

# Výroba biometrické matrice

Martin Mikl

---

Bakalářská práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Mikl**  
Osobní číslo: **T14115**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Výroba biometrické matrice**

Zásady pro vypracování:

1. proveďte literární rešerši na dané téma
2. proveďte replikaci papírních linií prstu do počítačové podoby a upravte
3. na základě získaných dat zhotovte biometrickou matici
4. proveďte testování matrice a otisku, výsledky diskutujte

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**2. ledna 2017**

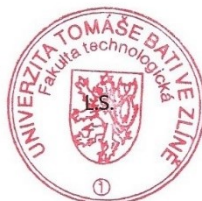
Termín odevzdání bakalářské práce:

**19. května 2017**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: .....

Obor: .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevyjádřeně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je výroba matrice s věrnou kopií otisku prstu pro identifikaci na čtecím biometrickém zařízení. V teoretické části se budeme zabývat studii o biometrických systémech a jejich zneužití. Taktéž budou probrány technologie mikroobrábění, jako jsou leptání, gravírování frézou či laserem, na jejichž základě zvolíme nejvhodnější metodu pro výrobu biometrické matrice.

Klíčová slova: biometrie, biometrická matrice, otisk prstu, zneužití otisku prstu, mikroobrábění

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor thesis is production of matrix with true copy of fingerprint for identification on biometric reader. The theoretical part contain studies about biometric systems and their misuse. Also micro machining technology such as etching, engraving or laser cutter will be discussed, on the basis of which we select appropriate method for producing a biometric matrix.

Keywords: Biometrics, biometric matrix, fingerprint, misuse of fingerprint, micromachining

Rád bych poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při realizaci bakalářské práce. Dále bych poděkoval mému spolužákovi Petru Janíkovi za poskytnutí otisku prstu. Chtěl bych také poděkovat své rodině za podporu.

„Na počátku každého výzkumu je úžas nad tajemstvím.“

Albert Einstein

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 TERMINOLOGIE A BIOMETRICKÉ TECHNOLOGIE</b> .....	<b>12</b>
1.1 BIOMETRIE .....	12
1.2 VERIFIKACE .....	12
1.3 IDENTIFIKACE.....	12
1.4 VÝKONNOST BIOMETRICKÝCH SYSTÉMŮ .....	12
1.4.1 FRR .....	12
1.4.2 FAR.....	13
1.4.3 EER .....	13
1.5 BIOMETRICKÉ SYSTÉMY .....	13
1.5.1 Otisk prstu .....	14
1.5.2 Geometrie ruky.....	15
1.5.3 Krevní řečiště ruky .....	16
1.5.4 Rozpoznávání podle obličeje .....	17
1.6 ZNEUŽITÍ BIOMETRICKÝCH SYSTÉMŮ .....	19
1.6.1 Zneužití fyzickou cestou .....	19
1.6.2 Zneužití softwarovou cestou .....	20
<b>2 MIKROOBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>22</b>
2.1 ZÁKLADNÍ LITOGRAFICKÉ METODY .....	22
2.1.1 Objemové mikroobrábění.....	22
2.1.2 Povrchové mikroobrábění .....	22
2.1.3 Mikroobrábění pomocí formy .....	23
2.2 CHEMICKÉ MIKROOBRÁBĚNÍ .....	23
2.2.1 Leptání.....	23
2.2.2 Postup leptání .....	24
2.2.3 Způsoby leptání .....	25
2.3 LASEROVÉ MIKROOBRÁBĚNÍ .....	26
2.3.1 Princip laseru.....	26
2.3.2 Gravírování laserem .....	29
2.3.2.1 Způsoby gravírování .....	29
2.3.2.2 Laserové gravírovací plottery .....	31
2.4 MIKROOBRÁBĚNÍ FRÉZOU .....	32
2.4.1 Podstata mikrofrézování.....	32
2.4.2 Rozdělení mikrofrézování .....	32
2.4.2.1 Čelní mikrofrézování .....	32
2.4.2.2 Válcové mikrofrézování .....	33
2.4.3 Požadavky na mikrofrézování .....	35
2.4.3.1 Nástroje .....	35
2.4.3.2 Vřetena.....	35
2.4.3.3 Stroje.....	35
2.4.4 Gravírování frézou .....	37



2.4.4.1	Gravírovací plottery .....	37
2.5	ELEKTROJISKROVÉ MIKROOBRÁBĚNÍ.....	38
2.6	MIKROOBRÁBĚNÍ POMOCÍ IONTOVÉHO PAPRSKU.....	38
<b>3</b>	<b>SOUHRN TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>40</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>REPLIKACE PAPILÁRNÍCH LINÍ.....</b>	<b>42</b>
4.1	POPIS ČTECÍHO ZAŘÍZENÍ .....	42
4.1.1	Technické parametry .....	43
4.1.2	Uživatelské prostředí biometrické čtečky .....	44
4.2	PŘEVOD DO DIGITÁLNÍ PODOBY.....	45
4.2.1	Postup snímání otisku prstu .....	45
4.2.2	Převod formátu fotografie .....	46
4.2.3	Hodnocení kvality převodu .....	47
<b>5</b>	<b>VÝROBA MATRICE .....</b>	<b>48</b>
5.1	NX 10 .....	48
5.2	PROGRAMOVÁNÍ CNC FRÉZKY .....	48
5.3	SEZNAM POUŽITÝCH NÁSTROJŮ.....	50
5.4	ŘEZNÉ PODMÍNKY .....	51
5.5	OBRÁBĚCÍ STROJ .....	52
5.6	ODLÉVACÍ MATERIÁLY A POSTUP TVORBY ODLITKU .....	54
5.7	VÝROBA MATRICE POMOCÍ TERMOPLASTU .....	56
<b>6</b>	<b>TESTOVÁNÍ MATRICE A ČTECÍHO ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>57</b>
6.1	HODNOCENÍ STRUKTURY POVRCHU MATRICE.....	57
6.2	TESTOVÁNÍ NA BIOMETRICKÉM ZAŘÍZENÍ.....	61
<b>7</b>	<b>DISKUZE EXPERIMENTU .....</b>	<b>63</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>72</b>

## ÚVOD

V současném moderním světě se začínáme stále více setkávat se zařízeními, která rozpoznávají osoby na základě některých biologických nebo behaviorálních vlastností pomocí biometrických systémů. Ať už se jedná o vstup do zabezpečených prostor, jako jsou například letiště, nebo přímo integrované biometrické čtečky otisků prstů v mobilních telefonech k ochraně citlivých dat.

Avšak jako každé jiné přístroje ani biometrická zařízení nejsou dokonalá a mají určitá bezpečnostní rizika. V této práci využijeme bezpečnostní trhliny čtečky otisku prstů a pokusíme se dostat k chráněným datům v počítači. Autor by však rád upozornil, že tato práce neslouží jako návod či podnětný materiál k napadení těchto zařízení, nýbrž k uvědomění si slabých míst, což by mělo vést i k vyšší opatrnosti osob využívajících biometrická zařízení. Zároveň může být autorova práce i podnětem pro bezpečnostní inženýry k různým inovacím těchto přístrojů.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 TERMINOLOGIE A BIOMETRICKÉ TECHNOLOGIE

## 1.1 Biometrie

Biometrie je vědní obor, který se zabývá identifikací osob pomocí behaviorálních a biologických vlastností. Pojem Biometrie pochází z řečtiny a skládá se ze slov „bios“ a „metron“, kde slovo „bios“ znamená život a „metron“ měření. Doslovně tedy „Měření života“.

[1]

## 1.2 Verifikace

Při tomto procesu osoba předkládá kromě biometrického údaje také identifikační předmět (kartu, čip) nebo nějaké sdílené tajemství v podobě hesla. Biometrický systém tedy ověřuje, zda se skutečně jedná o danou osobu. [2]

## 1.3 Identifikace

Při identifikaci je osoba zaznamenána pouze biometrickým údajem. Biometrický systém hledá shodu osob z databáze. Tato operace je oproti verifikaci výpočetně i časově náročnější. [2]

## 1.4 Výkonnost biometrických systémů

Biometrická zařízení jsou využívána zejména k ovládnutí přístupu a prosazování bezpečnostní politiky. Zaměřují se proto na vysokou bezpečnost a spolehlivost. Nicméně jako jakýkoliv jiný systém ani biometrické systémy nejsou 100% bezpečné. [2]

### 1.4.1 FRR

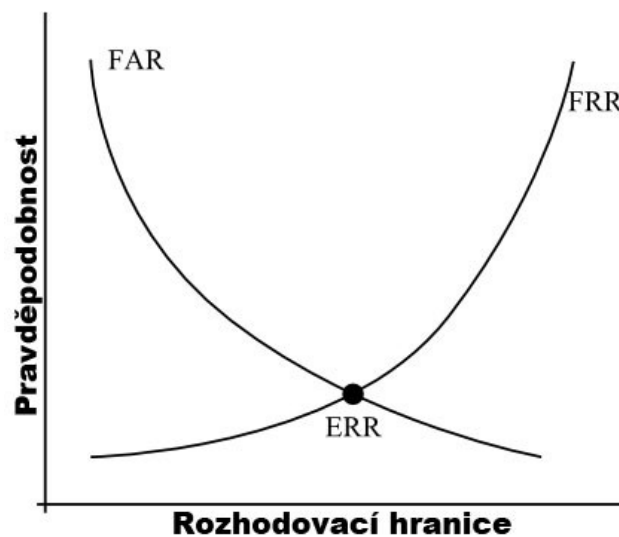
Míra chybného odmítnutí – FRR (False Reject Rate) udává, s jakou pravděpodobností biometrický systém chybně vyhodnotí dva biometrické vzory od stejné osoby jako odlišné a tím selže při přijetí oprávněného uživatele. Tato osoba je poté nucena znovu prokázat svou identitu. Z bezpečnostního hlediska to není takový problém, avšak v oblasti forenzní sféry je tento nedostatek velmi nežádoucí. [1,3]

### 1.4.2 FAR

Míra chybného přijetí – FAR (False Accept Rate) udává, s jakou pravděpodobností biometrický systém chybně vyhodnotí dva odlišné biometrické vzory jako shodné, a tím selže při odmítnutí možného útočnicka. Jedná se o závažnou bezpečnostní chybu, kdy se může podvodník dostat do střeženého objektu. [1,3]

### 1.4.3 EER

Míra rovné chyby – EER (Equal Error Rate) uvádí hodnotu, při které se FRR a FAR rovnají. Toto číslo přibližně určuje bezpečnost biometrického zařízení, nicméně FAR a FRR mají daleko vyšší vypovídací hodnotu. [2]



Obr. 1. Závislost FAR a FRR na rozhodovací hranici [5]

## 1.5 Biometrické systémy

V současné době je několik desítek biometrických technologií k rozpoznávání osob, které se využívají v mnoha odvětvích. Ve zdravotnictví slouží pro ochranu citlivých dat nebo k identifikaci pacientů. Taktéž v průmyslu mají svá uplatnění, kde jsou implementovány do elektronických vstupních systémů, budov a docházkových systémů pro kontrolu a zabezpečení střežených objektů. Další využití může být například v bankovníctví pro zabezpečení finančních transakcí nebo ve školství ke vstupu do školy, půjčování knih, placení obě-

dů a podobně. V této kapitole budou znázorněny ty nejrozšířenější biometrické systémy ve světě.

### 1.5.1 Otisk prstu

Nejznámější a nepoužívanější biometrická technologie s velmi bohatou historií. Využívá poznatků z oboru daktyloskopie. Bříško prstu obsahuje takzvané papilární linie, což jsou drobné prolákliny a vyvýšeniny. Identifikace spočívá v nalezení a porovnání charakteristických rysů, takzvaných markantů, které tvoří papilární linie. Otisk prstu obsahuje okolo 75 až 175 markantů různých druhů. Tím je otisk prstu každého člověka unikátní a je téměř nemožné najít 2 osoby se stejným otiskem prstů. [2]

V současné době nastává miniaturizace biometrických zařízení a jejich integrace do notebooků, mobilních telefonů a podobně.



Obr. 2. Příklady markantů v otisku prstu [10]

Výhody:

- Nízké pořizovací náklady
- Malé rozměry

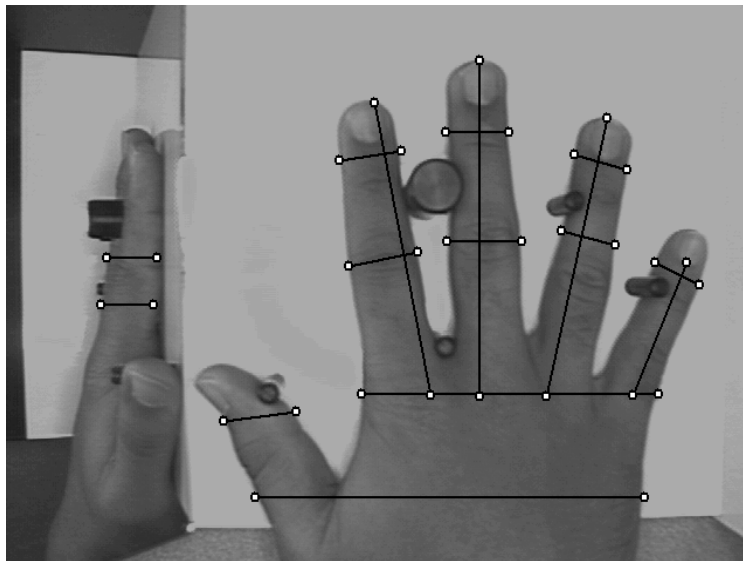
Nevýhody:

- Nečistoty zkreslují měření

- U levných zařízení může z předchozího měření zůstat otisk na snímači a ovlivnit tak další identifikaci
- Snadné falšování otisku prstů [7]

### 1.5.2 Geometrie ruky

Stejně jako u otisku prstů je i ruka svým tvarem jedinečná. Tento tvar je po celý život dospělého člověka téměř totožný s výjimkou onemocnění nebo zranění ruky. Měření geometrie ruky se v posledních letech rozšiřuje také do komerční sféry biometrických zařízení. Nejčastěji jsou používány k tomuto měření optické snímače, které vytvoří černobílý obraz siluety ruky. Jelikož by mnoho lidí nedokázalo položit ruku na snímač tak, jako při vytváření referenční šablony, jsou v zařízení umístěny kolíčky pro ustavení polohy ruky. Charakteristickými rysy pro porovnávání snímků jsou šířka, výška a délka prstů nebo také zakřivení a lokální anomálie ruky. [2]



Obr. 3. Princip měření geometrie ruky [4]

Výhody:

- Odolnost proti nečistotám
- Komfortní měření
- Vhodné pro nevidomé osoby

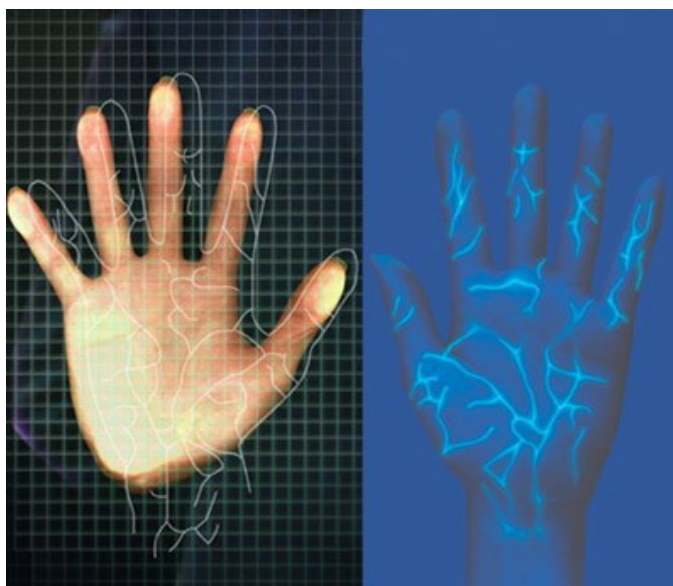
Nevýhody:

- Malá přesnost

- Pouze pro verifikaci
- Nevhodné pro osoby trpící artritidou nebo podobným onemocněním [7]

### 1.5.3 Krevní řečiště ruky

Technologie je založená na rozpoznávání krevního řečiště ruky a měří se buď na dlani nebo na hřbetu ruky. Stejně jako u jiných biometrických metod bylo prokázáno, že obraz krevního řečiště tvořený cévami je jedinečný a zároveň stabilní v průběhu života každého dospělého člověka. K nasnímání cévního stromu se využívá monochromatická CCD kamera v kombinaci se zdrojem infračerveného záření. Žíly toto záření pohlcují a vytvářejí tak síť zvýrazněných čar, které představují tvar krevního řečiště. Následně software vyhodnocuje, podobně jako u otisku prstu, charakteristické rysy, jakými jsou velikost cév, jejich geometrické uspořádání, orientace a tvar. [2,3]



Obr. 4. Měření krevního řečiště [6]

Výhody:

- Velká přesnost
- Bezkontaktní měření
- Vhodné pro nevidomé osoby.

Nevýhody:

- Vyšší pořizovací náklady [7]

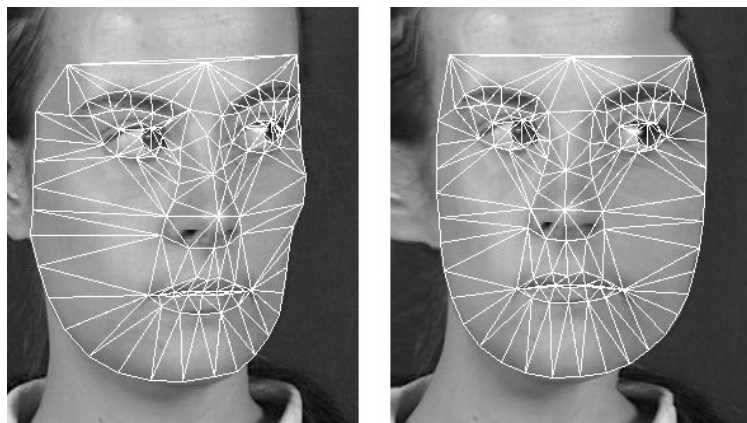


### 1.5.4 Rozpoznávání podle obličeje

S rozpoznáváním obličeje se setkáváme každý den, jedná se o nejpřirozenější biometrickou techniku. Při rozpoznávání tváře biometrickým systémem musíme brát v potaz nižší kvalitu snímků nebo také jiné barevné pozadí. Z tohoto důvodu jsou tyto systémy opatřeny různými filtry pro úpravu jasu, šumu či zvýraznění obrysů obličeje. Tato biometrická technologie využívá poznatky z oboru antropologie, která se zabývá lidstvem, lidskými společnostmi a člověkem. K popisu charakteristických rysů člověka využívá metody, které se vzájemně doplňují. Antropometrie se zabývá měřením rozměrů pomocí obvodů, délek, úhlů atd. Osteometrie je založena na stejném základě jako antropometrie, nicméně v tomto odvětví jsou zkoumány kosterní pozůstatky. Pro identifikaci tváře je nutno určit 12 bodů, které se nachází na uších, nosu, ústech a očích. Těmito body jsou spojení ušního lalůčku s tváří, body na chrupavce ucha chránící vnější zvukovod, přechod nosu do čela, horizontální koutky rtů, špička nosu a vnitřní a vnější koutky očí. Tyto body se pak spojí úsečkou a měří se jejich délka. [7]

V současnosti existují 3 způsoby rozpoznávání tváře:

- Rozpoznávání z 2D snímku
- Rozpoznávání z 3D snímku
- Rozpoznávání z termosnímku



Obr. 5. Rozpoznávání z 2D snímku [8]

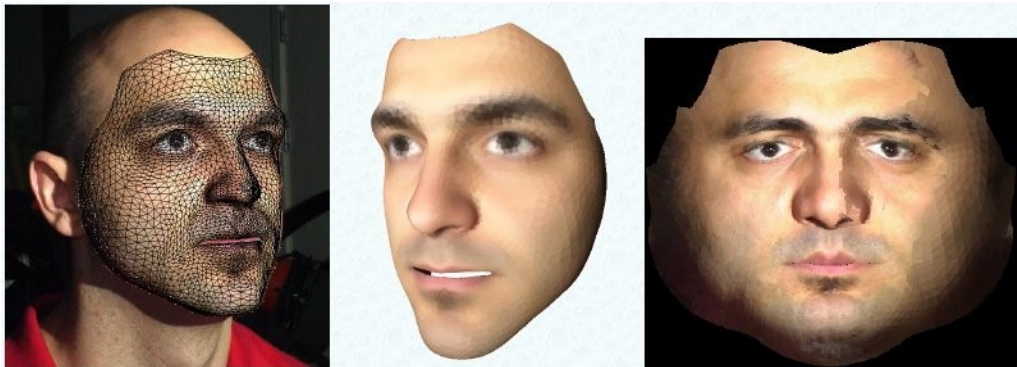
Výhody 2D snímku:

- Systém využívá klasické kamery

Nevýhody 2D snímku:

- Malá přesnost

- Nízká bezpečnost – lze zajistit fotografii oprávněné osoby
- Změna vzhledu může být problém [7]



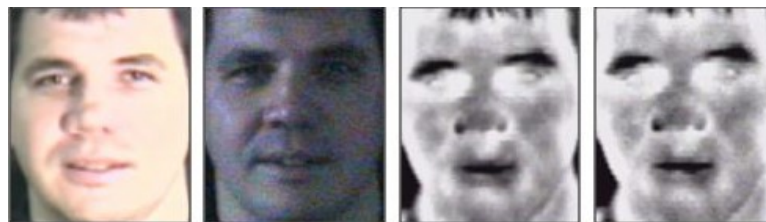
Obr. 6. Rozpoznávání z 3D snímku [8]

Výhody 3D snímku:

- Jednoduchý proces
- Vysoká přesnost

Nevýhody 3D snímku:

- Vysoké pořizovací náklady
- Citlivé na světlo
- Změna vzhledu může být problém [7]



Obr. 7. Rozpoznávání z termosnímku [9]

Výhody termosnímku:

- Není citlivé na světlo
- Vhodný jako dodatečná technologie k 2D nebo 3D snímkům
- Vysoká bezpečnost

Nevýhody termosnímku:

- Nestálost teploty obličeje
- Nevhodný pro samostatné použití [7]

## 1.6 Zneužití biometrických systémů

Biometrické zařízení lze napadnout dvěma směry. První směr je fyzická cesta prostřednictvím podvodné osoby, která se snaží určitým způsobem obejít toto zabezpečení. Druhým směrem je napadení biometrického systému za pomoci softwaru, kdy útočník musí mít znalosti z oblasti informačních technologií.

### 1.6.1 Zneužití fyzickou cestou

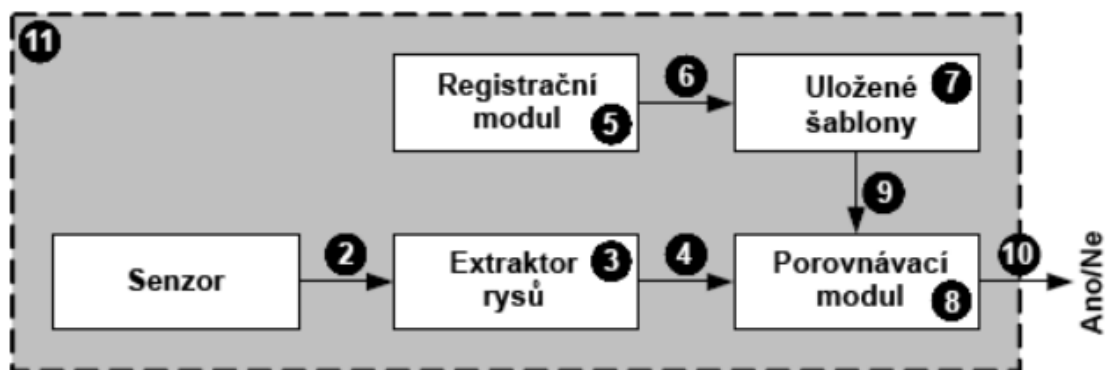
Mnoho osob se pokouší získat identitu jiné osoby, aby poté mohly páchat nelegální činnost ve svůj prospěch. Krádež identity v oblasti biometrických aplikací je často prováděna těmito způsoby: [3]

- 1. Donucením pod tlakem.** Největším rizikem je donucení oprávněného uživatele k použití biometrie proti jeho vůli jinou osobou. Do střežené aplikace či objektu pronikne neoprávněná osoba s právy oprávněné osoby. Pro příklad můžeme uvést například prozrazení PIN kódu a vydání kreditní karty pod výhružkou zaútočení zbraní. [3]
- 2. Popřením vlastní identity.** Legitimní osoba vstoupí do střeženého objektu či aplikace pod svým jménem, kde realizuje nelegální činnost. Následně tvrdí, že neznámý pachatel ukradl její identitu, kterou se prokázal u biometrického zařízení. [3]
- 3. Tajným odcizením.** Oprávněné osobě jsou bez jejího vědomí odcizeny identifikační charakteristiky a poté zneužity. Zločinec může nahrávat identifikační proces například videokamerou. Z tohoto záznamu pak může analyzovat např. PIN kód zadávaný do klávesnice, nebo obnovit, případně upravit, jiný identifikační proces jako je třeba hlasový záznam. [3]
- 4. Falzifikace a napodobení.** Neoprávněná osoba může padělat či uměle napodobit některé identifikační charakteristiky. [3]
- 5. Setrvačností.** Biometrická charakteristika, jako například otisk prstu, může zůstat na snímacím senzoru skeneru z minulého měření. Po následné aktivaci skener aplikace chybně vyhodnotí předchozí vzorek jako skutečný. Není však provedeno další snímání či dotyčná osoba není fyzicky přítomna. Tento nedostatek je řešen důsledným vynulováním (resetem) zařízení. U snímače otisku prstů je například snímací senzor opatřen posuvným krytem. Na spodní straně krytu je materiál, který otěrem čistí plochu snímacího zařízení. Před každou identifikací je kryt otevírán, čímž se

čistí plocha snímače skeneru. Další metodou zabezpečení před zneužitím je prokázání přítomnosti a živosti osoby, po níž je vyžadována identifikace či verifikace. [3]

### 1.6.2 Zneužití softwarovou cestou

Biometrické systémy musí odolávat různým typům napadení, to z nich dělá zabezpečující zařízení pro verifikaci nebo identifikaci. Mnohdy však je upřednostňována rychlost a spolehlivost před zabezpečením, a proto je nutné mezi těmito veličinami nalézt kompromis. Jednotlivé komponenty biometrického zařízení představují potenciální zranitelné místo. [1]



Obr. 8. Základní komponenty biometrického systému se zranitelnými místy [1]

- 1. Zneužitím administrátorských práv.** Někteří administrátoři mají v různých aplikacích právo tzv. superuživatele, které jim dává možnost projít bezpečnostními identifikačními procesy takovou cestou, jako kdyby ověřovaný uživatel byl pozitivně identifikován. Způsob obcházení je integrován přímo do procesní logiky aplikace tak, aby v případě, kdy je legitimní uživatel aplikací falešně odmítnut, mohl administrátor v nouzovém režimu kompetentní osobě zaručit její práva. Tento systém může však vést k zneužití superuživatelských práv. [3]
- 2. Opakované zaslání již dříve použitých biometrických údajů (replay attack).** Biometrický signál, který je v digitální podobě a jenž byl použit biometrickým zařízením nebo je uložen v databázi, je opakovaně předkládán u vstupu. [1]
- 3. Ovlivnění modulu extraktoru rysů.** Virus, jako je například trojský kůň, může způsobit vygenerování předem určené množiny rysů, která je poté (chybně) využita pro vytvoření nové šablony. [1]
- 4. Změna biometrických rysů.** Při přenosu dat mezi modulem extrakce rysů a porovnávacím modulem může dojít k prohození vysílaných dat. [1]

5. **Napadení registračního centra.** Taktéž registrační modul je zranitelným místem vůči podvodným napadením padělanými biometrickými charakteristikami. [1]
6. **Napadení přenosového kanálu mezi registračním modulem a databází.** V průběhu vysílání dat může dojít k výměně šablony, jenž má být uložena do databáze šablon. [1]
7. **Úprava biometrické šablony.** Šablona uložená v databázi může být přepsána na šablonu podvodného útočníka, čímž je útočnickovi umožněn přístup do systému. [1]
8. **Modifikace porovnávacího modulu.** Útok prostřednictvím trojského koně v porovnávacím modulu může vytvořit předem stanovené skóre porovnání pro určitou událost, čímž může podvodná osoba vstoupit do systému. [1]
9. **Napadení přenosového kanálu mezi databází uložených šablon a porovnávacím modulem.** V průběhu nahrávání šablony z databáze může být pozměněna šablona v přenosovém kanálu. [1]
10. **Změna finálního rozhodnutí.** Výsledek vygenerovaný v závislosti na zvoleném prahu a vypočteném skóre je upraven a poté použit k nahrazení výstupu získaného již dříve. [1]
11. **Napadení samotné aplikace** – Aplikace samostatně vyžadující autentizaci může být taktéž cílem útoku, čímž nastává riziko vyřazení biometrické autentizace. [1]

## 2 MIKROOBRÁBĚNÍ

Pojem mikroobrábění je definován jako obrábění v rozsahu  $10^{-3}$  až  $10^{-6}$  m. Během posledních několika let došlo ke zvýšení zájmu o mikroobrábění, jenž zaznamenal výrobní průmysl ve všech segmentech, od letectví přes lékařskou techniku či nástroje až po automobilový průmysl. [15]

Hlavním důvodem je trend miniaturizace a jeho postupný vývoj do dalších oborů. Stále větší důraz na zmenšování rozměrů klade nároky na výrobní technologie. Při zhotovování takových výrobků se používá postupně i více technologií. Například pro výrobu tepelně zpracovávaných forem se běžně používá elektro-erozivní obrábění, laserové obrábění a mikrofrézování. [15,26]

### 2.1 Základní litografické metody

#### 2.1.1 Objemové mikroobrábění

Hloubkové mikroobrábění je jedno z nejstarších forem mikroobrábění. Tato metoda je vhodná pro výrobu elektronických součástí, jakými jsou například senzory. Základním principem této techniky je odstranění určitého vzoru z povrchu desky. Základní deska slouží jako mechanický materiál, z níž jsou odstraňovány struktury podle obrazce výrobku. Obvykle se nejdříve použije technologie fotolitografie a následně se aplikují mokré leptací procesy. Mokřým leptáním nechtěné části desky vyleptáme, přičemž neovlivníme mechanické vlastnosti materiálu. Výhodou hloubkového mikroobrábění jsou nízké investiční náklady. [11]

#### 2.1.2 Povrchové mikroobrábění

Povrchové mikroobrábění je technologie, která umožňuje výrobu rozmanitých produktů. Metoda je více komplexní než objemové mikroobrábění a vyžaduje náročnější výrobní proces. Oproti objemovému mikroobrábění můžeme vytvářet daleko složitější struktury. Podstatou tohoto procesu jsou postupná kladení vrstvy, fotolitografie a leptání tenké vrstvy na povrchu desky. Používají se dva druhy nanášecích vrstev, jedna slouží pro odleptání a druhá naopak chrání proti chemickému procesu. [11]

### 2.1.3 Mikroobrábění pomocí formy

Při této technologii je vytvořena nejdříve forma. Vyrobena forma má rozměry a tvar požadovaného výrobku. Dutina formy je poté vyplněna stavebním materiálem a takto napěchovaný materiál má stejný tvar i velikost očekávaného výrobku. Nakonec forma může být odleptána nebo výrobek z formy vyjmut. Nejznámější technologií tohoto druhu je litografie. [11]

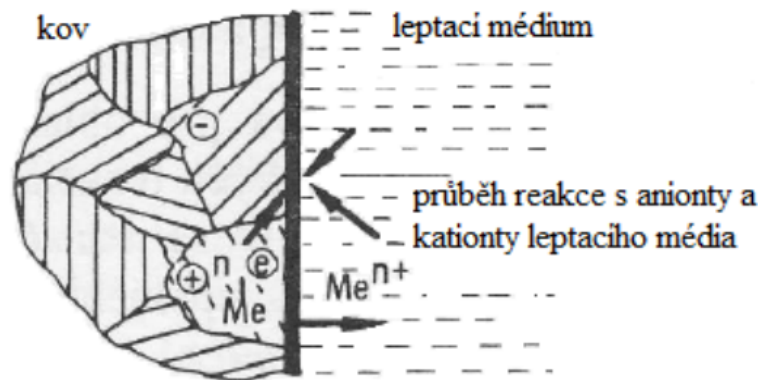
## 2.2 Chemické mikroobrábění

Chemické mikroobrábění je netradiční proces, ve kterém je materiál odstraňován pomocí silného chemického leptadla. Použití chemických látek k odstranění nežádoucího materiálu z pracovní části lze provést několika způsoby a byly také různě pojmenovány jako například leptání, litografie, chemické frézování a podobně. Všechny tyto technologie využívají chemických reakcí na povrchu materiálu. [16]

### 2.2.1 Leptání

Základním principem při tomto způsobu úběru materiálu je odleptávání jednotlivých vrstev materiálu o tloušťce setin až několik milimetrů z povrchu obrobku, které je založené na chemické reakci obráběného materiálu s pracovním prostředím, nejčastěji kyselinou nebo hydroxidem. [12]

Velmi často se touto metodou obrábí hliník a jeho slitiny, které odleptáváme v roztoku louhu NaOH o koncentraci 400 – 500 g NaOH na 1 litr H<sub>2</sub>O. Ideální teplota lázně se pohybuje v rozmezí 75-80 °C. Rychlost odleptávání je 0,01 až 0,4 mm.min<sup>-1</sup>. V závislosti na druhu materiálu dosahujeme drsnosti povrchu 0,4 až 6,3 μm. Dalšími materiály, které se obrábějí touto technologií, jsou korozivzdorné ocele, konstrukční uhlíkové ocele, slitiny mědi, titanu a hořčíku. [12,13]



Obr. 9. Princip úběru materiálu leptáním [14]

### 2.2.2 Postup leptání

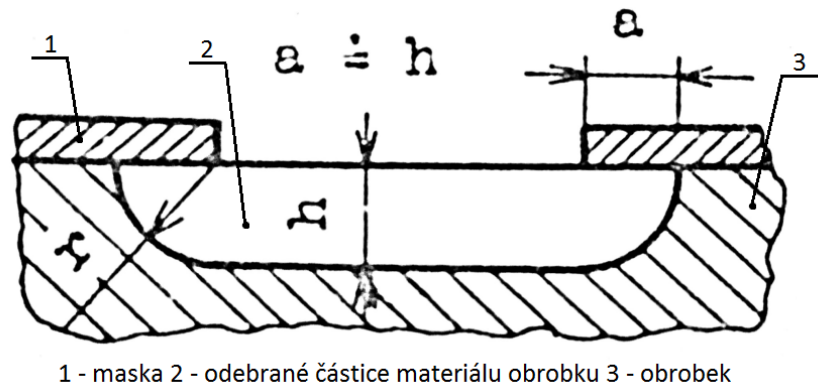
V první řadě musíme čištěním odstranit nečistoty na povrchu a odmastit obrobek některým odmašťovacím prostředkem. Následně celý povrch obrobku ponoříme do 5% roztoku alkalickeho louhu o teplotě 40 °C. Kal vytvářející se na povrchu obrobku odstraníme ponořením do 15 až 30% roztoku kyseliny dusičné. Z povrchu obrobku se tak odstraní přirozený film oxidů. Dále se pro zvýšení přilnavosti povrchu obrobku k maskovacímu ochrannému nátěru ponoří obrobek do 20% kyseliny sírové do doby, než se vytvoří na jeho povrchu vrstva oxidů o tloušťce 3 – 5  $\mu\text{m}$ . Poté se obrobek vloží do dvojchromanu draselného. Mezi jednotlivými lázněmi a na konci celého procesu se obrobek oplachuje ve vodní lázni. Pokud celý obrobek leptáme hloubkově, pak tento úkon odpadá a leptání následuje ihned po odmaštění obrobku. [12]

Na povrch obrobku, který nechceme obrobit, je nanášen ochranný nátěr z perchlorvinylových pryskyřic, polyamidových pryskyřic a speciálních laků na bázi neoprenové pryskyřice. Nátěr je nanášen v několika vrstvách o celkové tloušťce 0,15 až 2 mm. Nátěr můžeme také nahradit pryžovou maskou, která se přilepí na chráněná místa speciálním tmelem. [12]

Velikost odleptávané vrstvy je teoreticky neomezená. V praxi závisí jen na odolnosti nátěru proti chemickému narušení a na vznikajícím obsahu chemických sloučenin leptaného materiálu, který proces zpomaluje. Obvykle ochranné nátěry vydrží dobu leptání okolo 8 hodin, díky čemuž je možné leptat do hloubky 12 mm, nicméně je možné leptáním dosáhnout i 25 až 30 mm hloubky. [12]



Stejnorodý materiál se odebírá rovnoměrně ve všech směrech, čímž je způsobeno podleptání masky. Odleptání do boků  $a$  je při dobré přilnavosti ochranného nátěru přibližně stejné jako do hloubky  $h$ . Nevýhodou je, že touto technologií není možné vytvořit ostré hrany na obrobku. Přechody mezi dvěma plochami jsou zaobleny poloměrem  $r \approx h$ , viz obr. 9. [14]



Obr. 10. Princip leptání [14]

Vkládáme-li součást do leptací lázně je nutno zajistit sklon součásti pod úhlem  $45^\circ$ . Jestliže je detail zavěšen vertikálně, dochází k hromadění vodíku pod nátěrovým filmem při horním okraji obráběné plochy a tím pádem i k nepřesnosti požadovaného tvaru. [14]

### 2.2.3 Způsoby leptání

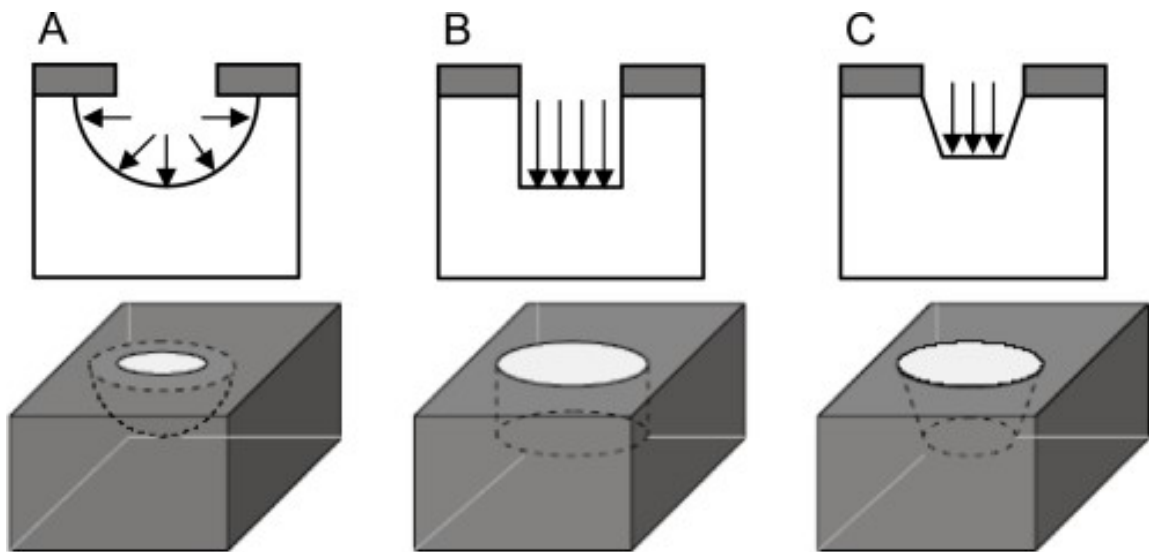
Zpracovatelská technologie křemíkových integrovaných obvodů se skládá ze sérií rovinných procesů, ale výroba většiny mikromechanických komponentů vychází z trojrozměrné stavby substrátu. Pro tento účel jsou vhodné anizotropní a selektivní leptání a litografické metody. Technologií křemíkové výroby je možné vyrábět velmi malé mechanické součástky. [14]

Existuje několik způsobů anizotropního leptání, u kterého leptací rychlost ve velké míře závisí na krystalografické orientaci monokrystalového křemíku. Alkalické roztoky jsou nejčastějšími anizotropními látkami, které se používají při vyšších teplotách. [14]

Anizotropní leptací látky způsobují silné rozpouštění ve směru kolmém na rovinu a pomalejší v směru kolmém na rovinu. Ve směru kolmém na rovinu je rychlost rozpouštění přibližně nulová. Anizotropní leptací látky vytvářejí schodíkové díry podle krystalových rovin a izotropní leptací látky zaoblené díry. Tvar anizotropní leptané díry určuje krystalová

orientace povrchové vrstvy křemíku, orientace a tvar otvorů v masce a závislost leptací látky od orientace. [14]

Dalším druhem této technologie je izotropní leptání, což definujeme jako řízené rozpouštění krystalů křemíku dotované například bórem. Je-li koncentrace bóru nad  $10^{20}$  atomů na  $\text{cm}^3$  je významně omezeno působení rozpouštědla. Tento fakt se účinně využívá pro vertikální strukturaci křemíkových vrstev. Vrstvy s vyšší příměsí bóru je možné využít jako vrstvy, které slouží pro zastavení leptání, například při výrobě rentgenových masek, křemíkových membrán nebo masek na iontovou nebo elektronovou litografii. [14]



Obr. 11. Způsoby leptání [23]

*A – izotropní leptání, B – suché anizotropní leptání, C – mokré anizotropní leptání*

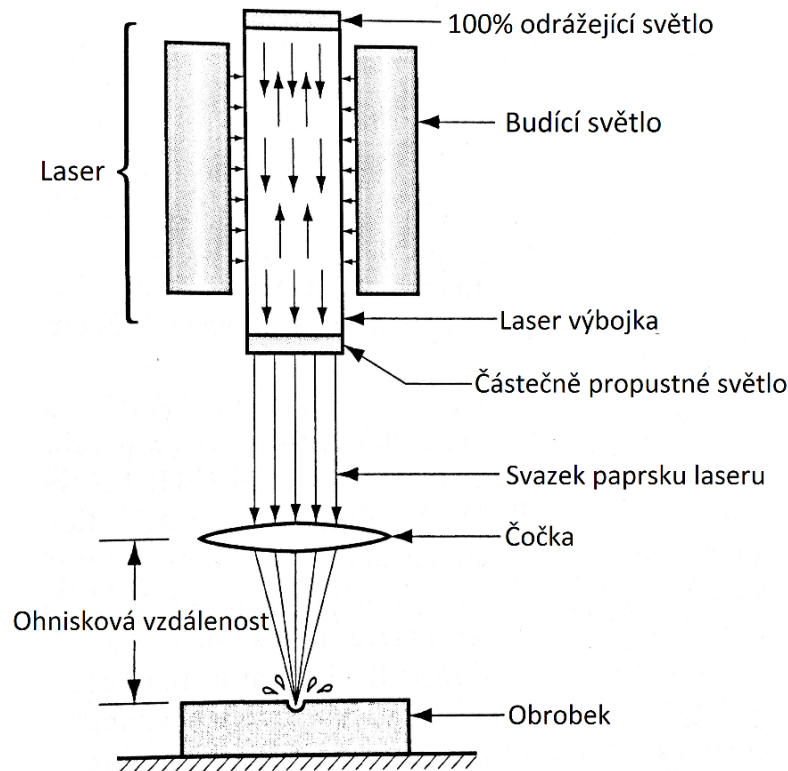
## 2.3 Laserové mikroobrábění

Slovo laser pochází z anglického pojmenování metody zesílení (**L**ight **a**mplification by **s**timulated **e**mission of **r**adiation). Laser je zařízení, jenž funguje na základě kvantové mechaniky, vytvářející záření se specifickými vlastnostmi. Aplikace laserových technologií je v praxi velké množství. Využívá se v oborech vědy, techniky, strojírenství, medicíny, v zábavním průmyslu a podobně. Například v medicíně zastupuje významnou oblast zejména pro výrobu stentů, kde laserové mikroobrábění má důležitou roli. [16,21]

### 2.3.1 Princip laseru

Laser je optický převodník, který převádí elektrickou energii na vysoce koherentní světelný paprsek. Laserový paprsek má několik vlastností, které jej odlišují od jiných forem svět-

la. Laser vyzařuje monochromatické (světlo má stejnou vlnovou délku) a vysoce kolimující světlo (paprsky ve svazku jsou téměř dokonale rovnoběžné). Tyto vlastnosti umožňují světelným paprskům generovaným laserovým zařízením, aby se pomocí konvenčních optických čoček koncentrovaly na velmi malé místo obrobku, což vede k soustředění velkého množství energie na malou plochu. Množství energie je ovlivněno stupněm koncentrace světelných paprsků v daném místě. [16]



Obr. 12. Princip laserového zařízení [16]

Světelný paprsek vyzářený laserem je až 100 000krát intenzivnější než světlo, kterým byl ozářen. V místě dopadu se světelná energie mění na tepelnou energii o vysoké hustotě až  $10^8 \text{ W}\cdot\text{mm}^{-2}$ . Zářením laserového paprsku nastává ohřívání na teplotu až  $10\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ , čímž dochází k roztavení případně odpaření materiálu obrobku. [12,13]



Obr. 13. Pracovní proces laseru [13]

Obrábění laserovým paprskem se používá k různým typům operací jako je vrtání, řezání, gravírování a označování. Tato technologie není vhodná pro velkovýrobu, využívá se spíše při menších sériích a kusové výrobě. [16]

Rozsah pracovního materiálu, který lze obrábět pomocí laserového paprsku, je prakticky neomezený. Mezi ideální vlastnosti materiálu vhodné pro obrábění laserem patří vysoká světelná absorpce energie, nízká odrazivost, dobrá tepelná vodivost, nízké měrné teplo, nízká teplota tání a nízká teplota vypařování. Běžně jsou laserem opracovávány těžkoobrobitelné materiály, měkké kovy, průvlastky z diamantu, karbidy, keramiky, skla, plasty, gumy, textilie, dřevo a podobně. [16]

Výhody:

- Jednoduchá regulace výkonu a snadné ovládání laseru
- Obrábění bez nástrojů, odpadá jejich údržba
- Vysoká přesnost a malý teplotní vliv na obrobek
- Seřízení a přípravné práce jsou rychlé a nenáročné [17]

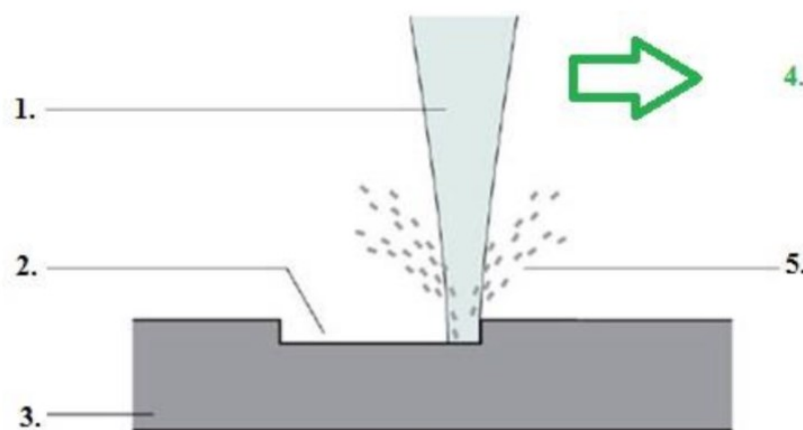
Nevýhody:

- Vysoké investiční náklady

- Nízká účinnost laseru v rozmezí 0,1 až 30 % s výjimkou polovodičových laserů, jejichž účinnost se pohybuje okolo 80 % [12]
- Přísná bezpečnostní opatření

### 2.3.2 Gravírování laserem

Při gravírování laserem se pracuje s krátkými a silnými impulsy laseru. Výkony jsou tak velké, že povrch materiálu se začne tavit a odpařovat nebo se rozpadne. Využívají se různá laserová zařízení s nízkým energetickým výkonem, která dostačují pro vytvoření čitelné gravury na povrchu obrobku. Gravírovat laserem lze téměř všechny materiály. Pro gravírování organických materiálů (kůže, dřevo atd.) nebo materiálů s podobnou krystalickou strukturou jsou vhodné CO<sub>2</sub> lasery s vyšší vlnovou délkou, kdežto pevnolátkové Nd:YAG lasery s nižší vlnovou délkou se používají pro plastové a kovové materiály. [19,18]



1 - Laserový paprsek, 2 – Gravura, 3 – Obrobek,  
4 – Směr obrábění, 5 – Odštěpený materiál

Obr. 14. Princip gravírování [18]

#### 2.3.2.1 Způsoby gravírování

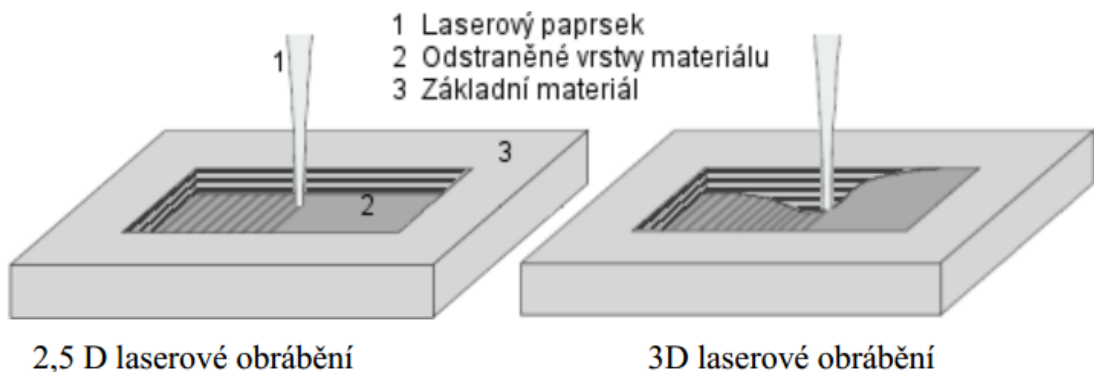
Gravírování má v oblasti laserového mikroobrábění velké zastoupení. Laserovým paprskem je možné vytvořit jakýkoliv obrazec, což je využíváno při popisování a značení. Nejjednodušším způsobem gravírování je hloubkové gravírování 2D, kde laser působí kolmo na vrstvu obrobku a odebírá materiál. Ne vždy se však spokojíme pouze s 2D obráběním, proto se používají další metody pro výrobu složitějších profilů (například šikmé

okraje motivu), které označujeme jako 2,5 D laserové obrábění. Uplatňuje se například ve sféře fotovoltaiky, kde je neustálý vývojový postup. [18,21]



Obr. 15. Příklad 2D laserového mikroobrábění

Další variantou gravírování laserem je odebrání materiálu na povrchu obrobku s proměnlivou tloušťkou odebraného materiálu v různých místech. Vytváříme tak tvarové vybrání s definovanou hloubkou a označujeme tuto metodu jako 3D obrábění, viz obr. 16. Tento způsob obrábění lze využít na rovné nebo i tvarové plochy. Tloušťka odebraného materiálu se pohybuje v rozmezí několika milimetrů až po několik mikrometrů. [20]



Obr. 16. Laserové mikroobrábění [20]



Pro 2,5D i 3D laserové mikroobrábění je nutné provádět tyto operace na laserových strojích s vysokou kvalitou svazku, vybavených speciálním softwarem a systémem posuvu ohniska paprsku do hloubky materiálu. [18]

### 2.3.2.2 Laserové gravírovací plottery

Laserové gravírovací plottery jsou oproti ostatním klasickým gravírovacím plotterům jedny z nejmodernějších a postupně je i vytlačují. Nejvíce se využívají na gravírovacích plotterech CO<sub>2</sub> lasery. Produktem je poté trvalý a přesný popis, odstranitelný pouze hrubou silou. Laserové gravírovací plottery se využívají zejména na výrobu reklamních produktů (z různých materiálů: skla, dřeva, koženky, guma a různé kovy) jako jsou například turistické známky, přívěšky, trofeje, tácy. [23]



Obr. 17. Příklad laserového gravírovací plotteru [22]

Výhody:

- Nesmazatelnost, trvalost výrobku
- Zhotovení složitých profilů a jejich vysoká kvalita, přesnost
- Rychlost obrábění
- Bezkontaktní technologie
- Malé ovlivnění materiálu
- Lze přidat pigmenty a ovlivnit tak pohledovou část obrobeneho povrchu

## 2.4 Mikroobrábění frézou

Frézování obecně je jednou z nejpoužívanějších metod pro obrábění tvarových a rovinných ploch v oblasti třískového obrábění.

### 2.4.1 Podstata mikrofrézování

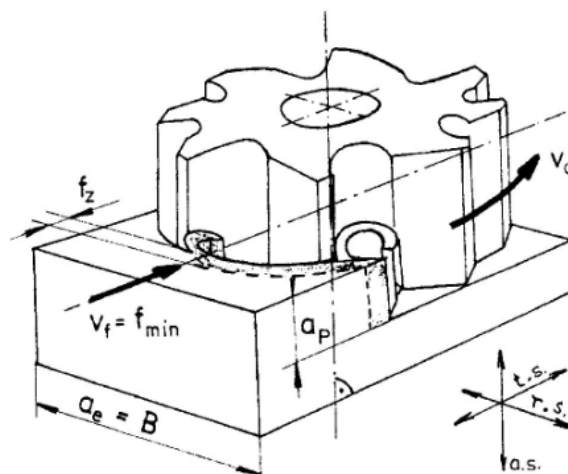
Při frézování se materiál obrábí nástrojem, který je označován jako fréza. Fréza vykonává hlavní řezný rotační pohyb. Vedlejší řezný posuvný pohyb vykonává zpravidla obrobek. V průběhu jedné otáčky každý břit frézy alespoň jednou vniká do obrobku a jednou ze záběru vychází, nástroj tedy pracuje přerušovaně. Při vniknutí břitu frézy do obrobku je podroben silnému rázu a taktéž je namáhán teplotními rázy. Z výše uvedeného důvodu je potřeba zohlednit tyto odchylnosti, aby byly nepříznivé jevy potlačeny na minimum a mohlo se tak efektivně využít této technologie. [12,25]

### 2.4.2 Rozdělení mikrofrézování

Podle osy otáčení frézy zabírající do materiálu obrobku rozeznáváme mikrofrézování čelní a válcové. Válcové mikrofrézování dále dělíme na sousledné a nesousledné.

#### 2.4.2.1 Čelní mikrofrézování

Při čelním mikrofrézování je odebírán materiál obvodem i čelem frézy či frézovací hlavy. Rotační osa nástroje je kolmá na obrobenou plochou. Tento způsob frézování je produktivnější oproti válcovému frézování. [25]

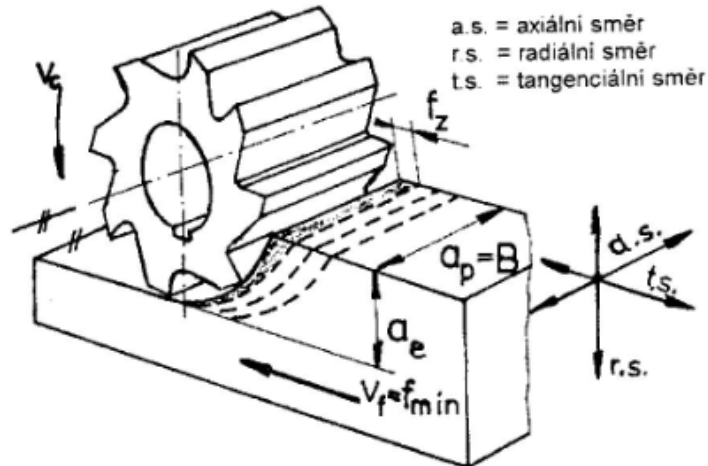


Obr. 18. Čelní frézování [25]



### 2.4.2.2 Válcové mikrofrézování

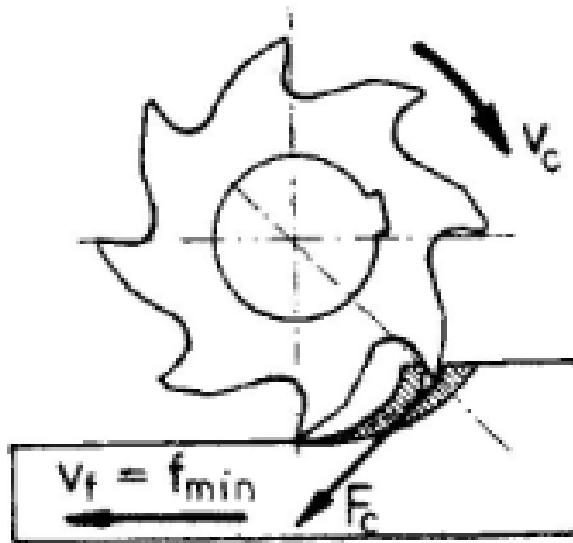
Při válcovém mikrofrézování je odebrán materiál obvodem nebo tvarem frézy. Osa nástroje je rovnoběžná s obráběnou plochou. [25]



Obr. 19. Válcové frézování [25]

- **Válcové mikrofrézování sousledné**

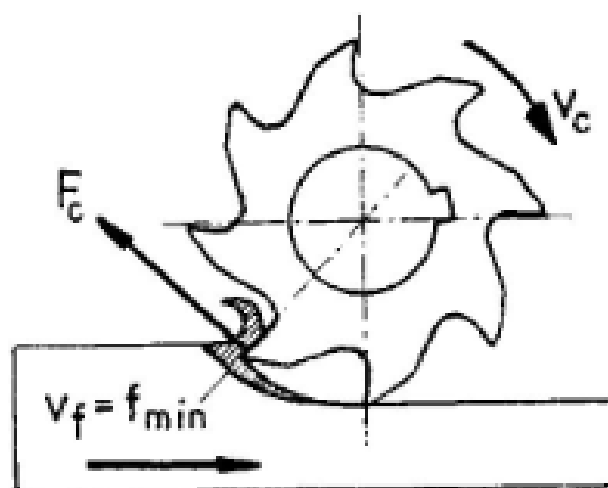
Fréza se otáčí ve směru posuvu obrobku. Velikost třísky odebírající z materiálu se od maximální hodnoty zmenšuje až na hodnotu nulovou při výběhu břitu frézy ze záběru. Výslednice řezných sil působí směrem do stolu stroje, ale složka této výslednice má tendenci vtáhnout obrobek pod nástroj. Z tohoto důvodu je potřeba sousledné frézování aplikovat na novějších strojích, u kterých je vymezena vůle v posuvovém mechanismu. Tato metoda má nižší potřebný řezný výkon, vyšší trvanlivost břitu nástroje, menší sklon k vytváření nestability a lepší drsnost povrchu. [13]



Obr. 20. Sousedné mikrofrézování [25]

- **Válcové mikrofrézování nesousledné**

Nástroj je otáčen v opačném směru oproti pohybu obrobku. Každý břit frézy odebírá materiál od minimální tloušťky třísky po tloušťku maximální, která je dána záběrem zubu. Tříška se vytváří po určitém skluzu břitu frézy po ploše na obrobku vytvořené předcházejícím břitem. Kvůli tomu vznikají další silové účinky a deformace, což vyvolává zvýšené opotřebení břitu. Výslednice řezných sil působí směrem nahoru a má tendenci odtrhnout obrobek od stolu. [13]



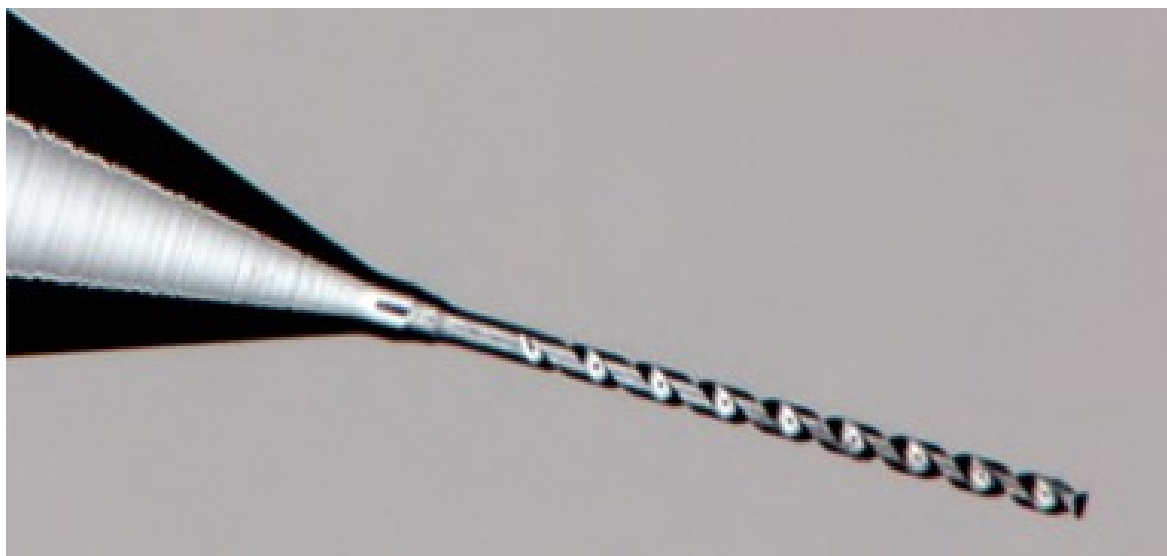
Obr. 21. Nesousledné mikrofrézování [25]

### 2.4.3 Požadavky na mikrofrézování

Pro splnění žádané kvality a přesnosti v mikrofrézování za odpovídajících hospodářských podmínek musí být celý proces optimalizován.

#### 2.4.3.1 Nástroje

Miniaturní frézy jsou charakteristickými prvky mikrofrézování. V závislosti na zadání výrobku mohou být frézy od 0,1 – 3 mm. Při použití takto malých fréz jsou vřetena s 10 000 ot.min<sup>-1</sup> příliš pomalé a proto je nutné otáčet s nástrojem v rozmezí 20 000 – 150 000 ot.min<sup>-1</sup> a udržet tak životnost nástroje a kvalitu povrchu obrobku. [15]



Obr. 22. Fréza pro mikroobrábění [28]

#### 2.4.3.2 Vřetena

Vřeteno musí být stabilní s minimální teplotní roztažností a odolné vůči házení. Jakákoliv vibrace nebo házení na hrotu nástroje bude mít nepříznivý vliv na kvalitu povrchu a přesnost. [27]

#### 2.4.3.3 Stroje

Obráběcí stroje pro frézování se obecně nazývají frézky, vyrábějí se ve velkém počtu druhů a různých provedení. Podle základní konstrukce se dělí na frézky:

- Konzolové
- Stolové

- Rovinné
- Speciální

Každý stroj pro mikrofrézování musí mít přesný a citlivý posuvový mechanismus. Mikrofrézování můžeme provádět na 5osých CNC frézkách, které nám umožňuje naklonit nástroj a také použít kratší nástroje. Nicméně kontinuální frézování 5osým CNC strojem je v současné době méně přesné než frézování s 3osým CNC a proto je nutno ověřit, zda 5osé CNC zadanou geometrii i jakost na výrobku zvládne. [27]



*Obr. 23. Příklad 3osé frézky pro mikrofrézování [29]*

Konečný výsledek hotového výrobku bude ovlivněn aspekty jako jsou: [15]

- Volba obráběcího stroje
- Volba řezného nástroje
- Pracovní prostředí
- Upevnění nástroje
- Tuhost obráběcího stroje

Výhody

- Vyšší úběr materiálu

Nevýhody

- Nelze frézovat ostré rohy
- Riziko zlomení nástroje
- Nízká trvanlivost nástroje

#### 2.4.4 Gravírování frézou

Jak již bylo uvedeno v 2.3.2 Gravírování laserem, podstata technologie gravírování je stejná, jen zde není materiál odebrán laserem, nýbrž speciálními frézami nebo diamantovými hroty. Jde tedy o třískové obrábění, které probíhá na CNC frézkách či gravírovacích plotterech. [23]



*Obr. 24. Aplikace gravírování [24]*

##### 2.4.4.1 Gravírovací plottery

Gravírovací plottery jsou softwarem řízené stroje. Tato zařízení mají velkou tuhost konstrukce a posuvový mechanismus vedený krokovým motorem a z toho odvozující vysokou přesnost. Jakost povrchu je dána velikostí posunu frézovací hlavy na jeden krok motoru. Kvalitní gravírovací plottery dosahují posunu 0,01 mm/krok. [23]



Obr. 25. Příklad mechanického gravírovacího plotteru [30]

## 2.5 Elektrojiskrové mikroobrábění

Elektrojiskrové mikroobrábění je jedna z nejpoužívanějších metod v okruhu nekonvenčních metod obrábění. Tato technologie spočívá v plynulém oddělování miniaturních třísek v důsledku vzniku elektrické jiskry, která nataví či případně vypaří třísku a dále se dopravuje dielektrikem. Úběr materiálu z obrobku se provádí pomalým posuvem elektrody do obrábějící plochy. [12]

Elektrojiskrové mikroobrábění se používá jako dokončovací metoda pro výrobu různých jemných geometrií tepelně zpracovávaných forem po frézování. Dále se uplatňuje při výrobě vstřikovacích trysek spalovacích motorů, dýz hořáků a podobně. [12,15]

## 2.6 Mikroobrábění pomocí iontového paprsku

Tato technologie spočívá v účinku kinetické energie iontů působících ve vakuu na obráběný materiál. Hloubka úběru materiálu závisí na hustotě proudu iontů. Zdrojem proudu iontů je většinou argon, jenž je ionizován elektrony vyzařovanými z katody. Na povrch obrobku působí ionty s velkou kinetickou energií a vypuzují atomy materiálu pružnou sráž-

kou částic. Výhodou tohoto zpracování je, že nevytváří teplo a nevzniká tak na povrchu vrstvy mechanická deformace. [17]

Technologie se převážně využívá pro přípravu matric ve výrobě integrovaných obvodů a při čištění a hlazení povrchu. Pomocí iontového paprsku se přes speciální masku provádí gravírování při výrobě integrovaných obvodů a reaktivní a plasmové leptání v oblasti výroby polovodivých součástí v submikronové oblasti. [17]

Touto metodou je možno obrábět všechny materiály včetně diamantu, optického skla a podobně. [17]

### 3 SOUHRN TEORETICKÉ ČÁSTI

Pro uvedení do problematiky této bakalářské práce jsem v první kapitole teoretické části rozebral biometrii obecně. Seznámil jsem čtenáře s nejznámějšími biometrickými technologiemi využívanými ve světě. Byla probrána podstata těchto moderních systémů a také jsem zmínil několik aplikací v praxi. Na konci kapitoly byly představeny nejznámější metody zneužití biometrických systémů.

V druhé kapitole jsem se zabýval problematikou mikroobrábění. Byly probrány nejznámější metody mikroobrábění jako je chemické či laserové mikroobrábění a mikrofrézování. Popsal jsem metodu gravírování, kterou využijeme v praktické části. Ke každé technologii jsem uvedl materiály, které jsou danými technologiemi obrobitelné a představil některá jejich využití v průmyslu.



## **I. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 REPLIKACE PAPILÁRNÍCH LINIÍ

V praktické části jsem se pokusil obejít zabezpečení biometrickou čtečkou. Pro tento účel jsem vytvořil umělý otisk prstu, který je poskytnut od mého spolužáka. V úvodu praktické části znázorním základní body práce, kterými probíhala výroba biometrické matrice gravírováním. Tyto kroky jsou podrobněji rozebrány v dalších částech.



*Obr. 26. Postup technologie*

1. V prvním bodu je nasnímán otisk prstu spolužáka na biometrické čtečce, ze které získáme fotografii s podrobnými papilárními liniemi.
2. Fotografie je převedena do formátu SVG (vektorové grafiky) pomocí konvertoru.
3. V CAM programu NX je naprogramován pohyb nástroje a podmínky obrábění.
4. Výroba biometrické matrice gravírováním.
5. Příprava odlévacího materiálu a zalití negativní matrice.
6. Vyjmutí odlitku otisku a následné vyhodnocení biometrické matrice na čtečce otisku prstu.

### 4.1 Popis čtecího zařízení

Prvním krokem praktické části bylo zvolit vhodné biometrické zařízení, na kterém jsem mohl detailně naskenovat otisk prstu a následně s tímto otiskem pracovat. Zároveň tato čtečka otisku prstu bude sloužit v konečné fázi pro vyhodnocení vyrobených falzifikátů otisku prstu.

Po důkladném hledání vhodného biometrické zařízení na internetových obchodech, jsem zvolil jako nejvhodnější biometrickou čtečku tu od firmy ZKTeco typ SLK20R. Tato čtečka slouží pro ochranu dat v PC.

Pro tuto čtečku jsem se rozhodl na základě kritérií, jakými jsou:

- Cena
- Kompatibilita s uživatelským operačním systémem Windows 10
- Přenosnost
- USB zapojení
- Optický snímač

#### 4.1.1 Technické parametry

Technické parametry jsou uvedeny v Tab. 1

*Tab. 1. Technické parametry biometrické čtečky ZKTeco SLK20R [31]*

<b>Typ senzoru</b>	Optický
<b>Dotyková plocha</b>	16,5 x 23mm
<b>Snímací plocha</b>	15,24 x 20,32 mm
<b>Velikost obrázku</b>	300*400
<b>Rozlišení (dpi)</b>	500
<b>Rozhraní</b>	USB 2.0, kompatibilní s USB 1.1
<b>Operační systémy</b>	Windows XP / Vista / 7/8/10 (32/64 bit), Android
<b>Dodávané napětí</b>	5V, dodávaným USB
<b>Provozní prostředí</b>	-20 ° C až 50 ° C
<b>Natočení prstu</b>	360°
<b>Rozměry zařízení</b>	49 x 44 x 20,1 mm

#### **Funkce biometrické čtečky:**

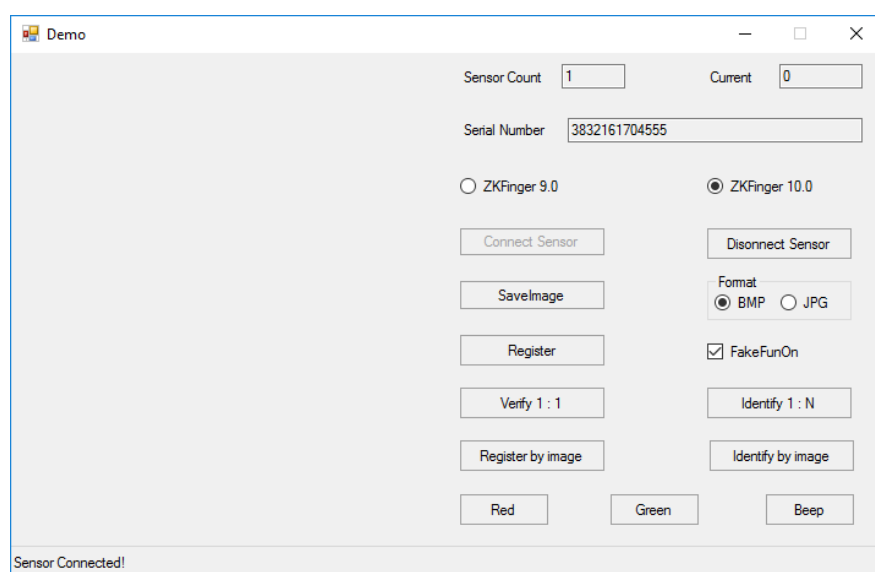
- Stabilní provoz pod silným světlem
- Ochranná funkce proti falešným otiskům prstů
- Vysoké rozlišení obrázku
- Rychlé rozpoznání suchých, mokrých a drsných otisků prstů
- Vysokorychlostní USB 2.0



Obr. 27. Biometrická čtečka ZKTeco SLK20R

#### 4.1.2 Uživatelské prostředí biometrické čtečky

Po nainstalování softwaru k biometrické čtečce do počítače můžeme spustit aplikaci a již provádět zkušební identifikace či verifikace. Software nabízí funkce jako je registrace, verifikace, identifikace nebo uložení otisku prstu ve formátu BMP či JPG. Taktéž tu jsou funkce jako registrace nebo identifikace fotkou otisku prstu, avšak tyto funkce se mi nepodařilo zprovoznit.



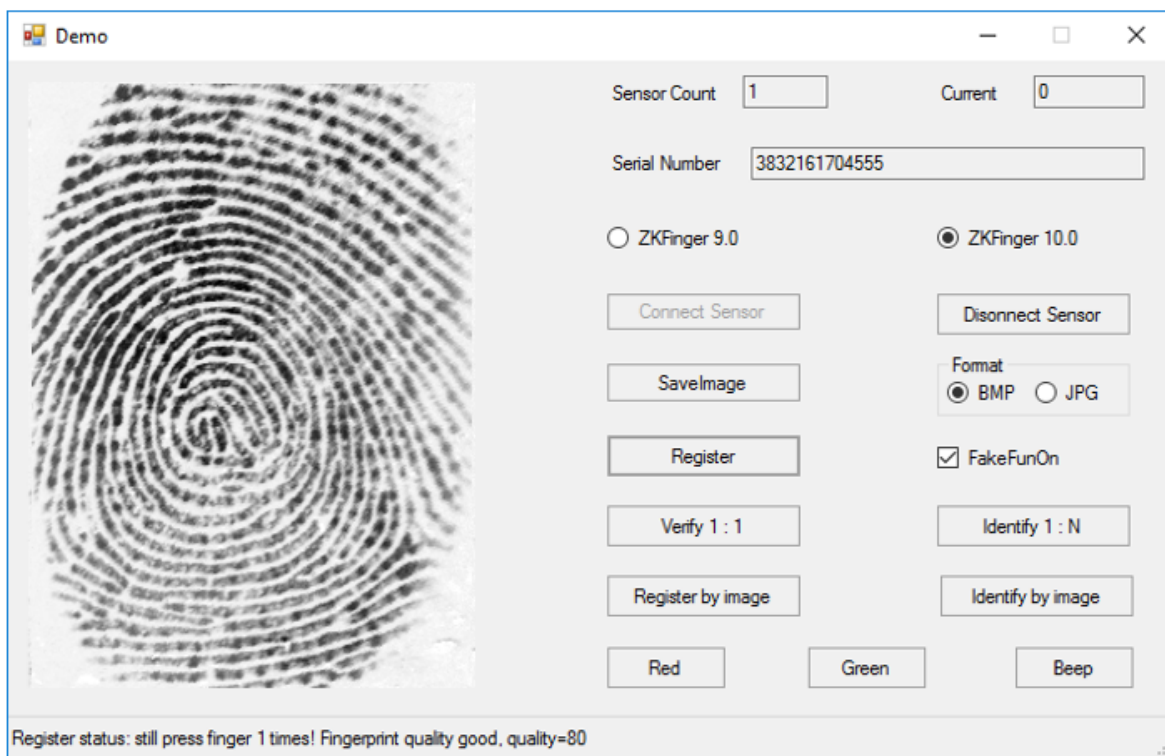
Obr. 28. Uživatelské prostředí biometrické čtečky

## 4.2 Převod do digitální podoby

V této části popíši, jak jsem převedl otisk prstu do počítačové podoby a jeho následnou úpravu v softwarech.

### 4.2.1 Postup snímání otisku prstu

Samotné snímání otisku prstu je velmi jednoduché. Uživatel při prvním měření vybere příkaz "Register" a poté třikrát přiloží prst ke snímací ploše čtečky. V případě neúspěšného sejmutí otisku prstu software čtečky vyzve k opětovnému sejmutí otisku. Úspěšně nasnímaný otisk se uloží do systému a následně se již uživatel může podle požadavků verifikovat či identifikovat. Každý nasnímaný otisk se zobrazí na ploše aplikace, viz obr. 29. Díky možnosti uložení nasnímaného obrázku jsem získal digitální podobu otisku prstu.



Obr. 29. Registrovaný otisk prstu



*Obr. 30. Porovnání skutečného a digitalizovaného otisku prstu*

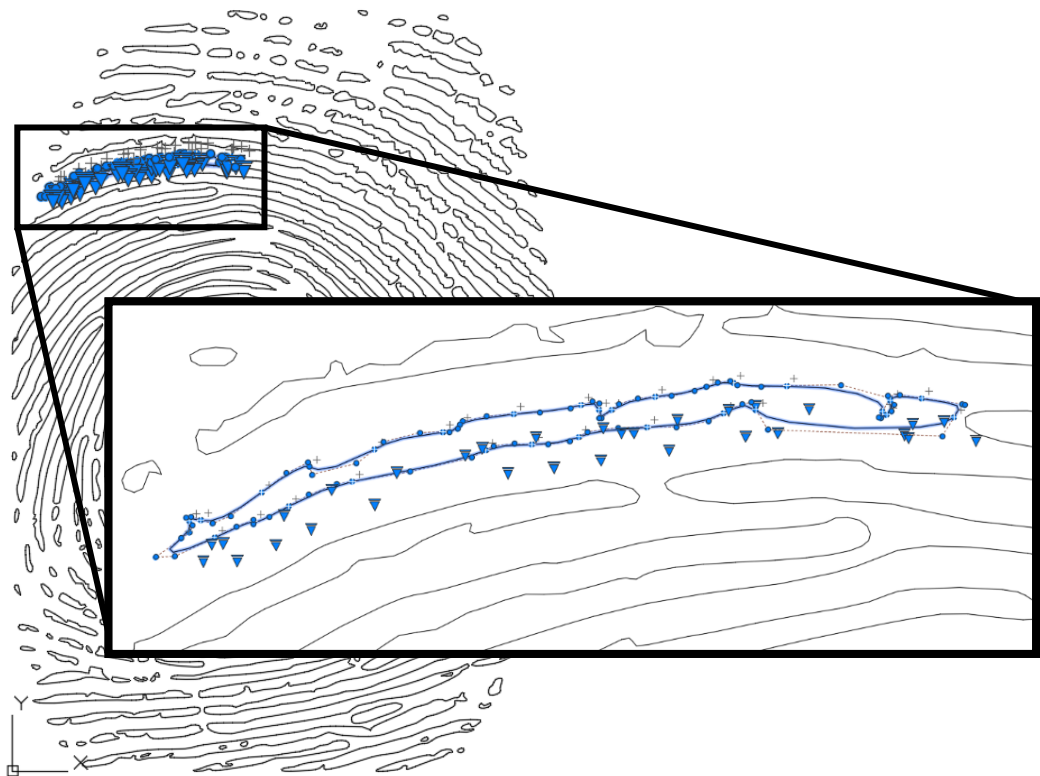
#### **4.2.2 Převod formátu fotografie**

Z důvodu následných pracích v CAM programu musí být fotografie převedena z rastrové grafiky (formát jpg) do vektorové grafiky (formát svg). Obrázek ve formátu JPG jsem nahrál na webové stránky, které jsou určené k převodu formátu JPG do SVG. Po načtení obrázku jsem dostal na výběr několik možností úprav, jako jsou počet barev v obraze, rozostření, minimální plocha obrazu, apod. Tento postup jsem opakoval na několika dalších volně dostupných konvertorech z internetu a vybral nejlepší obraz.



*Obr. 31. Převod fotografie otisku prstu do vektorové grafiky*





Obr. 32. Převod do křivek a detail křivky papilární linie

#### 4.2.3 Hodnocení kvality převodu

Při převodu některých křivek došlo k určité míře zkreslení. Jak je vidět na obr. 33, některé křivky se v horní části otisku vůbec nevykreslily. Uprostřed otisku se některé papilární linie slily do jednoho velkého obrazce. Ve spodní polovině levé části snímku došlo k zúžení papilárních linií a na pravé části se opět vykreslila pouze přerušovaná papilární linie.



Obr. 33. Nedostatky při převodu

## 5 VÝROBA MATRICE

V této kapitole je uveden postup obráběcí strategie nástroje v CAM systému NX 10 od firmy Siemens, řezné podmínky a konečné zhotovení matrice na CNC frézce.

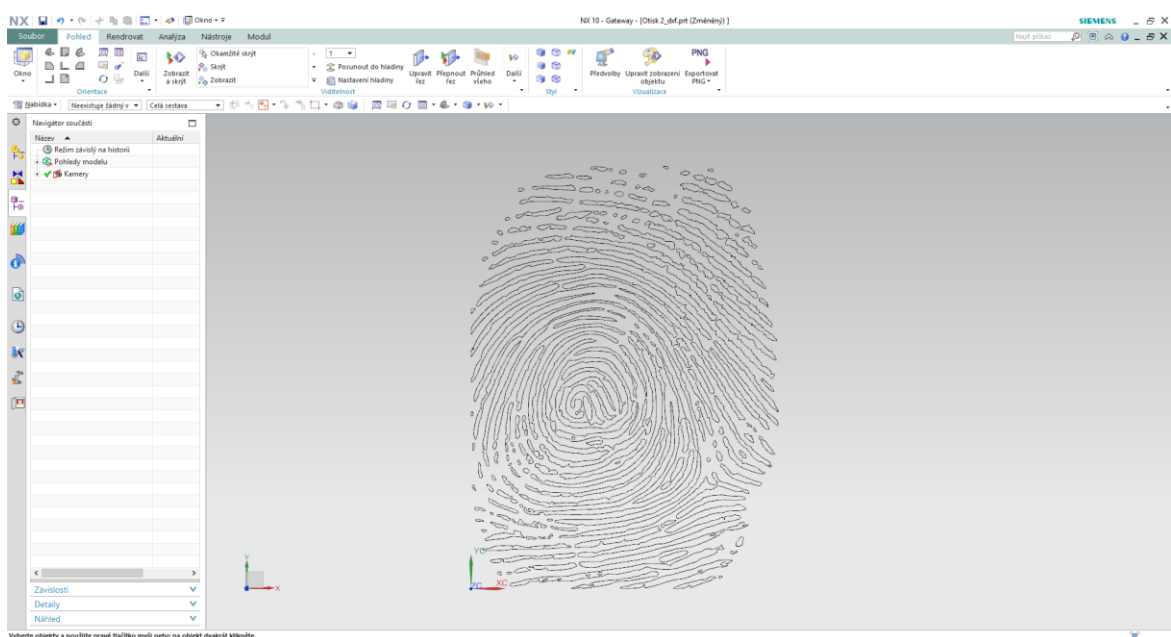
### 5.1 NX 10

Software NX je CAx systém, který je založen na jednotném, otevřeném a moderním technologickém základě. Uvažuje s veškerými parametry procesu vývoje produktu od jeho konstrukce až po výrobu, čímž se stává vysoce výkonným řešením pro celkové urychlení vývoje výrobku ve všech jeho fázích: Průmyslový design, Konstrukce, Simulace, Dokumentace, Nástroje, Obrábění. [32]

Využití CAD/CAM/CAE představují v příslušném průmyslovém odvětví nejširší řadu integrovaných a plně asociativních řešení, která v kombinaci s řešením NX pokrývají celý rozsah vývojových procesů v oblasti designu produktů, výroby a simulace. NX poskytuje kompletní sestavu nástrojů pro integraci automatizace procesů a umožňuje tak uživatelům shromažďovat a opětovně využívat znalosti o výrobcích a procesech.[32]

### 5.2 Programování CNC frézky

V této části předvedu postup obráběcí strategie nástroje pro výrobu matrice. Křivky byly v systému otevřeny ve formátu SVG.

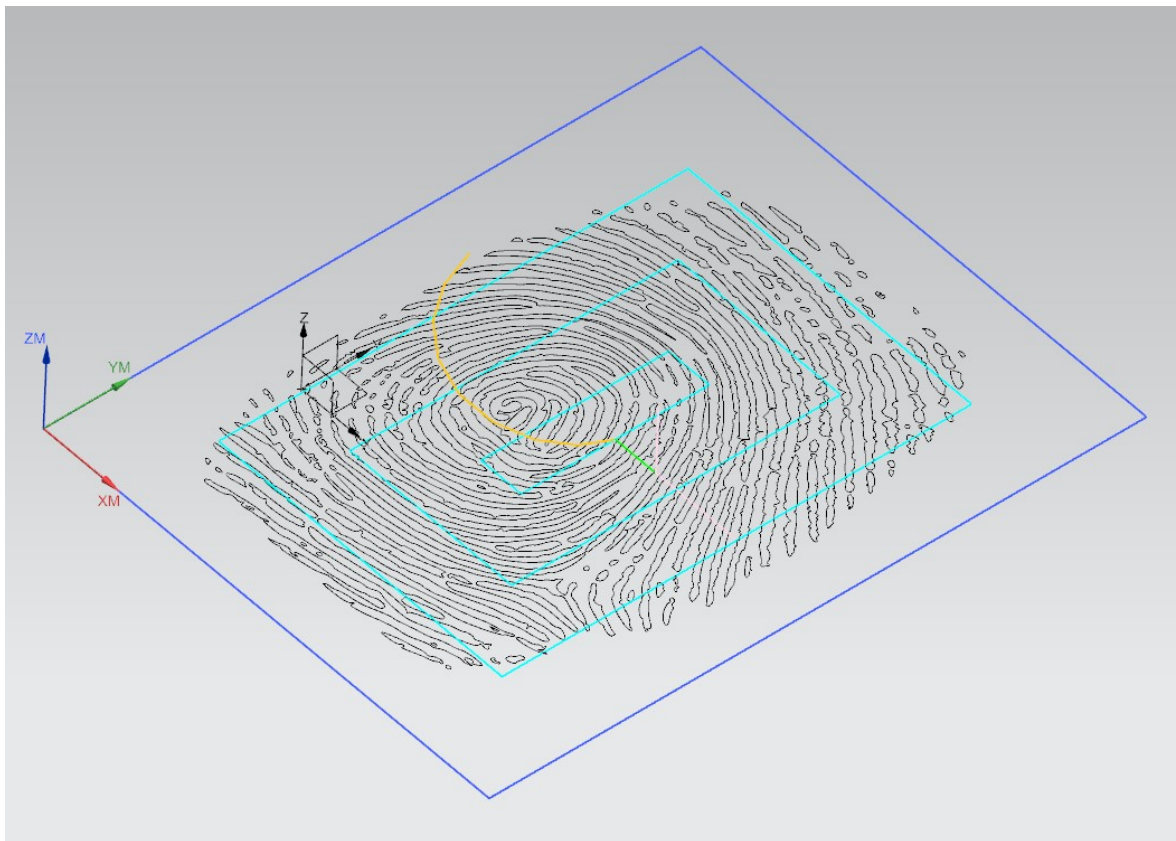


Obr. 34. Pracovní prostředí CAM systému NX po vložení vektorové grafiky

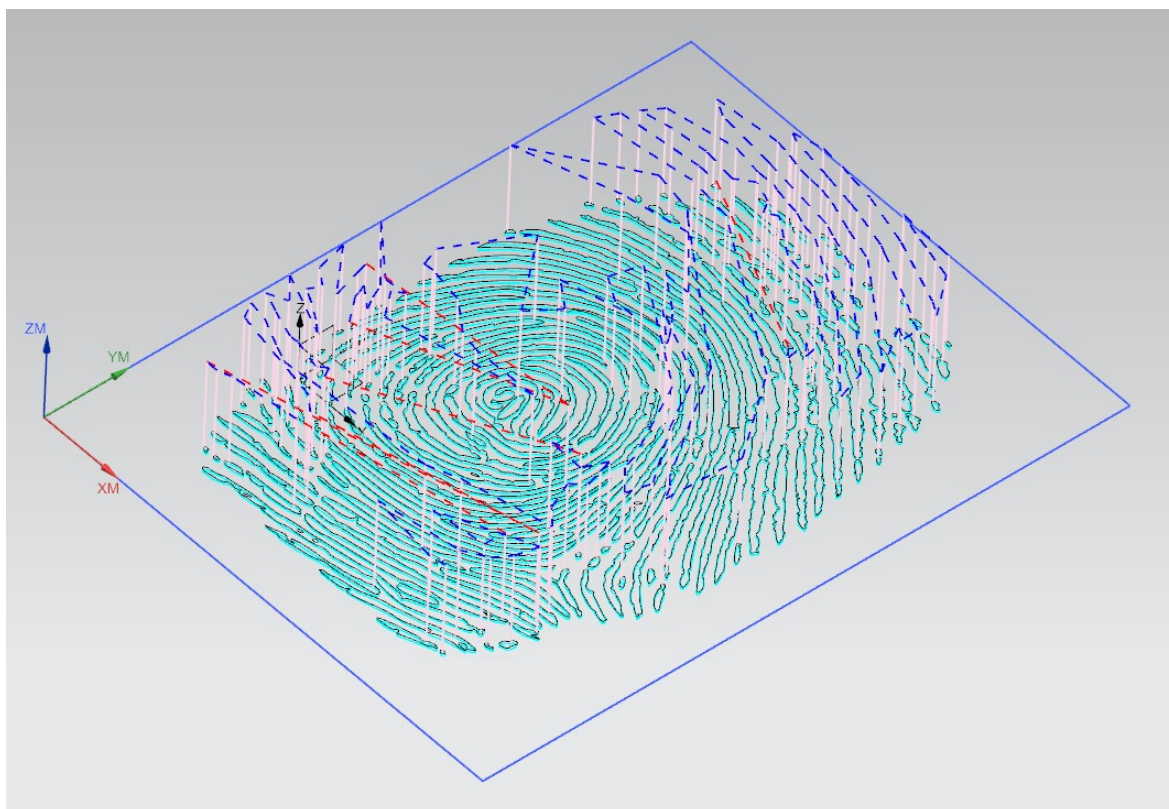


Prvním krokem bylo načtení souboru otisk\_2.svg v systému NX. V dalším kroku jsem v hlavní nabídce zvolil záložku "Modul" a vybral režim obrábění, který je určen pro tvorbu obráběcí strategie nástroje. Následně jsem v menu obráběcího prostředí zvolil příkazy cam\_general a mill\_planar.

Nástroje byly načteny ze školní knihovny a byly vybrány UTB TOROIDNI D8R1 společně s operací PLANAR MILL k vyfrézování technologického rámu a UTB GRAVIROVACI D4A60 s operací COUNTOURTEXT k vygravírování papilárních linií.



Obr. 35. Dráha nástroje pro frézování technologického rámu



Obr. 36. Dráha nástroje pro gravírování papilárních linií

Název	Změna nástroje	Nástroj	Čas
NC_PROGRAM			00:01:35
Nepoužívané položky			00:00:00
P1			00:00:17
PLANAR_MILL		UTB_TOROIDNI_D8R1	00:00:05
P2			00:01:19
CONTOUR_TEXT		UTB_GRAVIROVACI_D4A60	00:01:07

Obr. 37. Výsledný operační strom

### 5.3 Seznam použitých nástrojů

Parametry gravírovacích fréz jsou uvedeny v tab. 2. Na obr. 38 a 39 můžeme vidět jednotlivé gravírovací frézy.

Tab. 2. Seznam použitých nástrojů

Nástroj	Průměr nástroje [mm]	Úhel špičky [°]
Gravírovací fréza č. 1	4	120
Gravírovací fréza č. 2	6	150



Obr. 38. Gravírovací fréza č. 1 od firmy SECO



Obr. 39. Gravírovací fréza č. 2

## 5.4 Řezné podmínky

Matrice byla gravírována při těchto řezných podmínkách:

Tab. 3. Řezné podmínky

Parametr	Hodnota
Otáčky	12000 min <sup>-1</sup>
Posuvová rychlost	2500 mm/min
Hloubka záběru	0,1 mm

## 5.5 Obráběcí stroj

Biometrická matrice byla vygravírována na CNC frézce HWT C-442. Obráběným materiálem byl dural. Technické parametry CNC frézky jsou uvedeny v tabulce 4.

*Tab. 4. Technické parametry CNC frézky HWT C-442*

<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Obráběcí prostor (XxYxZ)	400 mm x 400 mm x 200mm
Velikost upínací plochy (XxY)	500 mm x 500 mm, 8 mm T-drážky
Programovatelná rychlost posuvu	Max. 3 m/min
Programovatelný krok	0,00625 mm
Otáčky vřetena	2000-25000 ot./min
Max. upínací průměr nástroje	10 mm
Motor vřetena	1000 W univerzální
Řídící jednotka	PC
Napájení	230 V/50 Hz
Příkon	2300 VA
Vnější rozměry (šxhxv)	1200 mm x 1000 mm x 1400 mm
Hmotnost	410 kg
Materiál obrobku	Grafit, plasty, dřevo, barevné kovy
Max. hmotnost obrobku	20 kg



*Obr. 40. CNC frézka HWT C-442*

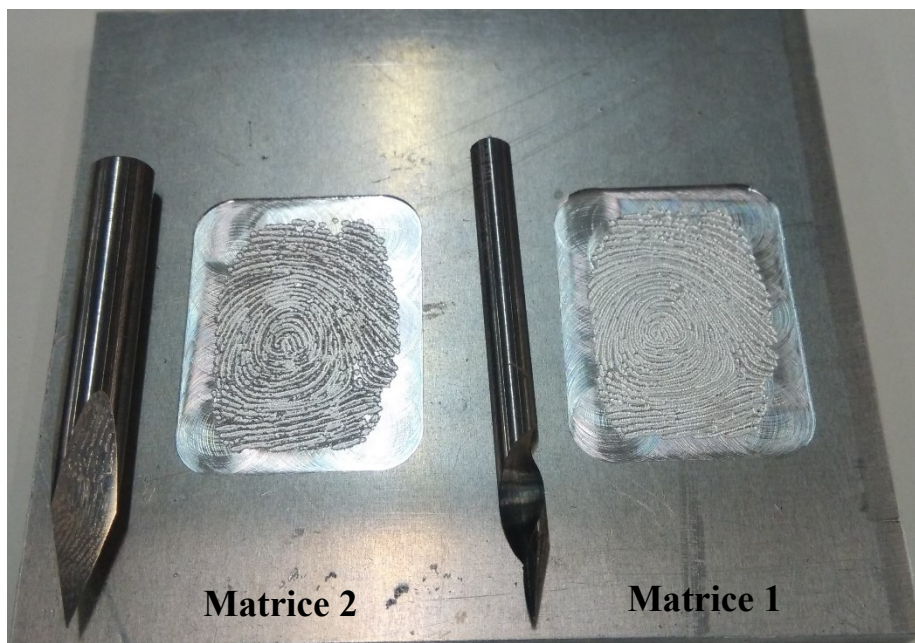
Hloubka papilárních linií byla 0,1 mm.



*Obr. 41. Obrábění matrice na stroji*

Na obr. 42 jsou matrice po obrábění. Matrice 1 byla obráběná klasickou gravírovací frézou a matrice 2 byla obráběná gravírovací frézou od firmy SECO.





*Obr. 42. Matrice po obrábění*

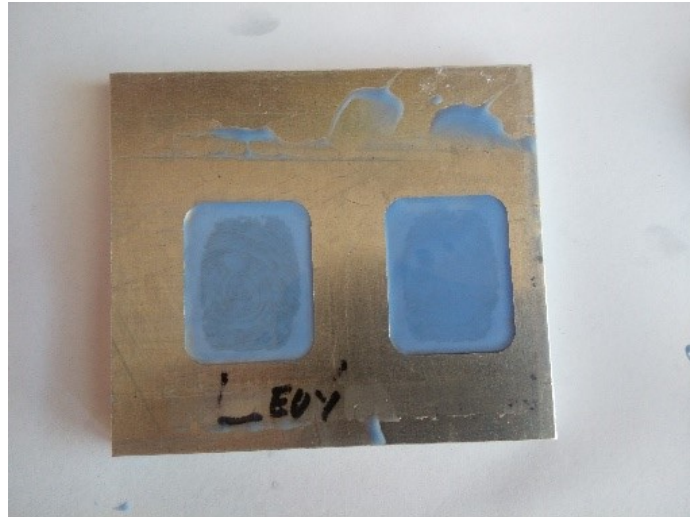


*Obr. 43. Detail biometrické matrice*

## **5.6 Odlévací materiály a postup tvorby odlitku**

Pro výrobu odlitku byly použity dva odlévací materiály. Prvním odlévacím materiálem je silikonová hmota Lukopren N Super, což je dvousložkový silikonový kaučuk s výbornou

zatékavostí a věrností otisků. Pro vytvoření čtyř odlitků je potřeba namíchat minimálně 5 g silikonové pasty s katalyzátorem v poměru 100:3,5. Doba zasychání 1mm vrstvy trvala okolo 12 hodin.



*Obr. 44. Matrice zalité Lukoprenem*

Druhým materiálem byl tekutý latex. Tento odlévací materiál nebylo třeba předem připravovat, pouze se odlil do matrice a po několika hodinách v závislosti na tloušťce vrstvy materiál zaschnul s dokonalým otiskem matrice. Po zaschnutí se tento materiál stal transparentním.



*Obr. 45. Matrice zalité tekutým latexem*

## 5.7 Výroba matrice pomocí termoplastu

Pro porovnání matric jsem vyrobil matrice jinou technologií. Další matrice jsem vytvořil pomocí nízkotavitelného plastu pod obchodním názvem Polymorph, který měkne při teplotě 60 °C.

Při této technologii byla výroba matrice velmi jednoduchá. Pro vytvoření jedné matrice s dostatečnou rezervou jsem potřeboval přibližně 4 g Polymorphu. V dalším kroku byla tato navážka ponořena do horké vody na několik minut. Po minutě ponoření v horké vodě změkl termoplast natolik, že bylo možno měnit jeho tvar. V teplé vodě jsem z termoplastu vymodeloval kvádr. Doplnil jsem horkou vodu a po 30 sekundách natavený termoplast vytáhl a okamžitě do něj obtiskl prst. Obtisknutí prstu do plastu je nejdůležitějším krokem této technologie, jelikož rozhoduje o kvalitě výsledné matrice. Prst musí být zatlačen do termoplastu přiměřeným tlakem a po několika vteřinách termoplast začíná tuhnout. Nevýhodou při této technologii je fakt, že musí být k dispozici prst s otiskem, který chceme replikovat.



*Obr. 46. Vyrobena matrice z termoplastu*



## 6 TESTOVÁNÍ MATRICE A ČTECÍHO ZAŘÍZENÍ

V této kapitole vyhodnotím strukturu povrchu matrice a pokusím se identifikovat otisk prstu spolužáka pomocí odlitku otisku prstu na biometrickém čtecím zařízení.

### 6.1 Hodnocení struktury povrchu matrice

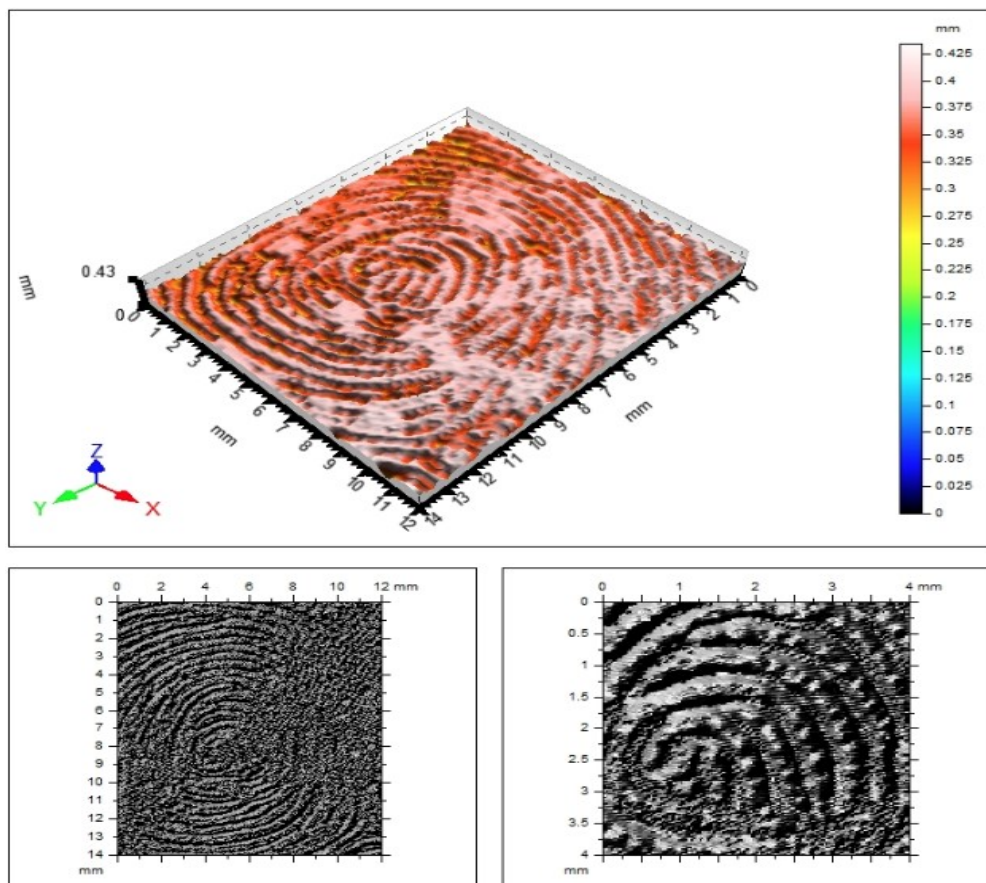
Pro vyhodnocení struktury povrchu byly matrice změřeny na přístroji Talysurf CLI 500. Důvodem tohoto měření bylo zjistit, s jakou přesností se podařilo papírní linie vytvořit.



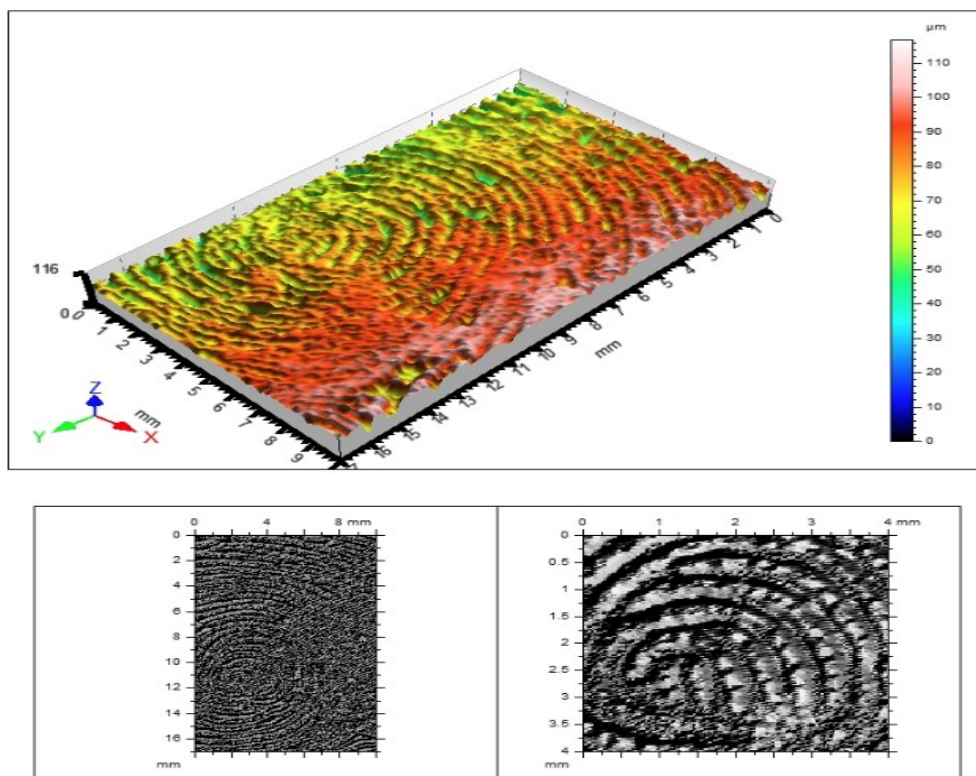
Obr. 47. 3D měřicí přístroj Talysurf CLI 500

Tab. 5. Technické parametry přístroje Talysurf

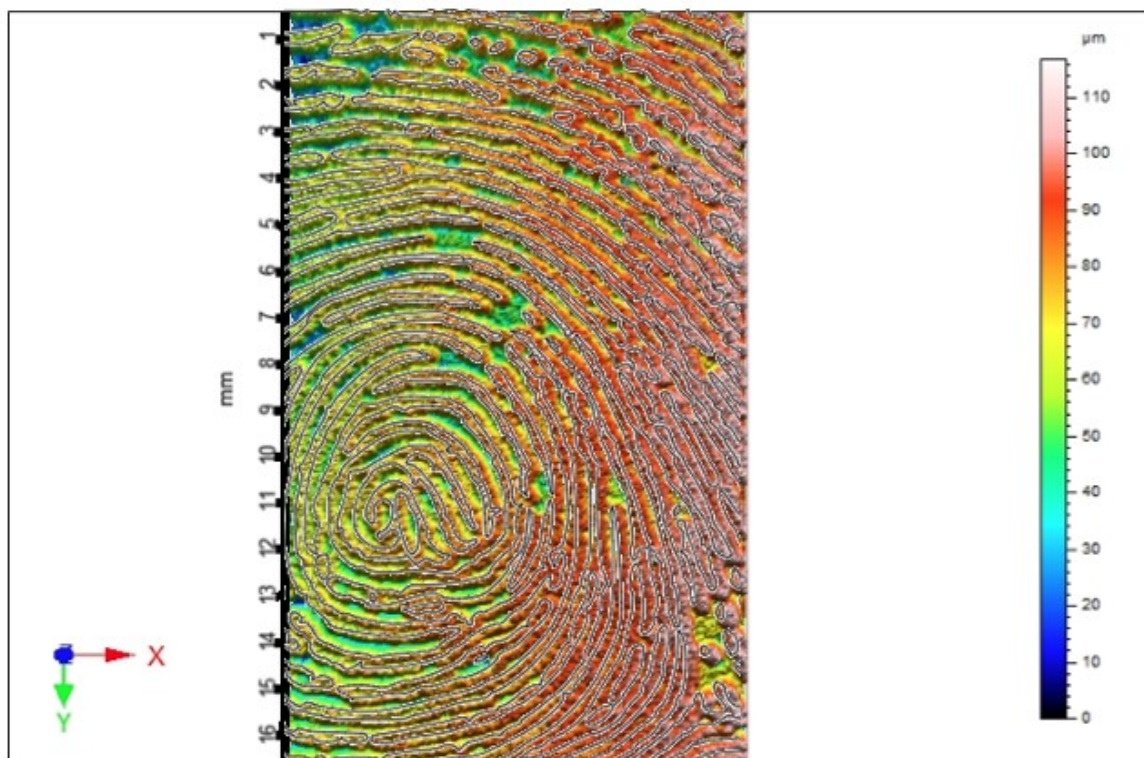
Parametr	Hodnota
Měřicí prostor (XxYxZ)	50 mm x 50 mm x 50 mm
Délka posuvu	50mm
Maximální hmotnost	10kg



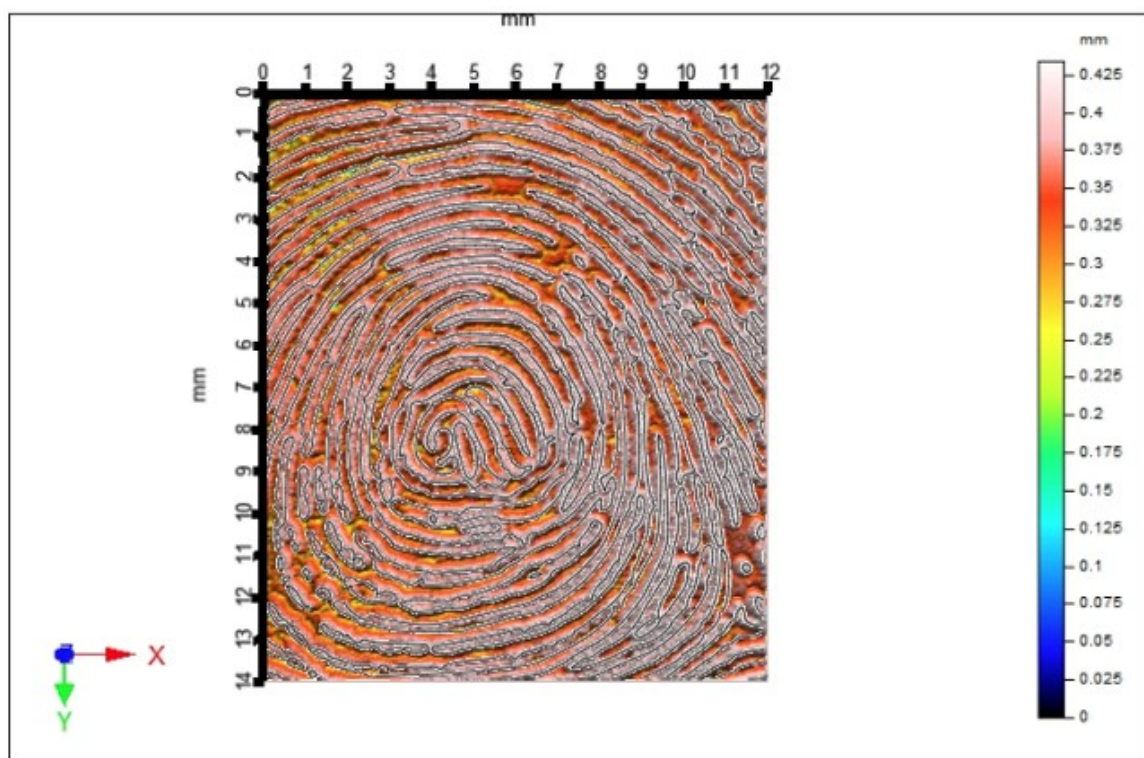
Obr. 48. Struktura povrchu matrice 2



Obr. 49. Struktura povrchu matrice 1

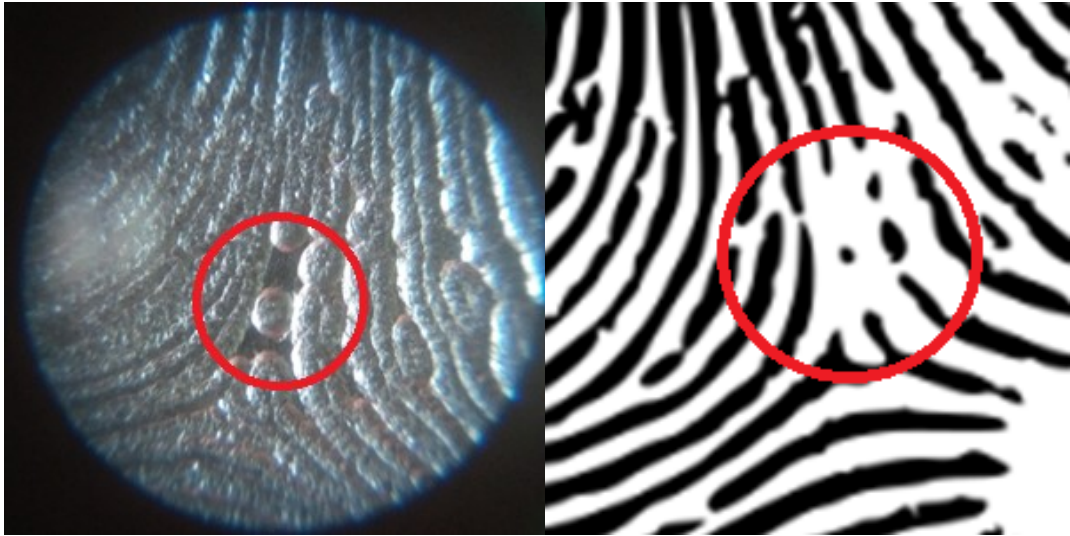


Obr. 50. Půdorys matrice 1 proložené vektorovými křivkami



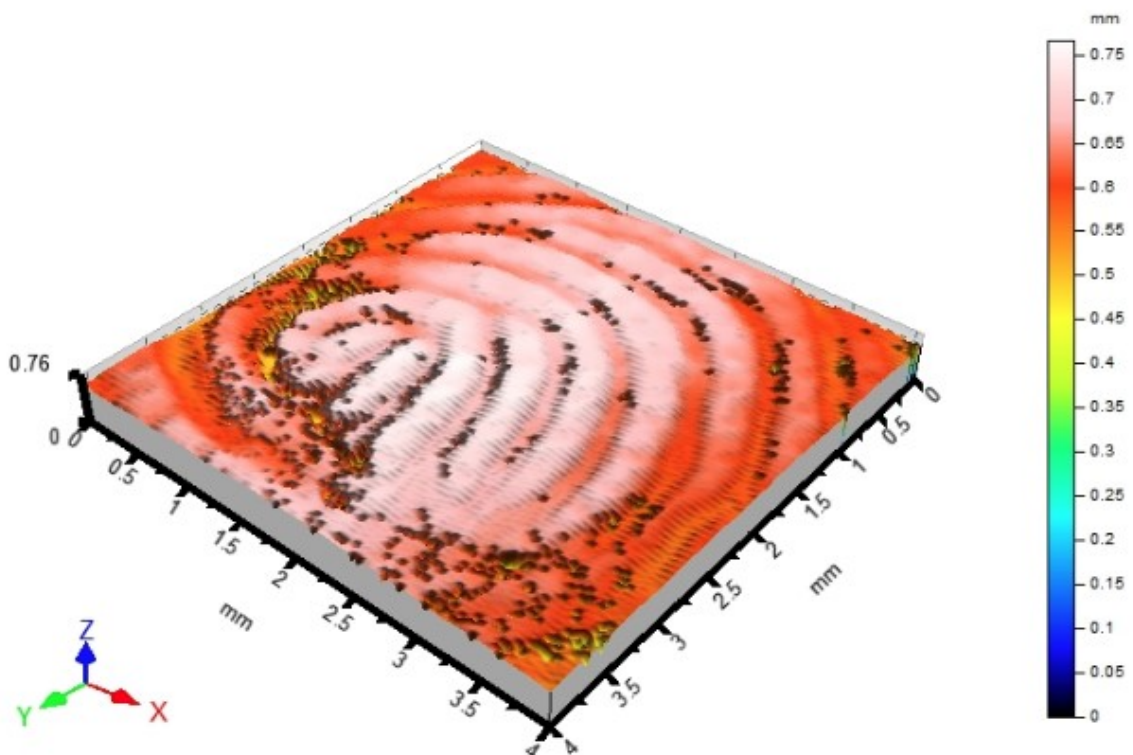
Obr. 51. Půdorys matrice 2 proložené vektorovými křivkami



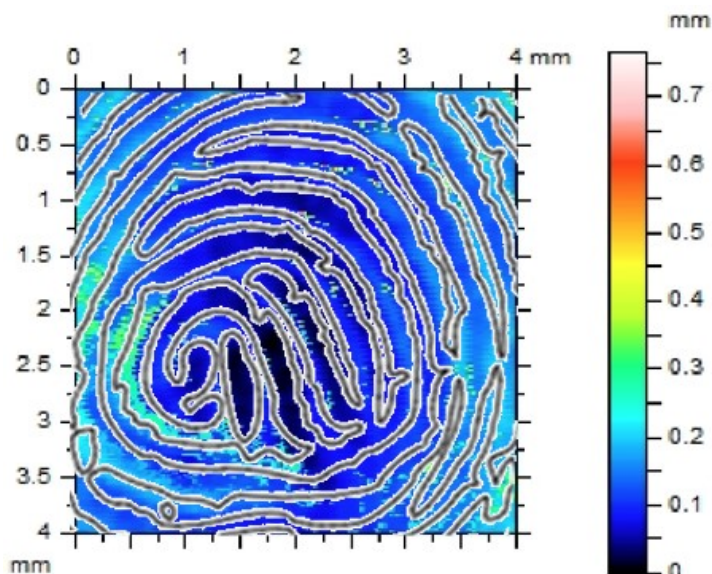


*Obr. 52. Nedostatky při technologii gravírování*

Matrice 2 ve srovnání s matricí 1 měla horší kvalitu povrchu. U matrice 2 je vidět na obr. 48 mnoho nedostatků v podobě neodebraného materiálu na místech prohlubní. V celkovém pohledu má matrice 1 těchto nedostatků méně a má jemnější strukturu povrchu. Pro gravírování papilárních linií tedy měla gravírovací fréza od firmy SECO lepší výsledek.



*Obr. 53. Struktura povrchu matrice z Polymorfu*



Obr. 54. Půdorys matrice z Polymorfu proložené vektorovými křivkami

Matrice z Polymorfu vypadá geometricky velmi přesně. Problémem však je slití prohlubní a výstupků, viz obr. 53, což způsobí zkreslení při vytváření odlitku. Kvalita jednotlivých matric vyrobených touto technologií je velmi proměnlivá, jelikož záleží na tlaku, kterým je prst do termoplastu přitlačován.

## 6.2 Testování na biometrickém zařízení

Při pokusu identifikovat otisk prstu spolužáka pomocí odlitků z matric vyrobených gravírováním na čtečce otisku prstu nebyl úspěšný žádný otisk prstu. Níže jsou uvedeny obrázky získané z biometrického čtecího zařízení.



Obr. 55. Neúspěšně identifikované otisky prstu z matrice 1



*Obr. 56. Neúspěšně identifikované otisky prstu z matrice 2*

Při pokusu identifikovat mého otisku prstu pomocí odlitků z matric vyrobených z termoplastu Polymorf na čteče otisku prstu byl zaznamenán velký počet úspěšně přijatých otisků. V tomto případě se tedy biometrické čtecí zařízení podařilo oklamat.



*Obr. 57. Úspěšně identifikované otisky prstu z matrice z Polymorphu*



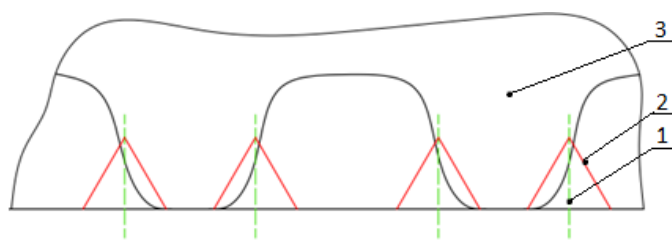
## 7 DISKUZE EXPERIMENTU

Pokus identifikovat otisk prstu spolužáka pomocí odlitku z matrice vyrobené gravírováním nebyl úspěšný. Určité chyby zkreslení nastaly již při převodu snímku otisku do vektorové grafiky. Domnívám se však, že tyto chyby nebyly natolik zásadní, aby se experiment nepovedl. Biometrické zařízení vyhodnocuje určitou shodu linií a markantů, nikoli dokonale identický otisk.

Za důvod neúspěchu považuji nevhodně zvolenou technologii. Hlavním problémem při této technologii bylo, že nástroj se pohyboval pouze po hranicích mezi výstupky a prohlubněmi papilárních linií. Při výrobě negativní matrice nástroj částečně odebíral výstupky, které neměly být obráběny, a částečně byly nedokončeny prohlubně. Pro názornost tohoto problému jsem vytvořil schéma, viz obr. 58 a 59. Tento problém výslednou maticí ovlivnil do té míry, že biometrická čtečka nebyla schopna úspěšně přijmout odlitek z této matrice.

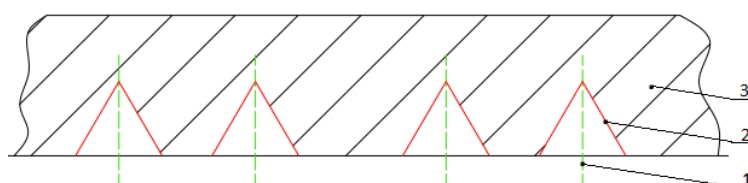
Tato vada by se mohla korigovat, pokud bychom do otisku prstu vektorové grafiky přidaly další křivky, například v programu Autocad pomocí příkazu offset. Nástroj by tak přejížděl po další křivce, čímž by v prohlubních byl odebrán celý materiál.

Pro úspěšné přijetí na biometrické čtečce vidím jako nejlepší řešení zvolení jiné technologie, například vyleptáním nebo otiskováním papilárních linií a následným zalitím takto vyrobené matrice.



1 – Osa nástroje, 2 – Stopa po nástroji, 3 – Papilární linie

Obr. 58. Schéma profilu papilárních linií proložený pohybem nástroje



1 – Osa nástroje, 2 – Stopa po nástroji, 3 – Deska

Obr. 59. Schéma profilu vygravírování papilárních linií v desce

## 8 ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce byla výroba biometrické matrice s dokonalou kopií otisku prstu.

V praktické části byl realizován cíl bakalářské práce. Bylo popsáno biometrické zařízení a ovládání tohoto zařízení. Demonstroval jsem postup snímání otisku prstu s následnou digitalizací do počítačové podoby. Pomocí konvertoru jsem převedl snímek otisku prstu z rastrové grafiky do vektorové grafiky, viz v příloze otisk prstu.

Upravený soubor s otiskem prstu převedený do vektorové grafiky jsem spustil v CAM systému NX, v němž jsem naprogramoval obráběcí strategii nástroje. Tento program jsem poté použil pro obrábění na školní CNC frézce. Do duralové desky byly vygravírovány dva otisky prstu, každý jinou gravírovací frézou. Vytvořené matrice byly změřeny na přístroji Talysurf pro vyhodnocení struktury povrchu. V posledním kroku byly matrice zality Lukoprenem a tekutým latexem. Po zaschnutí materiálu v matrici jsem tak získal odlitek otisku prstu.

Biometrickou matrici jsem mimo jiné vytvořil také pomocí nízkotavitelného termoplastu.

Odlitky z matric byly použity pro identifikaci na biometrickém čtecím zařízení. Matrice vyrobené gravírováním nebyly v žádném případě přijaty z důvodu velmi špatné kvality snímaného otisku prstu. Naopak matrice vytvořené pomocí nízkotavitelného termoplastu byly však úspěšně přijaty téměř ve všech případech.

Jak je vidět z této práce, biometrické zařízení je možné poměrně jednoduše oklamat a zneužít ve svůj prospěch. Výroba umělého otisku prstu nemusí být náročná, ani finančně nákladná.

Podobné útoky na biometrická zařízení budou v dnešní době moderních technologií čím dál častější. Z těchto důvodů důkladně zvažujme, jakým způsobem zabezpečujeme svá data.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] DRAHANSKÝ, Martin a Filip ORSÁG. *Biometrie* 1. vyd. [Brno: M. Dražanský], 2011, 294 s. ISBN 978-80-254-8979-6
- [2] BITTO, Ondřej. *Šifrování a biometrika, aneb, Tajemné bity a dotyky*. Kralice na Hané: Computer Media, 2005, 168 s. ISBN 80-86686-48-5.
- [3] RAK, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008, 631 s., 32 s. barev. obr. příl. Profesionál. ISBN 978-80-247-2365-5.
- [4] *FAQ -Hand Geometry. 360 biometrics*. [online]. © 2011 [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://360biometrics.com/faq/Hand-Geometry-Biometrics.php>
- [5] *Biometrie - biometriky*. [online]. [cit. 19-12-2016]. Dostupné z: <http://www.biometricke-ctecky.cz/biometriky/>
- [6] *Biometrie - krevní řečiště*. [online]. [cit. 19-12-2016]. Dostupné z: <http://www.biometricke-ctecky.cz/biometriky/krevni-reciste/>
- [7] KONČICKÝ, Martin. *Biometrický snímač otisků prstu*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013, 70 s. (78 233 znaků). Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/24672>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav bezpečnostního inženýrství. Vedoucí práce Drga, Rudolf.
- [8] *University of Surrey - Centre for Vision, Speech and Signal Processing*. [online]. [cit. 19-12-2016]. Dostupné z: <http://cvssp.org/faceweb/facialBiometric/>
- [9] *Thermal Infrared Face Recognition – A Biometric Identification Technique for Robust Security systém*. [online]. [cit. 19-12-2016]. Dostupný z: <http://www.intechopen.com/books/reviews-refinements-and-new-ideas-in-face-recognition/thermal-infrared-face-recognition-a-biometric-identification-technique-for-robust-security-system>
- [10] NĚMEC, Bohuslav a kol. *Učebnice kriminalistiky*. Praha: Ministerstvo vnitra, Hlavní správa Veřejné bezpečnosti, Kriminalistický ústav, 1959. díl 1., sv. 2. Kriminalistická technika. 1959. s. 547-1117.

- [11] RAI-CHOUDHURY, P. *Handbook of microlithography, micromachining, and microfabrication*. Institution of Electrical Engineers. Piscataway; N.J., 1997. 692 s. ISBN 0-85296-911-2
- [12] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. *Výrobní inženýrství a technologie*. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014, 173 s. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [13] HOLEŠOVSKÝ, František. *Obrábění a montáže*. Ústí nad Labem, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2012, 237 s. ISBN 978-80-7414-530-8.
- [14] MIČIETOVÁ, A. *Nekonvenčné metódy obrábania*. Žilina, Žilinská univerzita v Žilíně, 2001, 376 s. ISBN 80-7100-853-2.
- [15] SHANAHAN, J. *Trends in Micro Machining Technologies*. [online]. [cit. 17-1-2017]. Dostupný z: <https://www.makino.com/about/news/Trends-in-Micro-Machining-Technologies/315/>
- [16] GROOVER, MIKELL P. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials Processes, and Systems*. 5th ed. Hoboken, NJ: J. Wiley, 2013 ISBN 978-1-118-23146-3.
- [17] MORÁVEK, Rudolf. *Nekonvenční metody obrábění*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, 1999, 102 s. ISBN 80-7082-518-9.
- [18] Značení a gravírování kovových materiálů. LAO – *lasery a optika* [online]. [cit. 21-1-2017]. Dostupný z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/reseni/oblasti-pouziti/popisovani-laserem/gravirovani.html>
- [19] *Laserové technologie v průmyslu*. [online]. [cit. 21-1-2017]. Dostupný z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/laserove-technologie-v-prumyslu.html>
- [20] BUCHFINK, Gabriela, Ed. Nicola, LEIBINGER-KAMMÜLLER. Transl. Matthew R. *The laser as a tool a light beam conquers industrial production*. 1. ed. Würzburg: Vogel, 2007. ISBN 978-383-4330-727.
- [21] *Laser-assisted fabrication of materials*. New York: Springer, 2012, p. cm. ISBN 978-364-2283-581.
- [22] *Gravírovací a řezací lasery*. [online]. [cit. 21-1-2017]. Dostupný z: <https://shop.boukal.cz/dilenske-vybaveni/gravirovaci-a-rezaci-laser-numco-c-1325-co2/>

- [23] JANALÍK, Lukáš. *Technologie gravírování*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 81 s. (50 770 znaků). Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/28506>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Bílek, Ondřej.
- [23] *Micro and nanofabrication methods in nanotechnological medical and pharmaceutical devices* [online]. [cit. 22-1-2017]. Dostupný z: [https://www.researchgate.net/publication/6118601\\_Micro\\_and\\_nanofabrication\\_methods\\_in\\_nanotechnological\\_medical\\_and\\_pharmaceutical\\_devices](https://www.researchgate.net/publication/6118601_Micro_and_nanofabrication_methods_in_nanotechnological_medical_and_pharmaceutical_devices)
- [24] *CNC Diamond Drag Engraving Bit Tool for CNC engraving Mill Router* [online]. [cit. 22-1-2017]. Dostupný z: <http://engravingbit.com/PRODUCTS.html>
- [25] MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 420 s. ISBN 80-010-2610-8.
- [26] *Mikrofrézování jemných tvaru a struktur ve výrobě forem* [online]. [cit. 24-1-2017]. Dostupný z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/mikrofrézovani-jemnych-tvaru-a-struktur-ve-vyrobe-forem.html>
- [27] *Micromilling* [online]. [cit. 25-1-2017]. Dostupný z: <http://www.cimatron.com/article.aspx?FolderID=72&docID=3143>
- [28] *Machine Tool Webinars and Events* [online]. [cit. 25-1-2017]. Dostupný z: <https://www.makino.com/resources/webinars/archive/Novel-micro-milling-technologies-for-rib-cutting-and-micro-hole-drilling-in-tungsten-carbide/357/>
- [29] *Micro Milling Machine* [online]. [cit. 25-1-2017]. Dostupný z: <https://www.makino.com/vertical-machining-centers/iq300/>
- [30] *Gravograph IS900* [online]. [cit. 25-1-2017]. Dostupný z: <http://www.gravotech.cz/stroje-gravograph/cnc-gravirovaci-stroje/profesionalni-gravirky-rady-is/gravograph-is900/>
- [31] *SLK20R* [online]. [cit. 21-04-2017]. Dostupný z: [http://www.zkteco.com/product/SLK20R\\_470.html](http://www.zkteco.com/product/SLK20R_470.html)
- [32] *NX CAD* [online]. [cit. 21-04-2017]. Dostupný z: <http://www.axiomtech.cz/24790-cad-nx-a-solid-edge>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

2D	Dvourozměrný obraz
3D	Trojrozměrný obraz
CAM	Computerized Aided Manufacturing – počítačová podpora obrábění
CCD	Charge-Coupled Device – Typ snímací elektronické součásti
CNC	Computerized Numerical Control – počítačem (číslicově) řízené stroje
EER	Equal Error Rate – Míra rovné chyby
FRR	False Reject Rate – Míra chybného odmítnutí
FAR	False Accept Rate – Míra chybného přijetí
PIN	Personal Identification Number – Osobní identifikační číslo

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Závislost FAR a FRR na rozhodovací hranici [5]</i> .....	13
<i>Obr. 2. Příklady markantů v otisku prstu [10]</i> .....	14
<i>Obr. 3. Princip měření geometrie ruky [4]</i> .....	15
<i>Obr. 4. Měření krevního řečiště [6]</i> .....	16
<i>Obr. 5. Rozpoznávání z 2D snímku [8]</i> .....	17
<i>Obr. 6. Rozpoznávání z 3D snímku [8]</i> .....	18
<i>Obr. 7. Rozpoznávání z termosnímku [9]</i> .....	18
<i>Obr. 8. Základní komponenty biometrického systému se zranitelnými místy [1]</i> .....	20
<i>Obr. 9. Princip úběru materiálu leptáním [14]</i> .....	24
<i>Obr. 10. Princip leptání [14]</i> .....	25
<i>Obr. 11. Způsoby leptání [23]</i> .....	26
<i>Obr. 12. Princip laserového zařízení [16]</i> .....	27
<i>Obr. 13. Pracovní proces laseru [13]</i> .....	28
<i>Obr. 14. Princip gravírování [18]</i> .....	29
<i>Obr. 15. Příklad 2D laserového mikroobrábění</i> .....	30
<i>Obr. 16. Laserové mikroobrábění [20]</i> .....	30
<i>Obr. 17. Příklad laserového gravírovací plotteru [22]</i> .....	31
<i>Obr. 18. Čelní frézování [25]</i> .....	32
<i>Obr. 19. Válcové frézování [25]</i> .....	33
<i>Obr. 20. Sousedné mikrofrézování [25]</i> .....	34
<i>Obr. 21. Nesousedné mikrofrézování [25]</i> .....	34
<i>Obr. 22. Fréza pro mikroobrábění [28]</i> .....	35
<i>Obr. 23. Příklad 3osé frézky pro mikrofrézování [29]</i> .....	36
<i>Obr. 24. Aplikace gravírování [24]</i> .....	37
<i>Obr. 25. Příklad mechanického gravírovacího plotteru [30]</i> .....	38
<i>Obr. 26. Postup technologie</i> .....	42
<i>Obr. 27. Biometrická čtečka ZKTeco SLK20R</i> .....	44
<i>Obr. 28. Uživatelské prostředí biometrické čtečky</i> .....	44
<i>Obr. 29. Registrovaný otisk prstu</i> .....	45
<i>Obr. 30. Porovnání skutečného a digitalizovaného otisku prstu</i> .....	46
<i>Obr. 31. Převod fotografie otisku prstu do vektorové grafiky</i> .....	46
<i>Obr. 32. Převod do křivek a detail křivky papilární linie</i> .....	47

<i>Obr. 33. Nedostatky při převodu</i> .....	47
<i>Obr. 34. Pracovní prostředí CAM systému NX po vložení vektorové grafiky</i> .....	48
<i>Obr. 35. Dráha nástroje pro frézování technologického rámu</i> .....	49
<i>Obr. 36. Dráha nástroje pro gravírování papilárních linií</i> .....	50
<i>Obr. 37. Výsledný operační strom</i> .....	50
<i>Obr. 38. Gravírovací fréza č. 1 od firmy SECO</i> .....	51
<i>Obr. 39. Gravírovací fréza č. 2</i> .....	51
<i>Obr. 40. CNC frézka HWT C-442</i> .....	53
<i>Obr. 41. Obrábění matrice na stroji</i> .....	53
<i>Obr. 42. Matrice po obrábění</i> .....	54
<i>Obr. 43. Detail biometrické matrice</i> .....	54
<i>Obr. 44. Matrice zalité Lukoprenem</i> .....	55
<i>Obr. 45. Matrice zalité tekutým latexem</i> .....	55
<i>Obr. 46. Vyrobená matrice z termoplastu</i> .....	56
<i>Obr. 47. 3D měřicí přístroj Talysurf CLI 500</i> .....	57
<i>Obr. 48. Struktura povrchu matrice 2</i> .....	58
<i>Obr. 49. Struktura povrchu matrice 1</i> .....	58
<i>Obr. 50. Půdorys matrice 1 proložené vektorovými křivkami</i> .....	59
<i>Obr. 51. Půdorys matrice 2 proložené vektorovými křivkami</i> .....	59
<i>Obr. 52. Nedostatky při technologii gravírování</i> .....	60
<i>Obr. 53. Struktura povrchu matrice z Polymorfu</i> .....	60
<i>Obr. 54. Půdorys matrice z Polymorfu proložené vektorovými křivkami</i> .....	61
<i>Obr. 55. Neúspěšně identifikované otisky prstu z matrice 1</i> .....	61
<i>Obr. 56. Neúspěšně identifikované otisky prstu z matrice 2</i> .....	62
<i>Obr. 57. Úspěšně identifikované otisky prstu z matrice z Polymorfu</i> .....	62
<i>Obr. 58. Schéma profilu papilárních linií proložený pohybem nástroje</i> .....	63
<i>Obr. 59. Schéma profilu vygravírování papilárních linií v desce</i> .....	63

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Technické parametry biometrické čtečky ZKTeco SLK20R [31] .....</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 2. Seznam použitých nástrojů .....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 3. Řezné podmínky .....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 4. Technické parametry CNC frézky HWT C-442 .....</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 5. Technické parametry přístroje Talysurf .....</i>	<i>57</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

CD nosič obsahuje:

BP_Mikl.pdf	Elektronická verze práce
Adresář „G-kódy“	2 G-kódy pro zarovnání a gravírování
Adresář „Otisk prstu“	Otisky prstů v různých formátech
Adresář „Program“	Soubor „forma_otisk“ ve formátu prt
Adresář „Snímky povrchu“	6 snímků struktury povrchů
Adresář „Technický list“	Technický list pro Lukopren N