**Univerzita Karlova**

**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Biologie

Studijní obor: BBI

**Karolína Pešková**

# Úloha forenzní antropologie při řešení následků hromadných katastrof

# The role of forensic anthropology in dealing with the consequences of mass disasters

Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. RNDr. Jana Velemínská, Ph.D.

Praha, 2025

**Poděkování**

Ráda bych poděkovala své vedoucí práce, prof. RNDr. Janě Velemínské, Ph.D., za její čas, rady, připomínky a ochotu během psaní této práce. Ráda bych poděkovala také své rodině a přátelům za podporu po čas celého studia a při psaní mé bakalářské práce.

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu. Při zpracování práce byla využita umělá inteligence pouze k jazykovým a stylistickým úpravám textu.

V Praze, 4. 8. 2025 Karolína Pešková

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na nezastupitelnou roli forenzní antropologie při řešení následků hromadných katastrof. Nejprve se věnuje klasifikaci těchto katastrof a dále se zaměřuje na aplikaci identifikačních metod s ohledem na typ katastrofy a stupeň poškození obětí. Detailně popisuje hlavní identifikační metody, mezi které spadá profilace DNA, daktyloskopie a forenzní odontologie, a krátce se věnuje i pomocným metodám, které mohou sloužit k doplnění informací o dané oběti. Dále se práce zabývá hlavními fázemi identifikačního procesu, mezi které patří zajištění ostatků na místě zásahu, jejich důkladné prozkoumání, sběr post mortem dat, sběr ante mortem dat a následně jejich porovnání. Rovněž upozorňuje na význam mezinárodní spolupráce a multidisciplinárních DVI (Disaster Victim Identification) týmů, díky kterým je proces identifikace rychlejší a efektivnější. V této práci bylo zjištěno, že některé typy katastrof mívají podobný charakter, což může usnadnit volbu identifikačních metod a přispět k efektivnějšímu postupu při identifikaci obětí.

**Klíčová slova:** forenzní antropologie, hromadné katastrofy, analýza DNA, daktyloskopie, forenzní odontologie, DVI týmy

## Abstract

This bachelor thesis focuses on the irreplaceable role of forensic anthropology in dealing with the consequences of mass disasters. The thesis first classifies these disasters and then focuses on the application of identification methods with regard to the type of disaster and the degree of damage to the victims. It describes in detail the main identification methods, which include DNA profiling, dactyloscopy, and forensic odontology, and briefly discusses additional methods that can be used to complete information about a specific victim. The thesis also deals with all the main stages of the identification process, which include securing the remains at the scene, thoroughly examining them, collecting post-mortem data, collecting ante-mortem data, and then comparing them. The thesis also highlights the importance of international cooperation and multidisciplinary DVI (Disaster Victim Identification) teams, which make the identification process faster and more efficient. This thesis found that some types of disasters have similar character, which can facilitate the choice of identification methods and contribute to a more efficient process of identifying victims.

**Keywords:** forensic anthropology, mass disasters, DNA analysis, dactyloscopy, forensic odontology, DVI teams

## Seznam zkratek

AFIS – Automatic Fingerprint Identification System - automatizovaný systém pro identifikaci otisků prstů

CT – computed tomography – výpočetní tomografie

ČR – Česká republika

DVI – disaster victim identification – identifikace obětí hromadných neštěstí

DNA – deoxyribonucleic acid – deoxyribonukleová kyselina

EDTA – ethylenediaminetetraacetic acid – etylendiaminotetraoctová kyselina

Et al. – et alii – a kolektiv

EU – Evropská unie

qPCR – quantitative polymerase chain reaction – kvantitativní PCR/real-time PCR

IZS – integrovaný záchranný systém

mtDNA – mitochondrial DNA – mitochondriální DNA

např. – například

nDNA – nuclear DNA – jaderná DNA

PCR – polymerase chain reaction – polymerázová řetězová reakce

PČR – Policie České republiky

RFLP - restriction fragment length polymorphism - polymorfismus délky restrikčních fragmentů

RT-PCR – reverse transcription polymerase chain reaction – PCR spojená s reverzní transkripcí

SNP – single nucleotide polymorphism – jednonukleotidový polymorfismus

STR – short tandem repeats – krátké tandemové repetice

tzv. – takzvaně

VNTR - variable number tandem repeats – variabilní počet tandemových repetic

Y-DNA – Y-chromosomal DNA – Y-chromozomální DNA

3D – trojdimenzionální

# Obsah

**1 Úvod** ... 1
**2 Klasifikace hromadných katastrof** ... 2
2.1 Mimořádné události ... 2
2.2 Definice katastrof a jejich dělení ... 2
2.2.1 Přírodní katastrofy ... 3
2.2.2 Antropogenní katastrofy ... 3
2.2.3 Hybridní katastrofy ... 4
**3 Metody identifikace obětí hromadných katastrof** ... 4
3.1 Profilace DNA ... 4
3.1.1 Typy DNA využívané pro identifikaci ... 5
3.1.2 Postup sběru dat a odběru vzorků DNA z ostatků ... 5
3.1.3 Extrakce DNA ze vzorku ... 7
3.1.4 Techniky amplifikace a metody stanovení profilu DNA ... 8
3.1.5 Porovnávání DNA a DNA databáze ... 9
3.2 Daktyloskopie ... 10
3.2.1 Papilární linie ... 10
3.2.2 Typy otisků prstů ... 11
3.2.3 Metody snímání otisků prstů ... 12
3.2.4 Porovnávání otisků prstů a daktyloskopická databáze ... 14
3.3 Forenzní odontologie ... 15
3.3.1 Sběr post mortem dat ... 16
3.3.2 Sběr ante mortem dat ... 17
3.3.3 Porovnávání ante mortem a post mortem zubních záznamů ... 17
3.4 Další pomocné metody identifikace obětí ... 18
3.4.1 Identifikace na základě osobních předmětů ... 18
3.4.2 Antropologická analýza kosterních pozůstatků ... 19
3.4.3 Antropologická 3D rekonstrukce obličeje ... 19
3.4.5 Fotografické a superprojekční srovnávání ... 20
**4 Využití identifikačních metod podle charakteru katastrofy** ... 20
4.1 Katastrofy spojené s vysokým žárem ... 21
4.2 Katastrofy spojené s vodními živly ... 21
4.3 Katastrofy způsobující zasypání nebo pohřbení ... 22
4.4 Katastrofy technického a násilného charakteru ... 22
**5 DVI týmy** ... 23

**6 Závěr** ..... 25
**Seznam literatury** ..... 26

# 1 Úvod

Hromadné katastrofy představují mimořádné události s tragickými následky, které obvykle vedou k rozsáhlým materiálním škodám, ekologickým dopadům, a především četným ztrátám na lidských životech. Tyto události často vznikají náhle, jejich průběh bývá chaotický a běžné zásahové jednotky mnohdy nedokážou samy zvládnout jejich důsledky (Parker & Tapsell, 1995). Mezi hromadná neštěstí řadíme nejen katastrofy přírodní (např. zemětřesení, tsunami), ale i katastrofy antropogenní (např. letecká havárie, teroristický útok) či katastrofy vzniklé působením sil člověka i přírody společně (hybridní) (Jackson & Hood, 1991).

Jednou z nejzásadnějších výzev při hromadných katastrofách je identifikace velkého počtu obětí, jejichž těla bývají silně poškozena, fragmentována nebo v pokročilém stádiu rozkladu (Hinkes, 1989). V takových případech sehrává klíčovou roli forenzní antropologie, což je interdisciplinární obor spojující poznatky z anatomie, genetiky, archeologie, kriminalistiky a medicíny. Hlavní úlohou forenzního antropologa je analýza lidských ostatků a stanovení biologického profilu za účelem identifikace obětí. V posledních letech role forenzních antropologů přesahuje pouze práci s kosterními pozůstatky. Moderní forenzní antropologie využívá rovněž genetické analýzy, zobrazovacích metod i digitálních technologií. Znalosti forenzních antropologů jsou klíčové pro práci v terénu, správné třídění nalezených ostatků a jejich dokumentaci (de Boer et al., 2018b).

Vzhledem k rozsahu hromadných neštěstí a počtu obětí je nutná koordinovaná spolupráce řady expertů, mezi které mimo forenzní antropology patří forenzní genetici, forenzní odontologové, daktyloskopičtí experti, patologové a kriminalisté. Tito specialisté společně tvoří specializované DVI (disaster victim identification) týmy, které fungují na národní i mezinárodní úrovni. Týmy se řídí jasně stanovenými postupy pro práci v terénu a márnici, aby dosáhli co nejefektivnější práce a bylo identifikováno co nejvíce obětí (Blau & Briggs, 2011). Mezi tři základní identifikační metody se řadí analýza DNA, daktyloskopie a forenzní odontologie (Hinkes, 1989). Jako cenný doplněk informací mohou sloužit i pomocné metody, které bývají často prvními vodítky k identifikaci (Langley & et al., 2017). Ačkoli forenzní genetické metody spadají primárně pod forenzní genetiku, jsou v rámci spolupráce při identifikaci obětí nepostradatelné také pro forenzní antropology.

Cílem této bakalářské práce je popsat roli forenzní antropologie v procesu identifikace obětí hromadných katastrof, zdůraznit význam spolupráce DVI týmů, a především shrnout nejdůležitější identifikační metody, které jsou v těchto situacích využívány.

# 2 Klasifikace hromadných katastrof

## 2.1 Mimořádné události

Mimořádná událost je pojem souhrnně označující situace, při kterých dochází k působení sil, jevů nebo určitých hmot, které mají za následek ohrožující či ničivý dopad na životní prostředí, člověka, majetek a ekonomiku. Tyto mimořádné události se dělí podle množství zasažených a zraněných lidí (Štětina et al., 2014).

**Hromadné neštěstí omezené** nastává, je-li zasaženo méně než 10 osob, přičemž minimálně 1 z postižených je v kritickém stavu. Na vyřešení a záchranu je potřeba pouze několik výjezdových skupin a není nutná pomoc jiných zdravotnických zařízení, než jsou v dané oblasti. Traumatologické plány nejsou aktivovány. Při **hromadném neštěstí rozsáhlém** bývá zasažených osob více než 10, ale nepřekračují číslo 50. Záchranné jednotky dané oblasti nejsou schopny takto velká neštěstí řešit samy a je zapotřebí pomoci dalších zdravotnických zařízení, kam je možné část zraněných převézt. Jsou aktivovány traumatologické, poplachové a havarijní plány. **Katastrofa** je nejzávažnějším typem a zraněných je více než 50. Při řešení panuje chaos, pro zvládnutí nestačí běžné prostředky. Je nutné zapojení všech integrovaných záchranných jednotek a často je potřebná pomoc národních až mezinárodních bezpečnostních systémů (Šín et al., 2017; Štětina et al., 2014).

## 2.2 Definice katastrof a jejich dělení

Katastrofa je neobvyklá událost, při které dochází působením přírodní nebo lidské činnosti k ničivým dopadům na společnost či přírodu. Bývá velkých rozměrů a způsobuje narušení prostředí, zranění, ztráty na životech, masivní škody a ekonomické ztráty (Parker & Tapsell, 1995). Mezi základní charakteristiky katastrofy patří nečekaný a náhlý vznik, počet zasažených lidí převyšuje 50 a dochází ke ztrátám na životě. Může vést k panice a emočnímu stresu zasažených i záchranných systémů. Bývá nedostatek personálu, zdravotnického vybavení a celkově nedostatek prostředků k rychlému ošetření a následné léčbě. Katastrofy mohou narušit životního prostředí či zemský povrch (Štětina et al., 2014).

Katastrofy se dělí podle příčiny vzniku na **přírodní (naturogenní)** a na ty **způsobené člověkem (antropogenní)** (Below et al., 2009). Existuje také **hybridní** typ, kdy je katastrofa způsobená lidskou chybou společně s přírodními silami (Jackson & Hood, 1991).

Dále se katastrofy dělí podle důsledku na **humanitární** a **ekologické**. Humanitární katastrofy jsou takové, kdy je ohroženo zdraví, život a bezpečnost velkého počtu lidí (např.

epidemie). Ekologické katastrofy nastávají ve chvíli, kdy do ekosystému pronikne cizorodá látka s devastujícími účinky na tamní život (např. únik ropy) (Štětina et al., 2014).

### 2.2.1 Přírodní katastrofy

Přírodní katastrofy jsou způsobené čistě přírodními jevy a člověk nemá možnost tyto události ovlivnit. Člení se na **abiotické**, katastrofy způsobené neživou přírodou, a na **biotické**, způsobeny živou přírodou (Šín & et al, 2017).

#### 2.2.1.1 Abiotické katastrofy

První podskupinou abiotických katastrof jsou **geofyzikální** katastrofy, které jsou způsobené činností povrchu Země a patří mezi ně např. zemětřesení, tsunami, výbuchy sopky, pád skály, sesuvy půdy nebo laviny. **Meteorologické** katastrofy způsobují jevy v atmosféře a zahrnují např. větrné bouře (tornáda, tajfuny, hurikány), tropické bouře, sněhové bouře a vánice, bouře s blesky či písečné bouře. **Hydrologické** katastrofy jsou způsobené vodními jevy. Spadají do nich např. povodně a záplavy, které mohou zapříčinit sesuvy půdy, sesedání země či její propady. Posledním typem jsou katastrofy **klimatologické**, mezi které patří extrémní teploty, vlny veder a studené vlny, extrémní sucho nebo lesní požáry (Below et al., 2009).

#### 2.2.1.2 Biotické katastrofy

Mezi katastrofy způsobené živou přírodou patří **epidemie**, což je rozšíření infekčního onemocnění v populační skupině, které se šíří velkou rychlostí mezi další skupiny a regiony. Příkladem těchto onemocnění může být malárie, ebola, cholera či HIV/AIDS. Hromadné šíření nákaz může nastat i u zvířat **(epizootie)** či rostlin **(epifytie)**. Pod biotické katastrofy se řadí i **přemnožení škůdců a parazitů** (Below et al., 2009).

### 2.2.2 Antropogenní katastrofy

Antropogenní katastrofy jsou vyvolané přímou činností člověka a mohou mít krátkodobé i dlouhodobé trvání. Tyto katastrofy jsou převážně způsobené extrémním nárustem obyvatel za poslední desetiletí, rozvojem průmyslové výroby, rozvojem technologií, nárůstem ekonomiky, těžbou nerostných surovin či soustavným budováním nových staveb, silnic a budov (Štětina et al., 2014).

Katastrofy způsobené člověkem lze rozdělit do čtyř podskupin. Prvním typem jsou **technogenní** katastrofy neboli průmyslové havárie. Řadí se mezi ně například velké dopravní

nehody (letecké, pozemní, námořní), výbuchy a požáry, havárie jaderné elektrárny, blackout, zřícení konstrukcí a budov nebo uvolnění toxických látek. Dalším typem jsou katastrofy **sociogenní interní** (vnitrostátní společenské krize), které zahrnují např. terorismus, zvýšenou migraci, občanské nepokoje a stávky, šíření nepravdivých informací nebo narušení dodávek pitné vody, elektřiny, ropy, potravin či léčiv. Mezi katastrofy **sociogenní externí** (mezinárodní společenské krize) spadají chemické, biologické a nukleární zbraně, války mezi dvěma zeměmi, násilné akce s využitím ozbrojených sil, vojenská agrese či politický nátlak. Posledním typem jsou **agrogenní** katastrofy a řadí se mezi ně eroze půdy, degradace kvality půdy, znečišťování vodních toků, narušení ekologické rovnováhy krajiny, nevhodné používání hnojiv a agrochemikálií (Šín et al., 2017; Štětina et al., 2014).

### 2.2.3 Hybridní katastrofy

Některé katastrofy nelze přímo vymezit jako přírodní nebo antropogenní, jelikož není jednoznačně jasná příčina vzniku. Na těchto katastrofách mají podíl přírodní jevy i činnost člověka, a nazývají se proto katastrofami **hybridními**. Příklady těchto katastrof mohou být povodně, které zpustoší obec postavenou na známém záplavovém území, nebo kácení džungle člověkem, které způsobí erozi půdy a následné přívalové deště zapříčiní sesuvy půdy a záplavy (Jackson & Hood, 1991). Konkrétním příkladem hybridní katastrofy je silné zemětřesení ve Fukušimě v roce 2011, které vyvolalo vlnu tsunami, čímž byla poškozena jaderná elektrárna na pobřeží a došlo k úniku radiace (Chino et al., 2011).

## 3 Metody identifikace obětí hromadných katastrof

Pří hromadných katastrofách dochází k četným ztrátám na životech. Ostatky mohou být zmrzačené, popálené, v procesu rozkladu či jsou nalezeny pouze části těl. Je tedy velmi náročné oběti identifikovat. Nejčastěji jsou jako metody identifikace používány profilace DNA, daktyloskopie a forenzní odontologie (Hinkes, 1989). Pokud jsou ostatky v lepším stavu, bývá využíván pro identifikaci také odhad biologického profilu, antropologická rekonstrukce obličeje nebo jiné metody (Langley et al., 2017).

### 3.1 Profilace DNA

DNA neboli deoxyribonukleová kyselina se nachází v jádře každé buňky v těle. Je považována za nositelku dědičnosti, jelikož nese genetickou informaci nutnou pro předání genetických atributů do následující generace. Drtivá většina molekul DNA (99,7 %) je v našem

genomu stejná s ostatními lidmi, pouze malou část (0,3 %) má každý jedinec odlišnou od ostatních a dělá jedince unikátního. Díky tomu lze pomocí DNA identifikovat osoby podle nalezených ostatků při hromadných katastrofách (Butler, 2005).

### 3.1.1 Typy DNA využívané pro identifikaci

Pro identifikaci osob se využívá jaderná DNA (nDNA), mitochondriální DNA (mtDNA) a Y-chromozomální DNA (Y-DNA). nDNA je vysoce variabilní a má velkou diskriminační schopnost, protože pochází od obou rodičů, a díky rekombinaci vznikají jedinečné genetické kombinace. Jedinou výjimkou jsou jednovaječná dvojčata, která mají jadernou DNA identickou. Nevýhodou nDNA je, že se v buňce nachází pouze 2 kopie a ztěžuje analýzu, pokud je DNA poškozena nebo degradována (Butler, 2005; Wilson et al., 1993).

mtDNA má kruhovitou konformaci a nachází se v buňce ve stovkách až tisících kopií. Je tedy méně náchylná k degradaci a usnadňuje analýzu poškozených vzorků. mtDNA se dědí po matce (uniparentálně) a sdílí jí všichni členové mateřské linie. Nedochází k rekombinaci a má tedy nižší diskriminační schopnost (Jobling & Gill, 2004; Wilson et al., 1993). Je využívána hlavně při analýze poškozeného biologického materiálu, který neobsahuje dostatek jaderné DNA. Příkladem mohou být kosti, zuby či vlasy (Ginther et al., 1992; Hopwood et al., 1996; Sullivan et al., 1992). Porovnávání sekvencí mezi jednotlivci může komplikovat heteroplazmie, kdy je přítomen více než jeden typ mtDNA (Carey & Mitnik, 2002).

Y-DNA se nachází pouze u mužů. Může sloužit při analýze směsi, kde se vyskytuje ženská i mužská DNA. Dědí se po otci a všichni mužští příbuzní po otcovské linii mají stejný haplotyp (Jobling & Gill, 2004). Je vhodný pro identifikaci mužských ostatků, pokud jsou k dispozici mužští příbuzní pro porovnání DNA profilů s obětí (Carey & Mitnik, 2002).

### 3.1.2 Postup sběru dat a odběru vzorků DNA z ostatků

Při hromadných katastrofách je přítomnost forenzních antropologů důležitá již na místě katastrofy, jelikož je nutné důkladně zdokumentovat ostatky a přizpůsobit sběr dat dané situaci (de Boer et al., 2020). Identifikace by neměla probíhat na místě, ale až v márnici, protože by mohlo dojít k záměně ostatků. Zaznamenána je poloha ostatků, která později umožní jejich opětovné spojení (Kahana & Hiss, 2009).

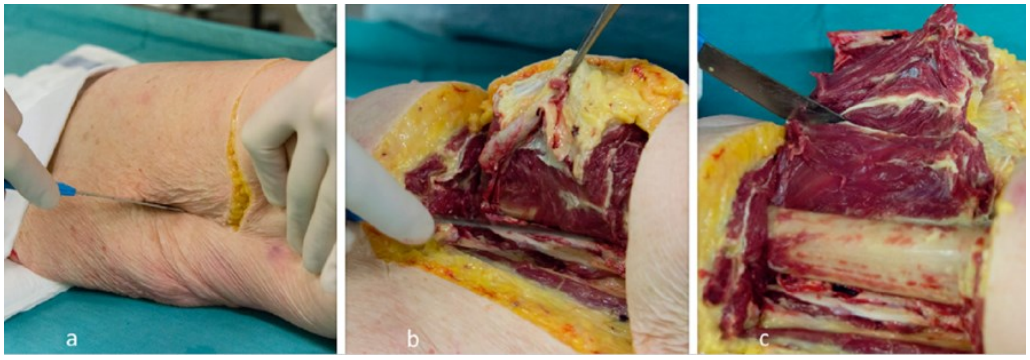
Jednotlivé fragmenty se musí po nálezu roztřídit, správně zabalit pro minimalizaci škod, a co nejdříve převézt do márnice k identifikaci. Ostatky mohou zahrnovat celá těla, rozpoznatelné části těl, hmoty měkkých tkání, kompletní nebo traumatizované kosti, které

mohou být i ohořelé či mají jinak poškozenou tkáň, nebo nerozpoznatelné malé fragmenty kostí. Antropologové provádějí oddělení kostního materiálu od nekostního a rozpoznatelného materiálu od nerozpoznatelného, který následně vyžaduje DNA analýzu (de Boer et al., 2018b).

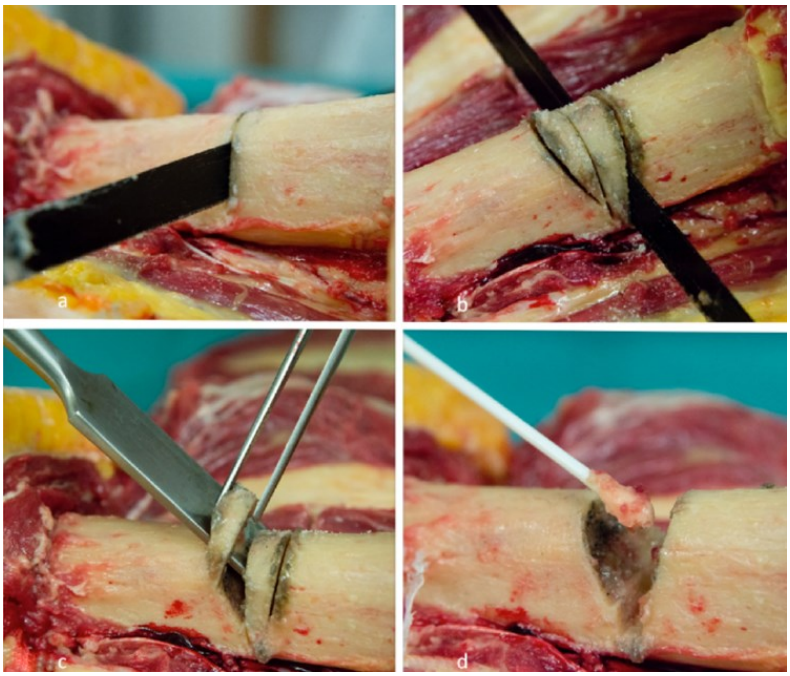
Prvním krokem je rekonstrukce částí těl a následné určení počtu jedinců, kterým patří ostatky (Kahana et al., 1997). Dále probíhá identifikace unikátních individuálních rysů, anatomických struktur a patologických nálezů v kostech (Kahana & Hiss, 2009).

Pří odběru DNA je důležité dodržovat sterilní podmínky, aby nedošlo ke kontaminaci vzorku. Odběr musí probíhat ve sterilním prostředí odděleným od dalších míst zásahu (např. pitvy). Je nutné použití sterilního oděvu obsahující laboratorní plášť, rukavice, síťku na vlasy a roušku, které chrání vyšetřujícího a zabraňují kontaminaci vzorku. Všechny používané nástroje musí být sterilní a pokud dojde ke znečištění, okamžitě jsou sterilizovány a je použit odstraňovač DNA. Pokud dojde ke kontaminaci vzorku, musí být odebrán nový (de Boer et al., 2018a; Westen et al., 2008).

Vzorek by měl být dostatečně velký, aby bylo možné opětovné vzorkování, kdyby první pokus selhal (de Boer et al., 2020). Vzorky z měkkých tkání z malých fragmentů se nedoporučují pro odběr kvůli vysokému riziku kontaminace. Jsou upřednostňovány vzorky kostí, které je jednodušší očistit, narozdíl od měkkých tkání (de Boer et al., 2018a). Kosti zároveň poskytují nejvíce DNA, zejména hutná kostní tkáň dlouhých kostí, které nesou váhu těla. Kost stehenní (femur) je považována za nejvhodnější zdroj pro odběr vzorku (viz Obrázek 1 a Obrázek 2) (Prinz et al., 2007).




***Obrázek 1*** *Disekce stehna k odhalení kosti pro odběr vzorku DNA. (a) Kůže je naříznuta řezem ve tvaru písmene U, který zasahuje pouze do povrchového podkožního tuku. (b) Řezy se prohloubí, dokud nedosáhnou povrchu kosti. (c) Kostní povrch stehenní kosti je obnažen oddělením kožně-svalového laloku od kosti (převzato z de Boer et al., 2018a).*



***Obrázek 2*** *Vyjmutí kostní tkáně a odebrání vzorku kostní dřeně. (a) Příčný řez pilou do kosti. (b) Dva šikmé řezy pilou, které se setkávají v nejnižším bodě příčného řezu. (c) Klíny jsou odstraněny pinzetou a dlátem. (d) Odebrání vzorku kostní dřeně sterilním tamponem (převzato z de Boer et al., 2018a).*

### 3.1.3 Extrakce DNA ze vzorku

Před samotnou analýzou je nutné DNA izolovat z buněk a oddělit ji od ostatních buněčných složek. K extrakci DNA se využívá několik metod, např. organická extrakce fenol-chloroform, extrakce pomocí křemíkových membrán či separace pomocí magnetických kuliček (Haarkötter et al., 2023).

Nejčastěji je při hromadných katastrofách využívána organická extrakce fenol-chloroform, jelikož dosahuje velkých výtěžků. Nejprve jsou narušené buněčné membrány, čímž dojde k uvolnění DNA. Buněčná lýza se provádí pomocí pufru na bázi enzymů a detergentů. Následuje odstranění proteinů, buněčných složek a jiných kontaminantů organickými rozpouštědly (fenol a chloroform). DNA je vysrážena přidáním alkoholu a soli, čím se stává nerozpustnou, a následně je znovu rozpuštěna v alkalickém pufru obsahující EDTA (etylendiaminotetraoctovou kyselinu), která zabraňuje srážení krve. Tato metoda je vhodná pro širokou škálu typů buněk (Köchl et al., 2005).

### 3.1.4 Techniky amplifikace a metody stanovení profilu DNA

Analýza DNA je prováděna pomocí genetických markerů. Pokud se DNA ve vzorku nachází v malém množství nebo je částečně degradována, je potřeba tyto specifické oblasti obsahující genetické markery namnožit (Alonso et al., 2005; Giardina et al., 2009).

#### 3.1.4.1 PCR

Pro amplifikaci DNA je využívána polymerázová řetězová reakce (PCR, polymerase chain reaction). Tato metoda je preferována díky své jednoduchosti a vysoké diskriminační schopnosti (Alonso et al., 2005; Mullis, 1990). V jedné PCR reakci lze amplifikovat více lokusů s genetickými markery na různých chromozomech. Tato metoda se nazývá Multiplex PCR (Edwards et al., 1991). Dále existuje několik dalších PCR metod, např. real-time PCR neboli kvantitativní PCR (qPCR) nebo PCR spojená s reverzní transkripcí (RT-PCR) (Ehtisham et al., 2016).

Princip PCR spočívá v opakovaných cyklech, kdy se s každým cyklem počet řetězců DNA zdvojnásobí. Dvoušroubovice DNA je nejprve zahřáta na teplotu okolo 95 °C, což způsobí rozpad vodíkových můstků a vzniknou dvě jednořetězcové DNA. Následně jsou molekuly DNA ochlazeny na teplotu přibližně 50-60 °C, která umožňuje nasednutí primerů na templátové vlákno. DNA polymeráza poté nasyntetizuje komplementární vlákno. Takto se celý cyklus opakuje a s každým cyklem vzniká dvojnásobek počtu původních vláken (Mullis, 1990).

#### 3.1.4.2 Metody stanovení profilu DNA

Nejčastějšími využívanými genetickými markery jsou **krátké tandemové repetice** (**STR**, short tandem repeats), což jsou repetitivní úseky DNA dlouhé typicky 2-6 párů bází. Počet těchto kopií se u jedinců liší a tím jsou významné a efektivní pro identifikaci osob (Giardina et al., 2009). Analýza STR je metoda založená na PCR. Detekce STR markerů je umožněna začleněním fluorescenčně značených primerů během PCR. Každý typ barviva může odpovídat jinému STR markeru, čímž lze amplifikovat více lokusů najednou. Po PCR reakci jsou vzorky přeneseny na polyakrylamidový gel, který umožňuje vysoké rozlišení malých rozdílů ve velikosti DNA fragmentů. Fluorescenční barviva jsou následně detekována laserovým skenováním pomocí automatického sekvenátoru. Tuto metodu lze aplikovat i na jiné genetické markery (Smith et al., 1986).

Dříve byly jako genetické markery využívány **VNTR** (variable number of tandem repeats), což jsou fragmenty DNA o délce několika tisíc bází, které obsahují tandemově se

opakující sekvence o délce obvykle 8-80 párů bází. Počet těchto opakování je u jedinců odlišný a je tedy vhodný pro forenzní identifikaci (Carey & Mitnik, 2002). Variabilitu těchto VNTR fragmentů využívá technika **RFLP** (restriction fragment lenght polymorphism), která detekuje rozdíly v délce fragmentů vniklých štěpením DNA restrikčními enzymy (Jeffreys et al., 1985). Po štěpení jsou fragmenty separovány elektroforézou a analyzovány. Tato metoda je ale časově náročná a je založena na velkém množství DNA, která je při hromadných katastrofách často nalezena v malém množství či bývá degradovaná (Carey & Mitnik, 2002).

Dalšími možnými genetickými markery vhodnými pro identifikaci jsou **jednonukleotidové polymorfismy (SNPs**, single nucleotide polymorphisms). Jedná se o variace v jedné nukleotidové bázi (Brookes, 1999) a jsou vhodné zejména při analýze degradované DNA (Corach, 2010). Nejčastěji používaná metoda pro analýzu SNP je sekvenování, díky kterému lze určit přesné pořadí nukleotidů v určitém úseku DNA (Sanger et al., 1977).

### 3.1.5 Porovnávání DNA a DNA databáze

Porovnávání DNA může probíhat několika způsoby. V případě přímé identifikace se analyzovaná DNA porovnává se vzorky získanými z osobních předmětů nalezených u ostatků. Pokud takové vzorky nejsou k dispozici, lze je porovnávat nepřímou metodou, kdy je ke srovnání použita DNA rodinných příslušníků (Budowle et al., 2020).

Pokud identifikaci nelze provést pomocí těchto metod, je DNA porovnávána se záznamy získanými před smrtí (ante mortem) prostřednictvím DNA databáze. Tyto databáze obsahují DNA profily odsouzených, podezřelých a pohřešovaných osob, stejně jako profily získané z neidentifikovatelných lidských ostatků nalezených na místech trestných činů či hromadných neštěstí (Amankwaa, 2020). Nově získaný vzorek DNA se porovná s již existujícími profily v databázi a systém vyhodnotí případnou shodu (Corte-Real, 2004).

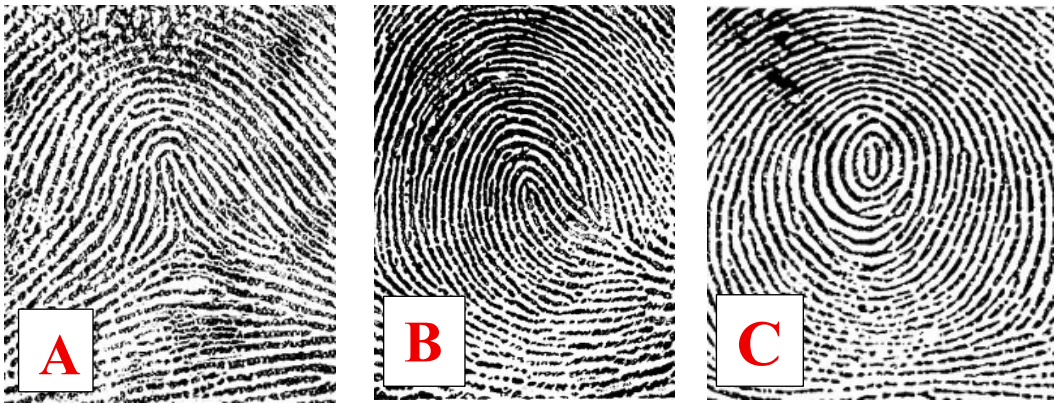
DNA databáze mohou mít národní i mezinárodní charakter. Příkladem mezinárodní databáze je Interpol DNA databáze, která umožňuje členským zemím výměnu DNA profilů a vzájemnou spolupráci. Vlastní národní databáze však nemají všechny státy. Zpravidla je budují spíše vyspělé země jako např. Spojené státy americké nebo státy Evropské Unie včetně České republiky. V rámci Evropy funguje od roku 2005 Prümská úmluva, která tvoří síť národních databází členských států EU (Evropská unie) a umožňuje výměnu DNA profilů mezi nimi (Amankwaa, 2020).

## 3.2 Daktyloskopie

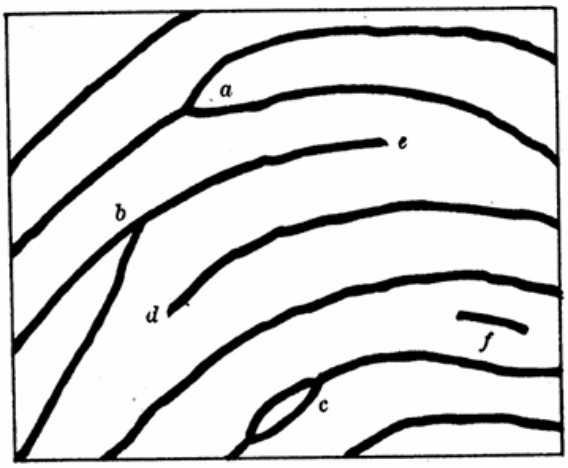
Jednou z nejefektivnějších a nejrychlejších metod využívaných k identifikaci obětí při hromadných katastrofách je daktyloskopie, která se zabývá studiem a porovnáváním otisků prstů. Otisky na konečcích prstů tvoří vyvýšené papilární linie, které jsou u každého jedince jedinečné, včetně jednovaječných dvojčat, a jsou neměnné po celý život, čímž tvoří spolehlivý způsob pro identifikaci obětí hromadných katastrof (Galton, 1892).

### 3.2.1 Papilární linie

Papilární linie jsou vzory tvořené hřebeny a rýhami, které se nacházejí na prstech rukou a nohou, dlaních a chodidlech. Jsou výsledkem struktury kůže v oblasti papilární vrstvy škáry, kde se mezi pokožkou (epidermis) a škárou (dermis) vytvářejí drobné výběžky tzv. papily. Papily tvoří dohromady obrazce zvané dermatoglyfy. Existují 3 základní typy dermatoglyfů – oblouk, smyčka a spirála (viz Obrázek 3). U oblouku se linie táhnou z jedné strany na druhou, jsou lehce zakřivené do oblouku a jsou bez delty nebo jádra. U smyčky se linie zpětně stáčí dozadu, bývá jedna delta a dělí se podle toho, zda je smyčka otevřená směrem k palci či směrem k malíčku. Spirály mají kruhovitý tok, mají dvě delty a jedno nebo dvě jádra. Tyto tři typy mohou dále vytvářet složitější kombinace (Galton, 1892; Henry, 1900; Herschel, 1916). Linie se vzájemně kříží, spojují či větví, a tvoří markanty, které jsou u jedinců odlišné a mají největší diskriminační schopnost. Příkladem markantů mohou být vidlice, háčky, zkřížení, očka, nové začátky či ukončení linií (viz Obrázek 4) (Galton, 1892).




***Obrázek 3*** *Základní typy dermatoglyfů. (A) Oblouk, (B) smyčka, (C) spirála (převzato z Henry, 1900)*




***Obrázek 4*** *Základní typy markantů. (a, b) Vidlice, (c) očko, (d, e) začátek/konec, (f) malý ostrůvek (převzato z Galton, 1892)*

Papilární linie se začínají vytvářet již v průběhu nitroděložního vývoje okolo 10. týdne těhotenství. Jejich vývoj je částečně ovlivňován volárními polštářky, což jsou vyvýšeniny na konečcích prstů, které se vyskytují u embrya pouze dočasně mezi 6. a 13. týdnem a následně vymizí. Vzory otisků prstů jsou zakódovány mezi dermis a epidermis a nelze je tedy zničit povrchovými zraněními. Pro zničení vzoru by muselo dojít k poškozením zárodečné vrstvy. Zároveň jsou relativně neměnné, během vývoje dochází pouze k malým změnám např. ke zvětšení ploch bříšek prstů. Vzor papilárních linií je ale stále zachován (Babler, 1991). Kombinace jedinečnosti, neměnnosti a neodstranitelnosti dělá z otisků prstů ideální metodu pro identifikaci obětí.

### 3.2.2 Typy otisků prstů

Otisky prstů se dělí na 3 typy – latentní, plastické a viditelné. **Latentní** neboli skryté otisky nelze většinou pozorovat pouhým okem. Výjimkou může být otisk na průhledném skleněném povrchu, který lze pod správným úhlem zpozorovat. Latentní otisk tvoří především sekrety z kůže jako např. kožní maz a pot, které zanechají otisk na povrchu, kterého se člověk dotkne. Součástí otisku mohou být i kontaminanty z okolního prostředí, které přišly s prsty do kontaktu, např. prach či oleje. Tento typ otisku je potřeba zviditelnit pomocí různých forenzních technik jako je použití prášku na otisky či chemické nebo fyzikální metody (Cummins, 1941; Kaushal & Kaushal, 2011).

**Plastické** otisky prstů vznikají, když se prst otiskne do měkkého, poddajného materiálu a zanechá v něm trojrozměrnou stopu reliéfu papilárních linií. Na rozdíl od latentních otisků jsou plastické otisky viditelné pouhým okem, protože fyzicky deformují povrch materiálu. Není

potřeba zviditelňovacích technik a zaznamenány jsou většinou fotograficky, aby byla zachycena trojrozměrná struktura. Příkladem těchto měkkých povrchů je hlína, bláto, vosk, tmel či čerstvá barva. Nevýhodou je, že mohou být plastické otisky náchylné k poškození nebo deformaci působením vnějších vlivů (Cummins, 1941; Stimac, 1998).

**Viditelné** otisky jsou pozorovatelné na první pohled a není potřeba žádných pomocných technik. Tyto otisky mohou být potřísněné krví, barvou či inkoustem, a tím přenesou barvu na povrch a zanechají jasně viditelný otisk. Pokud jsou potřísněné krví, lze krev použít pro analýzu DNA a tím zvýšit šanci identifikace. Stejně jako plastické otisky bývají zachyceny fotograficky (Cummins, 1941; O'neill, 1937).

### 3.2.3 Metody snímání otisků prstů

Při hromadných katastrofách se vzhledem k chaotickému prostředí, nebezpečnému terénu a často nevyhovujícím pracovním podmínkám většinou provádí snímání otisků prstů až v márnici, podobně jako u analýzy DNA. V terénu se obvykle realizují pouze základní úkony jako je např. správné roztřízení ostatků nebo pořízení fotografií (Kahana & Hiss, 2009).

#### 3.2.3.1 Inkoustová metoda

Mezi široce používanou techniku patří inkoustová metoda. Nejdříve je nutné pečlivě očistit prsty od nečistot a usušit je, aby inkoust přilnul. Používán je speciální daktyloskopický inkoust, který je hustý a zajišťuje kvalitní otisk. Na skleněnou nebo kovovou destičku je nanesena pomocí válečku tenká a rovnoměrně rozetřená vrstva inkoustu. Prst se uchopí a je jemně válen po destičce s inkoustem tak, aby byla pokryta celá plocha papilárních linií, což je od jednoho okraje nehtu k druhému a od špičky k prvnímu kloubu prstu. Po otisknutí inkoustu na prst je stejným způsobem prst válen po daktyloskopické kartě, kde jsou předtištěná políčka pro jednotlivé prsty. Prst by měl být válen plynulým pohybem s jemným tlakem, aby nedošlo k rozmazání inkoustu. Při daktyloskopování mrtvol může být proces otisků náročnější a bývá proto využita daktyloskopická lžíce, která je zahnutá a drží daktyloskopickou kartu, čímž usnadňuje manipulaci. Proces je opakován jednotlivě u všech prstů a v některých případech i z více prstů současně či z celé dlaně. Následně je karta řádně zdokumentována. Daktyloskopování pomocí inkoustu je jednoduchá a účinná metoda (Galton, 1892; United States. Federal Bureau of Investigation, 1973).

#### 3.2.3.2 Metoda s práškem a lepící páskou

Další velmi často používanou technikou je metoda s práškem a lepící páskou. Nejdříve jsou prsty pečlivě očištěny a usušeny. Pomocí štětce je na prst nanesen daktyloskopický prášek, který je v tenké vrstvě rovnoměrně rozetřen po celé ploše papilárních linií. Nejčastěji je na snímání prstů používán černý prášek, ale při snímání otisků z povrchu jsou využívány i jiné, např. bílý či magnetický. Vždy záleží na situaci a barvě povrchu. Cílem je, aby měl prášek kontrastní účinek. Prášek se na otisku zachytí díky mazu a potu, které kůže zanechává. Lepící páska je přilepena na prst tak, aby byla pokryta celá poprášená oblast s papilárními liniemi a aby byl povrch hladký bez bublin. Následně je páska opatrně odlepena i se zachyceným otiskem a přenesena na daktyloskopickou kartu, často již s předtištěnými políčky pro jednotlivé prsty. U snímání otisků prstů z povrchů je postup obdobný (Morgan et al., 2017; Principe & Verbeke, 1972).

#### 3.2.3.3 Digitální skenery

Pokud jsou prsty oběti dobře zachovalé, lze využít pro sejmutí otisků prstů digitální skenery. Prst je přikládán na skenovací plochu a ta zaznamená otisk a detaily papilárních linií ve vysokém rozlišení. Otisky jsou ihned digitalizovány a ukládány do počítače, kde mohou být vzápětí zpracovávány a porovnávány s databází. Je několik typů skenerů, které se liší technologií snímání. Existují např. optické skenery, které využívají k zachycení papilárních linií světlo, ultrazvukové skenery využívající zvukové vlny pro vytvoření 3D (trojdimenzionální) mapy otisku, nebo termální skenery, které zaznamenávají teplotní rozdíl mezi jednotlivými částmi otisku. Výhodou digitálního skenování je rychlost, přesnost a eliminace problémů jako je rozmazání otisku či jeho deformace. Tato technika v dnešní době často nahrazuje tradiční inkoustové a práškové metody (Datta, 2001; Yu et al., 2023).

#### 3.2.3.4 Fotografování otisků

Pokud nelze provést sejmutí otisku prstu tradičními metodami kvůli jeho degradaci či jsou nalezené latentní otisky na místě katastrofy, lze otisk vyfotografovat a následně v počítači analyzovat. Snímek je upraven pro zlepšení zřetelnosti papilárních linií a následně jsou analyzovány a spočítány markanty (háčky, vidlice, očka apod.) (Jara San Miguel et al., 2021).

#### 3.2.3.5 Metoda stažení svrchní vrstvy kůže

Pokud u nalezeného těla dochází k odlupování kůže, například v důsledku delšího ponoření těla ve vodě nebo vlivem popálenin, je možné využít techniku stažení svrchní vrstvy kůže. Při této metodě je uvolněná svrchní vrstva pokožky opatrně sejmuta a následně navlečena pracovníkem přes rukavici na jeho vlastní prst. Poté lze prostřednictvím pracovníkova prstu získat kvalitní otisk inkoustovou metodou. Alternativně je možné pokusit se získat otisk i z dermis, která se nachází pod sejmutou vrstvou kůže, nicméně tato varianta je technicky náročnější a méně spolehlivá, protože papilární linie zde nejsou tak výrazné ani detailní jako na epidermis (Coman & Rusnac, 2024; Khoo et al., 2016).

#### 3.2.3.6 Rehydratace prstů

Někdy mohou být nalezené ostatky degradované či dokonce mumifikované, záleží na typu katastrofy, rychlosti nálezu a podmínkách, ve kterých byly ostatky. Tyto ostatky mohou vyžadovat v oblasti ruky a prstů určitou rehydrataci, díky které se obnovuje tvar, objem a pružnost měkkých tkání, což umožňuje sejmout otisky prstů. Tento proces také pomáhá k lepší manipulaci s rukou při posmrtné ztuhlosti (rigor mortis) (Chen et al., 2017; Iwakami et al., 2013).

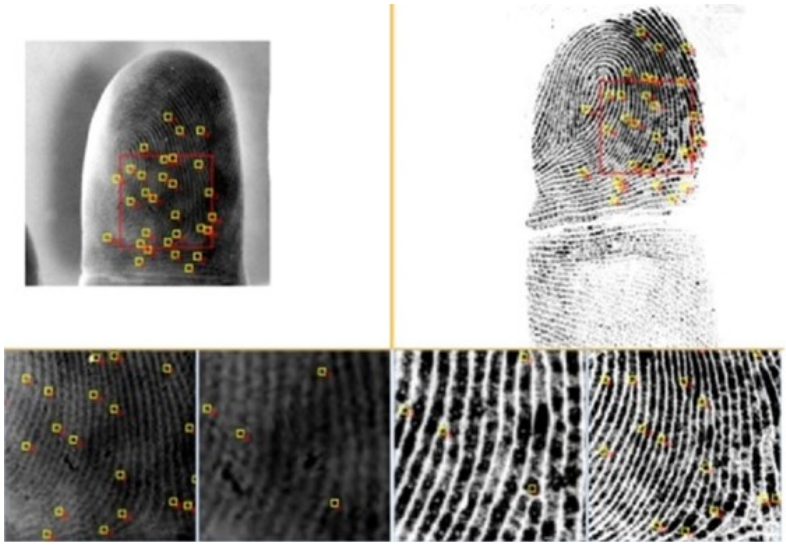
Prvním způsobem rehydratace může být namočení prstu na určitou dobu v řádu několika hodin do rehydratačního roztoku, např. močoviny, uhličitanu sodného, hydroxidu draselného nebo hydroxidu amonného. Roztoky bývají používány na velmi tvrdé a vysušené prsty. Pokud některý roztok není dostatečně účinný, lze použít jiný, který bude pro daný prst vhodnější a díky kterému se papilární linie více zvýrazní. Prst v méně vážném stavu lze namočit do obyčejné teplé vody, která bývá šetrnější, nebo prst obkládat namočenými teplými ručníky (Chen et al., 2017; Iwakami et al., 2013).

Druhým způsobem může být injekční vstřikování rehydratační tekutiny přímo do polštářků prstů, jehož účelem je vypnutí pokožky a narovnání vrásek. Nejčastěji je používán glycerin nebo formalin. Technika bývá používána také jako doplněk k chemické rehydrataci (Coman & Rusnac, 2024; Czubak et al., 2015). Po rehydrataci jsou použity klasické metody snímání otisků.

### 3.2.4 Porovnávání otisků prstů a daktyloskopická databáze

Jakmile jsou k dispozici sejmuté otisky prstů, následuje porovnání s existujícími ante mortem záznamy. Při analýze jsou sledovány markanty, které mají nejvyšší diskriminační

schopnost a umožňují rozlišení otisků. Porovnávání může probíhat manuálně, nebo automatizovaně pomocí systému AFIS (Automated Fingerprint Identification System). AFIS je systém umožňující digitalizaci, uchovávání, třídění a porovnávání otisků prstů (viz Obrázek 5). Data čerpá z databází připojených k systému. Potenciální shody, které systém vyhodnotí, jsou pro kontrolu ověřeny daktyloskopickým specialistou (Dror & Mnookin, 2010; Khanna & Shen, 1994).



***Obrázek 5*** *Ukázka vyhodnocení shody otisků prstů databází AFIS podle shodných markantů. Na levé fotografii analýza otisku z fotografie, na pravé fotografii analýza otisku z AFIS databáze. Markanty jsou zaznačeny žlutými čtverečky, shodná oblast zaznačena červeným rámečkem (převzato z Jara San Miguel et al., 2021).*

Databáze mohou být na úrovni jednotlivých států, nebo v rámci širší mezinárodní spolupráce. Mezi nejvýznamnější patří např. Interpol databáze, která slouží k výměně informací mezi členskými zeměmi, nebo Prümská úmluva v rámci EU, jež umožňuje výměnu daktyloskopických dat mezi členskými státy (Amankwaa, 2020).

## 3.3 Forenzní odontologie

Forenzní odontologie je specializovaný obor zubního lékařství, který hraje zásadní roli v identifikaci obětí trestných činů a hromadných katastrof. Zaměřuje se na jedinečné charakteristiky přítomné na zubech a na další jedinečné prvky v oblasti dutiny ústní. Významně napomáhá identifikaci obětí, která jsou silně zohavená, rozčleněná, degradovaná a které nelze identifikovat pomocí jiných metod (Hinchliffe, 2011b). Zuby jsou nejtvrdší struktury lidského těla, které vydrží vysoké teploty a nepodléhají poškození při událostech, které ničí nebo narušují většinu ostatních tělesných tkání. To je činí vhodným prostředkem pro identifikaci obětí (Pretty

& Sweet, 2001). Forenzní odontologové pro identifikaci nejdříve provedou sběr dat po smrti oběti (post mortem), které následně porovnávají s daty před smrtí (ante mortem), a poté hledají shody v charakteristických znacích (Hinchliffe, 2011a).

### 3.3.1 Sběr post mortem dat

Práce forenzních odontologů při sběru dat začíná již na místě katastrofy. Je nutné opatrně zajistit všechny přítomné ostatky, správně je roztřídit a zabalit. Na místě se dále provádějí portrétní snímky hlavy a okolí nálezu (Hill et al., 2011).

Hlavní post mortem vyšetření probíhá v márnici. Pořizují se fotografie a rentgenové snímky celých úst. Pečlivě zaznamenávána je řada charakteristických znaků, do kterých spadá počet a postavení zubů (přítomné a chybějící), anatomie zubů, typ zubu, zubní ošetření jako jsou výplně a zubní implantáty (ty mohou mít číslo šarže, které může pomoci k identifikaci), protetické náhrady nebo ortodontické aparáty. Pozorovány jsou také individuální charakteristiky zubů dané oběti jako je opotřebení, anomálie, tvar či barva, stav tvrdých a měkkých tkání nebo uspořádání a skus zubních oblouků (Hinchliffe, 2011a; Jain & Chowdhary, 2014). Ze zubu je zároveň možné odebrat vzorek DNA za účelem potvrzení identity oběti pomocí její analýzy (Hinchliffe, 2011b).

Kromě zubů bývají zaznamenávány a pozorovány také patrové rýhy (rugae palatinae). Jedná se o nízké příčné řasy nacházející se na přední části patra v dutině ústní. Tyto rýhy se vyznačují vysokou stabilitou a jedinečností, podobně jako otisky prstů. Uvnitř dutiny ústní jsou dobře chráněny tvářemi, zuby a rty, čímž mohou přežít i katastrofy, při které dochází k ohoření těla nebo jiné rozsáhlé degradaci (Jain & Chowdhary, 2014).

Post mortem zubní profilace může poskytnou informace o biologickém profilu zesnulého. Věk oběti lze odhadnout podle stupně vývoje třetích molárů (zubů moudrosti) (Harris & Nortjé, 1984), podle vývojových stádií zubů (hlavně u dětí) (Ambarkova et al., 2014) nebo pomocí změn v zubech, které se objevují s přibývajícím věkem (Kvaal & Solheim, 1994).

Pohlaví je možné určit díky rozdílnosti v rozměrech zubů (Joseph et al., 2013) nebo zjištěním přítomnosti sexuálního chromatinu (Barrova tělíska) v buňkách, což je neaktivní chromozom X přítomný pouze u žen (Suazo et al., 2010).

Z dentálních znaků je do značné míry možné odhadnout pravděpodobný etnický původ oběti. Specifické charakteristiky zubů jako jsou lopatovité řezáky a Carabelliho hrbolek mohou být přítomny pouze u vybraných etnických skupin (Pretty & Sweet, 2001). Výše popsané vzory patrových rýh se mohou lišit mezi populacemi a lze je využít k určení etnického původu (Jain

& Chowdhary, 2014). Při analýze zubů lze zohlednit i kvalitu a typ zubního ošetření a použité materiály, jelikož se mohou lišit v různých zemích a regionech (Hinchliffe, 2011a).

### 3.3.2 Sběr ante mortem dat

Ante mortem data lze získat z několika zdrojů. Kvalita těchto dat se může u každého jedince lišit. Bez dostupných dat není možné provést identifikaci založenou na dentálních důkazech. Informace jsou získávány z několika zdrojů. Zubní lékař poskytne informace o pacientovi skrze písemné záznamy, rentgenové snímky, extraorální a interorální fotografie, ortodontické záznamy, dentální modely nebo otisky chrupu. Z těchto dat jsou pozorovány charakteristické znaky podobně jako při zkoumání post mortem dat. Mezi ně patří počet zubů a jejich typ, případné absence zubů, provedení zubních ošetření, nepravidelnost v prořezávání, dentální anomálie či ortodontické vady (Rontogianni et al., 2024; Valenzuela et al., 2000).

Rodinní příslušníci pohřešovaných osob mohou pomoci poskytnutím ante mortem fotografií, nejlépe pokud jsou fotografie s úsměvem, díky čemuž lze zachytit obličejové rysy, postavení nebo sklon předních zubů (Hinchliffe, 2011a).

### 3.3.3 Porovnávání ante mortem a post mortem zubních záznamů

Porovnávání ante mortem a post mortem dat představuje závěrečnou fázi analýzy chrupu za účelem identifikace obětí katastrof. Jakmile je dokončeno vyšetření ostatků a jsou současně získány ante mortem záznamy, lze zahájit porovnávání (viz Obrázek 6). Mezi srovnávané morfologické znaky patří především tvar a poloha zubů, přítomnost výplní, implantátů, ortodontických aparátů, známek opotřebení chrupu či případné anomálie. Proces identifikace u jednotlivců s více zubními ošetřeními bývá snazší než u jednotlivců, kteří nepodstoupili žádné ošetření (Pretty & Sweet, 2001; Rontogianni et al., 2024). Zvláště efektivní je porovnání rentgenových snímků, které umožní odhalit i na první pohled neviditelné rozdíly a shody jako jsou tvary kořenů, výskyt kazů či struktury okolní kosti (Valenzuela et al., 2000).

Na základě porovnání dochází k vyvození závěru. Pokud je nalezeno dostatečné množství shodných rysů, dochází k pozitivní identifikaci. Pravděpodobná shoda nastává tehdy, existuje-li mezi znaky podobnost, ale pro pozitivní identifikaci některé klíčové informace chybí. Nastat může i situace, kdy je usouzeno, že není k dispozici dostatek záznamů, a nelze určit jasný závěr. Naopak vyloučení nastává, pokud jsou mezi údaji zjevné a neslučitelné rozdíly (Pretty & Sweet, 2001).

***Obrázek 6*** *Porovnání ante mortem a port mortem záznamů mladé dívky, která zemřela při požáru v Attice v roce 2018. (a) Ante mortem sádrový odlitek horní čelisti zhotovený ortodontistou. (b) Post mortem zubní záznamy horní čelisti stejné dívky (převzato z Rontogianni et al., 2024).*

Ve forenzní stomatologii zatím neexistují rozsáhlé a standardizované databáze a systémy, jako u analýzy DNA a daktyloskopie. Existují pouze lokální systémy v některých zemích. Plně automatizovaný systém dosud nebyl vytvořen a zubní databáze bývají zřizovány při hromadných katastrofách pouze dočasně. Nejčastějším zdrojem ante mortem údajů tak zůstávají individuální záznamy zubních lékařů, které je nutné aktivně dohledávat (Hinchliffe, 2011b).

## 3.4 Další pomocné metody identifikace obětí

Mimo DNA analýzu, daktyloskopii a forenzní odontologii jsou používány také pomocné metody, které slouží převážně jako doplnění informací, které mohou napomoci konečné identifikaci. Tyto metody jsou často prvními vodítky, která vyžadují potvrzení spolehlivějšími metodami (Cattaneo et al., 2006).

### 3.4.1 Identifikace na základě osobních předmětů

Jsou-li u oběti nalezené nějaké osobní věci, mohou být použity jako nepřímé důkazy za účelem identifikace. Mezi ně patří oblečení, které měla osoba na sobě, jelikož může naznačit, kde osoba žila, jaký měla životní styl a kulturu, může indikovat povolání, socioekonomický status a věk osoby. Podobné informace o osobě mohou poskytnout také šperky, jejichž typ a styl může poukázat na sociální status a bohatství. Dobrým zdrojem informací bývají nalezené

kabelky a tašky, jelikož se v nich mohou nacházet osobní doklady a dokumenty, mobily, členské karty, notebooky či klíče. Přestože tyto nalezené věci mohou napomoci získání totožnosti oběti, nelze je brát jako definitivní důkaz a je nutné ověření spolehlivějšími metodami (Babaei et al., 2024; Cattaneo et al., 2006).

### 3.4.2 Antropologická analýza kosterních pozůstatků

Pokud je tělo v nerozpoznatelném stavu v důsledku rozkladu nebo jiných stavů, provádí se odhad biologického profilu pomocí analýzy kosterních pozůstatků. Cílem je získat základní popis jedince, který může vyšetřovatelům zúžit okruh pátrání mezi pohřešovanými osobami. Biologický profil zahrnuje 4 kategorie, tzv. velkou čtyřku. Do ní se řadí pohlaví, věk, výška postavy a etnický původ (Austin & King, 2016; Cattaneo et al., 2010).

Pohlaví se nejčastěji určuje podle lebky a pánve, které vykazují výrazné rozdíly ve tvaru i struktuře. Věk jedince lze přibližně stanovit na základě změn, k nimž na kostech dochází během stárnutí. Hodnotí se např. aurikulární plocha kyčelních kostí, žebra, stydká spona, páteř nebo chrup. Výška postavy se vypočítává z délky dlouhých kostí pomocí regresních rovnic, které umožňují určit přibližný vzrůst. Etnický původ se posuzuje na základě metrických údajů a tvarových znaků lebky i postkraniálního skeletu (Austin & King, 2016)

Kromě odhadu biologického profilu lze také pozorovat individuální charakteristické znaky. Spadají mezi ně tetování, znaménka, jizvy či jiné modifikace. Tyto znaky je možné nafotit a fotografie následně porovnat s ante mortem záznamy (Babaei et al., 2024; Cattaneo et al., 2010).

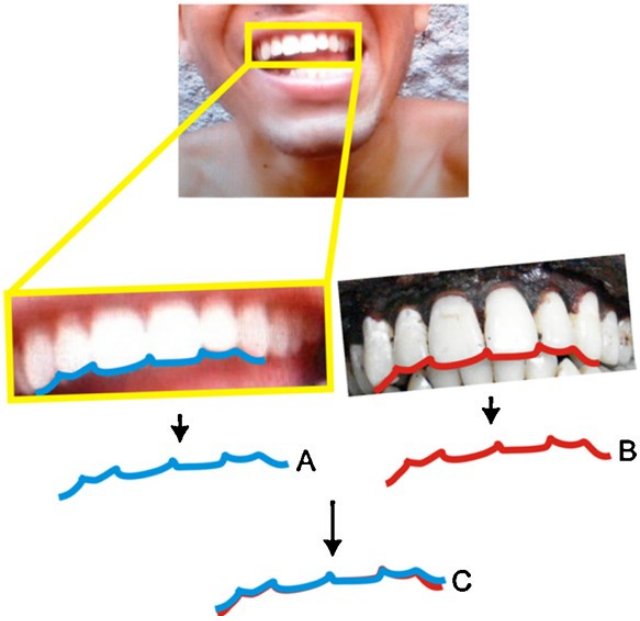
### 3.4.3 Antropologická 3D rekonstrukce obličeje

3D rekonstrukce obličeje je metoda, která umožňuje na základě lebky přibližně ztvárnit podobu člověka, a je používána v situacích, kdy nelze provést identifikaci jinými klasičtějšími metodami. Cílem není vytvořit přesnou kopii, ale alespoň přibližnou podobu tváře oběti, která napomůže ke zjištění totožnosti. Nejprve je provedena analýza lebky, ze které je zjišťováno pohlaví, věk, etnický původ a tvar obličejových struktur. Skeny lebky lze získat pomocí CT (computed tomography – výpočetní tomografie). Následně jsou na lebku umisťovány tkáňové markery podle průměrné tloušťky měkkých tkání, které se liší podle věku, pohlaví i etnického původu. Dalším krokem je modelování měkkých tkání a rysů obličeje jako je nos, rty, tváře či oči. Výsledkem je 3D model obličeje. 3D rekonstrukci obličeje je možné v dnešní době

provádět automatizovaně pomocí speciálního programu v počítači (Chaimongkhol et al., 2025; Sakuma et al., 2010).

### 3.4.5 Fotografické a superprojekční srovnávání

Pokud jsou k dispozici ante mortem fotografie pohřešovaného, lze je porovnat s post mortem fotografiemi a analyzovat obecné i specifické rysy obličeje. Obzvláště nápomocné jsou fotografie s úsměvem, podle kterých lze porovnat také detaily zubů (viz Obrázek 7) (Miranda et al., 2016). Klíčovou technikou je superprojekční metoda, která porovnává lebku neznámého s ante mortem fotografií. Metoda probíhá digitálním překrytím obrazu lebky s ante mortem fotografií hlavy a hodnoceny jsou shody v anatomických strukturách a markerech na lebce (Dostalova et al., 2012).




***Obrázek** 7 Ukázka porovnání (A) ante mortem fotografie úsměvu s (B) post mortem fotografií oběti a (C) jejich překrytí, které vykazuje shodu mezi záznamy (převzato z Miranda et al., 2016).*

## 4 Využití identifikačních metod podle charakteru katastrofy

Při identifikaci obětí hromadných katastrof je nutné brát ohled na stav těla oběti a na charakter katastrofy, a podle toho zvolit vhodnou metodu, díky které bude identifikace nejefektivnější. Nalezená těla mohou být silně fragmentovaná, ohořelá či v rozkladu. Mezi hlavní problémy může patřit nedostatek či degradace biologického materiálu, promíchání vzorků a nedostatek ante mortem záznamů pro porovnání s post mortem záznamy.

## 4.1 Katastrofy spojené s vysokým žárem

Mezi katastrofy způsobené tepelnými živly spadají např. požáry a výbuchy s následným požárem. Při těchto hromadných neštěstí dochází k ožehnutí, spálení a silné fragmentaci lidských ostatků. Intenzivní teplo může změnit barvu, velikost, tvar a mechanické vlastnosti lidské tkáně a stěžuje tím identifikaci. Je-li kost spálena do bodu kalcinace, je bílá, křehká a bez organického materiálu, nelze z ní již získat DNA (Imaizumi et al., 2014).

U ohořelých těl je vizuální identifikace často nemožná v důsledku spálení obličejových rysů. Stejně to platí u využití daktyloskopie, jelikož mohou být papilární linie poškozeny. Nejspolehlivější metodou stanovení totožnosti je využití zubních záznamů. Zuby jsou nejtvrdší strukturou lidského těla a jsou odolné vůči vysokým teplotám a poškození ohněm. U mladších obětí je úspěšnost identifikace vyšší díky vývoji zubů (Valenzuela et al., 2000). Druhou používanou metodou bývá analýza DNA, kterou lze nalézt v zubech i kostech. Ta je prováděna pouze v případě, že bylo tělo vystaveno pouze nižším teplotám a ohoření není tak drastické. S vyšší teplotou a delším časem spalování je pravděpodobnější, že dojde ke zničení DNA (Imaizumi et al., 2014).

## 4.2 Katastrofy spojené s vodními živly

Do hromadných katastrof způsobených vodními živly spadají např. záplavy, povodně či tsunami. Dlouhodobý pobyt mrtvých těl ve vodě způsobuje poškození měkkých tkání (často i papilárních linií) a rychlejší dekompozici těla. Již po 24-48 hodinách dochází k nadýmání těla, změně barvy, otokům obličeje a rtů. Pokožka se odděluje od těla a zanechává nepigmentovanou kůži, což způsobuje, že osoba tmavé pleti může vypadat světlejší. Pobyt v teplejším klimatu rozklad těla urychluje, na rozdíl od chladného, ve kterém je vyšší šance zachování DNA (Morgan et al., 2006).

Jestliže je tělo v pokročilejší fázi rozkladu vlivem podmínek okolí, vizuální identifikace nebo antropologický odhad biologického profilu mohou být obtížné. Možnou metodou identifikace je analýza DNA. Přestože jsou měkké tkáně často v procesu dekompozice, lze DNA izolovat z kostí či zubů. Čím kratší dobu je tělo ve vodě, tím je větší šance, že DNA nebyla úplně degradována. Pokud není k dispozici dostatek nDNA, lze využít mtDNA, která je odolnější vůči degradaci a má vysoký počet kopií na buňku. DNA analýza je ale finančně i technicky náročná (Graw et al., 2000). Upřednostňována je forenzní odontologie díky vysoké odolnosti zubů, zvlášť pokud se tělo nachází již v pokročilé fázi dekompozice (Poisson et al., 2003). Daktyloskopii je možné využít, pokud bylo tělo ve vodě krátkou dobu a byly zachovány

papilární linie. Pokud již dochází k oddělení pokožky od těla, ale jsou na ní zachovány papilární linie, lze uplatnit degloving metodu, při které je navlečena odlupující se kůže na prst odborníka a je zhotoven otisk prstu (Coman & Rusnac, 2024; Khoo et al., 2016).

## 4.3 Katastrofy způsobující zasypání nebo pohřbení

Některé katastrofy mohou způsobit, že oběti skončí zasypány či úplně pohřbeny pod sutinami, půdou nebo sněhem. Stát se to může při např. zemětřesení, lavině, sesuvech půdy nebo zasypání v dole. Při těchto katastrofách často dochází k fragmentaci těla a znetvoření, což může způsobit promíchání ostatků a ztížit odborníkům proces identifikace (Hakim et al., 2023; Trengrove, 2011). Nicméně v některých případech může zasypání sutinami způsobovat pomalejší rozklad těla, jelikož je pod sutinami omezený přístup kyslíku a tím pádem je přítomno i méně aerobních bakterií, na kterých je z velké části rozklad závislý. Pomalejšímu rozkladu může napomoci také omezený přístup hmyzu nebo nižší teplota pod vrstvou trosek. Obecně ale platí, že délka rozkladu těla závisí na okolních podmínkách (Gaudry, 2009).

Vhodnou metodou identifikace je forenzní odontologie, analýza DNA i daktyloskopie, díky častému zachování papilárních linií. V praxi je často využívána kombinace těchto metod a také pomocné metody jako je identifikace vizuální nebo díky osobním věcem. Vždy záleží na závažnosti katastrofy a stavu těl obětí (Aoki et al., 2013; Hakim et al., 2023; Trengrove, 2011).

## 4.4 Katastrofy technického a násilného charakteru

Mezi tento druh katastrof se řadí např. antropogenní katastrofy jako jsou dopravní havárie (pád letadla, námořní havárie, srážky vlaků), výbuchy továren, bombové teroristické útoky nebo válečné konflikty. Tyto události často bývají náhlé se silně destruktivním účinkem na lidské tělo. Ostatky mohou být mechanicky poškozené, fragmentované nebo rozptýlené po velkém prostoru (Baldino et al., 2021; Beauthier et al., 2020; Marrone et al., 2021). V tělech mohou být nalezeny cizí tělesa a úlomky, jako tomu bylo např. při pádu letu MH17, kdy byly v obětech nalezeny malé kovové fragmenty pocházející z letadla (viz Obr. 8) (Vermeij et al., 2022).

Nejefektivnější metodou identifikace bývá analýza DNA, forenzní odontologie nebo jejich kombinace. Daktyloskopie je rychlejší a levnější metoda, která je ale používána pouze v případě, že jsou zachovány papilární linie. Forenzní antropologové hrají při tomto typu katastrof důležitou roli, jelikož je nutné fragmentované a rozptýlené ostatky správně

identifikovat a roztřídit, aby nedošlo k promíchání a kontaminaci (Beauthier et al., 2020; Marrone et al., 2021; Vermeij et al., 2022).

***Obrázek 8*** *Fotografie zachycující cizorodé předměty nalezené v těle člena posádky letu MH17. Měřítko: mm. (převzato z Vermeij et al., 2022).*

# 5 DVI týmy

DVI (disaster victim identification) týmy jsou specializované multidisciplinární skupiny, které byly zřízeny za účelem identifikace obětí hromadných katastrof. Proces identifikace je při takovém množství obětí velmi náročný a je potřeba spolupráce odborníků z různých oborů, přičemž spolupráce může probíhat i na mezinárodní úrovni mezi DVI týmy jednotlivých zemí. Součástí DVI týmů typicky bývají forenzní antropologové, forenzní patologové, forenzní odontologové, specialisti na otisky prstů, molekulární biologové, policejní kriminalisté, ale také fotografové a technici v márnicích (Blau & Briggs, 2011; de Boer et al., 2018b; Przybyłowski, 2020).

DVI týmy mají za úkol shromažďovat post mortem a ante mortem data, které následně vyhodnocují a porovnávají. Proces identifikace má 5 fází, do kterých se řadí místo události, márnice a sběr post mortem dat, sběr ante mortem dat, porovnávání dat a vyhodnocení dat (de Boer et al., 2018b). Ke shromažďování dat se používají standardizované formuláře s jednotnou

terminologií, často podle doporučení INTERPOLU, do kterých jsou zaznamenávány všechny informace zjištěné při vyšetření ostatků (Sokol et al., 2011; Sokol & Bendl, 2017).

Forenzní antropolog hraje v DVI týmu obzvlášť důležitou roli, pokud jsou nalezené ostatky poškozené, fragmentované, spálené nebo degradované (Blau & Briggs, 2011). Forenzní antropolog má hned několik úkolů, které začínají již na místě události. Tam dohlížejí na správné zdokumentování místa nálezu, samotných ostatků a následné roztřízení a zabalení ostatků pro přepravu do márnice (de Boer et al., 2020). V márnici probíhají další úkony jako je odhadnutí přibližného počtu jedinců, kterým patří ostatky, odhad biologického profilu, roztřízení a rozpoznání jednotlivých fragmentů či využití zobrazovacích metod k identifikaci individuálních znaků a ke stanovení biologického profilu. Společně s forenzním patologem analyzují traumata na kostech, stanovují příčinu smrti a posuzují faktory, které ovlivnily tělo po smrti (Márquez-Grant & Roberts, 2021). Kromě standardních antropologických dovedností musí antropolog být také znalý v oblasti DVI procesu a jeho fázích, v dokumentaci a v legislativě (de Boer et al., 2018b).

V České republice (ČR) DVI tým funguje od roku 2016 a myšlenka jeho činnosti je založena na spolupráci orgánů PČR (Policie České republiky), složek IZS (integrovaný záchranný systém) a expertů z civilního sektoru. Společně jsou připraveni zasahovat u hromadných neštěstí v ČR i zahraničí. Na rozdíl od jiných míst na planetě nehrozí v ČR závažnější přírodní katastrofy jako je zemětřesení nebo tsunami. Nejčastěji se potýká se silnými bouřemi způsobující záplavy a povodně, orkány, velkými požáry nebo většími dopravními nehodami. Počet obětí se pohybuje spíše v jednotkách nebo nižších desítkách (Sokol et al., 2011; Sokol & Bendl, 2017)

DVI týmy jsou klíčové pro efektivní řešení hromadných katastrof s velkým množstvím obětí. Řada expertů z různých oborů součinně spolupracuje při procesu identifikace a řídí se jednotnými metodami. Bez takového organizovaného přístupu a kooperace by docházelo k chaosu, práce by byla méně efektivní a jednotlivci by sami nedokázali shromáždit a analyzovat data v takovém rozsahu, jaký je při hromadných katastrofách nutný (de Boer et al., 2020).

# 6 Závěr

Hromadné katastrofy představují extrémně náročné situace, které vyžadují rychlou a koordinovanou reakci odborníků. Ať už jde o přírodní katastrofu, technickou havárii nebo násilný útok, každé hromadné neštěstí je specifické svým rozsahem, podmínkami na místě zásahu, mírou poškození lidských těl i dostupností informací potřebných k identifikaci. Právě odlišnost každé katastrofy klade důraz na individuální přístup týmu při výběru vhodných identifikačních metod. Zatímco v některých případech lze využít relativně rychlé a nenáročné metody, jako je daktyloskopie nebo srovnání dentálních záznamů, v jiných situacích je nutné spoléhat na genetickou analýzu, která bývá náročnějším a delším procesem. Při katastrofách s opravdu ničivým dopadem na těla obětí je často nutné pro získání totožnosti společně kombinovat více identifikačních metod. Důležitá je při těchto rozsáhlých neštěstích spolupráce odborníků, kteří uplatňují své znalosti, aby dosáhli společného cíle, kterým je identifkovat co nejvíce obětí, a dát tím jejich rodinám možnost uzavřít bolestivou kapitolu nejistoty a konečně vědět, co se s jejich blízkými stalo.

V jednotlivých kapitolách této práce jsem se věnovala jak samotné klasifikaci hromadných katastrof, tak praktickým rozdílům mezi jejich typy. Zjistila jsem, že některé katastrofy mívají podobný průběh a vytvářejí opakující se vzorce. Každý typ katastrofy tedy nejen ovlivňuje samotný průběh identifikace, ale často i předurčuje, jaké metody a strategie bude možné uplatnit. Tato zkušenost z minulých případů pak může pomoci odborníkům se lépe připravit i na budoucí situace.

Do budoucna by mohla identifikaci obětí výrazně zefektivnit lepší mezinárodní koordinace a sdílení databází, např. genetických profilů nebo zubních záznamů, mezi jednotlivými státy. Pomoci by mohla i větší dostupnost technologií přímo na místě zásahu nebo intenzivnější zapojení umělé inteligence do procesu identifikace, jejíž rychlý vývoj v posledních letech může zásadně měnit možnosti identifikace obětí.

## Seznam literatury


*Alonso, A., Martin, P., Albarrán, C., Garcia, P., Fernandez de Simon, L., Jesús Iturralde, M., Fernández-Rodriguez, A., Atienza, I., Capilla, J., García-Hirschfeld, J., Martinez, P., Vallejo, G., García, O., García, E., Real, P., Alvarez, D., León, A., & Sancho, M. (2005). Challenges of DNA profiling in mass disaster investigations. *Croatian medical journal*, *46*(4), 540–548.

*Amankwaa A. O. (2019). Trends in forensic DNA database: transnational exchange of DNA data. *Forensic sciences research*, *5*(1), 8–14. https://doi.org/10.1080/20961790.2019.1565651

Ambarkova, V., Galić, I., Vodanović, M., Biočina-Lukenda, D., & Brkić, H. (2014). Dental age estimation using Demirjian and Willems methods: cross sectional study on children from the Former Yugoslav Republic of Macedonia. *Forensic science international*, *234*, 187.e1–187.e1877. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.10.024

Aoki, T., Ito, K., Aoyama, S., & Kosuge, E. (2013). Disaster victim identification using dental records - Experience of the Great East Japan Earthquake. *IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference,* 57–62. https://doi.org/10.1109/R10-HTC.2013.6669014

*Austin, D., & King, R. E. (2016). The biological profile of unidentified human remains in a forensic context. *Academic forensic pathology*, *6*(3), 370–390. https://doi.org/10.23907/2016.039

Babaei, M., Shirzad, J., Ghorbani, Y., & Faghih Fard, P. (2024). Pathology of the process of determining the identity of unidentified decedents in the criminal investigation department of police (Case study: Qazvin, Iran). *Journal of Police Medicine*, *13*(1). https://doi.org/10.30505/13.1.6

Babler W. J. (1991). Embryologic development of epidermal ridges and their configurations. *Birth defects original article series*, 27(2), 95–112.

Baldino, G., Stassi, C., Mondello, C., Bottari, A., Vanin, S., & Ventura Spagnolo, E. (2021). Forensic investigative issues in a fireworks production factory explosion. *International journal of legal medicine*, *135*(4), 1647–1654. https://doi.org/10.1007/s00414-021-02564-5

Beauthier, F., Van de Voorde, W., Lefevre, P., & Beauthier, J. P. (2020). Belgium experience in disaster victim identification applied in handling terrorist attack at Brussels Airport 2016. *Forensic sciences research*, 5(3), 223–231. https://doi.org/10.1080/20961790.2020.1775932

Below, R.; Wirtz, A.; Guha-Sapir, D. (2009) Disaster category classification and peril terminology for operational purposes; *Centre for research on the epidemiology of disasters.*

Blau, S., & Briggs, C. A. (2011). The role of forensic anthropology in disaster victim identification (DVI). *Forensic science international*, *205*(1-3), 29–35. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.07.038

Brookes A. J. (1999). The essence of SNPs. *Gene*, *234*(2), 177–186. https://doi.org/10.1016/s0378-1119(99)00219-x

Budowle, B., Bus, M. M., Josserand, M. A., & Peters, D. L. (2020). A standalone humanitarian DNA identification database system to increase identification of human remains of foreign nationals. *International journal of legal medicine*, *134*(6), 2039–2044. https://doi.org/10.1007/s00414-020-02396-9

Butler, J. M. (2005). *Forensic DNA typing: Biology & technology behind STR markers*. Elsevier Academic Press.

*Carey, L., & Mitnik, L. (2002). Trends in DNA forensic analysis. *Electrophoresis*, *23*(10), 1386–1397. https://doi.org/10.1002/1522-2683(200205)23:10<1386::AID-ELPS1386>3.0.CO;2-M

Cattaneo, C., De Angelis, D., Porta, D., & Grandi, M. (2006). Personal identification of cadavers and human remains. *Forensic Anthropology and Medicine: Complementary Sciences From Recovery to Cause of Death*, 359–379. Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-099-7_15

Cattaneo, C., Porta, D., De Angelis, D., Gibelli, D., Poppa, P., & Grandi, M. (2010). Unidentified bodies and human remains: an Italian glimpse through a European problem. *Forensic science international*, *195*(1-3), 167.e1–167.e1676. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.11.008

Chaimongkhol, T., Navic, P., Sinthubua, A., Palee, P., Pattamapaspong, N., Prasitwattanaseree, S., Charuakkra, A., & Mahakkanukrauh, P. (2025). Utility of 3D facial reconstruction for forensic identification: a focus on facial soft tissue thickness and customized techniques. *Forensic science, medicine, and pathology.* https://doi.org/10.1007/s12024-025-00945-5

Chen, C.-C., Yang, C.-K., Chen, C.-Y., Lee, H. C., & Wang, S.-M. (2017). Comparison of rehydration techniques for fingerprinting the deceased after mummification. *Journal of Forensic Sciences*, *62*(1), 205–208. https://doi.org/10.1111/1556-4029.13237

Chino, M., Nakayama, H., Nagai, H., Terada, H., Katata, G., & Yamazawa, H. (2011). Preliminary estimation of release amounts of $^{131}$I and $^{137}$Cs accidentally discharged from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the atmosphere. *Journal of Nuclear Science and Technology*, *48*(7), 1129–1134. https://doi.org/10.1080/18811248.2011.9711799

Coman, A., Rusnac, C. (2024). Fingerprinting cadavers: forensic tool for combating crime. *Prevenirea şi combaterea criminalităţii: probleme, soluţii şi perspective*. 225–230.

Corach, D. (2010). Mass disaster victim identification assisted by DNA typing. *Molecular Diagnostics,* 407–415. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374537-8.00027-4

Corte-Real, F. (2004). Forensic DNA databases. *Forensic Science International*, *146*. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.09.043

Cummins, H. (1941). Ancient finger prints in clay. *Journal of Criminal Law and Criminology*, *32*(4), 468–481. https://doi.org/10.2307/1136661

Czubak, W., Czubak, A., & Konopka, T. (2015). Fingerprinting of corpses undergoing early post-mortem changes. *Problems of Forensic Sciences*, *102*, 71–79.

Datta, A.K. (2001). *Advances in fingerprint technology* (H.C. Lee, R. Ramotowski, & R.E. Gaensslen, Eds.) (2nd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420041347

*de Boer, H. H., Blau, S., Delabarde, T., & Hackman, L. (2018). The role of forensic anthropology in disaster victim identification (DVI): recent developments and future prospects. *Forensic sciences research*, *4*(4), 303–315. https://doi.org/10.1080/20961790.2018.1480460

*de Boer, H. H., Roberts, J., Delabarde, T., Mundorff, A. Z., & Blau, S. (2020). Disaster victim identification operations with fragmented, burnt, or commingled remains: experience-based recommendations. *Forensic sciences research*, *5*(3), 191–201. https://doi.org/10.1080/20961790.2020.1751385

de Boer, H. H., Maat, G. J. R., Kadarmo, D. A., Widodo, P. T., Kloosterman, A. D., & Kal, A. J. (2018). DNA identification of human remains in disaster victim identification (DVI): An efficient sampling method for muscle, bone, bone marrow and teeth. *Forensic science international*, *289*, 253–259. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.05.044

Dostalova, T., Eliasova, H., Seydlova, M., Broucek, J., & Vavrickova, L. (2012). The application of CamScan 2 in forensic dentistry. *Journal of forensic and legal medicine*, *19*(7), 373–380. https://doi.org/10.1016/j.jflm.2012.04.015

Dror, I. E., & Mnookin, J. L. (2010). The use of technology in human expert domains: challenges and risks arising from the use of automated fingerprint identification systems in forensic science. *Law, Probability and Risk*, *9*(1), 47–67. https://doi.org/10.1093/lpr/mgp031

Edwards, A., Civitello, A., Hammond, H. A., Caskey, C. T. (1991). DNA typing and genetic mapping with trimeric and tetrameric tandem repeats. *The American Journal of Human Genetics*, *49*(4), 746–756.

*Ehtisham, M., Wani, F., Wani, I., Kaur, P., & Nissar, S. (2016). Polymerase chain reaction (PCR): Back to basics. *Indian Journal of Contemporary Dentistry*, *4*(2), 30–35. https://doi.org/10.5958/2320-5962.2016.00030.9

Galton, F. (1892). *Finger prints*. Macmillan & Co.

Gaudry, E. (2009). The insects colonisation of buried remains. (J. Amendt, L. Goff, C. Campobasso, & M. Grassberger, Eds.), *Current concepts in forensic entomology*, 273–311. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9684-6_13

Giardina, E., Pietrangeli, I., Martone, C., Zampatti, S., Marsala, P., Gabriele, L., Ricci, O., Solla, G., Asili, P., Arcudi, G., Spinella, A., & Novelli, G. (2009). Whole genome amplification and real-time PCR in forensic casework. *BMC Genomics*, *10*. https://doi.org/10.1186/1471-2164-10-159

Ginther, C., Issel-Tarver, L., & King, M. C. (1992). Identifying individuals by sequencing mitochondrial DNA from teeth. *Nature Genetics*, *2*(2), 135–138. https://doi.org/10.1038/ng1092-135

Graw, M., Weisser, H. J., & Lutz, S. (2000). DNA typing of human remains found in damp environments. *Forensic Science International*, *113*(1–3), 91–95. https://doi.org/10.1016/s0379-0738(00)00221-8

Haarkötter, C., Gálvez, X., Vinueza-Espinosa, D. C., Medina-Lozano, M. I., Saiz, M., Lorente, J. A., & Álvarez, J. C. (2023). A comparison of five DNA extraction methods from degraded human skeletal remains. *Forensic Science International*, *348*. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111730

Hakim, H. M., Selamat, S. N., Majid, N. A., Rasudin, N. S., Rahman, M. A., Ismail, S. A., & Edinur, H. A. (2023). Landslide at father's organic farm: DVI and the health indicators during monsoons. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*, *19*.

Harris, M. J., & Nortjé, C. J. (1984). The mesial root of the third mandibular molar. A possible indicator of age. *The Journal of Forensic Odonto-Stomatology*, *2*(2), 39–43.

Henry, E. R. (1900). *Classification and uses of finger prints*. George Routledge and Sons.

Herschel, W. J. (1916). *The Origin of Finger-Printing*. H. Milford, Oxford University Press.

Hill, A. J., Lain, R., & Hewson, I. (2011). Preservation of dental evidence following exposure to high temperatures. *Forensic Science International*, *205*(1–3), 40–43. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.08.1

Hinchliffe, J. (2011a). Forensic odontology, Part 1. Dental identification. *British Dental Journal*, *210*(5), 219–224. https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2011.146

Hinchliffe, J. (2011b). Forensic odontology, part 2. Major disasters. *British Dental Journal*, *210*(6), 269–274. https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2011.199

Hinkes, M. (1989). The role of forensic anthropology in mass disaster resolution. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*.

Hopwood, A. J., Mannucci, A., & Sullivan, K. M. (1996). DNA typing from human faeces. *International Journal of Legal Medicine*, *108*(5), 237–243. https://doi.org/10.1007/BF01369817

Imaizumi, K., Taniguchi, K., & Ogawa, Y. (2014). DNA survival and physical and histological properties of heat-induced alterations in burnt bones. *International Journal of Legal Medicine*, *128*(3), 439–446. https://doi.org/10.1007/s00414-014-0988-y

Iwakami, E., Uchigasaki, S., & Tie, J. (2013). Restoration of fingerprints from a mummified cadaver. *Journal of Forensic Research*, *4*(2). https://doi.org/10.4172/2157-7145.s6-001

Jackson, M., & Hood, C. (1991). The new public management: A recipe for disaster? *Canberra Bulletin of Public Administration*, 12–17.

*Jain, A., & Chowdhary, R. (2014). Palatal rugae and their role in forensic odontology. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, *5*(3), 171–178. https://doi.org/10.1111/j.2041-1626.2013.00150.x

Jara San Miguel, J. C., Cuadrado Piñas, J., Miralles Mosquera, S., & Ruiz Mediavilla, E. (2021). An identification case study from fingerprint photographs. *Forensic Science International*, *324*(2), 110826. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110826

Jeffreys, A. J., Wilson, V., & Thein, S. L. (1985). Hypervariable “minisatellite” regions in human DNA. *Nature*, *314*(6006), 67–73. https://doi.org/10.1038/314067a0

*Jobling, M. A., & Gill, P. (2004). Encoded evidence: DNA in forensic analysis. *Nature Reviews. Genetics*, *5*(10), 739–751. https://doi.org/10.1038/nrg1455

*Joseph, A. P., Harish, R. K., Mohammed Rajeesh, P., & Kumar, V. R. (2013). How reliable is sex differentiation from teeth measurements. *Oral & Maxillofacial Pathology Journal, 4*(1).

Kahana, T., Freund, M., & Hiss, J. (1997). Suicidal terrorist bombings in Israel--identification of human remains. *Journal of forensic sciences*, *42*(2), 260–264.

Kahana, T., & Hiss, J. (2009). The role of forensic anthropology in mass fatality incidents management. *Forensic Science Policy & Management: An International Journal*, *1*(3), 144–149. https://doi.org/10.1080/19409040903071275

*Kaushal, N., & Kaushal, P. (2011). Human identification and fingerprints: A review. *Journal of Biometrics & Biostatistics*, *2*(4). https://doi.org/10.4172/2155-6180.1000123

Khanna, R., & Shen, W. (1994). Automated fingerprint identification system (AFIS) benchmarking using the National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Database 4. *Proceedings of IEEE International Carnahan Conference on Security Technology*, 188–194.

Khoo, L. S., Hasmi, A. H., Mahmood, M. S., & Vanezis, P. (2016). Underwater DVI: Simple fingerprint technique for positive identification. *Forensic Science International*, *266*, e4–e9. https://doi.org/10.1016/J.FORSCIINT.2016.08.019

Köchl, S., Niederstätter, H., & Parson, W. (2005). DNA extraction and quantitation of forensic samples using the phenol-chloroform method and real-time PCR. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*, *297*, 13–30. https://doi.org/10.1385/1-59259-867-6:013

Kvaal, S., & Solheim, T. (1994). A non-destructive dental method for age estimation. *The Journal of Forensic Odonto-Stomatology*, *12*(1), 6–11.

Langley, N.R., & Tersigni-Tarrant, M.A. (2017). *Forensic anthropology: A comprehensive introduction,* Second Edition (N.R. Langley, & M.A. Tersigni-Tarrant, Eds.) (2nd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.4324/9781315300030

*Márquez-Grant, N., & Roberts, J. (2021). Redefining forensic anthropology in the 21st century and its role in mass fatality investigations. *European Journal of Anatomy*, *25*(S2), 19–34.

Marrone, M., Tarantino, F., Stellacci, A., Baldassarra, S. L., Cazzato, G., Vinci, F., & Dell’Erba, A. (2021). Forensic analysis and identification processes in mass disasters: Explosion of gun powder in the fireworks factory. *Molecules, 27*(1). https://doi.org/10.3390/molecules27010244

Miranda, G. E., Freitas, S. G. de, Maia, L. V. de A., & Melani, R. F. H. (2016). An unusual method of forensic human identification: use of selfie photographs. *Forensic Science International*, *263*, e14–e17. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.04.028

Morgan, L. O., Johnson, M., Cornelison, J. B., Isaac, C. V., deJong, J. L., & Prahlow, J. A. (2017). Autopsy fingerprint technique using fingerprint powder. *Journal of Forensic Sciences*, *63*(1), 262–265. https://doi.org/10.1111/1556-4029.13532

Morgan, O. W., Sribanditmongkol, P., Perera, C., Sulasmi, Y., Van Alphen, D., & Sondorp, E. (2006). Mass fatality management following the South Asian tsunami disaster: case studies in Thailand, Indonesia, and Sri Lanka. *PLoS Medicine*, *3*(6), e195. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0030195

Mullis K. B. (1990). The unusual origin of the polymerase chain reaction. *Scientific American*, 262(4), 56–65. https://doi.org/10.1038/scientificamerican0490-56

O'Neill, M. Edwin. (1937). Development of latent finger-prints on paper. *Journal of the American Institute of Criminal Law and Criminology*, 28(3), 432-441.

Parker, D., & Tapsell, S. (1995). Hazard transformation and hazard management issues in the London megacity. *GeoJournal*, *37*(3), 313–328. https://doi.org/10.1007/BF00814011

Poisson, P., Chapenoire, S., Schuliar, Y., Lamant, M., & Corvisier, J.-M. (2003). Four major disasters in Aquitaine, France: use of odontologic techniques for identification. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, *24*(2), 160–163. https://doi.org/10.1097/01.PAF.0000070002.10025.3b

Pretty, I. A., & Sweet, D. (2001). A look at forensic dentistry-Part 1: The role of teeth in the determination of human identity. *British Dental Journal*, *190*(7), 359–366. https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4800972

Principe, A. H., & Verbeke, D. J. (1972). Fingerprinting of the deceased by the dusting-tape method. *The Journal of Criminal Law, Criminology, and Police Science*, 63(3), 439–443. https://doi.org/10.2307/1142072

*Prinz, M., Carracedo, A., Mayr, W. R., Morling, N., Parsons, T. J., Sajantila, A., Scheithauer, R., Schmitter, H., Schneider, P. M., & International Society for Forensic Genetics (2007). DNA commission of the international society for forensic genetics (ISFG): recommendations regarding the role of forensic genetics for disaster victim identification (DVI). *Forensic science international. Genetics*, *1*(1), 3–12. https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2006.10.003

*Przybyłowski, M. (2020). Problematic aspects of the identification of the dead bodies of aviation crash victims in Poland. The role of the forensic medicine expert in an external examination group and a Disaster Victim Identification (DVI) team. *Archives of Forensic Medicine and Criminology*, *70*(2–3), 136–148. https://doi.org/10.5114/amsik.2020.104178

Rontogianni, A., Mitsea, A., & Karayianni, K. (2024). The role of orthodontics in children identification: a case report of two victims of mass disaster. *The Journal of Forensic Odonto-Stomatology*, *42*(1), 2–11. https://doi.org/10.5281/zenodo.11061609

Sakuma, A., Ishii, M., Yamamoto, S., Shimofusa, R., Kobayashi, K., Motani, H., Hayakawa, M., Yajima, D., Takeichi, H., & Iwase, H. (2010). Application of postmortem 3D-CT facial reconstruction for personal identification. *Journal of forensic sciences*, *55*(6), 1624–1629. https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01526.x

Sanger, F., Nicklen, S., & Coulson, A. R. (1977). DNA sequencing with chain-terminating inhibitors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *74*(12), 5463–5467. https://doi.org/10.1073/pnas.74.12.5463

Smith, L. M., Sanders, J. Z., Kaiser, R. J., Hughes, P., Dodd, C., Connell, C. R., Heiner, C., Kent, S. B., & Hood, L. E. (1986). Fluorescence detection in automated DNA sequence analysis. *Nature*, *321*(6071), 674–679. https://doi.org/10.1038/321674a0

Sokol, M., Pinin, A., & Bendl, P. (2011). Koncepce identifikačních týmů (DVI) v České republice při řešení hromadných nehod. *Urgentní Medicína - Časopis pro Neodkladnou Lékařskou Péči*, *4*(4), 27–30.

Sokol, M., & Bendl, P. (2017). Nasazení DVI týmu při řešení mimořádné události s větším počtem zemřelých v ČR. *Forenzní vědy, právo, kriminalistika, 2*(1), 86–93

* Štětina, J., Býma, S., Cabal, J., Čáp, R., Čapoun, T., Černý, V., Dědek, T., Drábková, J., Dymák, V., Dymák, Z., Ferko, A., Humlíček, V., Hylák, Č., Janošec, J., Kassa, J., Klein, L., Konštacký, S., Kovářík, F., Mangl, J., … Volner, Š. (2014). *Zdravotnictví a integrovaný záchranný systém při hromadných neštěstích a katastrofách.* Grada Publishing. ISBN 978-80-247-4578-7.

* Šín, R., Franěk, O., Halaška, J., Holec, T., Hon, Z., Jukl, M., Jun, D., Kavan, Š., Matoušek, R., Mildorf, R., Pitschmann, V., Plodr, M., Ralbovská, D. R., Sabol, J., Sokol, M., Šepsová, V., Vavrová, L., Vidunová, J. (2017). *Medicína katastrof*. Galén, ISBN 978-80-7492-295-4.

Stimac, J. T. (1998). Plastic fingerprint impressions: An inked approach. *Journal of Forensic Identification*, *48*(5), 574.

Suazo Galdames, I., Roa Henríquez, I., & Cantín L, M.. (2010). Sex chromatin in dental pulp: Performance of diagnosis test and gold standard generation. *International Journal of Morphology*, *28*(4), 1093–1096. https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022010000400017

Sullivan, K. M., Pope, S., Gill, P., & Robertson, J. M. (1992). Automated DNA profiling by fluorescent labeling of PCR products. *PCR methods and applications*, *2*(1), 34–40. https://doi.org/10.1101/gr.2.1.34

Trengrove, H. (2011). Operation earthquake 2011: Christchurch earthquake disaster victim identification. *The Journal of Forensic Odonto-Stomatology*, *29*(2), 1–7.

United States. Federal Bureau of Investigation. (1973). *The science of fingerprints; classification and uses.* U.S. Government Printing Office.

Valenzuela, A., Martin-de las Heras, S., Marques, T., Exposito, N., & Bohoyo, J. M. (2000). The application of dental methods of identification to human burn victims in a mass disaster. *International journal of legal medicine*, 113(4), 236–239. https://doi.org/10.1007/s004149900099

Vermeij, E., Zoon, P., Gerretsen, R., & Otieno-Alego, V. (2022). The outcome of the forensic triage preceding disaster victim identification in the downing of Malaysia Airlines flight 17. *Forensic Sciences Research*, *7*(3), 566–575. https://doi.org/10.1080/20961790.2022.2043611

Westen, A. A., Gerretsen, R. R. R., & Maat, G. J. R. (2008). Femur, rib, and tooth sample collection for DNA analysis in disaster victim identification (DVI) : AA method to minimize contamination risk. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, *4*(1), 15–21. https://doi.org/10.1007/s12024-007-0027-0

Wilson, M. R., Stoneking, M., Holland, M. M., DiZinno, J. A., & Budowle, B. (1993). Guidelines for the use of mitochondrial DNA sequencing in forensic science. *Crime Laboratory Digest*, 68–77.

*Yu, Y., Niu, Q., Li, X., Xue, J., Liu, W., & Lin, D. (2023). A review of fingerprint sensors: Mechanism, characteristics, and applications. *Micromachines*, *14*(6), 1253. https://doi.org/10.3390/mi14061253