. Nevodivý gel je stlačován hřebeny papilárních linií, což způsobuje dotyk elektrovedivých vrstev. Senzor pak měří proud vytvořený prstem a vytváří z něj snímek otisku prstu. [7]

## **Elektrooptické snímače**

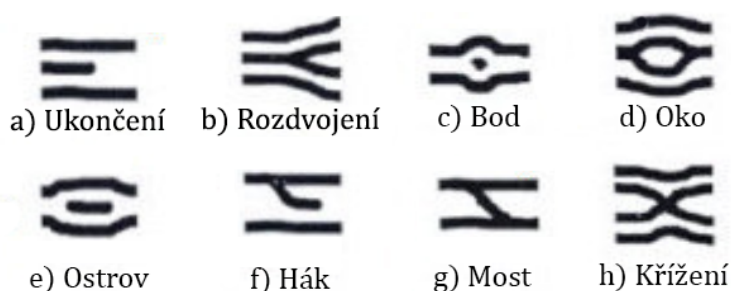
Elektrooptický snímač se skládá z několika vrstev. Je zde vrstva vyzařující světlo, která je vyrobena z polymeru, který při polarizaci správným napětím vyzařuje světlo. Když se hřebeny na otisku prstu dotknou snímače, způsobí to vyzařování světla v místech těchto hřebenů. Toto světlo prochází nejspodnější vrstvou a je zachyceno kamerou pod ní. [7]

## 2.3 Charakteristické rysy otisků prstů

Charakteristické rysy otisku prstu jsou vlastnosti, které lze využít k extrakci informací, které jsou jedinečné pro každou osobu. Tyto vlastnosti lze měřit výpočetními technikami aplikovanými na digitální obraz otisku prstu. [11]

### Markantní body

Nejrozšířenější charakteristikou se pro porovnání dvou otisků prstů používají markanty. Markanty jsou koncové body hřebenů nebo údolí papilárních linií. Markant může být typu ukončení nebo rozdvojení. Z těchto dvou typů markantů je možné odvodit velké množství vzorů, některé lze vidět na obrázku 2.2, ovšem při zpracování otisků prstů založeném na markantech se pracuje pouze se zmíněnými základními typy – ukončení a rozdvojení. [11]



Obrázek 2.2: Základní a některé odvozené vzory markantů. Převzáno a upraveno z [12].

### Singulární body

Další z vlastností otisků prstů jsou takzvané singulární body, tedy orientační body, které jsou definovány ve velkých obrazových polích, typicky celé zpracovávané ploše. Jsou využívány pro klasifikaci otisku prstu do příslušných skupin (viz kapitola 2.4). [11]

### Orientační pole

Nakonec se také používají orientační pole (viz obrázek 2.3). Orientační pole otisku prstu je reprezentace směrů hřebenů papilárních linií. Orientace čar představuje směr, zatímco délka čar udává jistotu. [11]



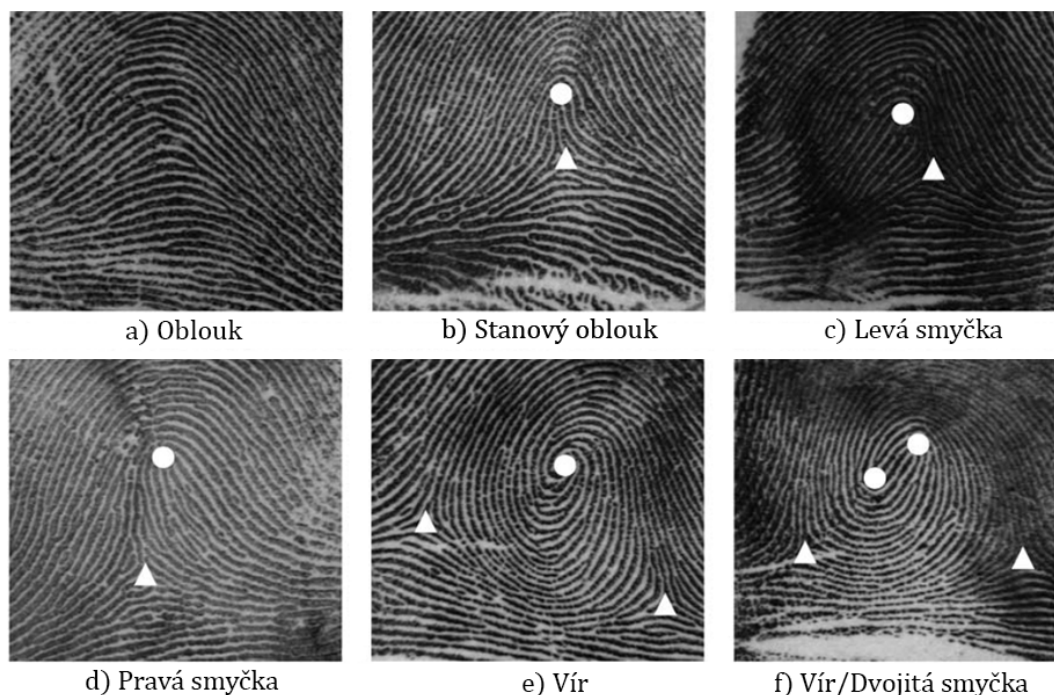
Obrázek 2.3: Otisk prstu a vytvořené směrové pole. Převzáno z [13].

## 2.4 Klasifikace otisků prstů

Klasifikace otisků prstů je postup, při kterém jsou otisky prstů seskupeny konzistentním a spolehlivým způsobem do několika skupin, přičemž různé otisky stejného prstu musí zapadat do stejné skupiny. Tento proces slouží především k optimalizaci vyhledávání v databázi otisků při identifikaci. Můžeme na to nahlížet jako na postup předběžného párování, takže otisk prstu je poté třeba dále porovnávat s menší podmnžinou otisků v databázi patřící do stejné skupiny. [11]

První pečlivou vědeckou studii o klasifikaci otisků prstů provedl sir Francis Galton. Na této studii je založeno jedno z nejčastěji používaných klasifikačních schémat – Henryho klasifikační schéma. Edward Henry zdokonalil Galtonovu práci a zavedl koncept bodů jádra a delta pro klasifikaci otisků prstů. Pět nejběžnějších klasifikací Henryho klasifikačního schématu jsou oblouk, stanový oblouk, levá smyčka, pravá smyčka a vír. Ukázky těchto klasifikací lze vidět na obrázku 2.4. [11]

Prvním krokem klasifikace otisků prstů je najít charakteristické rysy, které mají nízkou variabilitu v rámci skupiny a naopak vysokou variabilitu mezi jednotlivými skupinami. Podle Henryho klasifikačního schématu lze ze snímku otisku prstu odvodit takzvané singularní body. Existují dva typy singularních bodů – jádro a delta. Jádro je bod obratu nejvnitřnějšího hřebene. Bod delta je místo, kde se dva hřebeny běžící vedle sebe rozbíhají. [11]



Obrázek 2.4: Některé klasifikace podle Henryho klasifikačního schématu se znázorněnými singularitami. Kolečko označuje jádra a trojúhelník deltu. Převzáno a upraveno z [11].

## 2.5 Zpracování otisků prstů

Vstupní obraz otisku prstu typicky není dokonalý a obsahuje množství šumu, který je zapotřebí odstranit. Otisk také může být ovlivněn řadou jiných poškození (viz kapitola 4.1). Dále by měla proběhnout kontrola, zda se jedná o živý prst a nedochází tak k pokusu o falšování. [7]

V dalším kroku se vytváří směrové pole otisku. V každém bodě obrazu otisku prstu včetně jeho okolí se počítá směr hřebenů. Pokud je tento bod na hřebeni, tak s vysokou pravděpodobností určuje jeho směr. Tento krok bývá rozdělen do několik fází – odhad směrového pole pro každý bod, poté pro jednotlivé segmenty a nakonec finální namapování na původní obraz otisku prstu. [7]

Následuje binarizace, neboli převedení původního obrazu v odstínech šedé barvy na čistě černobílý. Černá barva na obrázku poté reprezentuje hřebeny a bílá údolí papilárních linií. Obvykle se to provádí nějakou prahovací metodou. [7]

Pro extrakci markantních bodů z otisku jsou zapotřebí pouze hřebeny, v tomto kroku jsou tedy hřebeny zúženy, tak aby měly šířku pouze jeden pixel. Je důležité, aby hřebeny neklesaly v žádném směru, abychom se vyhnuli problémům s nepřesnou polohou markantních bodů. [7]

V poslední fázi musíme detekovat a extrahovat samotné markanty. Jak bylo zmíněno výše (viz kapitola 2.3), při porovnávání otisků prstů se pracuje pouze se základními typy markantních bodů – ukončení a rozdvojení. K tomuto účelu se používají specializované algoritmy, například Hongova metoda. [7]

Přítomnost nežádoucích špiček a zlomů v mapě zúžených hřebenů může vést k detekování mnoha falešných markantů. Proto se před detekcí markantů používají metody k odstranění nežádoucích markantních bodů. Hongova metoda poté pro každý ponechaný detekovaný markant zaznamenává tyto informace: [14]

- souřadnice na vodorovné ose,
- souřadnice na svislé ose,
- orientace,
- typ markantu, tedy ukončení nebo rozdvojení.

## 2.6 Porovnávání otisků prstů

Spolehlivé porovnání otisků prstů je velmi obtížný problém, zejména kvůli velké variabilitě různých otisků stejného prstu. Faktory odpovědné za variace mohou být například posunutí, rotace, šum nebo chybné extrakce charakteristických rysů. Proto mohou otisky stejného prstu vypadat zcela odlišně, zatímco otisky různých prstů mohou vypadat podobně. Automatického porovnávání otisků prstů může být dosaženo různými metodami. [9]

### Porovnávání založené na korelaci

Při porovnávání založeném na korelaci jsou dva šedotónové obrázky otisků prstů překryty a počítá se korelace mezi odpovídajícími pixely. Proces se pak opakuje pro různé polohy a rotace. Taková metoda porovnávání otisků prstů je výpočetně velmi náročná. [9]

## Porovnávání založené na markantech

Nejznámější a nejrozšířenější metodou pro porovnávání otisků prstů je porovnávání založené na markantech. Markanty jsou z otisku prstu extrahovány a uloženy jako sady bodů ve dvourozměrném poli. Každý bod dále obsahuje informace o orientaci a typu markantu. Párování podle markantů v podstatě spočívá v nalezení překrytí mezi uloženou šablonou a vstupními markanty, které vede k maximálnímu počtu párů markantů. [9]

## Porovnávání založené na jiných vlastnostech

Někdy může být extrakce markantů z otisků prstů u snímků s nízkou kvalitou obtížná. V takovém případě se může využít metod založených na jiných vlastnostech papilárních linií. Takové metody se používají i u snímačů s obecně menší snímací plochou, kde nelze získat dostatečný počet markantních bodů. Metody zahrnují porovnávání na základě orientačních polí nebo porovnávání vlastností, jako je tvar nebo frekvence papilárních linií, které lze ze snímku získat. Tyto metody porovnávání mají běžně nízkou rozlišovací schopnost a jsou méně spolehlivé než metody založené na markantech. [9]



Obrázek 2.5: Detekce markantních bodů. Zeleně vyznačeno ukončení, červeně rozdvojení. Převzáno z [12].

# Syntetické otisky prstů

Přesnost algoritmů určených k rozpoznávání otisků prstů se obvykle hodnotí na relativně malých databázích. Takové hodnocení ovšem vytváří odhady přesnosti vysoce závislé na datech. K vyhodnocení a porovnání různých algoritmů rozpoznávání otisků prstů je potřebná velká sdílená databáze otisků prstů, kvůli velmi malé chybovosti, kterou je třeba odhadnout. Bohužel shromažďování velkých databází snímků otisků prstů je nákladné jak z hlediska financí, tak času. I v případě, kdy jsme schopni sesbírat data pro tak velkou databázi, je obtížné ji sdílet s ostatními kvůli ochraně soukromí, která často takové údaje chrání. [7] [9]

Syntéza otisků prstů je proveditelným způsobem, jak vyřešit právě uvedené problémy, protože umožňuje snadné vytváření velkých databází otisků prstů a jejich použití pro testování algoritmů k rozpoznávání otisků prstů. Tímto se také otevírá možnost testovat konkrétní typ otisku prstu, kvůli možnosti generovat otisky prstů, které se podobají otiskům z různých prostředí. Generování takovýchto databází by ušetřilo spoustu zdrojů, které lze použít k vytvoření lepších algoritmů. [7] [11] [9]

## 3.1 Generování syntetických otisků prstů

Stávající studie o vytváření syntetických otisků prstů lze seskupit do dvou kategorií – založené na fyzických modelech a založené na statistických modelech.

Fyzické modely vzoru papilárních linií jsou založeny na tvorbě otisků prstů během zárodečného vývoje. Rozhodující období vzniku otisků prstů u člověka začíná v 10. týdnu těhotenství, kdy se tvoří takzvané primární hřebeny, jejichž vývoj končí přibližně v 17. týdnu těhotenství. v této fázi je vzor papilárních linií určen na celý život. [11] [9]

Statistické modely vzoru papilárních linií jsou zaměřeny na reprodukci realisticky vypadajících otisků prstů, aniž by vycházely z embryologických hypotéz. Tyto modely jsou založeny na analýze skutečných otisků prstů, z nichž jsou odvozena statistická data o charakteristikách vzorů. [11] [9]

### 3.1.1 Proces generování syntetického otisku

Nejprve je určen tvar otisku prstu, nejčastější je oválný tvar. Druhým krokem je model směrového pole. V tomto kroku se vybere třída otisku prstu spolu s pozicí jader a delt. Třetí krok vytvoří mapu hustoty. Po prozkoumání několika skutečných otisků prstů mohou být vytvořena některá heuristická kritéria založená na poloze singularit a podle nich je mapa hustoty generována. Posledním krokem je generování vzoru papilárních linií. Tato fáze využívá všechny předchozí kroky. Markanty jsou automaticky generovány na náhodných místech s náhodnými typy. [7]

Pro generování databází otisků prstů již existuje několik aplikací. Například generátor SFinGe (Synthetic Fingerprint Generator) vyvinutý na Boloňské univerzitě v Itálii nebo generátor SyFDaS (Synthetic Fingerprint Damage Simulator) vytvořený na Fakultě informačních technologií na Vysokém učení technickém v Brně. Dalšími generátory jsou například Anguli nebo SynFi. [7]

## 3.2 SFinGe

Tento nástroj nejprve vygeneruje hlavní otisk prstu. Vytvoření hlavního otisku probíhá ve čtyřech krocích. [9]

Prvním krokem je generování vnější siluety otisku prstu. V závislosti na velikosti prstu, poloze a tlaku na snímač mají snímky otisků různé velikosti a tvary. Vizualní zkoumání velkého počtu snímků otisků prstů naznačilo, že jednoduchý model, založený na čtyřech eliptických obloucích a obdélníku, dokáže vytvořit velké množství variací tvarů reálných otisků prstů. [9]

V druhé fázi se generuje směrové pole otisku. Směrové pole lze konzistentně vytvořit pouze ze znalosti polohy singularit, tedy jader a delt. Nejprve se vybere třída otisků prstů a poté pozice singularit podle omezení specifických pro třídu. [9]

Třetím krokem je generace mapy hustoty papilárních linií na základě heuristických kritérií odvozených vizuální kontrolou velkého počtu skutečných otisků prstů. Například poměrně často je v oblastech nad nejvýše položeným jádrem smyčkou a pod nejnižše položenou deltou frekvence papilárních linií nižší než ve zbytku otisku prstu. Tyto heuristiky umožňují vytvářet hustotu papilárních linií nenáhodným způsobem. [9]

Poslední fáze je generování vzoru papilárních linií. Vzhledem k směrovému poli a mapy hustoty jako vstupu není generování vzoru papilárních linií snadným úkolem. Metoda používaná ve SFinGe je velmi jednoduchá a zároveň výkonná. Počáteční obrázek je vytvořen náhodným umístěním několika černých bodů do bílého obrázku a poté opakovaným vylepšováním tohoto počátečního obrazu pomocí Gaborových filtrů se postupně objeví konzistentní a velmi realistický vzor papilární linie. Markanty otisků prstů různých typů jsou automaticky generovány na náhodných pozicích. [9]

Po vytvoření hlavního otisku se z něj mohou vytvářet další odvozené otisky. To probíhá v dalších šesti krocích.

Prvním krokem je výběr kontaktní oblasti. Náhodně se přesouvá vzor papilárních linií bez úpravy celkového tvaru otisku prstu, s cílem simulovat různá umístění prstu na kontaktní ploše senzoru. [15]

Dále dochází k variaci tlouštěk hřebenů papilárních linií, které v realitě dochází v důsledku vlhkosti prstů. Aplikují se morfologické operátory na hlavní otisk prstu pro modelování různých stupňů vlhkosti kůže. [15]

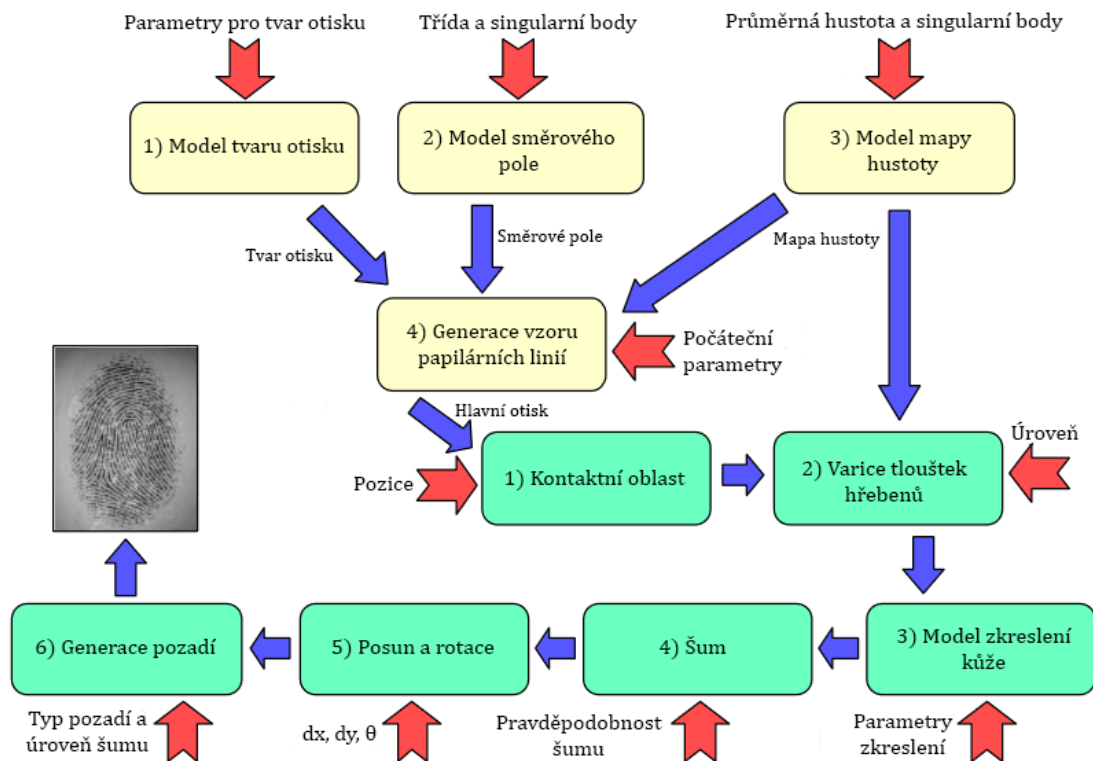
Jedním z hlavních aspektů, které odlišují různé otisky stejného prstu, je přítomnost nelineárního zkreslení, například důsledkem deformace kůže v závislosti na umístění prstu na senzoru. V další fázi se používá model zkreslení kůže pro náhodné generování realistických dojmů. [15]

V realitě je kvalita snímku otisku prstu vždy zhoršena různými faktory a vzniká zašuměný obraz ve stupních šedé barvy. Může to být například důsledkem nepravidelnosti hřebenů papilárních linií a jejich různým kontaktem s povrchem snímače nebo přítomnost malých pórů uvnitř hřebenů. V tomto kroku se šum simuluje rozdělením snímku na dvě vrstvy, kde jedna vrstva obsahuje údolí papilárních linií (bílé pixely) a šum se do této vrstvy přidává ve formě malých bílých shluků pixelů různé velikosti a tvaru. Nakonec se vrstva překryje na získaný obraz. [15]

V dalším kroku se náhodně otáčí a posunuje obrázek pro simulaci skutečných otisků prstů, které obvykle nejsou dokonale vycentrovány a mohou představovat určitou míru rotace. [15]



Nakonec se využívá matematický model založený na LV transformaci (neboli KLT, Karhunen–Loeve transformace) pro generování realistického pozadí, které je umístěno za obrazem otisku prstu. Celá metoda generování otisku prstu použita generátorem SFinGe je vizualizována na obrázku 3.1. [15]



Obrázek 3.1: Metoda generování otisků SFinGe. Žlutě vyznačeny kroky pro generaci hlavního otisku, zeleně kroky pro tvorbu odvozených otisků. Převzáno a upraveno z [15].

### 3.3 SyFDaS

Jedná se o aplikaci s grafickým uživatelským rozhraním, ve které lze nastavit různé parametry, ovlivňující samotné generování otisku. Aplikaci lze rozdělit na dvě části, kde první částí je generace syntetického otisku prstu a druhou částí je simulace poškození otisku prstu. [16] [7]

Metodika generace syntetického otisku je podobná jako u generátoru SFinGe. Uživatel si může nastavit parametry pro Gáborův filtr ovlivňující generování papilárních linií. Také je možné nastavit směrová pole a třídu otisku prstu. Kromě toho lze nastavit hustotu papilárních linií. Na závěr je třeba nastavit typ a umístění markantů. Je nutné umístit alespoň jeden markant do otisku. [16] [7]

Aplikace umožňuje simulovat různá poškození otisku prstu, která se u reálných snímků mohou vyskytovat. Je možné také načtení vlastního otisku prstu a generovat poškození do něj. Pro generování poškození lze nastavit typ senzoru a druh poškození. [16]

### 3.4 SynFi

Generátor SynFi představuje oproti již zmíněným generátorům nový přístup ke generování vysoce kvalitních syntetických otisků prstů. Přístup se zakládá na GAN (Generative Adversarial Network) a SR (Super-Resolution) metodách. GAN patří do rodiny modelů hlubokého učení. Klíčovou myšlenkou GAN je paralelní trénování dvou různých neuronových sítí a využití každé z nich ke zlepšení té druhé. Jedna ze sítí, generativní síť, se snaží generovat vzorky z daného rozdělení dat. Druhá, diskriminační síť, má za úkol naučit se rozlišovat vzorky vygenerované generativní sítí od skutečných vzorků dat. Během fáze trénování se zpětná vazba z diskriminační sítě používá ke zlepšení kvality vzorků vytvořených generativní sítí. SR je poté metoda používající hluboké učení ke zvýšení rozlišení obrázku otisku. [17]

Proces generování syntetických otisků je poté rozdělen do dvou fází, jednou založenou na GAN a druhou na metodice SR. Každý generovaný otisk prstu je založen na obrázku šumu. V první fázi se ze vstupního šumu trénuje generování syntetických otisků prstů pomocí GAN. Takový model ovšem není schopen generovat kvalitní otisky prstů. Ve druhé fázi se metodikou SR zvyšuje kvalita otisku. Generátor SynFi těmito postupy vytváří syntetické otisky těžko rozeznatelné od těch skutečných. [17]

# Generování poškození do otisků prstů

Obsahem této kapitoly je představení faktorů ovlivňujících kvalitu snímků otisků prstů. Blíže se bude zaměřovat na ovlivnění snímků otisků prstů vlivem detergentů a následné návrhy generování tohoto typu poškození do syntetických otisků prstů.

## 4.1 Kvalita otisků prstů

Výkon algoritmů rozpoznávání otisků prstů do značné míry závisí na kvalitě vstupních obrázků nebo poškození samotného otisku. Vlivy na poškození otisků můžeme klasifikovat do tří kategorií – vliv senzoru, vliv prostředí a vliv uživatele. [16]

### 4.1.1 Vliv senzoru

Kvalita může být ovlivněna samotným snímačem. Snímač může být fyzicky poškozený, například u kontaktních snímačů se mohou na snímací ploše vyskytovat škrábance. Snímače dále rozdělujeme na kontaktní, bezkontaktní a průtahové. [16] [7]

Při použití kontaktních/dotkových senzorů je prst přiložen na plochu senzoru. Největší nevýhodou je výskyt latentních otisků, které mohou po sejmutí otisku zůstat na snímací ploše senzoru. Je tedy potřeba senzor po každém použití očistit, protože znečištěné senzory vytvářejí špinavé a nekvalitní otisky. [16]

Bezkontaktní senzory nevyžadují přiložení prstu na snímací plochu, tím se vyhneme latentním otiskům. Nevýhodou je obvykle vyšší cena a nižší přijatelnost [16].

U průtahových senzorů se otisk prstu získává postupným tažením po snímací ploše. Při použití uživatel prstem potáhne po ploše senzoru a zachytí se více snímků, které se poté spojí do finálního otisku prstu. Výhodou oproti předchozím typům je nižší cena z důvodu menší snímací plochy. Opět tímto odstraňujeme problém s latentními otisky. Ovšem použitím tohoto typu senzoru zvyšujeme vlivy uživatele na kvalitu otisku, protože při nezachování správné rychlosti, polohy a stability pohybu při potáhnutí dochází k pořízování nekvalitních snímků. [16] [7]

### 4.1.2 Vliv prostředí

Například teplota může ovlivnit jak snímač, tak uživatele. Některé typy snímačů jsou technologicky ovlivněny teplotou, například ultrazvukové snímače nefungují správně při extrémně nízkých teplotách. Samotný prst uživatele může být v důsledku teploty velmi vlhký nebo suchý, což také ovlivňuje výsledný snímek. [16] [7]

Dále okolní osvětlení může ovlivnit některé snímače, které mají komponenty citlivé na světlo, například optické snímače. Snímací plochy mají většinou velikost přiměřenou velikosti prstu a nezakrytá plocha, kde by mohlo dopadat světlo, je poměrně malá. Horší je to v případě, kdy je snímací plocha větší a vliv světla je obrovský. [16]

Dalším vlivem mohou být například vibrace, které při jemné změně pozice prstu při snímání mohou rozmazat výsledný snímek. Stejně tak může docházet k rozmazání vlivem elektromagnetické radiace, která ovlivňuje všechny elektronické komponenty. [16]

### 4.1.3 Vliv uživatele

Do uživatelského vlivu můžeme zařadit například různá kožní onemocnění nebo jizvy. Taky zde řadíme například vysoký nebo naopak nízký tlak při kontaktních senzorech nebo nekooperativitu uživatele například záměrnou snahou o pořízení nekvalitních snímků. [16]

Při kontaktních senzorech může kvalitu ovlivnit nesprávné umístění prstu na dotykovou plochu, což může mít za důsledek nenasnímání některých důležitých rysů. Dále tlak prstu na snímací plochu, který může způsobit změnu tloušťky papilárních linií nebo také části snímku otisku prstu rozmazat. Příliš velký tlak během snímání může dokonce poškodit snímač. [16]

Prst uživatele může také být fyzicky poškozen. Patří sem například odřeniny nebo jizvy. Můžeme se setkat také s popáleninami nebo poškozením chemikáliemi. [16]

U všech typů senzorů se setkáváme s příliš suchými nebo mokrymi prsty. Toto poškození může být způsobeno například pocením vlivem nervozity uživatele nebo vlivem teploty. Dále také nanášení různých krémů nebo mýdel může ovlivnit vlhkost prstu. Nadměrná suchost nebo vlhkost prstů vede k nevýrazným papilárním liniím nebo naopak k rozšiřování těchto linií. Dalším problémem u všech senzorů jsou zašpiněné prsty. Zde se řadí veškeré nečistoty jako například prach, mastnoty, nebo jakékoli větší částice na povrchu prstu. Nejproblematictější jsou kapaliny a vodivé materiály. [16] [7]

Dalším faktorem mohou být různá kožní onemocnění. Existují onemocnění, která mění a poškozují papilární linie. V případě poškození v hlubší části kůže, neexistuje žádná metoda, která by dokázala získat původní strukturu. Patří sem například atopické ekzémy, bradavice nebo onemocnění způsobující změnu barvy pokožky. [16]

Posledním typem poškození vlivem uživatele je jeho samotná nekooperativnost. Rozumíme tím případy, kdy se uživatel záměrně snaží o pořízení nekvalitního snímku například umístěním prstu na nesprávné místo. [16]

## 4.2 Vliv detergentů

Lidé používají detergenty ve svém každodenním životě, například při umývání rukou mýdlem, používáním čisticích prostředků při uklízení, nebo používáním různých krémů na pokožku. Stejně tak se snímače otisků prstů používají často například při odemykání telefonů. Tím se vliv detergentů při snímání otisků prstů stává poměrně častou záležitostí. Pro generaci projevů detergentů do syntetických otisků prstů byly zvoleny tři detergenty, a to dezinfekce, abrazivní mýdlo a tuhé mýdlo.

### 4.2.1 Databáze

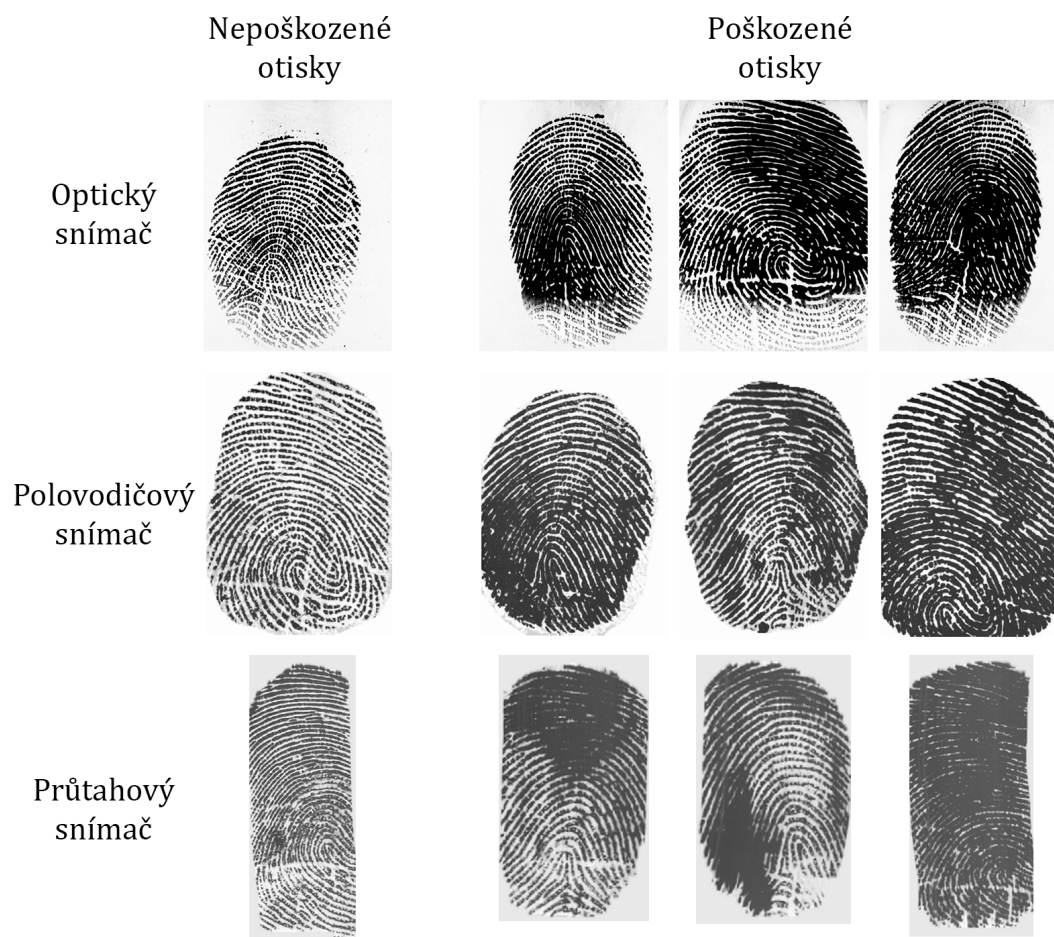
Pro vybrané detergenty bylo zapotřebí nasnímat databázi otisků prstů ovlivněnými tímto poškozením. Pro vytvoření databáze byly použity tři druhy snímačů, a to optický, polovodičový a průtahový. Jako optický snímač byl použit SecuGen Hamster Pro 20, jako polovodičový snímač digitalPersona TCRF1C a jako průtahový snímač UPEK TCRD4C. Pro každý z těchto snímačů bylo pro porovnání nejprve sejmuto pár nepoškozených otisků, respektive nepoškozených vybranými detergenty. Poté byly sejmuty otisky do různé míry

ovlivněné těmito detergenty. Příklady otisků z nasnímané databáze lze vidět na obrázcích 4.1 pro otisky poškozené dezinfekcí, 4.3 pro otisky poškozené abrazivním mýdlem a 4.5 pro otisky poškozené tuhým mýdlem.

### 4.3 Dezinfekce

Otisky ovlivněné dezinfekcí se na snímcích projevují podobně jako příliš vlhké otisky, které vznikají například vlivem pocení [16]. Papilární linie se na snímku projevují jako hrubší a při použití větší vrstvy dezinfekce může docházet k úplnému zastínění některých částí otisku tmavými skvrnami. Příklady takto poškozených otisků lze vidět na obrázku 4.1.

Zvětšení tloušťky papilárních linií se do jisté míry projevuje na všech nasnímaných otiscích. Velikost tmavých skvrn se odvíjela od množství nanesené dezinfekce. Při nanesení pouze malé vrstvy dezinfekce se tyto skvrny u některých snímků vůbec neprojevily. Rozložení skvrn záviselo na použitém snímači. U optického a polovodičového snímače se skvrny projevovaly častěji v oblasti středu otisku a u průtahového snímače spíše na horní části otisku. Při použití velké vrstvy se skvrny projevovaly na celé ploše otisku.



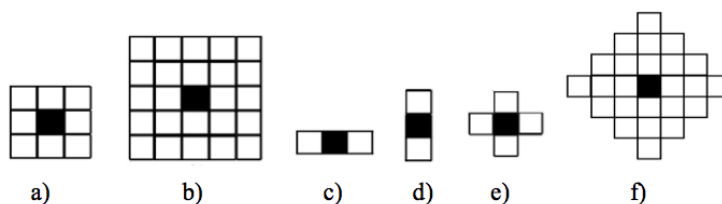
Obrázek 4.1: Snímky otisků poškozené dezinfekcí. V první řadě jsou otisky sejmuté optickým snímačem, v druhé řadě polovodičovým snímačem a ve třetí řadě průtahovým snímačem.

### 4.3.1 Návrh generování projevů dezinfekce

Jelikož se vliv dezinfekce projevuje podobně jako při zvýšené vlhkosti nebo tlaku, tak se pro generování projevů dezinfekce do syntetických otisků prstů použijí morfologické operace eroze a dilatace. Morfologické operace se běžně užívají při zpracování binárních obrazů nebo obrazů ve stupních šedi. Dilatace obecně zmenšuje objekty v obraze odstraňováním nebo zesvětlováním obrazových bodů, eroze naopak objekty zvětšuje přidáváním nebo ztmavováním obrazových bodů. Počet ovlivněných obrazových bodů je dán velikostí a tvarem takzvaného strukturálního elementu. Strukturální element je maska, která má definovaný reprezentativní bod. Tato maska se aplikuje na každý pixel obrazu a na základě jejího tvaru a velikosti jsou ovlivněny pixely v okolí reprezentativního bodu. U obrazu ve stupních šedi se u jednotlivých bodů strukturálního elementu pracuje s váhami těchto bodů. Příklady možných strukturálních elementů lze vidět na obrázku 4.2. [7] [16] [18] [19]

Pro generování projevů dezinfekce do syntetického otisku se zvolil následující algoritmus:

1. Detekce plochy otisku prstu.
2. Určení úrovně zvětšení tloušťky papilárních linií.
3. Aplikace morfologických operací na základě předchozích kroků.

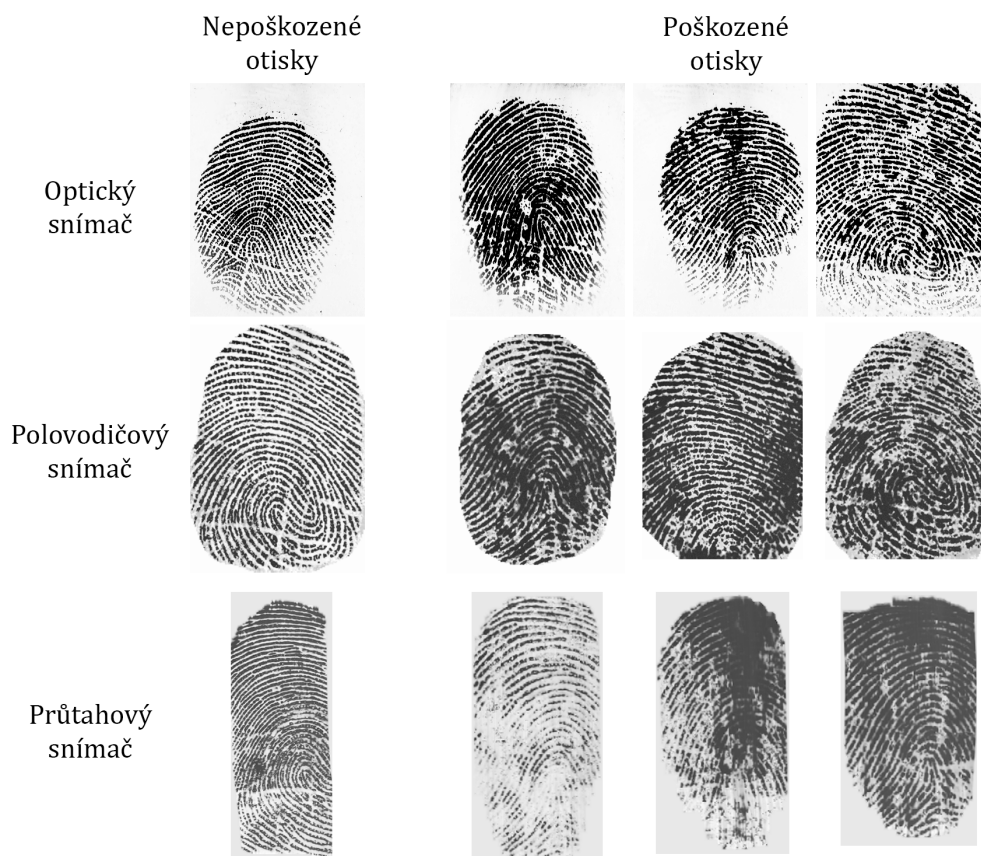


Obrázek 4.2: Příklady strukturálních elementů. Převzáno z [19].

## 4.4 Abrazivní mýdlo

Abrazivní mýdla obsahují malé částice, které při nedůkladném opláchnutí rukou mohou zůstat na prstu i po jeho osušení. Na snímcích otisků se toto projevuje jako malé bílé skvrny, které zastiňují papilární linie. Uvnitř těchto bílých skvrn se občas v okolí středu skvrny vyskytují menší černé tečky. Spolu s tímto se při neosušení prstu před snímáním projevuje ovlivnění vlhkostí prstu větší hrubostí papilárních linií a tmavými skrvnami na vlhkých místech, podobně jako u dezinfekce. Oba tyto projevy jsou ukázány na obrázku 4.3.

Zvětšení tloušťky papilárních linií se projevuje obdobně jako u dezinfekce. Tmavé skvrny, způsobené vlivem vlhkosti, jsou opět rozloženy blíže ke středu otisku u optického a polovodičového snímače a v horní části snímku u průtahového snímače. Bílé skvrny se na snímcích vyskytují vždy, tedy i po osušení prstu. Bílé skvrny jsou na výsledném otisku rozloženy zcela náhodně a velikostně se od sebe příliš neliší.



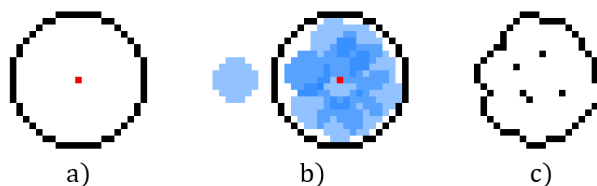
Obrázek 4.3: Snímky otisků poškozené abrazivním mýdlem. V první řadě jsou otisky sejmuté optickým snímačem, v druhé řadě polovodičovým snímačem a ve třetí řadě průtahovým snímačem.

#### 4.4.1 Návrh generování projevů abrazivního mýdla

Bílé skvrny se na obrázku vyskytují na náhodných místech. Simulaci těchto skvrn docílíme náhodným generováním bodů do obrazu, reprezentující středy skvrn. Pro každý bod určíme velikost dané skvrny, přičemž velikosti různých skvrn se nesmí příliš lišit. V oblastech kruhově ohraničených touto velikostí náhodně vygenerujeme menší kruhy, jejichž sjednocením vytvoříme nepravidelný, ale zdánlivě stále kruhový, tvar skvrny. Nakonec v okolí původního bodu vygenerujeme černé tečky, občas se vyskytující v těchto skvrnách. Vytvoření skvrny s nízkým rozlišením lze vidět na obrázku 4.4. Výsledné vygenerované skvrny poté aplikujeme na obraz otisku. Kroky algoritmu pro generaci projevů abrazivního mýdla tedy jsou:

1. Detekce plochy otisku prstu.
2. Náhodné vygenerování bodů v této ploše.
3. Generování bílých kruhů v okolí vygenerovaných bodů.
4. Generace černých teček v okolí vygenerovaných bodů.
5. Aplikace skvrn na obraz otisku.

Je zde možnost generovat také zvětšení tloušťky papilárních linií, vzniklé vlivem vlhkosti detergentu. K tomu by se algoritmus rozšířil o kroky zmíněné v algoritmu použitém u návrhu generování projevů poškození vlivem dezinfekce (viz kapitola 4.3.1).



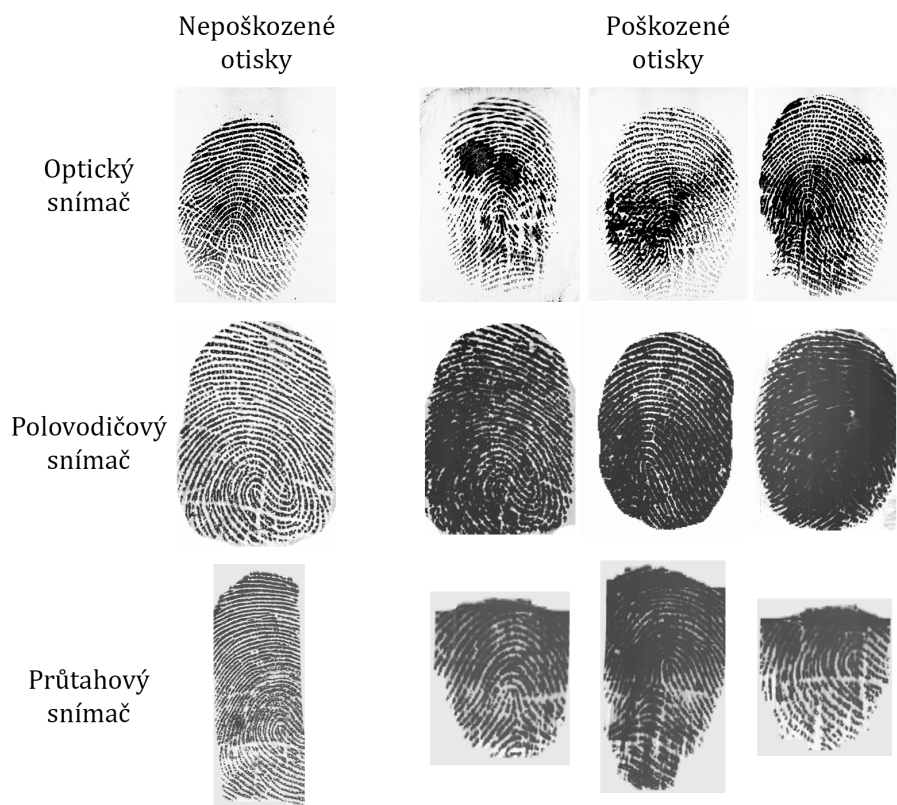
Obrázek 4.4: Demonstrace generování jedné bílé skvrny na malém rozlišení. Na obrázku a) je znázorněno určení velikosti skvrny pro náhodně vygenerovaný bod, na obrázku b) generace malých kruhu do této oblasti a na obrázku c) výsledný tvar skvrny s vygenerovanými černými tečkami.

## 4.5 Tuhé mýdlo

Tuhé mýdlo se na snímcích otisků projevuje různě na základě použité snímací metody. U optického snímače se mýdlo projevilo tmavými skvrnami v místech s větší vrstvou mýdla. Polovodičové a průtahové snímače takto poškozené otisky nesnímały příliš dobře. U polovodičového snímače dochází k velkému zatemnění na celé ploše otisku, přičemž při hrubší vrstvě mýdla docházelo k úplnému znehodnocení otisku. U průtahového snímače vznikl problém se samotným pohybem potáhnutí, při kterém se mýdlo nanesené na prstu hromadilo na snímací ploše a výsledné snímky byly tak často nepoužitelné. Projevy mýdla lze vidět na obrázku 4.5.

Tmavé skvrny se na otiscích projevují v nepravidelných tvarech a jsou častěji rozloženy blíže středu otisku. Velikosti skvrn závisí na množství naneseného mýdla a vyskytují se více při použití polovodičového a průtahového snímače. V okolí těchto skvrn dochází k zvětšení hrubosti papilárních linií.



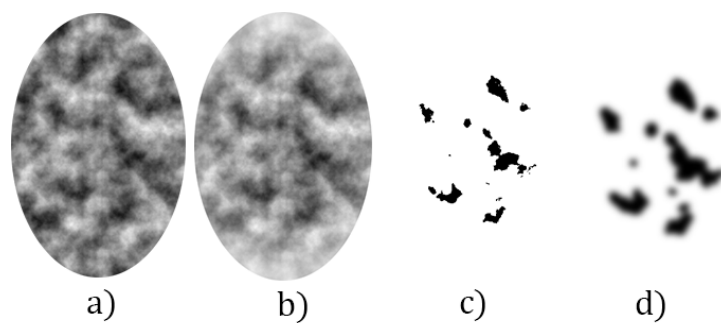


Obrázek 4.5: Snímky otisků poškozené tuhým mýdlem. V první řadě jsou otisky sejmuté optickým snímačem, v druhé řadě polovodičovým snímačem a ve třetí řadě průtahovým snímačem.

#### 4.5.1 Návrh generování projevů tuhého mýdla

Tmavé skvrny nepravidelného tvaru můžeme vytvořit práhováním obrázku šumu. Po vyzkoušení různých metod pro generování dvojrozměrného šumu, byl jako nejvhodnější zvolen Perlinův šum [20]. Při práhování můžeme zvoleným práhem kontrolovat intenzitu poškození. Po práhování použijeme morfologickou operaci dilatace pro slítní skvrn dohromady a následným vhodným rozmazáním vytvořit texturu aplikovatelnou na otisk. Tento proces je znázorněn na obrázku 4.6. Před samotným práhováním je vhodné nejdříve detekovat plochu otisku, abychom mohli simulovat větší intenzitu těchto skvrn v oblasti středu otisku. Výsledný algoritmus je popsán těmito kroky:

1. Generace Perlinova šumu.
2. Dilatace.
3. Práhování.
4. Rozmazání.
5. Detekce plochy otisku prstu.
6. Aplikace skvrn na obraz otisku.



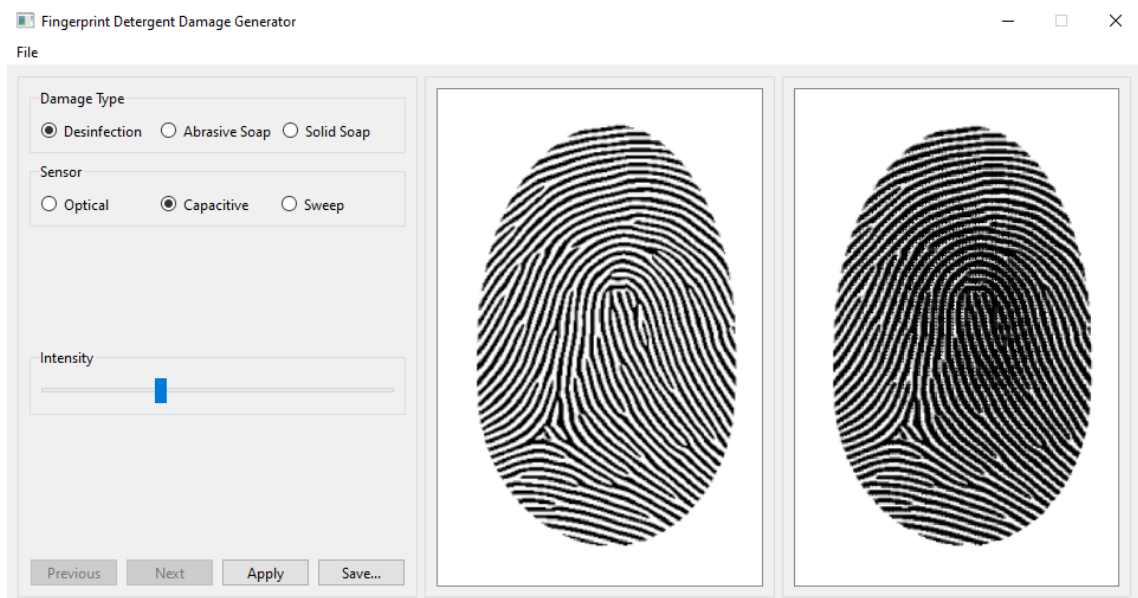
Obrázek 4.6: Demonstrace generování tmavých skvrn. Na obrázku a) je znázorněn Perlinův šum vygenerovaný do možného tvaru otisku, na obrázku b) zesvětlení okrajů otisku, na obrázku c) jsou tmavé skvrny po práhování a na obrázku d) skvrny po dilataci a rozmazání.

# Implementace

V této kapitole je rozebírána implementace algoritmů pro simulaci poškození syntetických otisků prstů popsaných v kapitole 4.2. Jsou zde popsány veškeré technologie a postupy použité při implementaci. V kapitole 5.1 je představeno grafické uživatelské rozhraní. Dále v kapitole 5.2 je popsána implementace základní třídy pro generátor poškození `DamageGenerator`. V podkapitolách jsou popsány třídy `DesinfectionGenerator`, `AbrasiveSoapGenerator` a `SolidGenerator` implementující samotné generátory poškození pro jednotlivé detergenty.

## 5.1 Grafické uživatelské rozhraní

Grafické uživatelské rozhraní bylo implementováno v jazyce C++ s využitím knihovny Qt verze 6.4.2. Hlavní okno aplikace lze vidět na obrázku 5.1. V levém horním rohu okna se nachází kontextové menu umožňující otevření jednoho obrázku nebo celé složky. Dále je zde možnost pro uložení zpracovaného obrázku. Při otevření se obrázek zobrazí na prostředním panelu aplikace. Při otevření celé složky se mezi jednotlivými obrázky ve složce dá posouvat tlačítka `Previous` a `Next` v dolní části levého panelu aplikace. V tomto panelu se nachází veškeré nastavení simulace. Lze zde nastavit jaký typ poškození a sensor má být simulován a dále pak nastavení intenzity zvoleného poškození. Tlačítko `Apply` spouští simulaci se zvoleným nastavením a po zpracování vstupního obrázku se tento obrázek zobrazí v pravém panelu aplikace. Výstupní obrázek pak lze uložit tlačítkem `Save` v kontextovém menu nebo v dolní části levého panelu.



Obrázek 5.1: Hlavní okno aplikace po načtení obrázku a aplikaci poškození

Pro zobrazování obrázků je implementována třída `ImageViewer` obsahující metody pro manipulaci se soubory a složkami. Pro otevření obrázku slouží metoda `openImage()`, pro otevření složky pak metoda `openFolder()`. Třída dále obsahuje metody pro přepínání mezi obrázky, pokud byla otevřena celá složka. Samotný obrázek je vykreslen metodou `displayImage()` s využitím knihovnických funkcí. Je zde také implementována veřejná metoda `getCurrentImage()`, která vrací momentálně otevřený obrázek. Tato metoda je využita v hlavní aplikaci při ukládání obrázků. Třída `ImageViewer` ovšem slouží pouze pro manipulaci grafické scény a možnost ukládání obrázků nebo vyvolání dialogu pro otevření obrázku či složky nijak neimplementuje. Tyto funkčnosti jsou implementovány ve třídě `MainWindow`, která slouží k manipulaci se samotným navrženým rozhraním. Tato třída obsahuje veškeré metody obsluhující tlačítka grafického rozhraní a různé návaznosti mezi jednotlivými prvky tohoto rozhraní. Třída si uchovává reference na tři generátory, blíže popsány v kapitole 5.2, jeden pro každý typ poškození. Tlačítko `Apply` po kliknutí volá metodu `onApply()`, která podle zvoleného typu poškození nastavuje atributy příslušného generátoru a volá jeho metodu `generate()`. Dále pak metoda `onSave()` slouží pro vyvolání dialogu pro uložení obrázku zobrazeného ve scéně, která je obsluhována zmíněnou třídou `ImageViewer`. Analogicky jsou zde pak metody `onOpenFile()` a `onOpenFolder()` vyvolávající dialogy pro otevření souboru nebo složky. Tyto metody pak volají metody třídy `ImageViewer`, které obrázky vykreslují do jedné ze dvou grafických scén okna.

## 5.2 Generátor

Generátory poškození jsou stejně jako grafické rozhraní implementovány v jazyce C++. Pro zpracování obrázku byla využita knihovna `OpenCV` verze 4.6.0. Simulace vybraných poškození je implementována do tří tříd, každá reprezentující generátor jednoho poškození. Nejprve byla implementována třída `DamageGenerator`, která slouží jako bazová třída pro jednotlivé generátory. Tato třída obsahuje metody na načtení a předzpracování vstupního obrázku a poté metody provádějící různé společné operace.

Veřejná metoda `setImage()`, která jako argument bere cestu ke vstupnímu obrázku, přiřazuje pomocí knihovní funkce `imread()` obrázek pro zpracování do soukromé proměnné `image` typu `Mat`. Poté veřejná metoda `setSensor()` nastavuje zvolený senzor pro simulaci. K obou těmto metodám jsou definovány párové funkce pro přístup k soukromým proměnným. Je zde také definována metoda `getQImage()` pro převod obrázku z typu `Mat` na typ `QImage` z knihovny `Qt` pro jednoduchou integraci s grafickým rozhraním.

Soukromá metoda `scaleImage()` slouží k předzpracování obrázku, kdy se mění jeho měřítko se zachováním poměru stran, aby byly všechny následující operace na obrázku konzistentní. Dále je zde definována chráněná metoda `detectBiggestObjectArea()`, která ve vstupním obrázku najde největší objekt a vrací jej jako konvexní mnohoúhelník reprezentovaný polem vrcholů. Tato metoda slouží hlavně k detekci plochy obrázku, na které se vyskytuje otisk prstu, ale je použita i v jiných operacích popsáných u příslušných generátorů níže. Pro detekci této plochy je potřeba nejprve obrázek vhodně rozmazat, aby nedocházelo k detekci jednotlivých papilárních linií otisku jako samostatných objektů v obrázku. Na rozmazání je použita knihovní funkce `GaussianBlur()` a poté je funkcí `threshold()` obrázek práhován, aby se vytvořil binární obrázek s jasnými hranami. Největší objekt je pak detekován pomocí knihovnických funkcí `findContours()` a `contourArea`. Z výsledného polygonu je poté funkcí `convexHull()` získán jeho konvexní tvar. Třída definuje i chráněnou proměnnou `randomGen`, tedy náhodný generátor využitý pro generování různých variací v simulovaných poškozeních. Nakonec je zde definována chráněná metoda `getRandomPointInsideArea()`,

kteřá vrací náhodný bod vyskytující se ve vstupním mnohoúhelníku. K tomu je využit zmíněný náhodný generátor a knihovní funkce `pointPolygonTest()`. Tato metoda slouží jako pomocná funkce využívaná u různých operací generátorů.

Třída také definuje dva výčtové typy `DamageType` a `Sensor`. Oba typy slouží hlavně pro přehlednost zdrojového kódu a využívají se namísto konstant pro rozlišení mezi typy poškození a senzory. Tyto typy se používají i v již představené třídě grafického rozhraní `MainWindow` pro rozlišení přepínacích tlačítek při nastavení simulace.

### 5.2.1 Dezinfekce

Prvním vybraným detergentem je dezinfekce, jejíž projevy na otisk prstu jsou popsány v kapitole 4.3. Generátor tohoto poškození je implementován třídou `DesinfectionGenerator`. Mimo metody definované v základní třídě `DamageGenerator` je zde definována veřejná metoda `generate()`, která na základě senzoru nastaveného v proměnné `sensor` základní třídy spouští simulaci poškození implementovaného soukromou metodou `generateDamage()`. Zvolený senzor zde rozhoduje o vstupních parametrech této metody.

Nejprve se metodou základní třídy `detectBiggestObjectArea()` detekuje plocha otisku prstu. Poté je potřeba simulovat i vliv přtlaku prstu na senzor v nějaké oblasti. Toho se docílí zvolením náhodného bodu v oblasti otisku pomocí další metody základní třídy `getRandomPointInsideArea()`. Tato metoda používá pro zvolení náhodného bodu normálního rozdělení, takže tento bod je častěji zvolen blíže středu otisku. Tento bod reprezentuje místo největšího přtlaku prstu na senzor. Kolem tohoto bodu vytvoříme elipsu knihovní funkcí `ellipse()`. Rozměry této elipsy jsou určeny náhodnou hodnotou řízenou rovnoměrným rozdělením. Mezní hranice těchto rozdělení jsou určeny rozměry obrázku a nastavenou intenzitou, tedy při větší intenzitě se vytváří větší elipsa, což simuluje větší přtlak prstu na senzor. Vytvořená elipsa tedy reprezentuje oblast, kde se bude poškození projevovat s větší intenzitou. Na základě nastavené intenzity se těchto elips vytváří více, čímž se simulují různé stupně intenzity poškození. Vstupní obrázek se poté zpracovává po blocích o velikosti  $10 \times 10$  bodů. Pro každý tento blok se nejprve kontroluje, zda leží v oblasti otisku. Pokud je blok v této oblasti, provádí se generace poškození. Projev dezinfekce se generuje pomocí morfologické operace eroze, pro kterou je použita knihovní funkce `erode()` s parametry určenými na základě nastavené intenzity. V tomto procesu se ještě před provedením eroze kontroluje, zda leží zpracováváný blok v oblasti nějaké vytvořené elipsy a jakou intenzitu tato elipsa reprezentuje. V případě, že blok leží v nějaké z těchto elips, se zvyšuje intenzita eroze. Příklady výstupů tohoto generátoru lze vidět na obrázku 5.2.

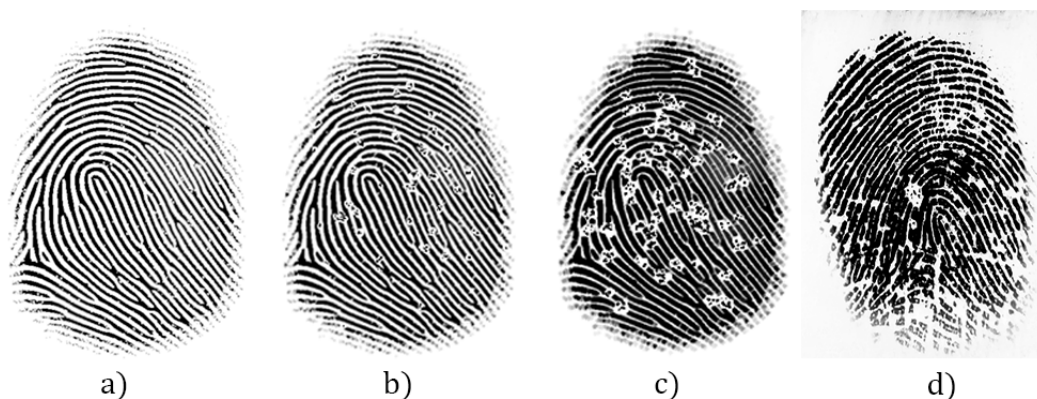


Obrázek 5.2: Příklady výstupů generátoru vlivu dezinfekce. Na obrázku a) je původní obrázek. Obrázky b) a c) zobrazují různé úrovně intenzity poškození. Obrázek d) zobrazuje reálný nasnímaný otisk.

### 5.2.2 Abrazivní mýdlo

Druhým vybraným detergentem je abrazivní mýdlo. Projevy takového mýdla na otisk prstu jsou blíže popsány v kapitole 4.4. Tento generátor je podobně jako předchozí generátor implementován vlastní třídou `AbrasiveSoapGenerator`. Analogicky definuje veřejnou metodu `generate()` a soukromou metodu `generateDamage()` pro simulaci vlivů abrazivního mýdla.

Prvním krokem je opět nutné detekovat plochu otisku v obrázku. K tomu se opět použije metoda `detectBiggestObjectArea()`. Poté je nutné vygenerovat do této plochy několik bodů, které reprezentují středy skvrn, které se vyskytují na otiscích poškozených abrazivním mýdlem. Počet těchto bodů je zvolen generátorem náhodných hodnot rovnoměrného rozdělení. Mezní hranice tohoto rozdělení je určena nastavenou intenzitou, tedy s větší intenzitou se bodů, neboli výsledných skvrn generuje více. Poloha jednotlivých bodů je určena stejným způsobem jako poloha elipsy u předchozího představeného generátoru, tedy metodou `getRandomPointInsideArea()`. Jak již bylo zmíněno, tato metoda používá pro zvolení bodu normální rozdělení, v případě tohoto generátoru je tedy pro toto rozdělení nastaven větší rozptyl, aby se dosáhlo generování skvrn i na okrajích plochy. V okolí tohoto bodu se poté vygeneruje několik kruhů, přičemž jejich sjednocení udává výsledný tvar jedné skvrny. Počet, poloha a poloměr těchto kruhů jsou zvoleny stejným způsobem jako poloha středu tohoto bodu. Tedy náhodnými hodnotami z rovnoměrných rozdělení, kde mezní hranice těchto rozdělení jsou dány nastavenou intenzitou. Skvrny jsou do otisku vygenerovány kombinací knihovnických funkcí `findContours()` pro získání finálního tvaru skvrny a `fillPoly()` pro vykreslení do vstupního obrázku. Poté se zde opět používá funkce `erode()` pro simulaci mírné vlhkosti a také pro menší deformaci vygenerovaných skvrn. Nakonec se ve skvrnách mohou vyskytovat malé černé tečky, které jsou vykresleny stejně jako kruhy u vytváření skvrny funkcí `circle()`. Středový bod pro tuto funkci je zvolen jako střed kruhů generovaných u vytváření skvrny. Velikost těchto teček je poté dána nastavenou intenzitou. Příklady poškození simulovaného tímto generátorem lze vidět na obrázku 5.3.



Obrázek 5.3: Příklady výstupů generátoru vlivu abrazivního mýdla. Na obrázku a) je původní obrázek. Obrázky b) a c) zobrazují různé úrovně intenzity poškození. Obrázek d) zobrazuje reálný nasnímaný otisk.

### 5.2.3 Tuhé mýdlo

Třetím a posledním vybraným detergentem je tuhé mýdlo. O vlivu tuhého mýdla na otisk prstu je psáno v kapitole 4.5. Generátor je implementován třídou `SolidSoapGenerator`. Tato třída obdobně jako předchozí dva představené generátory definuje metody `generate()` a `generateDamage()`. Mimo tyto metody pro řízení simulace dále třída definuje dvě soukromé metody `getPerlinNoiseImage()` a `getPerlinNoiseValue()`, implementující algoritmus pro vytvoření obrázku Perlinova šumu, který je poté používán pro simulaci poškození do otisku.

Metoda `getPerlinNoiseImage()` vytváří obrázek Perlinova šumu stejného rozlišení jako vstupní obrázek (respektive stejného rozlišení jako obrázek již předzpracovaný třídou `DamageGenerator` popsanou v kapitole 5.2).

Nejprve je potřeba vytvořit mřížku o rozměrech obecně menších než jsou rozměry obrázku. Každá buňka této matice tedy reprezentuje jeden blok bodů obrázku [20]. V generátoru je velikost těchto bloků, a tedy i velikost mřížky, závislá na nastavené intenzitě. Obecně při větších blocích budou výsledné útvary vytvořené tímto šumem větší. Pro každý vrchol této mřížky se vytvoří gradient náhodného směru [20]. Toho je docíleno náhodným generátorem hodnot z intervalu  $(-1, 1)$ , které jsou pak přiřazeny jako souřadnice vektoru a normalizovány. Tato mřížka je pak dále používána při zpracovávání jednotlivých bodů obrázku.

Pro vytvoření šumu je pro každý jeden obrazový bod vypočtena hodnota šumu metodou `getPerlinNoiseValue()`. Tato funkce nejprve určí do které buňky výše zmíněné mřížky tento bod patří. Poté se pro každý vrchol této buňky vypočítá skalární součin mezi gradientem, přiřazeným tomuto vrcholu, a vektorem směřujícím z tohoto vrcholu do právě zpracovávaného bodu [20] [21]. Pak se provádí lineární interpolace mezi vypočtenými skalárními součiny. Při interpolaci se používá váha vypočtená z polohy bodu v buňce [21]. Tato váha poté využívá uhlazovací funkci pro plynulé přechody mezi hodnotami [21]. Vypočtená hodnota je poté přiřazena obrazovému bodu. Na obrázku 5.4 lze vidět výstup takového algoritmu.

Celý výše popsaný algoritmus se dá opakovat a prokládat tak vytvořený šum několika vrstvami. Tohoto se při vytváření Perlinova šumu běžně využívá [20]. Nejprve zvolíme počet oktáv, neboli počet opakování algoritmu. Při každém opakování změním frekvenci, běžně

se volí  $2^{x-1}$ , kde  $x$  je právě zpracovávaná oktáva [20]. Každý zpracovávaný bod je vyjádřený jako vektor z bodu o souřadnicích  $(0, 0)$  a frekvencí se tento vektor škáluje. Dále se definuje pro každý cyklus amplituda, která násobí výslednou hodnotu obrazového bodu [21]. Na výsledný obrázek se aplikuje morfologická operace dilatace knihovní funkcí `dilate()`, aby se vytvořené útvary zmenšily a nezabíraly příliš velkou plochu obrázku. Pak se také používá funkce `GaussianBlur()` pro rozmazání tvarů. Efekt těchto operací lze vidět na obrázku 5.4.

Pro samotnou simulaci poškození se použije metoda `detectBiggestObjectArea()`, ze které se vytvoří maska. Pomocí výše popsané metody `getPerlinNoiseImage()` vytvoříme obrázek Perlinova šumu a a pomocí knihovní funkce `bitwise_and()` jej aplikujeme na otisk přes vytvořenou masku. Poté se stejně jako u předchozích simulací použije funkce `erode()` pro simulaci vlhkosti. Příklady výstupů této simulace lze vidět na obrázku 5.5.



Obrázek 5.4: Generování perlinova šumu. Na obrázku a) je zobrazený jeden cyklus algoritmu. Obrázek b) ukazuje použití více cyklů následnou dilatací a rozmazání.



Obrázek 5.5: Příklady výstupů generátoru vlivu tuhého mýdla. Na obrázku a) je původní obrázek. Obrázky b) a c) zobrazují různé úrovně intenzity poškození. Obrázek d) zobrazuje reálný nasnímaný otisk.



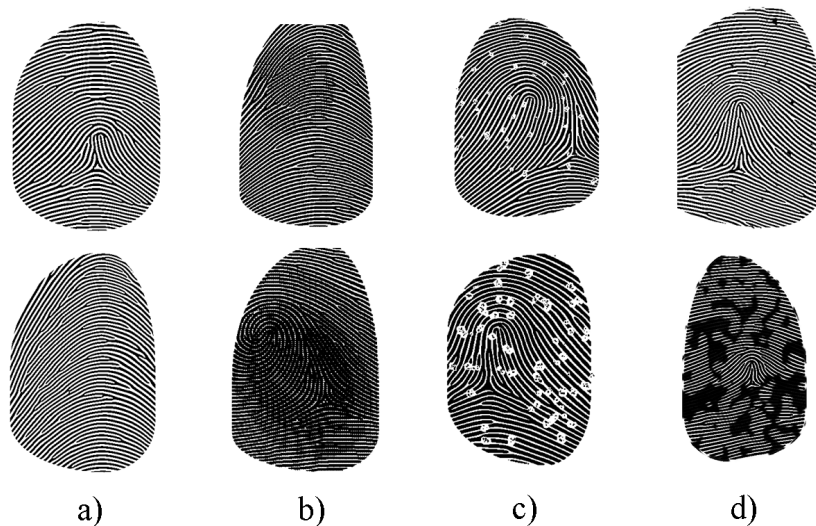
# Testování

Po implementaci aplikace bylo nutné nějak vyhodnotit a analyzovat její výstupy. K tomuto účelu byl zvolen nástroj VeriFinger, který umožňuje identifikaci a verifikaci otisků prstů. V této kapitole jsou popsány sady dat, které byly vytvořeny a použity k testování, a poté průběh samotného testování, včetně analýzy a shrnutí výsledků.

## 6.1 Vstupní databáze

Pro účely testování bylo nejprve nutné vygenerovat několik syntetických otisků prstů. K tomuto byl využit nástroj SFinGe, který byl představen v kapitole 3.2. Pomocí tohoto nástroje byla vygenerována databáze o velikosti celkem sta otisků prstů. Pro účely testování byla generace každého otisku ukončena po čtvrtém kroku této metody (viz obrázek 3.1 z kapitoly o nástroji SFinGe). Výsledná databáze tedy obsahuje syntetické otisky prstů neovlivněné nějakým poškozením, jako například škrábanci nebo šumem. Otisky byly generovány způsobem, aby byly zastoupeny různé třídy, do kterých se otisky prstů klasifikují (viz kapitola 2.4). Bylo takto vygenerováno dvacet otisků pro každou třídu nabízenou generátorem SFinGe – oblouk, levá smyčka, pravá smyčka, vír a stanový oblouk.

Z této databáze bylo vytvořeno celkem devět datových sad, tedy tři sady pro každý vybraný typ poškození. Každá sada bere dvacet otisků z vygenerované databáze a do každého z těchto otisků bylo vygenerováno poškození implementovanou aplikací. Jednotlivé sady jsou členěny podle použitého poškození a zvolené úrovně intenzity. Příklady vzorků z databáze a z vytvořených sad lze vidět na obrázku 6.1.



Obrázek 6.1: Příklady vzorků z databáze a datových sad. Na obrázku a) jsou vzorky z vygenerované databáze. Obrázky b), c) a d) zobrazují příklady snímků z vytvořených sad pro jednotlivé typy poškození.

## 6.2 Průběh testování

Pro testování byl použit nástroj VeriFinger, který dokáže porovnávat otisky prstů a ke každému porovnání vrátit skóre, které určuje shodu dvou otisků. Nejprve proběhla registrace snímků z vygenerované databáze do nástroje. Následně se procesem identifikace oproti stejné databázi zaznamenalo skóre porovnání pro identické snímky. Výsledkem tedy bylo celkem sto hodnot, které sloužily jako referenční hodnoty pro každý snímek z databáze. Poté se stejným procesem provedlo porovnání mezi snímky z vytvořených sad s původními snímky z databáze. Všechny hodnoty skóre byly zaznamenány a porovnáním s referenční hodnotou vytvořeny statistické hodnoty pro analýzu.

## 6.3 Výsledky

Po zaznamenání všech naměřených hodnot byla data pro každý typ generovaného poškození agregována a zapsána do tabulek 6.1, 6.2 a 6.3. V tabulkách každý řádek zobrazuje agregovaná data pro jednotlivé datové sady, tedy kombinace typu poškození s nastavenou intenzitou. Pro každou sadu je uvedeno průměrné naměřené skóre pro snímky z původní databáze, tedy výše zmíněná referenční hodnota a poté průměr skóre pro samotnou sadu otisků poškozených daným detergentem. Pro všechny sady je dále uveden normovaný průměr, který je také vyobrazen v grafu na obrázku 6.2. Nakonec jsou zde uvedeny minimální a maximální hodnoty skóre naměřeného pro danou sadu.

Jako největší negativní vliv na kvalitu otisku se ukázalo poškození vlivem dezinfekce, kde při vyšší intenzitě poškození klesl normovaný průměr až na 61,74 %. Důsledkem může být i fakt, že dezinfekce se na otiscích projevila velmi podobně jako vliv klasické vlhkosti, který se projevuje zatemněním některých vlhčích částí otisku na snímku. Při větších vrstvách nanesené dezinfekce to může znamenat kompletní zatemnění některých charakteristických rysů otisku a znemožnit tak proces identifikace. Agregované naměřené hodnoty pro sady otisků poškozené dezinfekcí lze vidět v tabulce 6.1.

Poškození, Intenzita	Ref. průměr	Průměr	Norm. průměr	Min.	Max.
Desinfekce, 2	583,9	469,2	80,41 %	401	548
Desinfekce, 4	589,5	424,6	72,03 %	341	509
Desinfekce, 6	602,4	371,9	61,74 %	251	456

Tabulka 6.1: Vyhodnocení testů otisků poškozených dezinfekcí.

Poškození abrazivním mýdlem se v naměřených výsledcích projevilo jako nejmírnější, a to i při vyšších intenzitách. U reálných otisků toto může být různě ovlivněno zvoleným mýdlem, konkrétně vlhkostí daného mýdla. Pokud se ale pomine vliv vlhkosti, tak se abrazivní mýdlo projevuje pouze malými bílými skvrnami, které se mohou podobat nějakému mírnému kožnímu onemocnění, například ekzému. Tyto skvrny nemusí nutně zakrýt žádné charakteristické rysy a nijak neovlivňují například tloušťku papilárních linií. Naměřené hodnoty pro snímky poškozené abrazivním mýdlem jsou vyobrazeny v tabulce 6.2.

Poškození, Intenzita	Ref. průměr	Průměr	Norm. průměr	Min.	Max.
Abrazivní mýdlo, 3	602,4	493,6	81,94 %	442	555
Abrazivní mýdlo, 5	593,4	466,1	78,55 %	357	572
Abrazivní mýdlo, 7	594,6	440,4	74,44 %	373	548

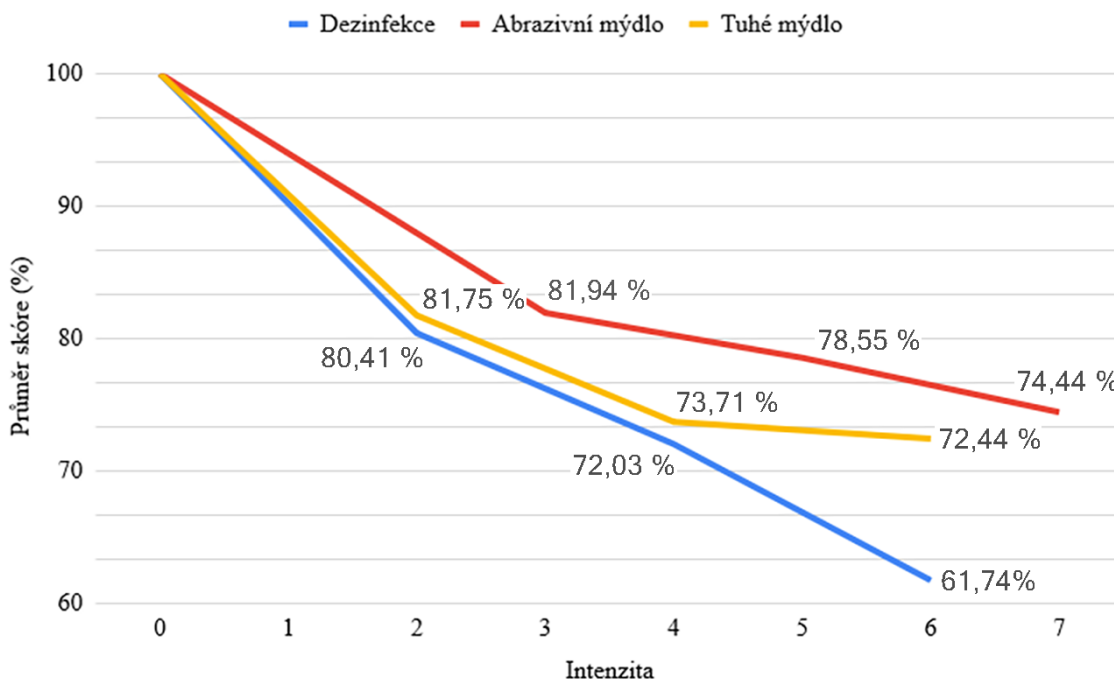
Tabulka 6.2: Vyhodnocení testů otisků poškozených abrazivním mýdlem.

Pro tuhé mýdlo se ovlivnění kvality projevilo v podobných hodnotách jako abrazivní mýdlo. U tohoto mýdla se ovšem i při nižší intenzitě vyskytovaly malé hodnoty naměřeného skóre. To může být dáno velkými variacemi mezi vygenerovanými poškozeními. To ovšem odpovídá i nasnímané databázi, kde se vliv mýdla projevoval tmavými skvrnami variabilních tvarů i velikostí. Tabulka 6.3 ukazuje naměřené hodnoty pro sadu otisků poškozené tuhým mýdlem.

Poškození, Intenzita	Ref. průměr	Průměr	Norm. průměr	Min.	Max.
Tuhé mýdlo, 2	593,4	493,6	81,75 %	372	593
Tuhé mýdlo, 4	594,6	466,1	73,71 %	327	542
Tuhé mýdlo, 6	583,5	440,4	72,44 %	347	475

Tabulka 6.3: Vyhodnocení testů otisků poškozených tuhým mýdlem.

Výsledky jasně ukazují, že implementované generátory vybraných poškození negativně ovlivňují kvalitu otisku prstu. Graf na obrázku 6.2 zobrazuje shrnutí naměřených výsledků a porovnává ovlivnění kvality jednotlivými poškozeními.



Obrázek 6.2: Pokles skóre při zvyšování intenzity jednotlivých typů poškození.

# Závěr

Hlavním cílem této práce byla analýza poškození otisků prstů způsobené vybranými detergenty a následný návrh a implementace algoritmů pro generování takového poškození do syntetických otisků. Nejprve bylo nutné získat znalosti z oblasti biometrie, konkrétně biometrie otisků prstů. Byla potřeba seznámit se s charakteristickými rysy otisku prstu a jejich využitím při rozpoznávání otisků. To zahrnuje i metody získání otisku prstu, klasifikace otisků a jejich zpracování. Dále byla potřeba oboznámit se s procesem generování syntetických otisků prstů a generováním poškození do takovýchto otisků. K tomu bylo ovšem nutné definovat různá poškození, která se mohou na otiscích prstů vyskytovat a jak tyto poškození ovlivňují výslednou kvalitu otisku. Získané vědomosti jsou prezentovány v kapitolách 2, 3 a 4.

Pro práci byly zvoleny tři detergenty: dezinfekce, abrazivní mýdlo a tuhé mýdlo. Pro všechny tyto detergenty bylo nutné nasnímat databázi otisků ovlivněných těmito prostředky. Tato databáze byla nasnímana využitím třech typů snímačů a s použitím různých vrstev nanešeného prostředku na prst. Následně proběhla analýza této databáze a návrh algoritmů pro generování poškození způsobenými těmito detergenty. Algoritmy pro generování poškození vlivů dezinfekce a abrazivního mýdla byly navrženy jako algoritmy podobné již existujícím algoritmům pro generování poškození. Pro dezinfekci to byl algoritmus podobný generování vlivu vlhkosti, pro abrazivní mýdlo pak algoritmus podobný generování vlivu některých kožních onemocnění. Algoritmus pro generování vlivů tuhého mýdla byl pak navržen na základě algoritmu pro generování Perlinova šumu, který se používá například pro generování 2D textur nebo 3D terénů.

Po analýze nasnímané databáze a návržení algoritmů probíhal návrh a implementace aplikace s grafickým uživatelským rozhraním implementující tyto algoritmy. Aplikace byla zrealizována s využitím programovacího jazyka C++ a knihovny pro zpracování obrazu OpenCV. Pro návrh grafického rozhraní a manipulaci s tímto rozhraním se pak využívá knihovny Qt. Implementované algoritmy byly poté podrobeny testování vygenerováním několika datových sad, které byly ohodnoceny pomocí nástroje VeriFinger. Datové sady byly vytvořeny z databáze syntetických otisků vygenerovanou nástrojem SFinGe. Nakonec proběhla agregace a shrnutí výsledků tohoto testování.

Výslednou aplikaci je možné dále rozšířit, například o možnost kombinace jednotlivých typů poškození. Dalším rozšířením by pak byla možnost podrobnějšího nastavení a řízení simulace, přičemž by uživatel mohl simulaci pozastavovat v jednotlivých krocích algoritmů.

# Literatura

- [1] JAIN, A. K., ROSS, A. A. a NANDAKUMAR, K. *Introduction to Biometrics*. 1. vyd. Springer New York, NY, 2011. ISBN 978-0-387-77326-1.
- [2] RECFACES. *Types of Biometrics* [online]. [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://recfaces.com/articles/types-of-biometrics>.
- [3] WAYMANAND, J., JAIN, A. K., MALTONI, D. a MAIO, D. *Biometric Systems*. 1. vyd. Springer London, 2005. ISBN 978-1-85233-596-0.
- [4] RATHA, N. a BOLLE, R. *Automatic Fingerprint Recognition Systems*. 1. vyd. Springer New York, NY, 2004. ISBN 978-0-387-95593-3.
- [5] DRAHANSKÝ, M., ORSÁG, F., DOLEŽEL, M. et al. *Biometrie*. 1. vyd. Computer Press, s.r.o, 2011. ISBN 978-80-254-8979-6.
- [6] JUSTICE, U. D. of a JUSTICE, N. I. of. *The Fingerprint Sourcebook*. Createspace Independent Pub, 2012. ISBN 978-1-477-66476-6.
- [7] KANICH, O. *Research in Fingerprint Damage Simulations*. Brno, CZ, 2019. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/study/phd-thesis/832/>.
- [8] WELLER, R. B., HUNTER, H. J. a MANN, M. W. *Clinical Dermatology*. 5. vyd. 2015. ISBN 978-0-470-65952-6.
- [9] MALTONI, D., MAIO, D., JAIN, A. K. a PRABHAKAR, S. *Handbook of fingerprint recognition*. 2. vyd. Springer London, 2009. ISBN 978-1-84882-253-5.
- [10] SYSTEMS, A. I. *Different Types of Fingerprint Scanners* [online]. [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://autoindia.com/different-types-of-fingerprint-scanners-optical-capacitive-and-ultrasonic/>.
- [11] LI, S. Z. a JAIN, A. K. *Encyclopedia of Biometrics*. 1. vyd. Springer Science+Business Media, LLC, 2009. ISBN 978-0-387-73002-8.
- [12] ALQADI, Z. Analysis of fingerprint minutiae to form fingerprint identifier. *JOIV : International Journal on Informatics Visualization*. 2020, sv. 4. DOI: 10.30630/joiv.4.1.332.
- [13] TUYLS, P., AKKERMANS, A., KEVENAAR, T., SCHRIJEN, G., ASKER, A. B. et al. Practical Biometric Authentication with Template Protection. In: 2005. ISBN 978-3-540-27887-0.
- [14] JAIN, A., HONG, L. a BOLLE, R. On-line fingerprint verification. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1997, sv. 19, č. 4, s. 302–314. DOI: 10.1109/34.587996.

- [15] CAPPELLI, R. *SFinGe: an Approach to Synthetic Fingerprint Generation*. DEIS - University of Bologna - Italy, 2004.
- [16] SVORADOVÁ, V. *Pokročilé generování projevů poškození do syntetických otisků prstů*. Brno, CZ, 2021. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/study/thesis/24014/>.
- [17] RIAZI, M. S., CHAVOSHIAN, S. M. a KOUSHANFAR, F. *SynFi: Automatic Synthetic Fingerprint Generation*. Cornell University Library, 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2002.08900.
- [18] SOILLE, P. *Morphological Image Analysis*. 2. vyd. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. ISBN 978-3-642-07696-1.
- [19] IVETA, G. *Binárna morfológická filtrácia* [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=18995>.
- [20] MOUNT, D. a EASTMAN, R. *Procedural Generation: 2D Perlin Noise* [online]. 2018 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <https://www.cs.umd.edu/class/spring2018/cmsc425/Lects/lect13-2d-perlin.pdf>.
- [21] TOUTI, R. *Perlin Noise: A Procedural Generation Algorithm* [online]. [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://rtouti.github.io/graphics/perlin-noise-algorithm>.

# Obsah příloženého paměťového média

- **src/** – Zdrojové soubory implementované aplikace
- **app/** – Spustitelná aplikace
- **test/** – Soubory dat použité při testování
- **latex/** – Zdrojové soubory tohoto dokumentu ve formátu  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$
- **BP.pdf** – Tento dokument