

Vizualizácia odtlačkov prstov ultrafialovým žiarením

Bc. Radovan Potúček

Diplomová práca
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radovan Potůček**
Osobní číslo: **A17254**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vizualizace otisků prstů ultrafialovým zářením**
Téma anglicky: **The Visualisation of Fingerprints Using Ultraviolet Radiation**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši zaměřenou na snímání otisků prstů a vyberte metodu, kterou lze realizovat v laboratořích FAI UTB.
2. Nastudujte využití luminiscenčních technik ve forezních vědách.
3. Připravte studijní vzorky a změřte jejich luminiscenční chování.
4. Vyberte vhodnou spektrální oblast pro ozařování vzorku určených k vizualizaci.
5. Zobrazte otisky prstů ve vybraných spektrálních oblastech a výsledky okomentujte.
6. Proveďte kritické zhodnocení vámi testované metody a navrhnete směry dalšího výzkumu.



Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. SIEGEL, Jay A, Pekka J SAUKKO a Max M HOUCK. Encyclopedia of forensic sciences. Second edition. Waltham, MA, USA: Elsevier, Academic Press, [2013]. ISBN 9780123821652.
2. PELANT, Ivan a Jan VALENTA. Luminescence spectroscopy of semiconductors. New York: Oxford University Press, 2012. ISBN 0199588333.
3. LAKOWICZ, Joseph R. Principles of fluorescence spectroscopy. 3rd ed. New York: Springer, c2006. ISBN 0387312781.
4. AKIBA, Norimitsu. Visualization of Aged Fingerprints with an Ultraviolet Laser. Journal of Forensic Sciences [online]. 2018. ISSN 0022-1198. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1556-4029.13588>.
5. PLUHÁČEK, Tomáš. Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry imaging: A personal identification based on a gunshot residue analysis on latent fingerprints. Analytica Chimica Acta [online]. 2018, 25-32. ISSN 0003-2670. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267018307207?via%3Dihub>.
6. CHRISTOPHER G., Worley. Detection of Visible and Latent Fingerprints Using Micro-X-ray Fluorescence Elemental Imaging. Journal of Forensic Sciences [online]. 2006. ISSN 0022-1198. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1556-4029.2005.00006.x>.

Vedoucí diplomové práce:

doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

30. listopadu 2018

Termín odevzdání diplomové práce:

17. května 2019

Ve Zlíně dne 14. prosince 2018

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou 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;
- beru na vědomí, že podle § 60 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 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen přípouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové 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 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.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 22.5.2019

RADOVAN POTÚČEK, v. r.
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Táto diplomová práca sa zaoberá vizualizáciou a záznamom odtlačkov prstov pomocou ultrafialového žiarenia. V teoretickej časti sú vysvetlené základné princípy daktyloskopie a metódy snímania odtlačkov prstov. Ďalej je vysvetlená podstata luminiscencie, jej základné druhy a luminiscenčné spektrá. Praktická časť je zameraná na skúmanie starnutia laboratórnych vzoriek odtlačkov prstov ultrafialovým žiarením pomocou spektrofluormetra a laditeľného farbivového lasera. Ďalej sa zaoberá stanovením vhodnej oblasti žiarenia pre vybudenie luminiscencie k detekcii obrazov odtlačkov prstov z povrchov nevhodných pre klasické kriminalistické techniky. V závere práce sú zhodnotené merania odtlačkov prstov vo vybraných spektrálnych oblastiach a navrhnutie smeru ďalšieho výskumu.

Kľúčové slová: Odtlačky prstov, daktyloskopia, ultrafialové žiarenie, luminiscencia, spektroskopia

ABSTRACT

This theses deals with visualization and record fingerprints with ultraviolet radiation. In theoretical part are explained the basic principles of dactyloscopy and the method of fingerprint detection. Additionally, fundamentals, basic types and spectra of luminescence are explained. The practical part is focused on investigation of aging laboratory fingerprint samples by ultraviolet radiation with spectrofluorophotometer and tunable dye laser. Further, it deals with the determination of a suitable radiation area for luminescence excitation to detect fingerprint images from surfaces unsuitable for classical criminal techniques. Finally, fingerprint measurements in selected spectral areas are evaluated and the direction of further research are suggested.

Keywords: Fingerprints, dactyloscopy, ultraviolet radiation, luminescence, spectroscopy

Týmto by som sa rád poďakoval vedúcemu diplomovej práce pánovi doc. RNDr. Vojtěchovi Křesálkovi, CSc. za vedenie, odborné znalosti, pripomienky, ústretový prístup a ochotu. Za poskytnuté pripomienky a rady by som sa taktiež chcel poďakovať Ing. Michaele Mikuličovej. Ďalej by som sa chcel ešte poďakovať Bc. Janovi Vlachynskému za asistenciu pri experimentoch a zdokumentovaní, a v poslednom rade celej mojej rodine za jej veľkú podporu počas celého štúdia.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia diplomovej práce a verzia elektronická nahraná do IS/STAG sú totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČASŤ	10
1 ODTLAČKY PRSTOV	11
1.1 HISTÓRIA ODTLAČKOV PRSTOV	11
1.2 CHARAKTERISTIKA DAKTYLOSKOPIE	13
1.3 DAKTYLOSKOPICKÉ STOPY	15
1.4 VZORY ODTLAČKOV PRSTOV	17
1.5 METÓDY SNÍMANIA ODTLAČKOV PRSTOV	21
1.5.1 Fyzikálne metódy	21
1.5.2 Chemické metódy.....	24
1.5.3 Fyzikálno-chemické metódy	26
1.5.4 Špeciálne metódy	27
1.6 ZAISTENIE DAKTYLOSKOPICKÝCH STÔP	28
1.7 ČASOVÁ TRVÁCNOSŤ ODTLAČKOV PRSTOV	29
2 LUMINISCENCIA	30
2.1 PRINCÍP LUMINISCENCIE	30
2.2 DRUHY LUMINISCENCIE.....	31
2.2.1 Fotoluminiscencia	31
2.2.2 Röntgenoluminiscencia	32
2.2.3 Rádioluminiscencia	32
2.2.4 Elektroluminiscencia	32
2.2.5 Katódoluminiscencia	33
2.2.6 Chemiluminiscencia	34
2.2.7 Bioluminiscencia	34
2.2.8 Termoluminiscencia	35
2.2.9 Mechanoluminiscencia.....	36
2.2.10 Sonoluminiscencia	36
2.3 LUMINISCENCIA V ORGANICKÝCH A ANORGANICKÝCH LÁTKACH	37
2.3.1 Intrinsická a extrinsická luminiscencia	37
2.4 VYUŽITIE LUMINISCENCIE V PRAXI	37
3 SPEKTROSKOPIA A OPTICKÉ METÓDY	39
3.1 ULTRAFIALOVÉ ŽIARENIE	40
3.1.1 Zdroje ultrafialového žiarenia	40
3.1.2 Kategórie ultrafialového svetla	41
3.1.3 Viditeľnosť ultrafialového žiarenia	42
3.1.4 Účinky a využitie ultrafialového žiarenia	42
4 LUMINISCENČNÉ SPEKTRÁ	44
4.1 ABSORPČNÉ SPEKTRÁ	44
4.2 EXCITAČNÉ SPEKTRÁ.....	45
4.3 EMISNÉ SPEKTRÁ	45
II PRAKTICKÁ ČASŤ	46
5 ANALÝZA STARNUTIA ODTLAČKOV PRSTOV	

LUMINISCENČNOU SPEKTROSKOPIOU.....	47
5.1 POPIS EXPERIMENTU.....	47
5.2 POPIS MERACIEHO PRÍSTROJA.....	47
5.2.1 SHIMADZU RF-6000	47
5.2.2 Laditeľný farbivový LASER.....	48
5.3 PRÍPRAVA VZORKY.....	49
5.4 MERANIE INTENZITY ŽIARENIA ODTLAČKU PRSTA.....	51
6 VIZUALIZÁCIA ODTLAČKOV PRSTOV POD UV ŽIARENÍM	56
6.1 POUŽITÉ VYBAVENIE K VIZUALIZÁCII.....	56
6.1.1 UV lampa KRUSS Optronics	56
6.1.2 MEGAMAXX MMX 300.....	56
6.2 POPIS EXPERIMENTU.....	58
6.3 VIZUALIZÁCIA ODTLAČKU PRSTA NA KREMENNOM SKLÍČKU	58
6.4 VIZUALIZÁCIA ODTLAČKU PRSTA NA TKANINE.....	61
7 ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV PRÁCE.....	64
ZÁVER	65
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	66
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	69
ZOZNAM OBRÁZKOV	70
ZOZNAM TABULIEK	72
ZOZNAM PRÍLOH.....	73

ÚVOD

V súčasnosti sa ani jeden deň nezaobíde bez násilností, zločinov alebo rôznych výtržností a kriminálnych trestných činov. K úspešnému odhaľovaniu a vyšetrovaniu týchto trestných činností využívame vybrané metódy a poznatky kriminalistiky. Je to veda, ktorá rieši a objasňuje vznik kriminalistických stôp a následne pomocou nich dokáže urobiť rekonštrukciu zločinu a identifikovať páchateľa. Má dôležitú úlohu v boji proti kriminalite a jej výsledky sú ovplyvnené kvalitou stôp a následne technickou kvalitou snímania týchto stôp. Dnes sú technológie oveľa vyspelejšie ako v minulosti a to uľahčuje prácu vyšetrovateľom pri ich pátraní.

Jednou z metód kriminalistickej praxe je aj metóda vyhľadávania, zviditeľňovania a skúmania odtlačkov prstov pomocou papilárnych línií, čím sa zaoberá daktyloskopia. Najrôznejšie technické metódy a prostriedky sa využívajú aj pri vizualizácii a záznamoch odtlačkov prstov z povrchov nevhodných pre klasické kriminalistické techniky.

Cieľom diplomovej práce je stanoviť vhodnú oblasť žiarenia pre vybudenie luminiscencie a nájsť vhodné podmienky detekcie obrazov odtlačkov prstov. V teoretickej časti sú uvedené základné princípy daktyloskopie, metódy snímania odtlačkov prstov, podstata luminiscencie, základné druhy a spektrá luminiscencie. V závere teoretickej časti sú vysvetlené účinky a využitie ultrafialového žiarenia. Praktická časť popisuje skúmanie odtlačkov prstov spektrofluormetrom, pomocou ktorého prebieha analýza starnutia vzorky na základe merania intenzity emisného žiarenia. Ďalej popisuje meracie zariadenia, prípravu vzoriek a meranie intenzity žiarenia odtlačku prsta. Druhá kapitola praktickej časti je zameraná na vizualizáciu a záznam odtlačkov prstov z povrchov nevhodných pre klasické kriminalistické techniky. Popisuje vybavenie potrebné k vizualizácii a následne stanovenie vhodnej oblasti žiarenia pre vybudenie luminiscencie odtlačkov prstov. Zaoberá sa tiež vizualizáciou odtlačkov prstov z povrchov nevhodných pre klasické kriminalistické techniky. V poslednej kapitole je zhodnotenie výsledkov práce, ktoré môžu poslúžiť ako inšpirácia a podklad, na ktorý by bolo možné nadviazať v ďalšom výskume.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 ODTLAČKY PRSTOV

Ľudské odtlačky prstov sú jedinečné s unikátnym vyvýšeným povrchom pokožky na každom zakončení povrchu prstov. Každý človek má na povrchu prstov drobné brázdovité útvary, ktoré vytvárajú rôzne tvary, papilárne línie. Každý človek ich má jedinečné a ich štruktúra je špecificky tvarovaná. Pomocou nej môžeme identifikovať človeka.

Koža a tiež papilárne línie sa vytvárajú počas embryomentálneho vývoja. Už v tejto dobe počas štvrtého a piateho mesiaca sa vytvorí základ papilárnych línií, nezameniteľných obrazcov, ktoré sa vývojom prehlbujú a rozširujú na základe rastu jedinca. Zároveň ich tvar a obrazce sa nemenia. Každý prst je jedinečný, neexistujú dva rovnaké prsty. Samozrejme pokiaľ nedôjde k fyzickému poškodeniu povrchu prstov. [1]

1.1 História odtlačkov prstov

Archeologické nálezy dokazujú, že odtlačky prstov sa využívali na identifikáciu už v Asýrii a v Číne pred 7 tisíc rokmi pred našim letopočtom. Prvý spis o odtlačkoch prstov pochádza z Číny ako prostriedok k zabezpečeniu totožnosti osôb. V Babylone podpisovali obchodné zmluvy tým, že namiesto podpisu vložili na hlinené tabuľky odtlačok palca. Takýmto spôsobom sa uzatvárali písomné zmluvy aj v Perzii. [1]

Najstarší doklad o existencii papilárnych línií pochádza z indiánskych kmeňov, ktoré žili na území dnešného štátu Indiana. Na kameňoch našli vyryté obrazy „petroglyfy“, ktoré znázorňujú ľudskú ruku. Ich vek sa odhaduje na niekoľko tisícročí pred našim letopočtom.

Prvé zdokumentované vedecké poznatky na európskom kontinente o odtlačkoch prstov tvorené špirálami a slučkami popísal v roku 1686 taliansky profesor anatómie na Boloňskej univerzite Marcello Malpighi. [1]

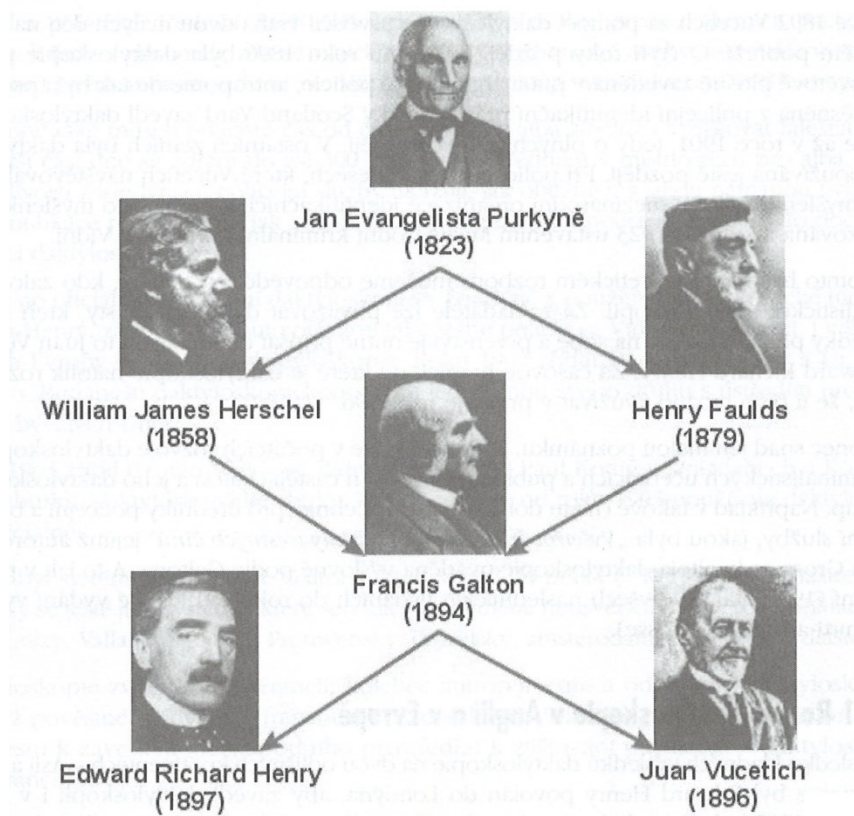
Obrazmi papilárnych línií sa zaoberal aj český prírodovedec a lekár **Ján Evangelista Purkyně**. Veľký pokrok sa zaznamenal tým, že prvý popísal a rozlíšil deväť základných vzorov papilárnych línií na posledných článkoch prstov a navrhol ich delenie. Môžeme ho považovať za zakladateľa teórie fyziologických poznatkov daktyloskopie. [1]

Ďalšou osobnosťou zaoberajúcou sa odtlačkami prstov bol anglický úradník **William James Herschel**, ktorý si všimol zvyk čínskych obchodníkov, ktorí dohody zapečatili odtlačkom palca. Odtlačky prstov ho natoľko zaujali, že ich začal skúmať. Zistil rozdielnosť odtlačkov prstov rôznych osôb. O niekoľko rokov svoj poznatok využil pri

vyplácání dôchodkov indickým vojakom. Pre Európana boli Indovia podobní a nevedel ich rozoznať. Začal ich identifikovať podľa odtlačkov prstov. Skúmaním mnohých odtlačkov prstov dokázal hypotézu, že v priebehu života sa kresba papilárnych línií nemení. [1]

Takmer súčasne sa zaoberal skúmaním odtlačkov prstov Angličan **Henry Faulds** pôsobiaci v Japonsku. Skúmal odtlačky prstov na predhistorických hlinených nádobách, na domových dverách a tiež na dokladoch. Svoje skúmanie zamerl na odtlačky prstov rôznych národností. [1]

Títo Angličania prišli na rovnakú myšlienku nezávisle od seba a svojimi výskumami položili základy pre ďalší vývoj daktyloskopie. [1]



Obr. 1. Významní predstavitelia daktyloskopie a rok objavu. [1]

Na ich výskumy nadviazal ďalší Angličan **Francis Galton**, ktorý vyštudoval medicínu, no nikdy sa povolaniu nevenoval. Zaoberal sa otázkami dedičnosti a zamerl sa na možnosti odtlačkov prstov pri identifikácii osôb. Dospel k záveru, že každý odtlačok obsahuje malý trojuholník, kde sa papilárne línie zbiehajú. Ten nazval „delta“ a na tomto základe

charakterizoval štyri základné typy odtlačkov prstov. Tak vytvoril základy pre identifikáciu osôb, z ktorých kriminalistická daktyloskopia vychádza dodnes. [1]

Policajný inšpektor **Edward Richard Henry** navštívil Galtona a oboznámil sa so všetkými výsledkami jeho skúmania. Snažil sa celú daktyloskopickú sústavu, ktorú mu predviedol, zaviesť do praxe. Antropometrické údaje doplnil o odtlačky všetkých desiatich prstov. Keď sa jeho zbierka rozrástla až na 200 000 kariet, odhalili sa nedostatky antropometrickej identifikácie a vláda posúdila, že daktyloskopia je jednoduchšia, rýchlejšia a presnejšia. Po zavedení odtlačkov prstov sa zistili niektoré podvody pri vyplácaní dôchodkov pre vojakov a úradníkov, keď príbuzní chodili pre výplatu aj po smrti príbuzného. Tým boli tieto podvody znemožnené. [1]

Pre daktyloskopiu sa nadchol aj **Jan Vucetich**, ktorého zaujal článok o Galtonovi a jeho objavoch. Nezávisle na ňom stanovil štyri základné klasifikačné typy, kde označil palce písmenami A, B, C, D a prsty číslicami 1, 2, 3, 4. Začal členiť odtlačky prstov rovnakého typu podľa počtu papilárnych línií. Za zakladateľov kriminalistickej daktyloskopie môžeme považovať Jana Vuceticha a Edwarda Richarda Henryho, ktorí na svoje výsledky prišli nezávisle od seba. Preto sa pripisuje prvenstvo obom. [1]

1.2 Charakteristika daktyloskopie

„Daktyloskopia je náuka o obrazoch papilárnych línií na vnútornej strane článkov prstov, na dlaniach a chodidlách. Je to metóda umožňujúca identifikáciu osôb.“ [1, s. 170]

Vznik obrazcov papilárnych línií podlieha niekoľkým zásadám:

- Neexistujú dvaja jedinci, ktorí by mali zhodné obrazce papilárnych línií. Jednoduchý výpočet, ktorého predpoklad je dvadsať znakov v kresbe papilárnych línií na poslednom článku prsta, nám ukáže, že je možných 64 miliárd rôznych variant obrazcov. A to je predpoklad, že výskyt dvoch rovnakých papilárnych kresieb je nepravdepodobný.
- Obrazce papilárnych línií zostávajú nemenné po celý život človeka. Začínajú sa tvoriť v štvrtom mesiaci embryonálneho vývoja a zachovávajú sa nezmenené po celý život. Len vo vysokom veku bývajú niekedy narušené vráskami starnúcej kože.
- Papilárne línie sú neodstraniteľné, pokiaľ sa neodstráni aj zárodočná vrstva kože. Keď sa odstráni len vrchná koža, papilárne línie sa poškodia len dočasne, pokiaľ sa

rana nezahojí. Aj spálenie, či iné povrchové zranenie nedokáže trvale odstrániť papilárne línie. Po regenerácii sa papilárne línie objavia vo svojich pôvodných obrazcoch a štruktúrach. [1]

Tieto základné zásady boli preverované mnohými vedeckými pracovníkmi, ktorí sa snažili dokázať, ale i spochybnit' ich platnosť. No všetky práce nakoniec potvrdili, že papilárne línie sú nemenné. [1]

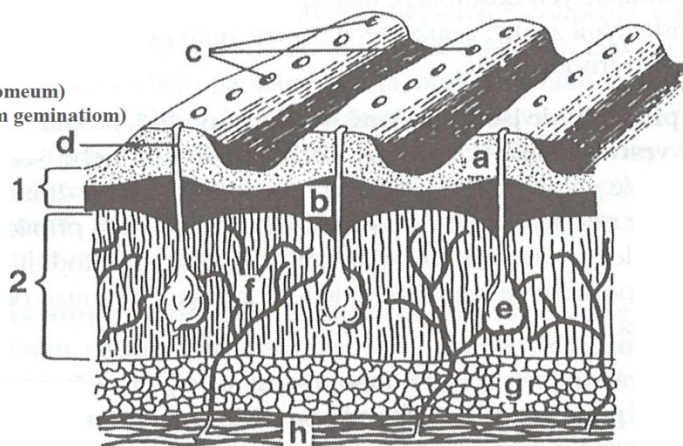


Obr. 2. Detail papilárnych línií prsta.

Odtlačky prstov vychádzajú z fyziologických vlastností kože (Obr. 3) vytvárajúcich štruktúru papilárnych línií. Ich výška je v rozpätí od 0,1 - 0,4 mm a šírka v rozpätí 0,2 - 0,7 mm.

- 1 - pokožka (epidermis)
- 2 - zamša (cutis)

- a - vrstva rohová (stratum comeum)
- b - vrstva zárodočná (stratum germinatum)
- c - póry
- d - vývody potných žliaz
- e - potné žľazy
- f - cievy
- g - podkožný tuk
- h - svalstvo



Obr. 3. Zloženie kože s papilárnymi líniami. [2]

Štruktúra a vzájomné kríženie, zmena smeru, rozvetvenie papilárnych línií vytvárajú zložité a jedinečné obrazce, ktoré súvisia s citlivosťou pokožky a ich hmatovými

vlastnosťami. Zaisťovanie a skúmanie odtlačkov prstov nám napomáha k daktyloskopickej identifikácii osôb. [2]

1.3 Daktyloskopické stopy

Na predmetoch, ktoré sú schopné prijať a určitú dobu uchovať obraz papilárnych línií po tom ako sa ich človek dotkne, sa vytvoria daktyloskopické stopy.

Daktyloskopické stopy môžu vzniknúť niekoľkými spôsobmi:

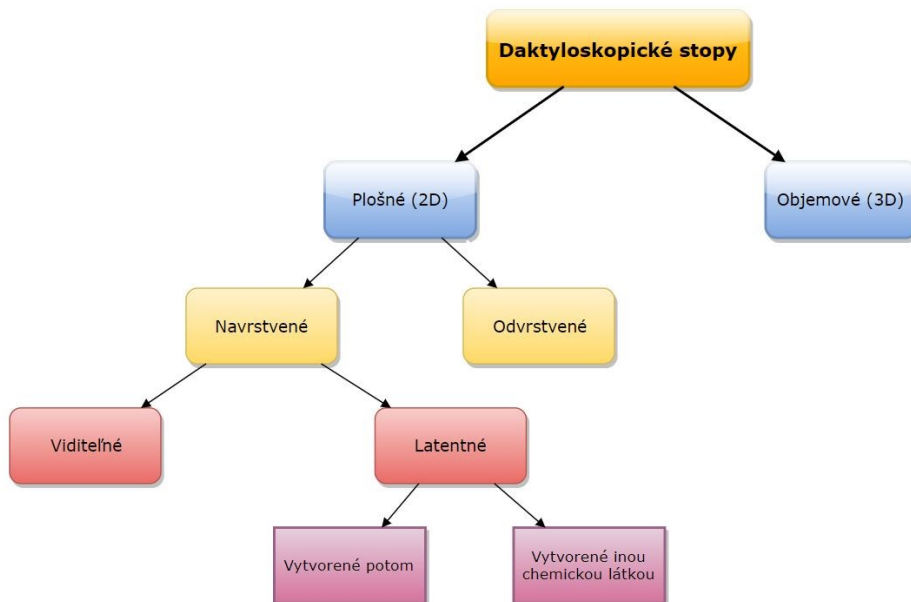
- Vytvorí sa zrkadlovo obrátený reliéf povrchovej štruktúry papilárnych línií. Takéto stopy sa vytvárajú, keď prijímajúce látky sú schopné plastickej deformácie tlakom pri dotyku. Alebo je to hmota, ktorá zmení svoje fyzikálne vlastnosti vplyvom zmeny teploty prstov a na povrchu vytvorí reliéf, napríklad čokoláda, parafín, maslo. Tento povrch je pomerne stály, kým nedôjde k roztaveniu celej hmoty. K vytvoreniu povrchového reliéfu môže dôjsť aj vtedy, ak je hmota v stave prebiehajúcich zmien, napríklad tuhnutí vosk, schnúci lak. Takúto skupinu daktyloskopických stôp nazývame *plastickými (3D) daktyloskopickými stopami*.
- Daktyloskopická stopa vznikne prenesením látky z povrchu predmetu na papilárne línie a tým dôjde k porušeniu povrchovej štruktúry daného materiálu. V miestach vzniku daktyloskopickej stopy zostáva pôvodný povrch materiálu neporušený. Vznik takýchto stôp môže byť rôzny, napríklad pôsobením vlhkosti prsta sa roztopí malé množstvo lepidla na známkach, na lepiacich páskach a pod. Tak vznikajú veľmi kvalitné daktyloskopické stopy vhodné k identifikácii.

Daktyloskopické stopy sa vytvárajú aj pri látkach, ktoré majú lepidivé schopnosti, napríklad nátery farieb, lakov. Poruší sa súvislá vrstva náteru alebo lepidla v miestach styku papilárnych línií s povrchom. V medzipapilárnych priestoroch zostane náter neporušený.

Ďalší druh stôp vznikne vtedy, ak sú papilárne línie prstov pokryté dostatočným množstvom potu, ktorý má lepidivé schopnosti a na ich povrchu sa zachytia čiastočky prachu z nábytku, zo skla. Ak sú prsty príliš suché, nepodarí sa týmto spôsobom vytvoriť kvalitné daktyloskopické stopy.

V týchto prípadoch dochádza k prenosu určitého množstva látky na papilárne línie prsta. Nazývame ich *odvrstvené daktyloskopické stopy*.

- Na rôzne predmety sa nanesie látka z papilárnych línií, ktorá sa na nich zachytila, napríklad farba, prach, písacie prostriedky a táto látka vytvorí aj voľným okom pozorovateľné stopy. Nazývame ich *navrstvené daktyloskopické stopy*. [1]



Obr. 4. Klasifikácia daktyloskopických stôp. [2, upravil Potúček 2019]

Podľa toho, či daktyloskopické stopy sú viditeľné voľným okom, alebo sa musia rôznymi metódami zviditeľňovať, ich delíme na viditeľné a neviditeľné (latentné) daktyloskopické stopy.

- **Viditeľné** daktyloskopické stopy môžu byť plastické a plošné. Skúmanie takýchto stôp nespôsobuje žiadne prekážky, no vyžaduje dôslednú prácu kriminalistického technika. Mastné, krvavé alebo inak farebné plošné daktyloskopické stopy sa zaisťujú fotograficky. Prašné daktyloskopické stopy vzniknuté v prachu alebo zaprášeným prstom sa skúmajú pomocou daktyloskopической fólie. [3]
- **Latentné** daktyloskopické stopy patria medzi navrstvené, ktoré nie sú viditeľné voľným okom. Obvykle bývajú vytvorené potom. Pot je tvorený viac ako 99% vodou, kyselinou mliečnou, chloridom sodným, močovinou a aminokyselinami. Zloženie potu je rôzne, záleží od druhu potravy, zdravotného stavu, liekov a tiež veku človeka. Latentný odtlačok je označovaný ako odtlačok vytvorený potom. Treba brať do úvahy aj každodenný kontakt s rôznymi látkami, ako sú napríklad kozmetické prípravky, ktoré môžu ovplyvniť výsledok a prípadne aj skomplikovať

viditeľnosť odtlačku. Trvanie latentných daktyloskopických stôp je ovplyvnené mnohými faktormi: teplotou, vlhkosťou, časom vzniku stopy, slnečným žiarením a mnohými inými vplyvmi. V praxi sa dokážu zviditeľniť a zaistiť stopy aj niekoľko rokov staré. [2]

Častejšie sa stretávame so skúmaním neviditeľných (latentných) stôp. Niekedy ich môžeme pri správnom osvetlení analyzovať a fotografovať. Využívame aj špeciálne laserové metódy, ktoré pomocou luminiscencie môžu zviditeľniť odtlačok prsta. Kriminalistická technika vypracovala celý rad metód, ktoré sa zaoberajú skúmaním daktyloskopických stôp. [2]

1.4 Vzory odtlačkov prstov

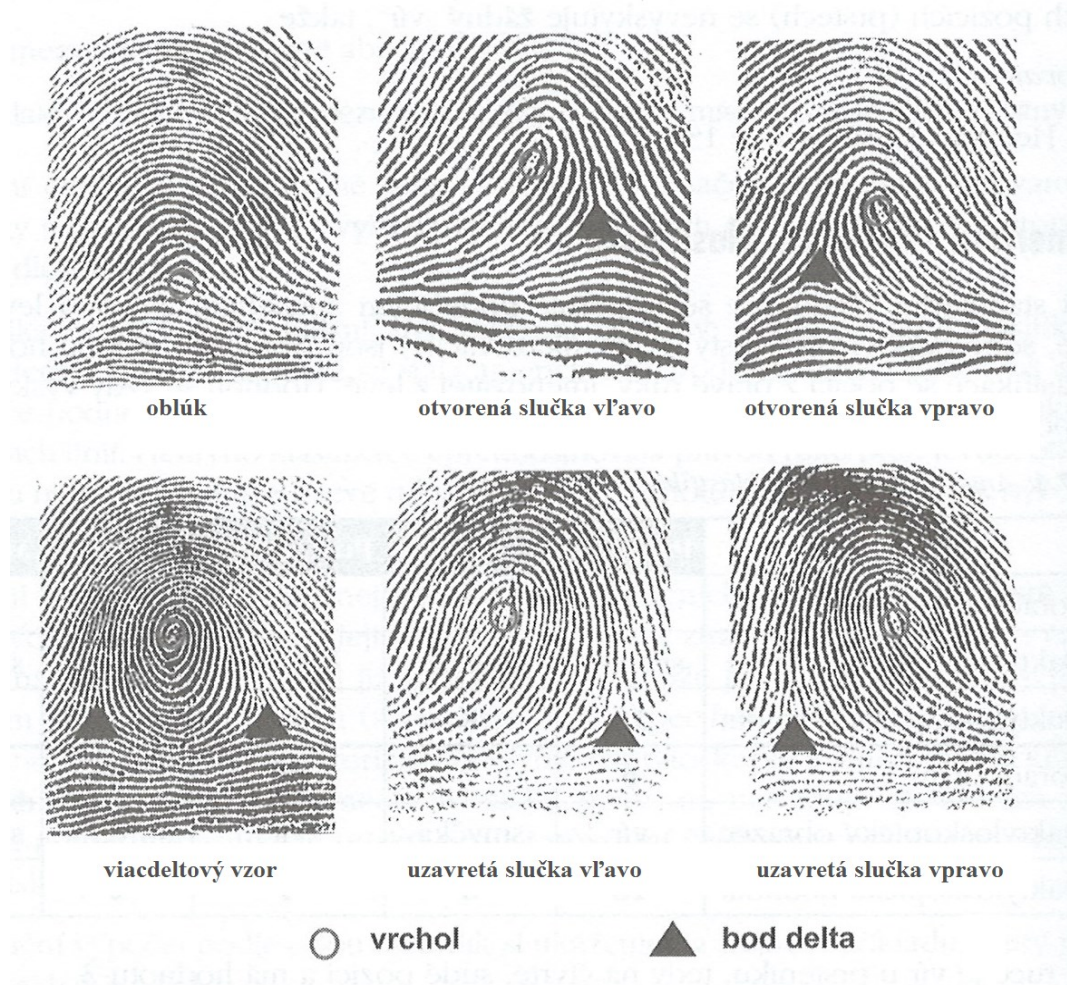
Pri určovaní základných daktyloskopických vzorov sa stretávame s pojmami vrchol a bod delta.

„Vrchol odtlačku je pomyslený bod, ktorý pripomína vrchol (miesto s najvyššou nadmorskou výškou) súradnicového kartografického systému, tvoreného vrstevnicami. Vrstevnice sú reprezentované jednotlivými papilárnymi líniami.“ [1, s. 199]

„Bod delta – je to pomyslený bod, okolo neho sa papilárne línie rozbiehajú do troch smerov – vrcholov pomysleného trojuholníka.“ [1, s. 199]

Pre klasifikáciu odtlačkov prstov sa v celosvetovej praxi využívajú tri základné vzory: oblúk, slučka a viacdeltový vzor. Zaujímavosťou je to, že výskyt týchto základných vzorov závisí od etnických skupín obyvateľstva. Európania majú najčastejší vzor slučky, pre Afričanov je typický vzor oblúk a obyvatelia Ázie majú vysoký výskyt viacdeltových vzorov. [1]

V československej praxi rozlišujeme šesť základných daktyloskopických vzorov: oblúk, otvorenú slučku vľavo, otvorenú slučku vpravo, viacdeltový vzor, uzavretú slučku vľavo, uzavretú slučku vpravo, ktoré sú uvedené na obrázku (Obr. 5).



Obr. 5. Základné daktyloskopické vzory. [1]

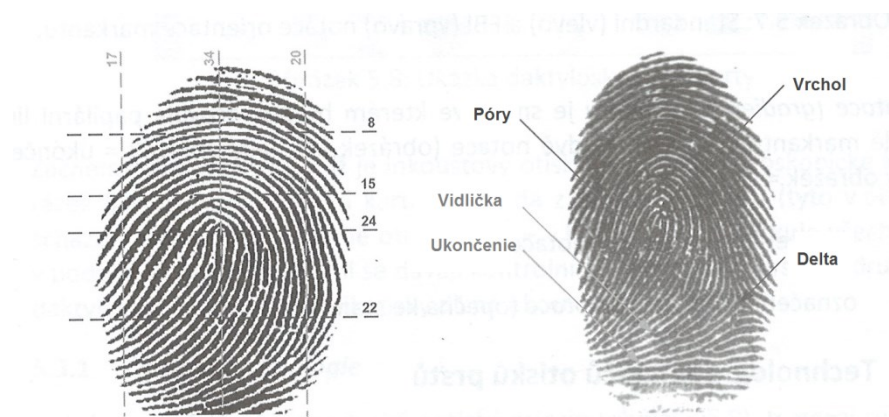
Československá a neskôr česká daktyloskopia rozlišuje tieto základné daktyloskopické vzory:

- *Oblúk* je tvorený papilárnymi líniami smerujúcich od jedného kraja prsta k druhému. V strede tvoria línie mierne oblúky. Tento vzor zvyčajne nemá bod delta.
- *Otvorená slučka vľavo* je tvorená papilárnymi líniami, ktoré vychádzajú z ľavej strany odtlačku prstov, prechádzajú po oblúku cez daktyloskopický vrchol a vracajú sa späť na ľavú stranu. Bod delta je na pravej strane odtlačku, zároveň medzi vrcholom a slučkou musí byť aspoň jedna počítateľná - prebiehajúca línia.
- *Otvorená slučka vpravo* je tvorená papilárnymi líniami, ktoré vychádzajú z pravej strany odtlačku prstov cez daktyloskopický vrchol a vracajú sa späť na pravú

stranu. Bod delta je na ľavej strane odtlačku, zároveň medzi vrcholom a slučkou musí byť aspoň jedna počítateľná – prebiehajúca línia.

- *Viacdeltový vzor* má dve alebo viac delt. Papilárne línie tvoria kruhové, oválne, elipsovité a špirálové dvojslučkové obrazce, ktoré obsahujú najmenej dve delty s aspoň jednou počítateľnou samostatnou líniou.
- *Uzavretá slučka vľavo* je tvorená papilárnymi líniami, ktoré vytvárajú nepravidelné obrazce s deltou na pravej strane. Uzavretá slučka vľavo tvorí prechod medzi vzormi otvorenej slučky a viacdeltovým vzorom.
- *Uzavretá slučka vpravo* je tvorená papilárnymi líniami, ktoré vytvárajú nepravidelné obrazce s deltou na ľavej strane. Uzavretá slučka vpravo tvorí prechod medzi vzormi otvorenej slučky a viacdeltovým vzorom. [1]

Počet papilárnych línií medzi dvoma bodmi deltou a vrcholom sa používa ako ďalší spôsob pre charakteristiku odtlačkov prstov vo vertikálnom a horizontálnom smere. Smerom k jadrú sa počet papilárnych línií zväčšuje (Obr. 6). [4]

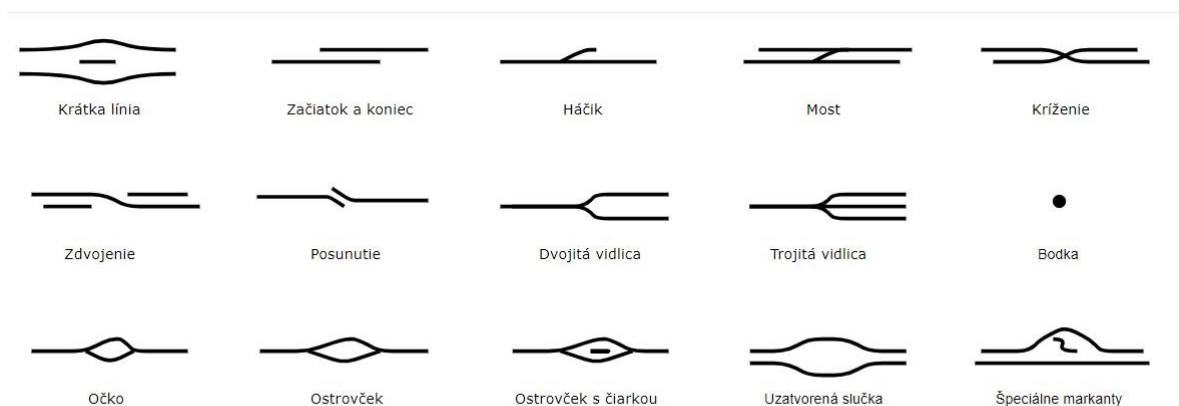


Obr. 6. Počet papilárnych línií. [4]

Pri identifikácii odtlačkov prstov rozlišujeme individuálne špeciálne znaky, ktoré nazývame markanty. K základným markantom, ktoré sa porovnávajú na rovnakom odtlačku prsta patria:

- krátka línia – papilárne línie v tvare úsečky, ktorá leží medzi rovnobežnými priamkami papilárnych línií
- začiatok a koniec – papilárne línie majú tvar polpriamky
- háčik – papilárne línie sa rozdeľujú a jedna je menšia ako 3 mm
- most – dve papilárne línie sú spojené ďalšou, ktorá je dlhšia ako 3mm

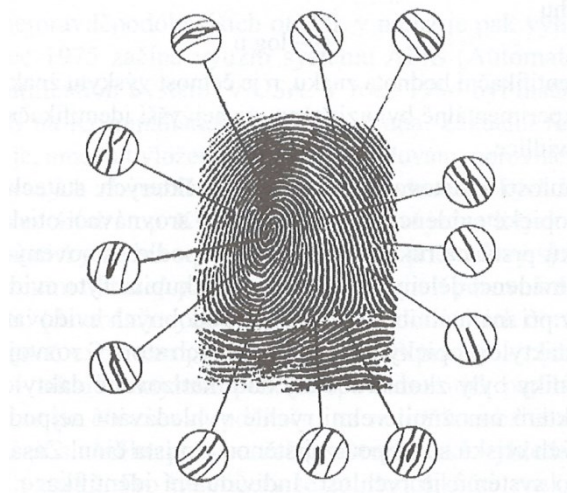
- kríženie – dve papilárne línie sa krížia
- zdvojenie – dochádza k zdvojeniu dvoch paralelných papilárnych línií. Jedna protiľahlá dvojica je prerušená a v druhej dochádza k prepojeniu protiľahlých línií
- posunutie – jednoduchá papilárna línia je prerušená a jej konce sú vyhnuté smerom von
- dvojitá vidlica – papilárna línia sa rozdvojí na dve časti, ktoré sú dlhšie ako 3 mm a zároveň sú paralelné
- trojitá vidlica – je podobná ako dvojitá vidlica, ale kde papilárna línia sa delí na tri časti
- bodka – je to samostatne stojaca papilárna línia s tvarom bodky, v najbližšom okolí sa nenachádzajú žiadne papilárne línie
- očko – papilárne línie sa spájajú do kruhu, ktorý nie je väčší ako 3 mm
- ostrovček – podobné ako očko, kruhová oblasť je väčšia ako 3 mm a menšia ako 6 mm, ohraničený priestor je prázdny
- ostrovček s čiarkou – papilárna línia nie je dlhšia ako 6 mm, je uzavretá do kruhu
- uzavretá slučka – medzi dvomi alebo viacerými paralelnými líniami je vytvorený prázdny priestor
- špeciálne markanty – zriedka sa vyskytujúce tvary, napríklad otáznik uzatvorený do nepravidelného tvaru. [1]



Obr. 7. Zloženie kože s papilárnymi líniami. [1, upravil Potůček 2019]

K identifikácii človeka musíme mať dostatočný počet markantov, no nie je celosvetovo stanovený ich presný počet. U nás sa považuje za dostatočný počet stopa s viac ako desiatimi markantmi. To je použiteľná stopa na identifikáciu človeka. Za čiastočne

použitelnú stopu považujeme tú, ktorá má sedem až deväť markantov. Ak je menej markantov ako šesť, hovoríme o nepoužiteľnej stope, ktorú môžeme využiť pri vylúčení podozrivých osôb, no nedokážeme ich jednoznačne identifikovať. [2]



Obr. 8. Typy markantov odtlačku prsta. [2]

Určujeme polohu jednotlivých znakov a vyjadrujeme počet papilárnych línií, ktoré sú medzi nimi. Ak sa všetky charakteristické znaky zhodujú tvarom i polohou, môžeme ukončiť identifikačný proces o totožnosti odtlačku prsta. [2]

1.5 Metódy snímania odtlačkov prstov

Pri zviditeľňovaní latentných daktyloskopických stôp kriminalistická technika používa fyzikálne, chemické a fyzikálno-chemické metódy. Výber správnej metódy pozostáva z mnohých faktorov, ktoré musíme brať do úvahy, napríklad druh stopy, kvalita nositeľa stopy, charakter a čas vzniku stopy. Pri výbere správnej metódy je dôležitá aj skúsenosť a správne poznatky pracovníka polície. [2]

1.5.1 Fyzikálne metódy

„Fyzikálne metódy sú založené na princípe rozdielnej príľnavosti jednotlivých zložiek potu k pevným, jemne rozomletým a vo vode nerozpustným čiastočkám hmoty vyvolávajújúcich látok. Príľnavosť týchto čiastočiek sa s dobou existencie (starnutia) daktyloskopickkej stopy znižuje, preto je ich použitie vhodnejšie na relatívne čerstvej daktyloskopickkej stope.“ [2, s. 39]

Podstatou fyzikálnej metódy je pozostatok potu, ktorý vytvorí vlastnú stopu s lepkavým charakterom. Na túto stopu nanášame jemné práškovité hmoty, ktoré odtlačok zviditeľňujú. Najčastejšie sa využíva striebornošedý prášok argentorát (rozomletý hliník), ktorý nanášame jemným štetcom. V tomto prípade má odtlačok striebornošedú farbu a najčastejšie túto metódu využívame pri snímaní odtlačkov zo sklenených, lesklých a hladkých predmetov. Zviditeľnený odtlačok sa zaistí čiernou daktyloskopickou fóliou. Tento prášok nie je vhodný pri papierových nosičoch, tu využívame feromagnetický prášok (jemne mleté železné piliny). Nanáša sa magnetickým štetcom, ide o permanentný magnet umiestnený v plastovom obale. Používa sa vtedy, ak má papier zostať v nepoškodenom stave. Týka sa to hlavne bankoviek, cenných papierov a dokladov. V iných prípadoch, ak nemusíme zachovať papier v pôvodnom stave, môžeme použiť jemne pomletý pečatný vosk, asfalt alebo xeroxový farbiaci papier. Po zviditeľnení stopy sa na druhú stranu papiera nechá pôsobiť tepelný zdroj, stopa sa pripečuje k papieru a tým zostane neporušená. [1; 2]



Obr. 9. Argentorát. [5]

V niektorých prípadoch sa dajú zaistiť daktyloskopické stopy aj z textilu, a to využitím tkanolu, tmavohnedej až čiernej zmesi niektorých látok. Sú to textílie s hladkým povrchom ako je silon, hodváb, damašek, popelín. Tkanol nasypeme na miesta predpokladaného odtlačku a ostatný zosypeme. Prichytí sa na miesta, kde boli papilárnymi líniami zanechané stopy potu po dotyku prsta. Odtlačok zaistíme priehľadnou daktyloskopickou fóliou. [1; 2]

Prášky vyššej intenzity patria medzi nové prostriedky, vynikajú nízkou príľnavosťou a využívajú sa pri plastických hmotách, lakovaných predmetoch, zbraniach. Sú v bielej alebo čiernej farbe, používajú sa aj pri starších stopách. [1]



Obr. 10. Biela daktyloskopická fólia, sada daktyloskopických práškov, štetec z peria (vľavo) a z ťavej srsti (vpravo).

Často sa používa fluorescenčný prášok, ktorý na svetle fluoreskuje a tým nám zabezpečí zviditeľnenie povrchov odrážajúcich svetlo. To umožní aj fotografické zdokumentovanie stopy. [2]



Obr. 11. Príklad použitia fluorescenčného prášku na lesklom povrchu.

Medzi fyzikálne metódy môžeme zaradiť použitie sadzí horiaceho kafra, ktorý využívame predovšetkým na snímanie daktyloskopických stôp z kovových predmetov, napríklad nože,

nožnice, zápalné zbrane. Kafr sa zapáli a nad plameň sa vloží nosič daktyloskopickéj stopy. Po odstránení prebytočných sadzí slabým prúdom vody alebo buničinou môžeme pozorovať sýtočiernu stopu.

Na povrchu lepiacich pások môžeme pomocou kryštálovej violey zviditeľniť daktyloskopické stopy ponorením do vodného roztoku asi na jednu minútu. Potom ich opláchneme slabým prúdom vody. Stopa má modrú farbu a je vhodná na fotografovanie.

Na lepkavých a mastných povrchoch sa často využíva Sudánska čerň. Po ponorení nosiča na tri minúty do roztoku ho opláchneme vodou a po osušení vyfotografujeme. Potom preniesieme stopu na daktyloskopickú fóliu. [1; 2]

Ďalšou skupinou fyzikálnych metód tvoria duálne prostriedky. Na svetlom podklade sú tmavošedé a na tmavom podklade sú svetlošedé. Na fólii majú stopu jednofarebnú.

Perspektívnou metódou je tekutý prostriedok na báze molybdénu WetPrint. Používa sa pri materiáloch, ktoré boli vo vode, po daždi, v rose alebo sú znečistené blatom. Prípravok WetPrint nanesieme rozprašovačom, necháme chvíľu pôsobiť a potom ho opláchneme vodou. Pred vysušením odtlačok vyfotíme a potom ho zložíme na snímacu fóliu.

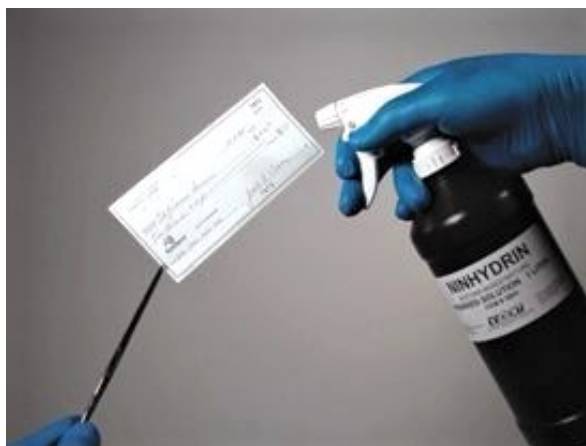
Ďalšou metódou, založenou na optickom zviditeľnení odrazu ultrafialových vln od odtlačku, je reflexné ultrafialové zobrazovanie. Výhodou je, že môžeme pracovať v ľubovoľných svetelných podmienkach, v uzavretých aj otvorených priestoroch. Odtlačky môžeme snímať z akéhokoľvek materiálu, bez pomoci ďalších práškov a chemikálií. Videokamera dokumentuje celé daktyloskopické skúmanie trestného činu a vytvára záznam. Z neho môžeme vybrať kvalitné odtlačky, ktoré môžeme pomocou špeciálnej tlačiarne priamo na mieste činu vytlačiť. Touto metódou pomocou špeciálnych chemikálií dokážeme vyhľadať aj dokumentáciu krvných stôp. [1; 2]

1.5.2 Chemické metódy

„Chemické metódy sú založené na chemickej reakcii medzi niektorou zložkou potu s chemikáliou pri vzniku farebnej zlúčeniny.“ [2, s. 42]

Používajú sa pri skúmaní daktyloskopických stôp na papierových nosičoch. Medzi najbežnejšie metódy patrí použitie ninhydrína a dusičnana strieborného. Ninhydrín reaguje na aminokyseliny, ktoré vylučuje pot. Ninhydrín sa nanáša ako roztok alebo vo forme spreja. Táto reakcia prebieha veľmi pomaly od 24 – 72 hodín až po niekoľko týždňov. Doba zviditeľnenia závisí od jedinca, koncentrácia aminokyselín v pote môže byť rôzna.

Odtlačok má po zviditeľnení fialovú farbu. Túto metódu používame hlavne v laboratóriách. Urýchlenie zviditeľnenia odtlačku prsta môžeme dosiahnuť zahriatím nosiča do 100°C, no výsledný odtlačok je spravidla nižšej kvality. Pomocou ninhydrínu môžeme zviditeľniť stopy staré aj dvadsať rokov. [2; 6]



Obr. 12. Ninhydrín. [7]

Metóda DFO je podobná ninhydrínu (1,8-diazo-9-fluoren). Je to pomerne nová chemikália. Jej hlavnou výhodou je vysoká citlivosť. Nosič do nej ponoríme alebo nastriekame. Po aplikovaní DFO a zaschnutí nahrejeme nosič pri 80°C na 15min, aby sa vysušil. Stopu lepšie zviditeľníme pomocou svetelného žiarenia vlnovej dĺžky 475 – 550 nm, pri ktorom má jemne purpurovú farbu. Fotografovanie sa odporúča pri filtri 570 nm. Nevýhodou DFO je, že môže dôjsť k farebnému poškodeniu nosiča a tým ďalej negatívne ovplyvniť skúmanie. Ak túto metódu používame spolu s ninhydrinom a chceme dosiahnuť fluorescenciu, musíme ako prvú použiť DFO. [2; 6]

Dusičnan strieborný reaguje s chloridmi, čo je hlavná látka obsahujúca pot. Výsledkom je biela zlúčenina, ktorá sa vo vode nerozpúšťa, ale mení sa pomocou UV žiarenia na elementárne striebro (šedočiernej farby). Zviditeľnenie daktyloskopickej stopy je trvalé. Nevýhodou je znehodnotenie skúmaného objektu, vzhľad papiera, prípadne napísaného textu. [2]

Ďalšie metódy využívajú chemické prostriedky, ktoré sa v bežnej praxi takmer nepoužívajú. Sú to napríklad oxid osmičelý a oxid rutheničelý. Tieto chemické prostriedky sú mimoriadne toxické a používajú sa zväčša pri zviditeľňovaní daktyloskopických stôp na koži mŕtvol. [2]

1.5.3 Fyzikálno-chemické metódy

„Fyzikálno-chemické metódy sú založené na zachytávaní chemických zlúčenín na miestach, kde sa nachádza daktyloskopická stopa.“ [2, s. 43]

Najznámejšou metódou je zviditeľňovanie daktyloskopických stôp pomocou jódových pár. Táto stopa je viditeľná len dočasne a preto ju musíme fotograficky zdokumentovať. Jód sublimuje zo skupenstva tuhého do plynného a zachytáva sa na miestach kontaktu prsta s papierom. Pomocou sklenenej rúrky sú pary jódu vyhánané vzduchom z prístroja k miestu stopy. Má žltú farbu a treba ju rýchlo fotograficky zachytiť, pretože rýchlo zanikne. Stopy nemusíme prevážať do laboratória, môžeme ich zachytiť priamo na mieste činu, prípadne spracovať aj na veľkých papierových plochách. Môžeme ich tiež zachytiť pomocou strieborných doštičiek, na ktorých na rovnom a hladkom povrchu sa fixujú odtlačky vyvolané jódovými parami. Na odtlačok sa priloží leštená strieborná doštička a vystaví sa intenzívnemu svetlu. Odtlačok má farbu tmavú až hnedočervenú a je stály. [1]



Obr. 13. Zviditeľňovanie daktyloskopických stôp pomocou jódových pár. [8]

Ďalšou metódou je využívanie pár kyanoakrylátu, ktoré zanechávajú na latentných daktyloskopických stopách jemný biely povlak. Táto metóda sa využíva takmer na všetkých možných materiáloch, predovšetkým na plastických hmotách, zbraniach, streľive

a dreve. V súčasnosti sa spracovávajú v laboratóriách, špeciálnych komorách, ktoré sledujú koncentráciu kyanoakrylátových pár, teplotu a vlhkosť prostredia. Na mieste činu sa používajú špeciálne kyanové palice, naplnené kyanoakrylátom, ktorého pomocou propanbutanového ohrievača postupne uvoľňujú. [2]

1.5.4 Špeciálne metódy

Pri vyhľadávaní a skúmaní daktyloskopických stôp sa využívajú aj ďalšie špeciálne metódy.

Laserové metódy – sú pomerne nové a stále sa rozvíjajú. Táto metóda využíva ožiarenie predmetu argónovým laserom, kde po ožiarení dôjde k luminiscencii daného odtlačku. K ožiareniu sa používajú vysokovýkonné lasery, a preto sa odporúča chemicky upraviť predmet napríklad organickými farbivami, aby nedošlo k poškodeniu materiálu, na ktorom sa nachádza daktyloskopická stopa. V niektorých prípadoch dochádza k luminiscencii pri nižšom výkone, kde netreba vykonať vyššie spomínanú úpravu materiálu. Výhodou laserovej metódy je skúmanie daktyloskopických stôp najrôznejších predmetov s rozdielnou veľkosťou. Napríklad pre vyhľadávanie daktyloskopických stôp v automobiloch. [2]

Fluortec - je metóda, ktorá sa používa pri rozdielnej adhézii rôznych zložiek potu a nosiča. Jedná sa o prášok, ktorý vytvára pomocou UV žiarenia intenzívnu fluorescenciu.

Autorádiografia – taktiež využíva rozdielne adhémie, ale k zviditeľneniu odtlačku sa používa rádioaktívna látka pôsobiaca aj na nosič, aj na stopu. V oblasti papilárnych línií sa vytvoria rádioaktívne zlúčeniny, pomocou ktorých zachytíme daktyloskopickú stopu na citlivú fotografickú dosku. [2]

Autoelektronografia – využíva podobný princíp ako v predchádzajúcej metóde. Je založená na rozdielnej adhézii oloveného prášku a rôznych zložiek potu v odtlačku. Použitím oloveného prášku sa zviditeľní daktyloskopická stopa na fotografickej doske s použitím röntgenových lúčov. [2]

Micro-röntgenová fluorescencia – patrí medzi novšiu nedeštruktívnu techniku, pomocou ktorej sú odtlačky prstov zviditeľnené na základe zložiek obsiahnutých v zanechanom odtlačku. Princípom je ožarovanie odtlačku prsta röntgenovým žiarením a detekcia röntgenového žiarenia emitovaného zo vzorky, ktorého energia je charakteristická na základe obsiahnutých prvkov v danom odtlačku prsta. [9]

1.6 Zaistenie daktyloskopických stôp

Po zviditeľnení sú daktyloskopické stopy viditeľné voľným okom, prípadne si môžeme pomôcť jednoduchými optickými alebo osvetľovacími prostriedkami. Zaistenie daktyloskopických stôp uskutočníme pomocou nasledujúcich spôsobov in natura na daktyloskopickú fóliu alebo fotograficky, či odlievaním. [3]

In natura sa zaisťujú predovšetkým drobné predmety, na ktorých sa môžu daktyloskopické stopy nachádzať. Takéto nosiče, ako napríklad sklenený pohár, sa dajú ľahko odobrať a poslať na skúmanie. Nevýhodou tohto spôsobu zaistenia je veľké riziko poškodenia alebo zničenia stôp pri chybnnej manipulácii zabalením alebo odoslaním na skúmanie. V súčasnej dobe takýmto spôsobom zaisťujeme listiny a im podobný materiál.[3; 10]

Daktyloskopickou fóliou sa zaisťujú stopy zviditeľnené pomocou daktyloskopických práškov, prípadne tvorené prachom alebo v prachu. Fólia je tvorená podkladom z papiera, plastickej hmoty alebo tkaniny, na ktorom je nanosená trvalo vlhká vrstva želatíny na zabezpečenie pružnosti. Vrstva želatíny je pokrytá odnímateľnou priehľadnou fóliou kvôli prípadným nečistotám. Podklad fólie je možné použiť v čiernej alebo v bielej farbe, ktorú vyberáme na základe najväčšieho kontrastu s použitím daktyloskopického prášku. Pri použití fólie sa zloží krycia časť, opatrne sa položí na miesto so zviditeľnenou stopou a pritlačí sa želatínový povrch k nosiču stopy. Pritom sa dáva pozor, aby nedošlo k posunutiu fólie na nosiči stopy. Tým by došlo k znehodnoteniu celej stopy. Nakoniec sa stopa zakryje krycou fóliou, ktorá sa predtým zložila. Na želatínový povrch sa preniesie daktyloskopický prášok, ktorý zviditeľnil latentnú daktyloskopickú stopu. Daktyloskopické fólie sa používajú na rovných a hladkých povrchoch. Nevýhodou je, že daktyloskopická fólia nie je dostatočne deformovateľná, a preto sa nemôže použiť pri plochách s nerovným povrchom. Do popredia sa dostávajú **priehľadné daktyloskopické pásky**, ktoré sú charakteristické vysokou príľnavosťou. Fólia sa zakryje bielou alebo čiernou lesklou kartou, ktorá sa volí podľa vyvolávajúceho prostriedku. Potom je stopa v originálnych farbách a bez prefotenia sa môže s ňou následne pracovať. [3]

Fotografický spôsob dáva prednosť pred ostatnými spôsobmi, keď je ho možné využiť. Výhodou je, že môžeme opakovať fotografovanie stopy pri cielene zmenených podmienkach. Zaisťujú sa stopy zviditeľnené laserom, daktyloskopickými práškami a kyanoakrylátovými parami. V dnešnej dobe môžeme zviditeľnené stopy fotografovať

akýmkoľvek fotoaparátom, no v kriminalistickej praxi sa vyžíva špeciálne prispôsobený fotoaparát k zaistovaniu. [3; 10]

Odlieváním sa zaistujú plastické a plošné stopy, ktoré nemôžeme fotografovať a sú zviditeľnené daktyloskopickým práškom na rozpadnutom vydutom povrchu. Odlievať takéto stopy môžeme sadrou, čo je do istej miery nevýhodné. V súčasnosti sa používajú rôzne silikónové kaučuky, napríklad Dentaflex alebo Lukopren, ktoré sa nanesú v primeranom množstve na daktyloskopickú stopu. Pred nanesením je potrebné pripraviť silikónovú pastu zmiešaním primeraného množstva silikónového kaučuku a katalyzátora v závislosti od plochy stopy. Po nanesení silikónovej pasty dochádza k vulkanizácii, vďaka ktorej sa stane pevnou a pružnou hmotou. Proces vulkanizácie trvá 30-60 minút podľa množstva použitého katalyzátora. Odliatu stopu môžeme z nosiča oddeliť rovnakým spôsobom ako daktyloskopickú fóliu. [10; 11]

1.7 Časová trvácnosť odtlačkov prstov

Trvácnosť odtlačkov prstov závisí od mnohých faktorov. Jedným z týchto faktorov je okolité prostredie, kde môže mať vplyv na odtlačky prstov vlhkosť, teplota, ale aj slnečné žiarenie. Ďalej záleží aj na nosiči daktyloskopickkej stopy, napríklad pri nasiaknutí materiálu spôsobeným vlhkosťou sa môže stopa rozpustiť a následne zaniknúť. No sú známe aj prípady, kedy boli daktyloskopické stopy vytvorené na objektoch ponorených do vody aj niekoľko rokov, a napriek tomu sa ich podarilo spracovať a využiť pre identifikačné účely. Najstaršie zviditeľnené stopy boli podľa dostupnej literatúry staré aj 42 rokov. Nie je problém zviditeľniť na papieri pomocou ninhydrínu stopy niekoľko rokov staré. Nemôžeme však jednoznačne určiť presnú časovú trvácnosť daktyloskopických stôp na základe faktorov okolitého prostredia, ktoré na tieto stopy vplývajú. [3]

2 LUMINISCENCIA

Názov luminiscencia je odvodená z latinského slova *lumen*, čo znamená svetlo a pochádza od nemeckého fyzika Wiedemanna. Podľa neho je luminiscencia definovaná ako prebytok žiarenia telesa nad úroveň jeho teplotného žiarenia v danej spektrálnej oblasti pri danej teplote, pokiaľ toto žiarenie má určitú dobu doznievania, to znamená, že trvá aj po skončení budiaceho účinku. [12, s. 31]

„Luminiscencia je nerovnovážne žiarenie vysielané telesom viacej oproti rovnovážnemu žiareniu popísaného Planckovým zákonom.“ [13, s. 13]

Látky, ktorými môžeme vysielat' luminiscenčné žiarenie, nemusia byť vôbec teplé. Intenzita vo väčšine prípadov rastie s klesajúcou teplotou a najsilnejšia môže byť v blízkosti absolútnej nuly. Preto ju často označujeme ako studené svetlo. Aby luminiscencia vznikla aj pri nízkej teplote, je potreba zvýšiť počet elektrónov vo vybudenom stave nad počet elektrónov v rovnovážnom stave pri danej teplote. Zvýšiť počet elektrónov je možné s využitím ultrafialového žiarenia, röntgenového žiarenia, bombardovaním látky urýchlenými elektrónmi alebo inými nabitými časticami, alebo pomocou pôsobenia silného elektrického prúdu. [12; 13]

2.1 Princíp luminiscencie

Luminiscencia je jav, pri ktorom z látky, ktorá absorbuje energiu v nejakej forme, môže jej časť znova emitovať vo forme elektromagnetického žiarenia vo viditeľnej oblasti spektra alebo blízko nej. Má dve štádiá, vybudenie elektrónového systému látky s následnou emisiou fotónov. Pri excitácii elektrónov do vyšších stavov dochádza k absorpcii elektrónovej excitačnej energie v látke a jej transformácii. Všetky tieto deje trvajú relatívne veľmi dlho, následkom čoho je dohasínanie luminiscencie aj po prerušení excitačnej energie. Toto dohasínanie môže trvať od femtosekúnd až po desiatky hodín. [14; 15]

Na základe trvania dĺžky luminiscencie rozlišujeme pojmy:

- **Fluorescencia** je druh studeného svetla, ktoré sa po skončení budiaceho pôsobenia takmer okamžite stratí. Ide o takzvané krátke doznievanie luminiscencie, ktoré trvá spravidla dlhšie ako perióda kmitov svetelných vln. Táto dĺžka trvania by mala byť aspoň 10^{-15} až 10^{-14} sekundy. Tak fluorescenciu odlíšime od prípadného odrazeného svetla a iného rozptylu svetla. Fluorescencia je luminiscencia v priebehu excitačného pôsobenia.

- **Fosforencia** je druh emisie studeného svetla. Trvá aj naďalej po skončení budiaceho pôsobenia, ktorého intenzita postupne klesá. Ide o takzvané dlhé doznievanie luminiscencie, ktoré nie je časovo obmedzené, keďže môže trvať niekoľko zlomkov sekúnd, hodín až po niekoľko dní. [12; 13]

2.2 Druhy luminiscencie

Z termodynamického hľadiska je luminiscencia nerovnovážne žiarenie a danej látke musíme dodať energiu, ktorá sa mení na svetelné luminiscenčné žiarenie. Energiu nazývame excitačnou alebo budiacou a podľa toho, ako ju dodávame, zvykneme rozdeľovať luminiscenčné deje. [15]

2.2.1 Fotoluminiscencia

Zaraďujeme ju medzi luminiscenciu budenú ultrafialovým alebo viditeľným žiarením. Používa sa pri látkach s malými a strednými koncentraciami luminiscenčných centier. Sú to luminiscenčné sklá a práškové luminofory. Budenie pri látkach s veľkými koncentraciami luminiscenčných centier je málo efektívne, dochádza k vybudeniu len úzkych povrchových vrstiev luminiscenčných látok. [12]



Obr. 14. Fotoluminiscencia bezpečnostných prvkov bankoviek pod UV žiarením.

Fotoluminiscenciu môžeme vybudit' žiarením laserovým lúčom s vhodnou vlnovou dĺžkou. Budenie svetlom je najbežnejším spôsobom luminiscencie. Ak sa biela látka v tmavom priestore zafarbí namodro, je to dôsledkom ultrafialového žiarenia (čierneho žiarenia),

ktoré je ľudským okom neviditeľné. Pri budení vysiela modrú fotoluminiscenciu. Modré svetlo má dlhšiu vlnovú dĺžku než ultrafialové. „Zákonitosť pri fotoluminiscencii sa nazýva Stokesův zákon: vlnová dĺžka luminiscencie je vždy dlhšia než vlnová dĺžka budenia.“ [13, s. 16] Fotoluminiscenciu môžeme vybudieť viditeľným žiarením, ktorá nebude ľudským okom viditeľná, pretože bude situovaná do infračervenej oblasti. Takúto oblasť je možné zaznamenať rôznymi detektormi žiarenia. [13]

2.2.2 Röntgenoluminiscencia

Je podobná ako fotoluminiscencia, budenie sa uskutoční ožiarením látky röntgenovými lúčmi. Ide o elektromagnetické žiarenie s veľkou energiou fotónov v porovnaní s viditeľným alebo ultrafialovým žiarením. Röntgenové žiarenie má veľkú prenikavosť, umožňuje budenie nielen v povrchových vrstvách, ale aj do hĺbky luminiscenčného materiálu. [12; 13]

2.2.3 Rádioluminiscencia

Svietenie spôsobené produktmi rádioaktívneho rozpadu, ktorými sú častice α , β a žiarenie γ , sa nazýva rádioluminiscencia. Po dopade týchto častíc na luminiscenčnú látku vznikajú luminiscenčné záblesky, nazývané scintilácia. Preto sa často luminiscenčná látka označuje ako scintilátor. Ako u röntgenoluminiscencie, tak aj pri rádioluminiscencii majú častice α , β aj fotóny žiarenia γ veľkú energiu a prenikavosť. Dôsledkom toho je každá scintilácia tvorená veľkým množstvom fotónov viditeľného žiarenia. [13]

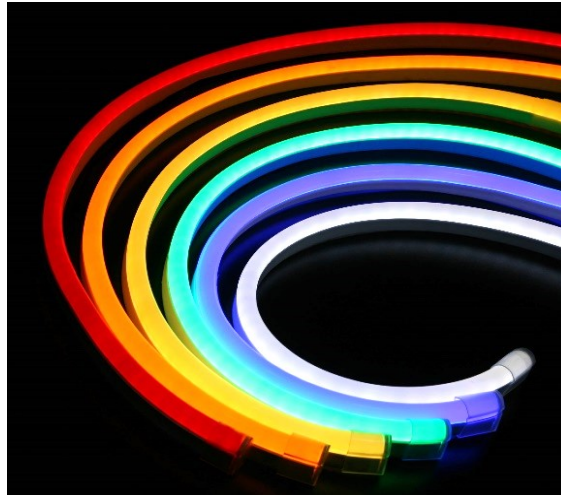
2.2.4 Elektroluminiscencia

Vzniká pôsobením na luminiscenčnú látku elektrickým poľom a prechádzaním elektrického prúdu látkou. Elektrické budenie vzniká vtedy, ak sa mení elektrická energia na svetelnú. Ide o priamu alebo inak nazývanú netermálnu premenu elektrickej energie na svetlo, pri ktorej nedochádza rozžeraveniu odporového drôtu dobiela prechádzajúcim elektrickým prúdom. [16]

Luminofor získava pri elektroluminiscencii budiacu energiu bezprostredne od elektrického poľa, kde sú elektróny vybudené z valenčného pásu alebo priamo z akceptorovej hladiny. Elektróny sú vybudené tromi zásadnými mechanizmami:

- a) Priamym budením elektrónov vo vysokonapäťovom elektrickom poli blížiacemu sa pribojnému napätiu.

- b) Injekciou minoritných nosičov náboja a ich zachytením na luminiscenčných centrách.
- c) Injekciou majoritných nosičov náboja alebo uvoľnením polí z donorových hladín, následnom urýchlení elektrónov vo vodivostnom páse až na energie, pri ktorých môžu elektróny budiť centrá alebo ich ionizovať mechanizmom nárazovej ionizácie. [12]



Obr. 15. Farebné LED diódové pásiky. [17]

Elektroluminiscencia má najširšie uplatnenie, na rozdiel od iných luminiscenčných javov, preto sa využíva v elektronike a v bežnom živote. Napríklad prostredníctvom LED diód a injekčných laserov sa využívajú optoelektronické zdroje žiarenia pre optickú komunikáciu, cez snímače CD diskov až po čítačky čiarových kódov. Najčastejšie sa využívajú LEDky, ktoré sú zdrojom studeného svetla. [16]

2.2.5 Katódoluminiscencia

Je to typ luminiscencie budenej urýchlenými elektrónmi pohybujúcimi sa vo vákuu, čiže elektrónovým zväzkom alebo nádobou so silne zriedeným plynom. Elektróny pri dopade na luminiscenčnú látku spôsobujú na základe svojej veľkej energie ionizáciu niekoľkých tisíc častíc látky a tak strácajú svoju kinetickú energiu. Prenikajú tak do hĺbky niekoľkých μm , následkom čoho je vytvorenie tenkej vrstvy silno excitovanej luminiscenčnej látky, ktorá je následne zdrojom intenzívnej luminiscencie. Uvedený spôsob je vhodný pre plyny vo vývojkových trubiciach, povrchy monokryštálov, práškové materiály a tenké naparené luminiscenčné vrstvy. [12; 13]

2.2.6 Chemiluminiscencia

Vzniká prenosom chemickej energie na luminiscenčné centrá a vyžaruje nadbytočnú energiu vo forme fotónov. Energia uvoľnená pri tejto reakcii nezohrieva dané látky, vyžaruje formou svetla. Príkladom takejto reakcie je oxidácia prvku, ktorý sa volá biely fosfor. Je to vysoko reaktívna pevná látka, ktorá prudko reaguje na vzdušný kyslík, preto ju chránime ponorením do vody, aby nedošlo k samovznieteniu a oxidácii horením. Pary bieleho fosforu vytvárajú malú oxidáciu, pri ktorej sa uvoľňuje reakčné teplo, ktoré je známe ako studené svetlo. Studené svetlo pochádzajúce z látky ľubovoľného chemického zloženia je známe ako fosforencia. [12; 13]



Obr. 16. Fotoluminiscencia roztokov pod UV žiarením. [18]

Väčšina chemických reakcií pri luminiscencii, oxidácii bieleho fosforu uvoľňuje svetlo. Krvné stopy, ktoré sú voľným okom neviditeľné, dokážeme zviditeľniť pomocou luminiscencie látky nazvanej luminol. Ak sa luminol zmieša s vhodným oxidačným činidlom, vysiela intenzívnu modrú luminiscenciu. Luminol sa zmieša s vodným roztokom peroxidu vodíka a rovnomerne sa rozpráši na vyšetrované miesto. Pomocou modrej luminiscencie dokážeme v zatnenej miestnosti zviditeľniť stopy. [13]

2.2.7 Bioluminiscencia

Je veľmi známym druhom chemiluminiscencie, ktorá prebieha v živých organizmoch a je charakteristická ich svietením. Nastáva pri chemickej reakcii okysličovania bielkovinových zložiek, ktoré sa nachádzajú a sú produkované v biologických

organizmoch. Chemický proces, ktorý využíva chemickú energiu uvoľnenú z molekuly adenosintrifosfátu pri katalyzácii enzýmov luciferázy, umožňuje voľným okom viditeľnú luminiscenciu. Táto zlúčenina sa nachádza vo všetkých bunkách živých organizmov a má významnú energetickú hodnotu. Energia z molekuly adenosintrifosfátu sa uvoľňuje odštiepením jedného alebo dvoch zvyškov kyseliny fosforečnej. Tým dochádza k oxidácii molekuly luciferínu na oxyluciferín a naviazaním kyslíka dochádza k žltozelenej bioluminiscencii. [13]



Obr. 17. Bioluminiscencia húb. [19]

Viac ako 90% uvoľnenej energie sa mení na svetlo. Bioluminiscenciu využívame aj v citlivých analytických metódach, keď vysokou citlivosťou detektorov reagujúcich na svetlo zaregistrujú niekoľko stoviek fotónov za sekundu. Umožňujú sledovať aj slabý svetelný signál, ktorý vzniká v živých organizmoch, nedochádza k jeho poškodeniu, nepredstavujú žiadne zdravotné riziká a vyhodnotenie výsledkov je veľmi rýchle. [13]

2.2.8 Termoluminiscencia

Je to teplotne stimulovaná luminiscencia po predchádzajúcej excitácii. Termoluminiscencia vzniká tak, že ochladenú látku na dostatočne nízku teplotu excitujeme viditeľným alebo ultrafialovým žiarením. Potom môžeme pozorovať fotoluminiscenciu, ktorá vzniká premenou excitačnej energie na svetelné žiarenie. Luminofor excitujeme v takej nízkej teplote, že elektróny v záchytných hladinách sa nemôžu uvoľniť, excitáciu zastavíme až zmizne dosvit luminoforu. Rovnomerným zvyšovaním teploty sa uvoľnia

elektróny zo záchytnej hladiny a dochádza k vyžarovaniu svetla. Postupným zahrievaním a skončením excitácie sa uvoľňuje nahromadená energia vo forme svetla. Tak vzniká termoluminiscenčné žiarenie. Touto technikou môžeme ľahko určiť nahromadenú excitačnú energiu aj za dlhú časovú dobu, preto túto techniku využívame pri archeologickom skúmaní. [12; 13]

2.2.9 Mechanoluminiscencia

Svetelné žiarenie vzniká dôsledkom mechanického pôsobenia na pevnú látku napríklad rezaním, brúsením, ohýbaním, drvením alebo štiepaním pozdĺž kryštalických rovín. Môže nastať aj náhlym zvýšením alebo znížením teploty telesa, následkom čoho je zmena objemu spôsobená tepelnou rozťažnosťou. Keď mechanicky pôsobíme na pevné teleso, s veľkosťou deformácie začína rásť mechanické napätie a zároveň sa objavuje mechanoluminiscencia, ktorej intenzita stúpa, ale potom sa spomalí. Pevné teleso vzdoruje zničeni a keď prestane pôsobiť deformácia, vráti sa do pôvodného stavu. Ide o takzvanú pružnú deformáciu. Ak je deformácia väčšia ako 16 %, zničí pôvodný tvar telesa, zostáva trvalo stlačený aj keď sila deformácie prestane pôsobiť. Hovoríme o plastickej deformácii, pri ktorej mechanoluminiscencia prudko znižuje svoju intenzitu a tým ju môžeme využívať pri skúmaní deformačných procesov rôznych telies. Spektrálne zloženie mechanoluminiscencie sa môže podobáť čiarovému spektru sprevádzajúceho elektrický výboj v plyne alebo širokopásovým spektrom fotoluminiscencie daného telesa. [13]

2.2.10 Sonoluminiscencia

Je to luminiscencia, ktorá vzniká silnou zvukovou alebo ultrazvukovou vlnou vysielanou na kvapalinu, ktorá začne vyžarovať svetlo. Svetelná emisia pri sonoluminiscencii je zapríčinená veľkým rozdielom v stlačiteľnosti kvapaliny a vzduchu, keďže je vzduch omnoho ľahšie stlačiteľný ako kvapalina. V kvapaline sú prítomné mikroskopické bublinky, ktoré reagujú ľahko na zmenu tlaku vo svojom okolí spôsobené zvukovou vlnou. Pri zvýšení okolitého tlaku bubliny sa zmenšujú a v opačnom prípade bubliny expandujú, ak sa okolitý tlak zníži. Pravdepodobne ide o žiarenie tepelného pôvodu, kde vzduch je rýchlo stlačený v prudko zmenšujúcej sa bubline a dochádza k prudkému zahriatiu a emisii tepelného žiarenia. [13]

2.3 Luminiscencia v organických a anorganických látkach

Luminiscenciu môžeme pozorovať v organických ako aj v anorganických látkach. Ich vznik je však odlišný. V organických látkach je základom luminiscenčného žiarenia molekula. Luminiscenčné žiarenie má spektrálne žiarenie a dobu doznievania rovnakú pre roztok aj pre kryštalickú látku. V anorganických látkach ide o existenciu súboru niekoľkých desiatok atómov. Luminiscenciu pozorujeme v objemových materiáloch v nekonečne veľkých kryštáloch. Ich laterálny rozmer je 1 μm , ktorý obsahuje 10^{10} atómov.[15]

Luminiscenciu pevných látok môžeme deliť na intrinsickú (vlastnú) a extrinsickú (nevlastnú, prímiesovú).

2.3.1 Intrinsická a extrinsická luminiscencia

Intrinsická luminiscencia vzniká v čistej a neporušenej kryštálovej mriežke, extrinsická vzniká v poruchách alebo prímiesiach mriežky. Atómy, ktoré sú luminiscenčne aktívne, nazývame prímiesové luminiscenčné centrá. V hostiteľskej mriežke pevnej látky sú náhodne rozptýlené a zafixované. Matrice slúžia na zachytávanie excitačnej energie s jej následným odovzďaním luminiscenčným centrom. Vzájomnou interakciou elektrónového obalu prímiesového centra s maticou a jej kmitmi dochádza ku zmenám v štruktúre energetických hladín centra a zároveň k modifikácii jeho optických spektier. V špeciálnom prípade luminiscencie musí zaistiť elektrickú vodivosť k vybudeniu centier.[15]

2.4 Využitie luminiscencie v praxi

Veľký význam pre prax má využitie luminiscencie v medicíne, pri diagnostických prístrojoch, kde práve vďaka luminiscencii nastáva zviditeľnenie röntgenového alebo vysokoenergetického časticového žiarenia. Pre efektívnu transformáciu na viditeľné svetlo sa využívajú lumifory nazývané scintilačné materiály – scintilátory. Je to konvektor, ktorý dokáže premeniť fotón vysokoenergetického žiarenia na skupinu fotónov z ultrafialového alebo viditeľného žiarenia, ktoré potom dokážeme zaznamenať. [13]

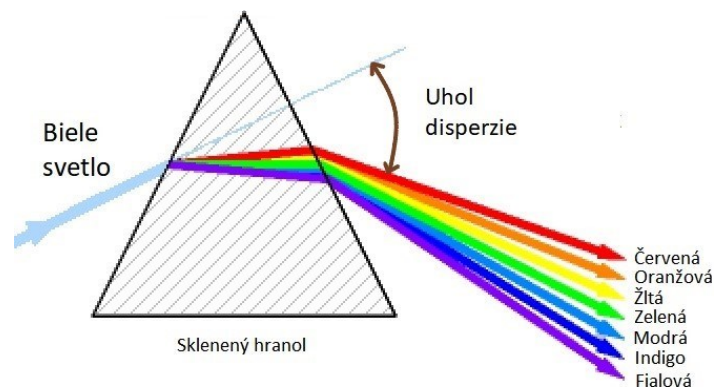
V praxi sa v medicíne stretávame s prístrojmi ako sú Computed Tomography „cétečko“, počítačová tomografia alebo mamograf. Pri zobrazovaní ľudského tela a jeho častí, sa pre záznam röntgenového alebo gama žiarenia nepoužíva fotografický film, ale scintilátor

spojený s diódami alebo fotonásobičom. Počas snímkovania pacienta zaznamenávame luminiscenčné žiarenie z rôznych miest scintilátorov, ktoré je vyvolané rozptýlenými röntgenovými lúčmi. Takto počítačové spracovanie signálov zo scintilačného detektoru dokáže vytvoriť trojrozmerný obraz z konkrétnej časti tela. Špičkovým zariadením, ktorý je doplnený k cétečku je pozitronová emisná tomografia, ktorá poskytuje údaje doplnené o funkcie sledovaných orgánov. Využíva sa pri vyšetrení mozgových nervových centier a tiež pri onkologických diagnostikách. [13]

3 SPEKTROSKOPIA A OPTICKÉ METÓDY

Spektroskopiou rozumieme analýzu interakcie medzi telesom a ktoroukoľvek zložkou elektromagnetického žiarenia. Hodnoty spektroskopie sú prezentované ako spektrá, vyznačované v grafe, kde je zobrazená funkcia frekvencie alebo vlnovej dĺžky v závislosti na intenzite žiarenia. Častým príkladom sú emisné a absorpčné spektrá. [20]

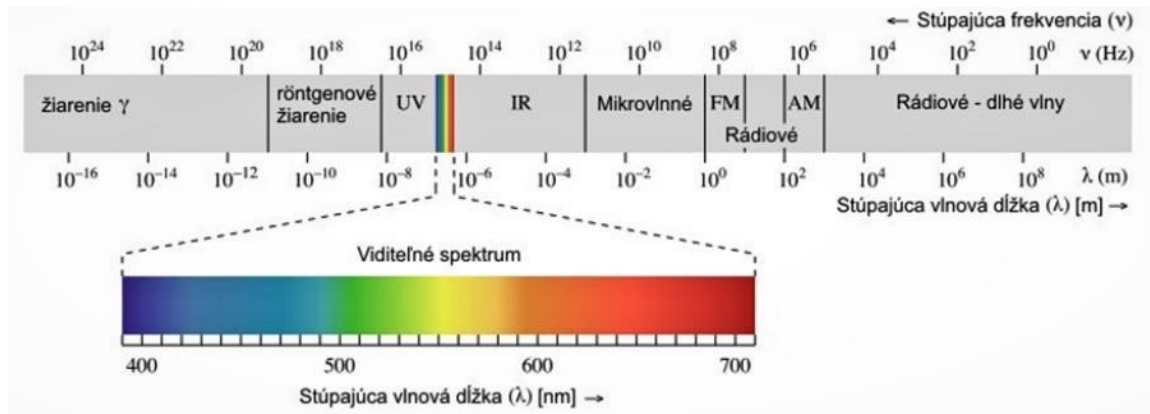
Optickými metódami sa nazývajú všetky metódy inštrumentálnej analýzy, ktoré využívajú elektromagnetické žiarenie vlnových dĺžok. Využívajú sa vlnové dĺžky označované symbolom λ , vyjadrené v nanometroch ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), tiež sa využíva frekvencia elektromagnetického žiarenia. [21]



Obr. 18. Disperzia svetla prechádzajúceho hranolom. [22, upravil Potúček]

Základné princípy optických metód vyplývajú z meraní pri určitej fáze procesu, lúč nesúci energiu je emitovaný zo zdroja. Podľa toho, či vstupuje do jedného alebo viacerých prostredí a následne vystupuje a dopadá na detektor, kde dochádza k indikácii. Lúč môže byť absorbovaný alebo môže dôjsť k zmene jeho smeru následkom lomu, či odrazu. Podľa povahy tohto sledovaného javu rozlišujeme emisnú a absorpčnú spektroskopiu, refraktometriu a polarimetriu. [21; 23]

Pri spektroskopických meraniach sa signály žiarenia prejavujú pri určitých a charakteristických hodnotách kmitočtov. Súbor frekvencií, pri ktorých sa zaregistrujú dané signály, vytvárajú spektrum látok.



Obr. 19. Rozsah oblastí elektromagnetického žiarenia. [24]

Rozsah vlnových dĺžok elektromagnetického žiarenia využívaný pri spektroskopických analytických metódach sú špecifikované ako dôsledok interakcie so žiarením. Najvyužívanejšou oblasťou je ultrafialové žiarenie, viditeľné a infračervené žiarenie označované ako optická spektroskopia. [21; 23]

3.1 Ultrafialové žiarenie

Ultrafialové žiarenie je elektromagnetické žiarenie alebo svetlo s vlnovou dĺžkou viac ako 100nm, ale menej ako 400nm. Ultrafialové žiarenie má vlnovú dĺžku dlhšiu ako je röntgenové žiarenie, ale kratšie ako viditeľné svetlo. Hoci ultrafialové svetlo je dostatočne energické, aby rozbilo niektoré chemické väzby, nie je zvyčajne považované za formu ionizujúceho žiarenia. Energia absorbovaná molekulami môže poskytnúť aktivačnú energiu na spustenie chemických reakcií a môže spôsobiť, že niektoré materiály fluoreskujú alebo fosforeskujú. [25]

Ultrafialové žiarenie objavil nemecký fyzik Johann Wilhelm Ritter v roku 1801. Všimol si neviditeľné svetlo za fialovou časťou viditeľného spektra stmaveného papiera upraveného strieborným chloridom rýchlejšie ako fialové svetlo. Nazval neviditeľné svetlo „oxidujúcimi lúčmi“, odkazujúcimi na chemickú aktivitu žiarenia. No známejšie sú pod názvom „chemické lúče“, ktorými nazývali až do konca 19. storočia ultrafialové žiarenie a „tepelné lúče“ sa stali známymi ako infračervené žiarenie. [25]

3.1.1 Zdroje ultrafialového žiarenia

Prírodný zdroj, ktorý tvorí asi desať percent svetelného výkonu Slnka, je ultrafialové žiarenie. Keď slnečné svetlo vstupuje do atmosféry Zeme, svetlo tvorí asi 50%

infračerveného žiarenia, 40% viditeľného svetla a 10% ultrafialového žiarenia. Atmosféra blokuje asi 77% slnečného ultrafialového žiarenia. Je tvorené aj umelými zdrojmi ako napríklad: čiernymi svetlami, ortuťovými výbojkami a lampami na opaľovanie, telesami zahriatymi na vysokú teplotu, fluorescenčnými a výbojkovými svetelnými zdrojmi, rôznymi zväračkami, plazmovými horákmi a lasermi. [25]

3.1.2 Kategórie ultrafialového svetla

Ultrafialové svetlo je rozdelené do niekoľkých rozsahov.

Tab. 1. Kategórie ultrafialového žiarenia. [25]

Názov	Skratka	Vlnová dĺžka (nm)	Fotónová energia (eV)	Ostatné názvy
Ultrafialové žiarenie A	UVA	315 - 400	3,10 - 3,94	Dlhovlnné, čierne svetlo (neabsorbované ozónom)
Ultrafialové žiarenie B	UVB	280 - 315	3,94 - 4,43	Stredná vlna (väčšinou absorbovaná ozónom)
Ultrafialové žiarenie C	UVC	100 - 280	4,43 - 12,4	Krátkovlnná (úplne absorbovaná ozónom)
Blízke ultrafialové žiarenie	NUV	300 - 400	3,10 - 4,13	Viditeľné pre ryby, hmyz, vtáky, niektoré cicavce
Stredné ultrafialové žiarenie	MUV	200 - 300	4,13 - 6,20	-
Ďaleké ultrafialové žiarenie	FUV	122 - 200	6,20 - 12,4	-
Vodík Lyman- alfa	H Lyman- α	121 - 122	10,16 - 10,25	Spektrálna čiara vodíka pri 121,6 nm, ionizácia pri kratších vlnových dĺžkach
Vákuové ultrafialové žiarenie	VUV	10 - 200	6,20 - 124	Absorbovaný kyslíkom, pri 150-200 nm môže prejsť cez dusík
Extrémne ultrafialové žiarenie	EUV	10 - 121	10,25 - 124	V skutočnosti je ionizujúce žiarenie, hoci je absorbované atmosférou

3.1.3 Viditeľnosť ultrafialového žiarenia

Väčšina ľudí nevidí ultrafialové svetlo, pretože ho nedokáže rozpoznať sietnica oka. Šošovka oka filtruje UVB a vyššie frekvencie a väčšina ľudí nemá farebný receptor, aby videli toto svetlo. Deti a mladí dospelí častejšie vnímajú UV žiarenie viac ako starší dospelí. Ľudia, ktorým chýba šošovka alebo majú šošovku nahradenú po operácii šedého zákalu, môžu vidieť niektoré ultrafialové vlnové dĺžky. Označujú ho modro-bielou alebo fialovo-bielou farbou.

Mnohé druhy živočíchov, ako je hmyz, vtáky ale i niektoré cicavce, vidia blízke ultrafialové svetlo. Vtáky majú skutočné UV videnie, pretože majú štvrtý farebný receptor na jeho vnímanie. [25]

3.1.4 Účinky a využitie ultrafialového žiarenia

V každodennom živote sa stretávame s rôznymi typmi použitia ultrafialového žiarenia. Môže byť klasifikované ako UVA, UVB a UVC podľa energie alebo vlnovej dĺžky. UV žiarenie dosahujúce zemský povrch pozostáva prevažne z UVA a niektorých UVB, pretože všetky UVC a väčšina UVB sú absorbované atmosférou. Asi 98% ultrafialového žiarenia UVA prechádza ozónovou vrstvou a dosahuje zemský povrch. UVB žiarenie absorbuje ozónová vrstva a skoro 2% žiarenia dosahujú zemský povrch. Takmer všetko UVC žiarenie absorbuje ozónová vrstva. Jej množstvo, ktoré dosahuje zemský povrch, je zanedbateľné. [26]

Poznáme niektoré faktory, ktoré ovplyvňujú prízemnú intenzitu ultrafialového žiarenia. Čím je vyššia poloha slnka, tým je intenzita ultrafialového žiarenia vyššia. Čím je väčšia vrstva ozónu v hornej atmosfére, tým menej ultrafialového žiarenia dosiahne povrch Zeme. Taktiež je absorbované a rozptýlené mrakmi, dažďom a hmlou. Väčšina prírodných povrchov odrážajú UV žiarenie, napríklad čerstvý sneh výrazne odráža až 80% UV žiarenia. Ultrafialové žiarenie je ovplyvňované aj nadmorskou výškou, čím je vyššia, tým je aj intenzita UV žiarenia vyššia. [26]

Ultrafialové žiarenie môže spáliť pokožku a spôsobiť rakovinu kože. Ultrafialové žiarenie UVC je najnebezpečnejším typom ultrafialového žiarenia z hľadiska potenciálu poškodenia života na Zemi. Toto žiarenie však nemôže preniknúť cez ochrannú ozónovú vrstvu Zeme. Preto nepredstavuje ohrozenie života ľudí, zvierat alebo rastlín na Zemi. Hoci ultrafialové žiarenie UVA je slabšie ako ultrafialové žiarenie UVB, môžu oba druhy

spôsobit' anamnézu spálenia Slnkom a rakovinu kože, keďže tieto žiarenia prenikajú cez ozónovú vrstvu. Hoci ultrafialové svetlo môže poškodiť zdravie, môže tiež udržiavať alebo zlepšovať zdravie. Keď ultrafialové svetlo zasiahne ľudskú pokožku, spúšťa produkciu vitamínu D, ktorý podporuje rast kostí a zubov. [27]

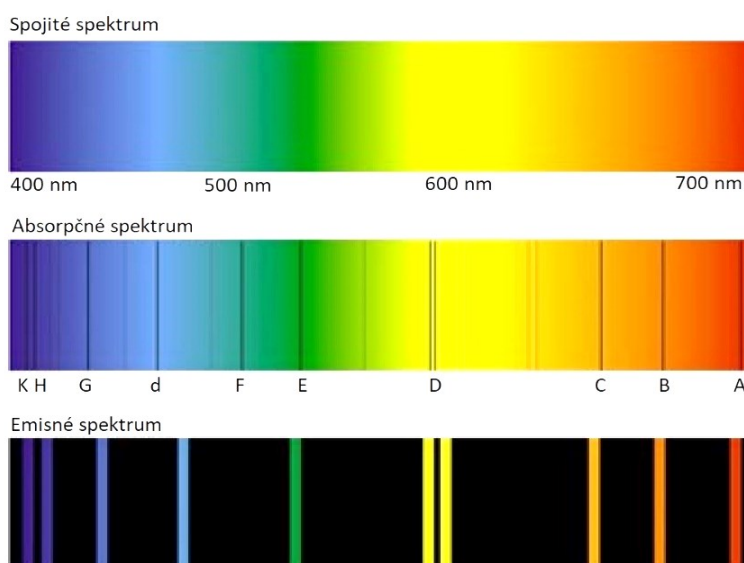
UV žiarenie má rôzne využitia aj v každodennom živote. UVC žiarenie sa používa pri dezinfekcii pitnej vody a pri sterilizácii prístrojov, keďže vysokoenergetické UV žiarenie ničí DNA baktérií a mikroorganizmov. UVA žiarenie používame pri kontrole falšovaných bankoviek. Originálne bankovky majú fluorescenčné bezpečnostné prvky, ktoré sú viditeľné len pod UV svetlom. Taktiež má uplatnenie pri hubení škodcov, pretože hmyz je priťahovaný k UV žiareniu a následne zabitý elektrickým prúdom. Využitie UVA alebo UVB žiarenia býva aj pri kalení atramentov a náterov. Niektoré farby a nátery stvrdnú, keď sú vystavené UV žiareniu. UV žiarenie sa tiež využíva na lekárske účely, napríklad na liečbu psoriázy, keď UV žiarenie potláča imunitný systém a zníži zápalové reakcie kože.[26]

4 LUMINISCENČNÉ SPEKTRÁ

Základom luminiscenčnej spektroskopie je rozložiť skúmané luminiscenčné žiarenie do spektier. Luminiscenčné spektrá sú obyčajne veľmi široké, preto nepotrebujú extrémne spektrálne rozlíšenie. Špecifikom luminiscenčnej spektroskopie býva veľmi nízka hladina detekovaného svetelného signálu. Preto spektrálne prístroje musia mať najväčšiu svetelnosť a citlivý detektor s účinným optickým zberným systémom luminiscenčného žiarenia. [15]

4.1 Absorpčné spektrá

Určujú, aká je časť zo spektra dopadajúceho žiarenia absorbovaná v látke. Získame ju pomerom intenzity žiarenia prechádzajúceho látkou a intenzity žiarenia dopadajúceho na látku, pritom musíme brať do úvahy závislosť vlnovej dĺžky dopadajúceho žiarenia. Tvar absorpčného spektra luminoforu závisí od vlastností kryštalickej mriežky, jej porúch a od prítomnosti rôznych prímiesí v mriežke. Absorpčné spektrá sú dôležitým zdrojom informácií o vnútornej štruktúre luminoforu. [12]



Obr. 20. Porovnanie absorpčných a emisných spektier. [28]

Celkovú absorpciu danej látky charakterizuje absorpčné spektrum. Táto absorpcia môže byť rozložená pri luminoforoch na dve zložky. Pri prvej dochádza k luminiscencii a býva označovaná ako aktívna. Druhá absorpcia priamo nesúvisí s luminiscenciou. Aktívnu absorpciu môžeme určiť pomocou meraní excitačných spektier. [12]

4.2 Excitačné spektrá

Odlišujú sa od absorpčných spektier tým, že nemajú zahrnutú absorpciu, ktorá nevedie k luminiscencii a napriek tomu absorpcia v rôznych častiach spektra prispieva k budeniu luminiscencie. Excitačné spektrum charakterizuje závislosť intenzity luminiscencie od vlnovej dĺžky budiaceho žiarenia a konštantnej intenzity budiaceho žiarenia. [12]

4.3 Emisné spektrá

Sú rozhodujúce z hľadiska aplikácie luminoforov, ktoré nám zobrazujú ďalšie informácie o žiarivých prechodoch v luminoforoch. Sú posunuté na stranu väčších vlnových dĺžok ako excitačné spektrá. Je to základ Stokesovho pravidla, ktoré vyjadruje zákon zachovania energie v luminiscenčných procesoch. Emisné luminiscenčné spektrá väčšiny luminoforov sú tvorené širokými pásmi. Je to dôsledok interakcie luminiscenčných centier a kryštalickej mriežky luminoforu. Tvar emisného spektra závisí od druhu luminoforu, druhu aktivátora a v prípade aktivácie viacerých prvkov aj od vzájomného pôsobenia aktivátorov. Rozdiely v spektrálnom zložení emisií luminoforu závisia od rozdielov pravdepodobnosti vybudenia rôznych luminiscenčných centier a ich prípadnými transformáciami v procese budenia. Intenzita luminiscenčného žiarenia závisí od počtu elektrónov vo vodiacom páse, od počtu ionizovaných luminiscenčných centier a od pomeru pravdepodobnosti žiarivých a nežiarivých prechodov. V prípade emisie pri priamom vybudení luminiscenčných centier závisí intenzita luminiscencie od počtu vybudených centier, čo priamo súvisí s intenzitou budiaceho zväzku, priestorovým rozmiestnením a koncentráciou centier v luminofofe. [12]

Luminiscenčné spektrá sa najčastejšie merajú pomocou spektrofluormetrov. Pomocou týchto meracích zariadení je možné zaznamenať emisné a excitačné spektrá. Emisné spektrum je meranie emisií rôznych vlnových dĺžok pri konštantnej excitačnej vlnovej dĺžke. Naopak excitačné spektrum je závislosť na emisnej intenzite, meranej pri konštantnej emisnej vlnovej dĺžke popri zaznamenávaní rôznych excitačných vlnových dĺžkach. [29]

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

5 ANALÝZA STARNUTIA ODTLAČKOV PRSTOV LUMINISCENČNOU SPEKTROSKOPIOU

Analýza odtlačkov prstov pod UV žiarením je náročná na meranie, pretože ju môžu ovplyvniť mnohé vonkajšie faktory, ako je napríklad svetlo prostredia. Pri spracovaní merania som vychádzal z poznatkov vedeckého článku Visualization of Aged Fingerprints with an Ultraviolet Laser [30].

5.1 Popis experimentu

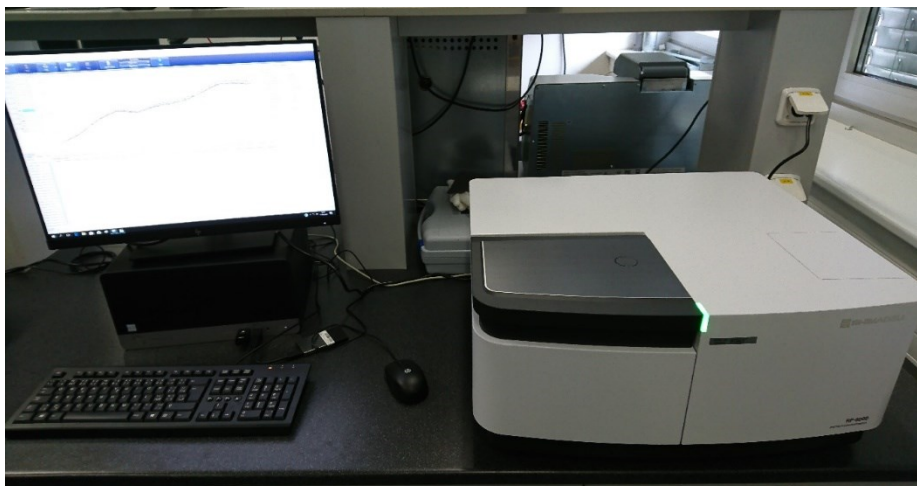
Experiment je zameraný na vizualizáciu odtlačkov prstov na základe využitia luminiscencie ožarovanej vzorky. Vizualizácia bude skúmaná pomocou spektrofluometrických prístrojov a následne budú zaznamenané a vyhodnotené merania odtlačkov prstov.

5.2 Popis meracieho prístroja

Pre meranie a analýzu starnutia odtlačkov prstov boli použité prístroje využívajúce luminiscenciu. Luminiscencia je vytvorená ožarovaním vzorky rôznou vlnovou dĺžkou. K meraniu bol použitý spektrofluometrický prístroj SHIMADZU RF-6000 a farbivový laditeľný laser.

5.2.1 SHIMADZU RF-6000

Je to spektrofluometrický prístroj na meranie fluorescencie s vysokou citlivosťou a dynamickým rozsahom. Umožňuje merať fluorescenciu bioluminiscencie, chemiluminiscencie a elektroluminiscencie. Týmto prístrojom dokážeme vytvoriť 3D spektrá luminiscencie pomocou vysokorýchlostného 3D skenu. Skenovať môžeme spektrálne korigované excitačné a emisné spektrá, pričom rýchlosť skenovania dosahuje až 60 000 nm/min s rozsahom vlnových dĺžok od 200 do 900 nm. Prístroj k meraniu využíva xenónovú lampu s výkonom 150 Wattov a so životnosťou až 2 000 hodín.



Obr. 21. Meracie zariadenie SHIMADZU RF-6000.

Zariadenie využíva k analýze fluorescencie softvér LabSolutions RF, ktorým nastavujeme parametre merania ako napríklad vlnovú dĺžku ožarovania. Výsledky viacerých meraní môžeme vkladať do rovnakého grafu, kde môžeme vidieť namerané hodnoty v závislosti od ich parametrov. Softvér je ľahko použiteľný a spĺňa dnešné štandardy, ako napríklad indikáciu životnosti lampy a stav jednotlivých komponentov systému.

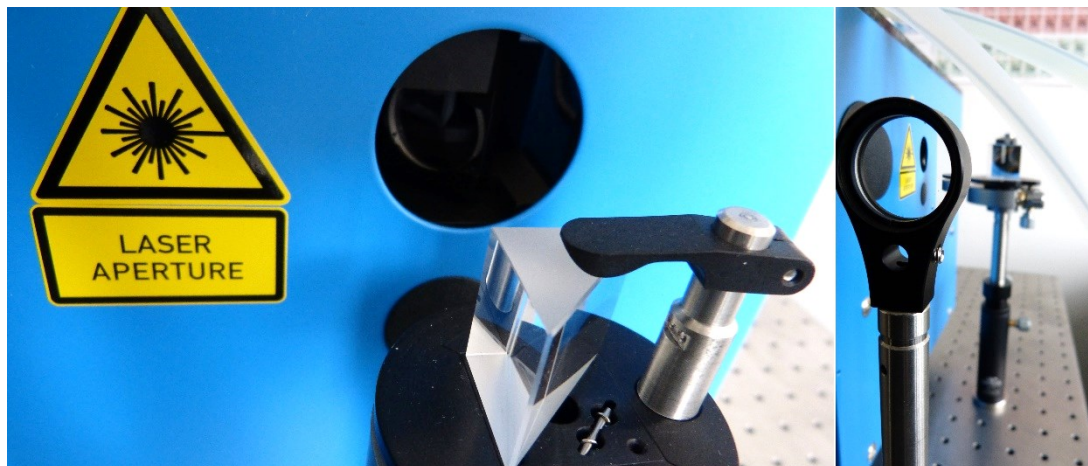
5.2.2 Laditeľný farbivový LASER

K meraniu spektroskopie a vizualizácie odtlačkov prstov bol použitý laditeľný farbivový laser. Je to zostava zariadení Spectra-Physics Quanta-Ray a Sirah Cobra-Stretch. Quanta-Ray je pulzný laser s aktívnym prostredím Nd:YAG, ktorý je čerpaný výbojkou. Vlnovú dĺžku žiarenia má nastavenú na 532 nm s výstupným zväzkom, ktorý má približne 10 mm priemer a frekvenciu lasera 10 Hz.



Obr. 22. Laser Quanta-Ray (vľavo) a laditeľný farbivový laser Cobra-Stretch (vpravo).

Tento laser bol použitý k budeniu farbivového lasera Cobra-Stretch, ktorý je laditeľný, a preto je ním možné nastaviť rôzne vlnové dĺžky. Pomocou tejto zostavy laserov môžeme vyvolať laserovú spektroskopiu a luminiscenciu vzorky, no pre meranie spektroskopie odtlačku prsta bol nevhodný lúč o priemere 10 mm. Preto bolo potrebné použiť zväčšovacie sklíčko s dvojdutou šošovkou pre zväčšenie priemeru a rozbiehavosti zväzku lúčov.



Obr. 23. Prechod lúčov trojbokým hranolom (vľavo) a dvojdutou šošovkou (vpravo).

Pri meraní fluorescencie odtlačku prsta nevyhovovalo prostredie, v ktorom sa nachádzal laditeľný farbivový laser, a preto sa nepodarilo správne namerať a vizualizovať dané vzorky.

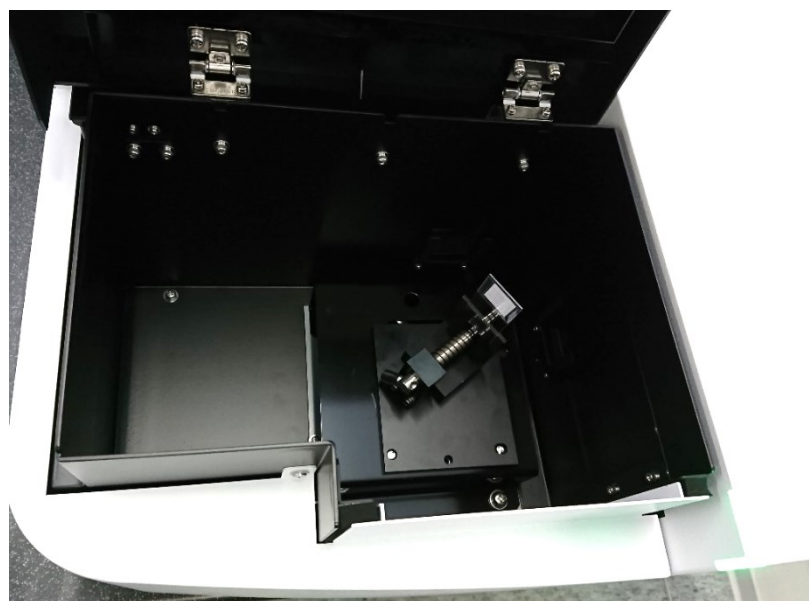
5.3 Příprava vzorky

Pre vytvorenie experimentálnej vzorky bol použitý vlastný odtlačok prsta, konkrétne palca na pravej ruke. Pred vytvorením experimentálnej vzorky bolo potrebné si dôkladne umyť ruky mydlom, aby meranie odtlačku prsta nebolo ovplyvnené nečistotami. Odtlačok bol priložený na podložku z kremenného skla, ktoré je vhodné pre meranie spektrofluometrom. Sklíčko bolo následne pripevnené na odoberateľný držiak pre pevné vzorky prístroja SHIMADZU RF-6000.



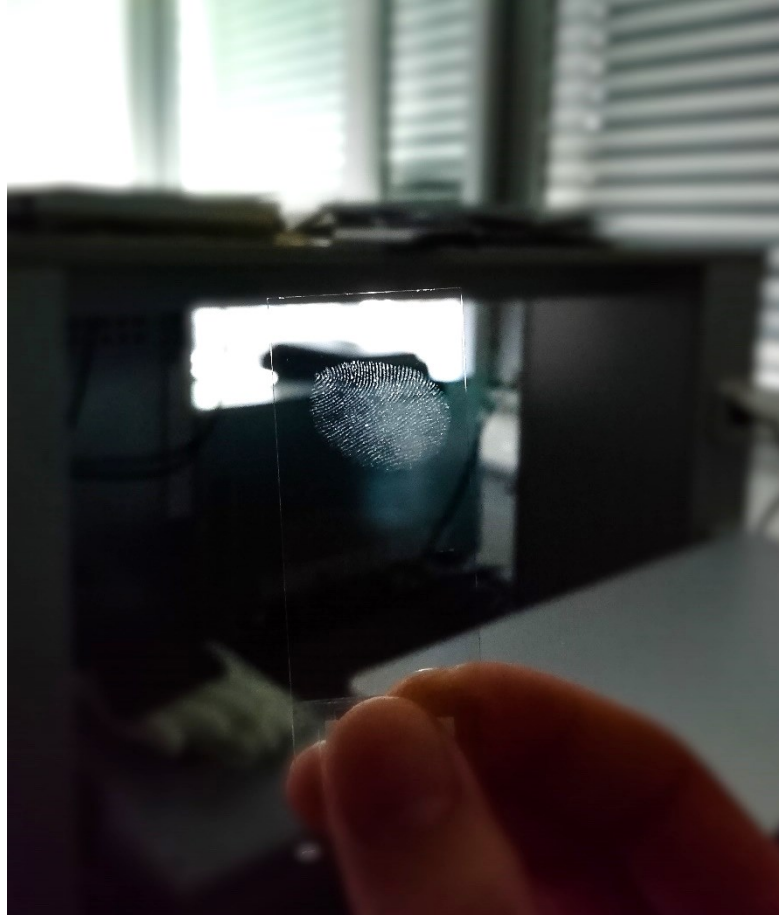
Obr. 24. Vytvorenie vzorky odtlačku prsta.

Držiak pre pevné vzorky sa umiestnil do komory meracieho prístroja fluorescence. V komore sa nachádza zdroj emitujúci žiarenie a detekčný systém odrazeného žiarenia. Po vybudení vhodnej oblasti je luminiscenčné žiarenie rozptýlené do všetkých smerov. Pre potlačenie excitačného (budiaceho) žiarenia nemôže byť vzorka nasmerovaná v prístroji tak, aby dochádzalo ku kolmému odrazu žiarenia, preto je možnosť natočenia držáka so vzorkou. Konkrétne sa jedná o excitačné žiarenie, ktorým sa vybudí fluorescencia danej vzorky a tá následne emituje žiarenie, ktoré je zachytené detektorom.



Obr. 25. Komora meracieho prístroja fluorescence.

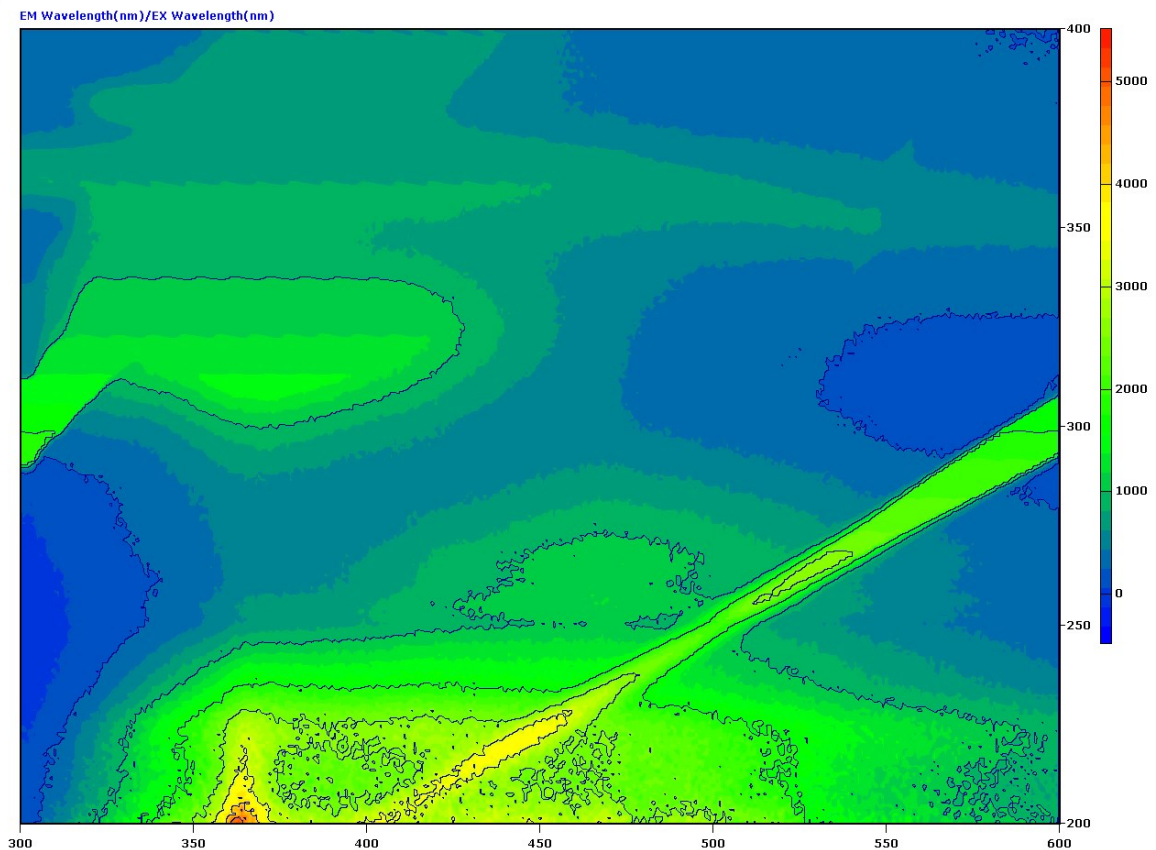
Meranie prebiehalo pravidelne každých sedem dní vo štvrtok o 13:00 hodine. Odtlačok bol skladovaný v uzamykateľnej zásuvke stola, aby naň nepôsobilo okolité prostredie, ako napríklad vplyv slnečného žiarenia alebo usadzovanie prachu a iných nečistôt.



Obr. 26. Detail skúmaného odtlačku prsta.

5.4 Meranie intenzity žiarenia odtlačku prsta

Na začiatku experimentu bolo potrebné zachytiť pomocou spektrofluormetra 3D mapu spektra skúmanej vzorky. Meranie bolo nastavené v rozsahu od 300 do 600 nm emisnej vlnovej dĺžky a v rozsahu 200 do 400 nm excitačnej vlnovej dĺžky. Rýchlosť merania bola nastavená štandardne na 6000 nm za minútu. Pri každej excitačnej vlnovej dĺžke sa meralo celé spektrum.

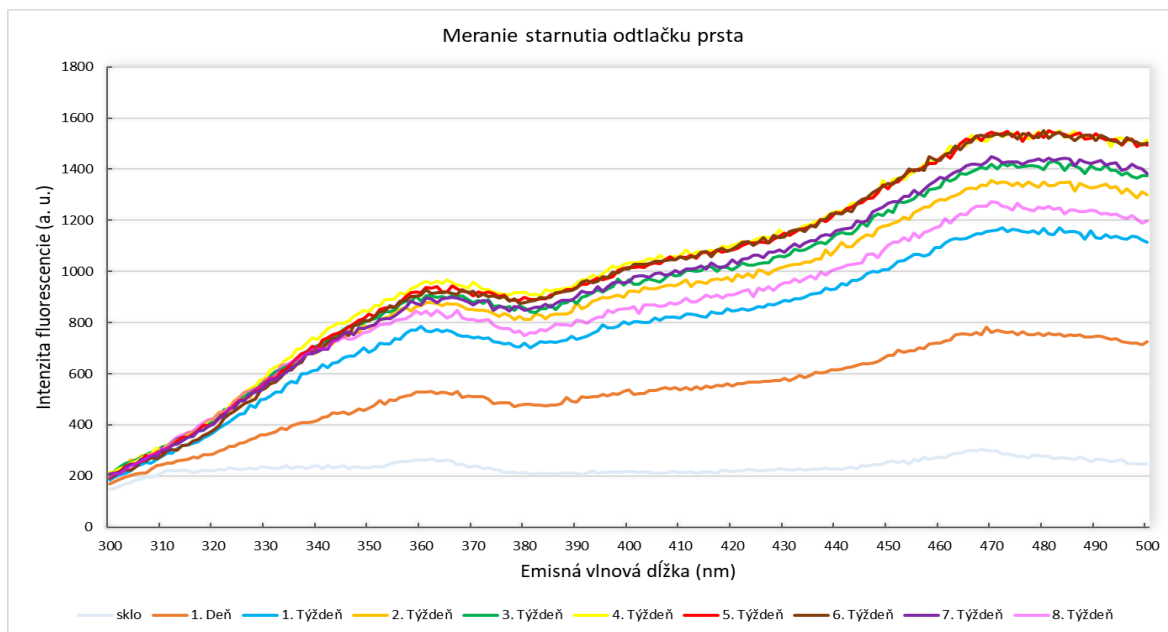


Obr. 27. 3D graf mapy spektra skúmanej vzorky.

Po vytvorení 3D mapy boli nájdené vhodné podmienky pre ďalšie merania. Na obrázku (Obr. 27) môžeme vidieť farebne vyznačené intenzity excitačných a emisných žiarení odtlačku prsta. Ďalej môžeme pozorovať tzv. Rayleighov rozptyl II. rádu vyznačovaný vysokou intenzitou žiarenia. Rayleighov rozptyl sa nachádza v mieste od 400 nm emisnej vlnovej dĺžky až po približne 300 nm excitačnej vlnovej dĺžky.

Pomocou 3D mapy spektra bola vybraná excitačná vlnová dĺžka s veľkosťou 280 nm. Pri tejto vlnovej dĺžke mal graf emisnej vlnovej dĺžky a intenzity žiarenia mierne rastúci charakter s dvomi vrcholmi intenzity.

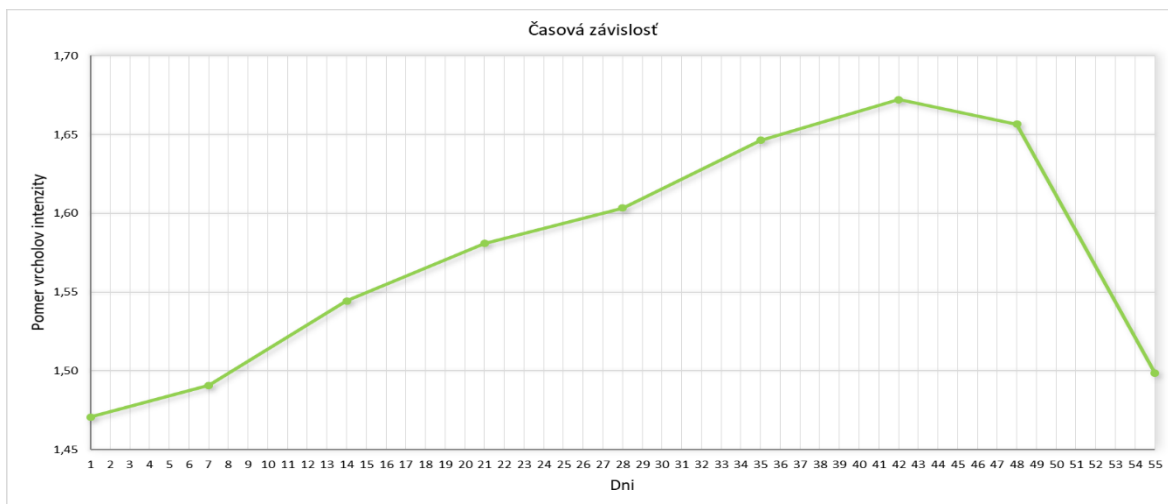
Pri meraní starnutia odtlačku prsta sa najprv nastavila vybraná excitačná vlnová dĺžka 280 nm a rozsah emisného spektra od 300 do 500 nm. Toto nastavenie oblasti zostalo nezmenené po celú dobu merania počas diplomovej práce. Meranie prebiehalo pravidelne, ako už bolo vyššie popísané. Pre porovnanie priebehu intenzity žiarenia v závislosti na vlnovej dĺžke emisného žiarenia odtlačku prsta, bolo vykonané aj meranie samotného kremenného skla bez nečistôt.



Obr. 28. Meranie starnutia odtlačku prsta.

Na predchádzajúcom obrázku sú zobrazené jednotlivé priebehy intenzity v závislosti na vlnovej dĺžke po dobu ôsmich týždňov. Ako je možné z obrázku vidieť, každým týždňom intenzita žiarenia narastá nerovnomerne až po 6. týždeň merania. Tento nárast intenzity žiarenia bol spôsobený oxidáciou látok obsiahnutých v odtlačku prsta vzdušným kyslíkom. V 6. týždni, po 42 dňoch od prvého merania odtlačku prsta, je nárast intenzity minimálny. Počas 7. a 8. týždňa intenzita začala rapídne klesať.

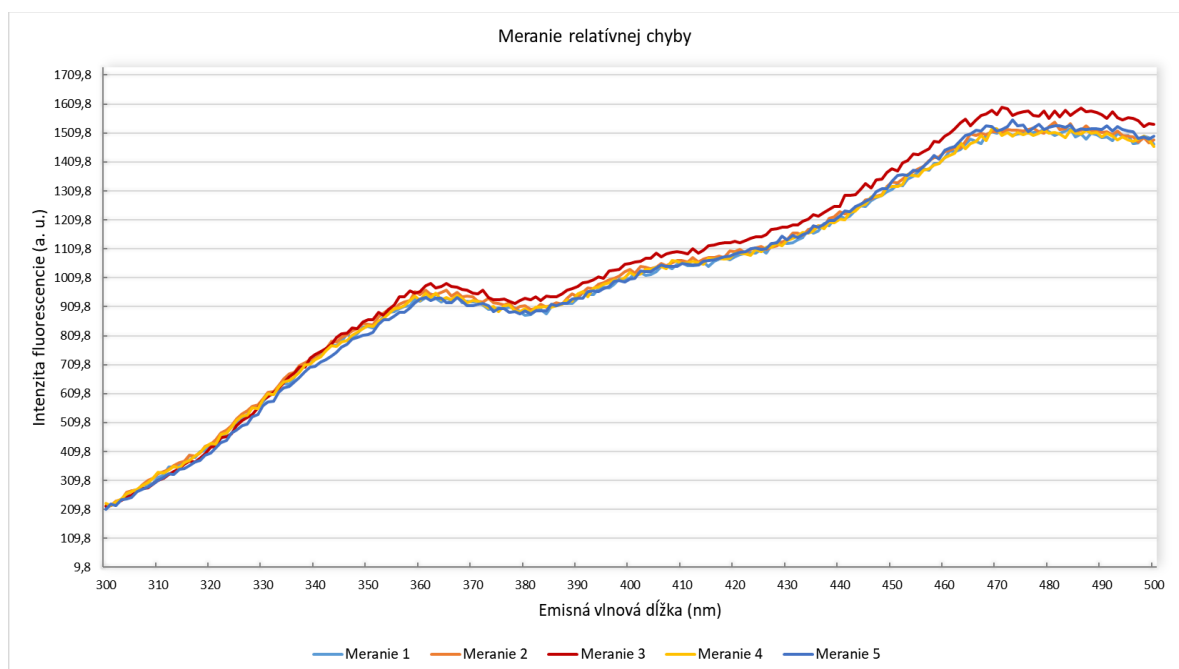
Priebehy intenzity v závislosti na vlnovej dĺžke majú v jednotlivých týždňoch dva vrcholy, pomocou ktorých bola následne určená časová závislosť.



Obr. 29. Graf časovej závislosti odtlačku prsta.

Časová závislosť bola získaná pomerom väčšieho a menšieho vrcholu intenzity žiarenia v určitý časový okamih. Tento spôsob určenia časovej závislosti vyplynul z nameraných dát po 2 týždňoch. Ako je možné vidieť z grafu časovej závislosti odtlačku prsta, pomer vrcholov intenzít mal rastúci charakter po dobu 42 dní. Pravdepodobne po tejto dobe oxidácia vzorky bola slabšia, alebo v nej začali prebiehať iné procesy, a preto aj intenzita žiarenia, ale aj pomer jednotlivých vrcholov začali klesať.

Aby sa zistilo, či je meranie starnutia odtlačku prsta ovplyvnené rôznym umiestnením (pozíciou) vzorky kremenného skla s odtlačkom prsta do spektrofluometra, bolo potrebné vykonať reprodukovateľnosť merania. Toto meranie vyplýva z toho, že sa 5-krát po sebe merali tie isté hodnoty s kompletným vybratím vzorky z držiaka a umiestnením späť.



Obr. 30. Graf reprodukovateľnosti merania.

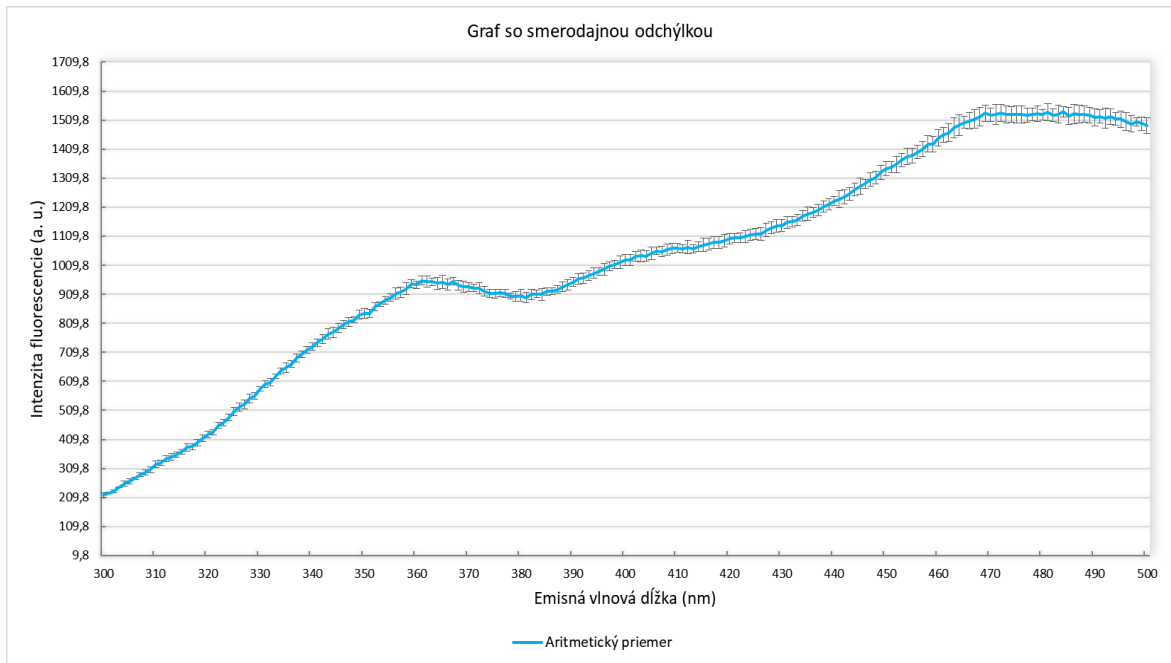
V grafe je zobrazených 5 opakovaných meraní intenzity žiarenia v jednom časovom úseku. Najprv bol vypočítaný aritmetický priemer, čiže stredná aritmetická hodnota pre každú vlnovú dĺžku. Pre výpočet bol použitý vzorec:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

Pomocou aritmetického priemeru bola určená smerodajná odchýlka, ktorá je definovaná ako druhá mocnina z výberového rozptylu, keďže meranie bolo opakované 5-krát.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Pre určenie maximálnej chyby merania bolo potrebné určiť maximálny rozptyl hodnôt intenzít žiarenia.



Obr. 31. Graf smerodajnej odchýlky.

Vypočítaním smerodajnej odchýlky bol zostrojený graf rozptylu opakovaných meraní. V grafe je možné vidieť, že k najväčšiemu rozptylu intenzity dochádza pri hodnote vlnovej dĺžky 464 nm. Pomocou nameraných hodnôt bola zistená maximálna chyba merania pomerom smerodajnej odchýlky a aritmetického priemeru v danej vlnovej dĺžke 464 nm. Maximálna chyba merania vyšla po zaokrúhlení nahor 3 %, čo je zanedbateľná hodnota pre určenie veku odtlačku prsta.

6 VIZUALIZÁCIA ODTLAČKOV PRSTOV POD UV ŽIARENÍM

Ďalšou časťou diplomovej práce bola vizualizácia odtlačkov prstov pod UV žiarením z povrchov nevhodných pre klasické kriminalistické techniky. V tejto kapitole sú opísané použité UV lampy a svetlá, ktoré boli použité k ožarovaniu odtlačku prsta. Ďalej je popísaný postup experimentu, ktorý bol rozdelený na vizualizáciu odtlačkov prstov na laboratórnom sklíčku a vizualizáciu odtlačkov prstov na povrchoch nevhodných pre klasické kriminalistické techniky.

6.1 Použité vybavenie k vizualizácii

K vizualizácii odtlačkov prstov bola použitá UV lampa KRUSS Optronic. Ďalej k ožarovaniu a vizualizácii bolo použité vybavenie MEGAMAXX MMX 300.

6.1.1 UV lampa KRUSS Optronic

Lampa je určená na detekciu luminiscencie ultrafialového žiarenia. Bežne sa využíva na kontrolu fluorescenčných bezpečnostných prvkov bankoviek. Ďalším využitím je hygienické čistenie a dezinfekcia povrchov.



Obr. 32. UV lampa KRUSS Optronic 254/366 nm.

Zariadenie využíva špeciálne filtre pre dlhé a krátke UV vlnové svetlo. Na výber sú dve vlnové dĺžky 254 nm a 366 nm s intenzívnou 6 W žiarivkou.

6.1.2 MEGAMAXX MMX 300

Jedná sa o súpravu k zviditeľňovaniu neviditeľných stôp vyvolaním fluorescencie. Využíva sa pri vyšetrovaní na mieste činu alebo aj pri skúmaní vzoriek v laboratóriu, pri

vyhľadávání telesných tekutín, vlákien, úlomkov kostí s použitím fluorescenčného prášku. Tak isto sa využíva pri kontrole bezpečnostných prvkov na bankovkách a dokumentoch.



Obr. 33. Súprava MEGAMAXX MMX 300.

V súprave je obsiahnutých osem druhov LED svetiel s rozsahom vlnových dĺžok od 395 nm až po 625 nm. Pre upevnenie LED svetiel je k dispozícii ohybná trojnožka (držiak) pre uľahčenie fotografovania vzoriek. Pre pozorovanie a fotografovanie vzoriek je možné použiť 4 druhy okuliarov (žlté, oranžové, červené a biele) a 3 farebné fotografické bariérové filtre (žlté, oranžové a červené).



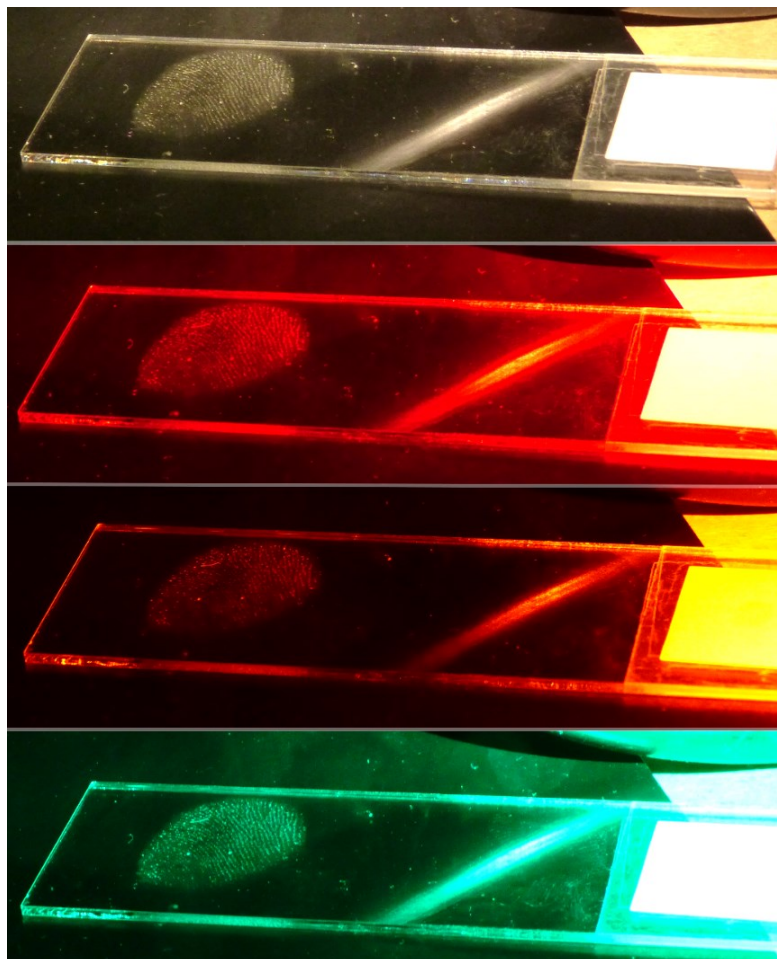
Obr. 34. Použitie LED svetlá s charakteristickou vlnovou dĺžkou.

6.2 Popis experimentu

K vizualizácií odtlačkov prstov boli použité LED svetlá zo súpravy MMX 300. Každé zo svetiel má charakteristickú vlnovú dĺžku a boli použité v rovnakom poradí ako je usporiadanie svetiel na obrázku (Obr. 34). Svetlá boli použité na ožarovanie vzorky odtlačku prsta zanechanom na kremennom sklíčku. Experiment bol zdokumentovaný fotoaparátom Panasonic LUMIX FZ-62, na ktorom bola nastavená vysoká ohnisková vzdialenosť 8.0, čas uzávierky približne 4 sekundy a ISO nastavené na menšie hodnoty kvôli zachovaniu kvalitnejších snímok bez šumu.

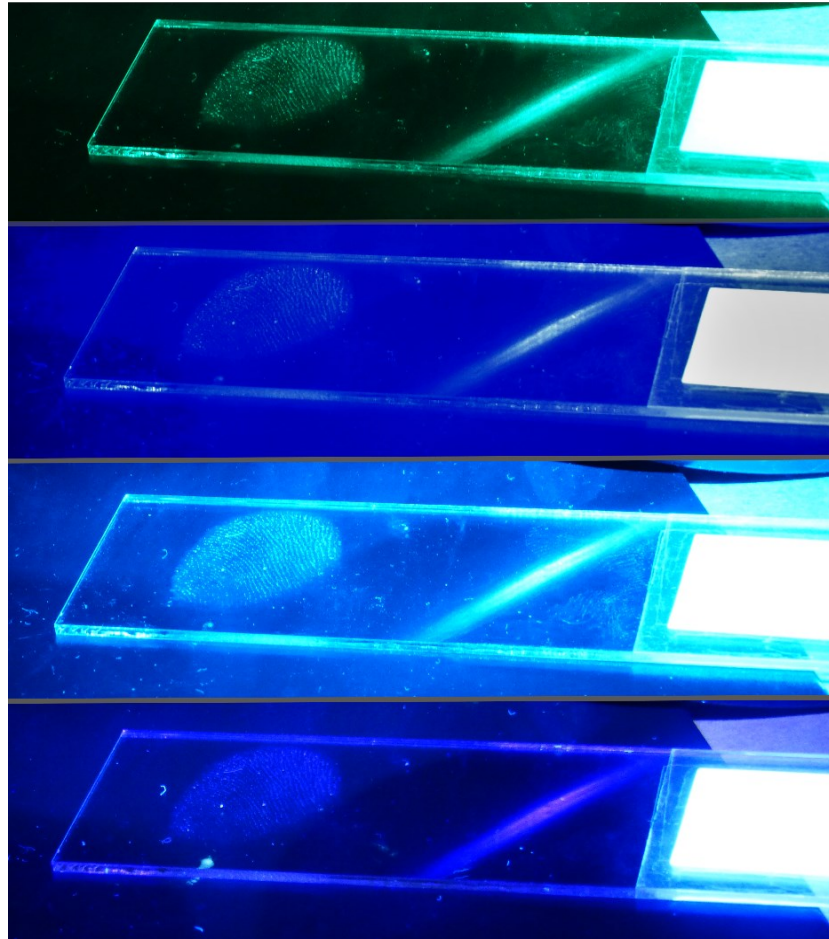
6.3 Vizualizácia odtlačku prsta na kremennom sklíčku

Na obrázku (Obr. 35) je možné vidieť odtlačok prsta pri rozličných vlnových dĺžkach. Najlepšie zviditeľnením odtlačku sa javí ožarovanie zeleným LED svetlom s vlnovou dĺžkou 530 nm.



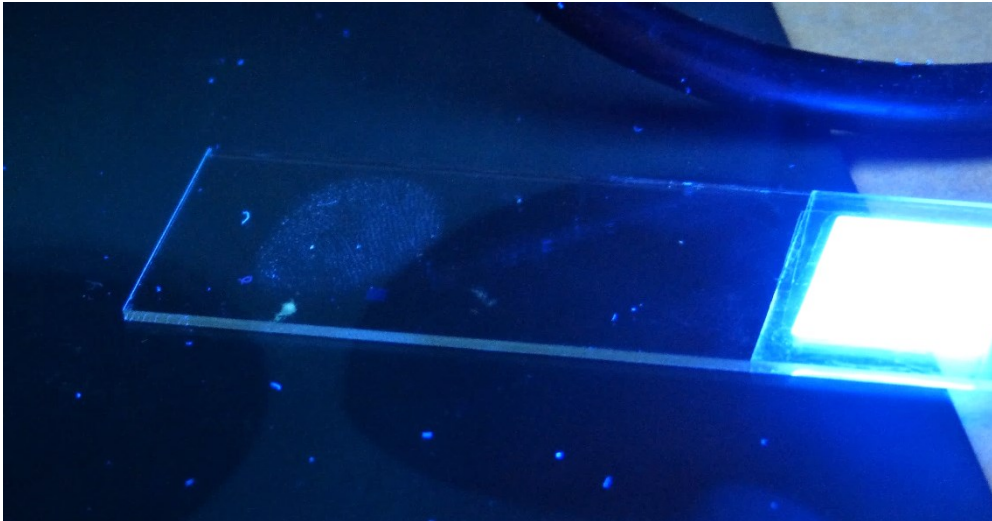
Obr. 35. Luminiscencia odtlačku prsta pri bielom svetle, 625 nm, 590 nm a 530 nm vlnovej dĺžky (zhora nadol).

Z ďalšieho ožarovania vzorky je možné pozorovať luminiscenciu pri modrom svetle s vlnovou dĺžkou 455 nm a svetlom UV s vlnovou dĺžkou 395 nm. Pri týchto dvoch ožiareníach luminiskujú aj nečistoty na sklíčku, napríklad prachové častice.



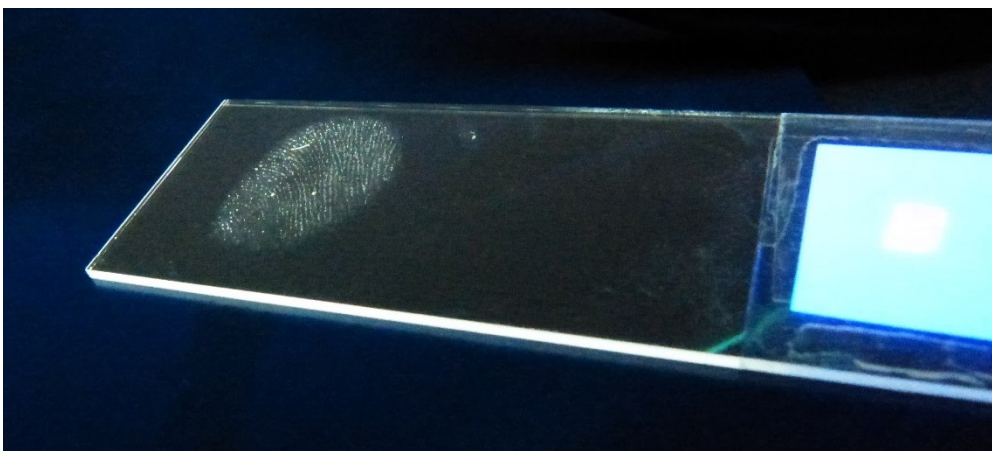
Obr. 36. Luminiscencia odtlačku prsta pri vlnových dĺžkach: 505 nm, 470 nm, 455 nm a 395 nm (zhora nadol).

Odtlačok prsta bol skúmaný aj pod UV lampou KRUSS, ktorá sa bežne využíva na kontrolu fluorescenčných bezpečnostných prvkov bankoviek. Výhodou lampy oproti LED svetlám sú nižšie hodnoty vlnovej dĺžky žiarenia a zároveň väčšieho výkonu žiarenia.



Obr. 37. Odtlačok prsta pod UV lampou KRUSS pri vlnovej dĺžke 366 nm.

Skúmanie najprv prebehlo pri vlnovej dĺžke 366 nm. Jeho výsledok bol veľmi podobný ožarovaniu UV svetlom pri vlnovej dĺžke 395 nm. Tu je možné pozorovať väčšiu luminiscenciu vzorky aj okolitých nečistôt.



Obr. 38. Odtlačok prsta pod UV lampou KRUSS pri vlnovej dĺžke 254 nm.

Pri druhom ožiarení s kratšou vlnovou dĺžkou zmizli luminiskujúce nečistoty a bol tu zaznamenaný veľký nárast luminiscencie skúmaného odtlačku prsta.

Z týchto experimentov sa javili najlepšie vlnové dĺžky 395, 366 a 254 nm, pri ktorých bolo jasne vidieť luminiscenciu daného odtlačku prsta.

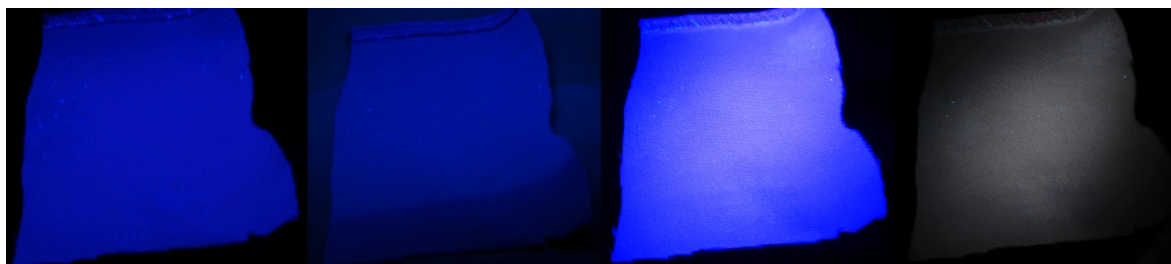
6.4 Vizualizácia odlačku prsta na tkanine

Následne bol vykonaný experiment zviditeľnenia odlačku prsta z povrchov nevhodných pre klasické kriminalistické techniky, ako sú napríklad rôzne tkaniny.



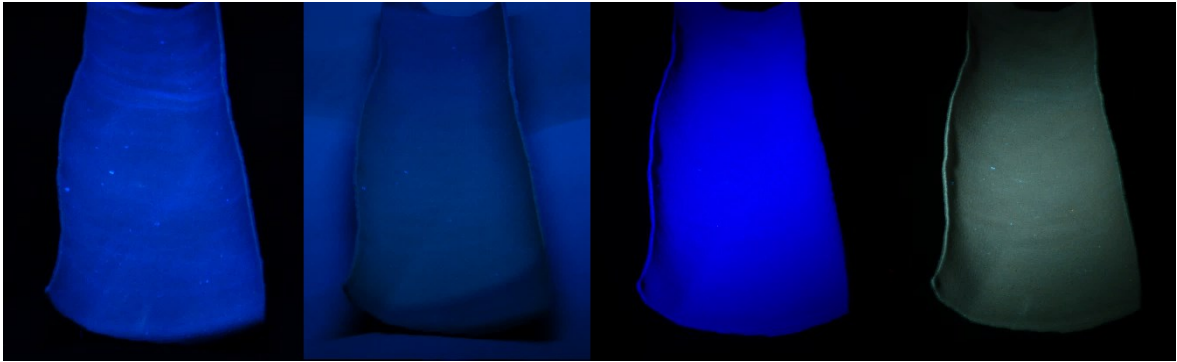
Obr. 39. Vybrané kusy tkaniny: polyester (vľavo), polyamid a elastan (v strede), satén (vpravo).

K vizualizácii odlačku prsta boli použité vybrané kusy tkaniny ako napríklad: 100% polyester, 62% polyamid a 38% elastan, 100% satén. Na každom kuse tkaniny bol vytvorený odlaček prsta, ktorý bol následne ožarovaný pomocou vyššie spomínaných vlnových dĺžok.



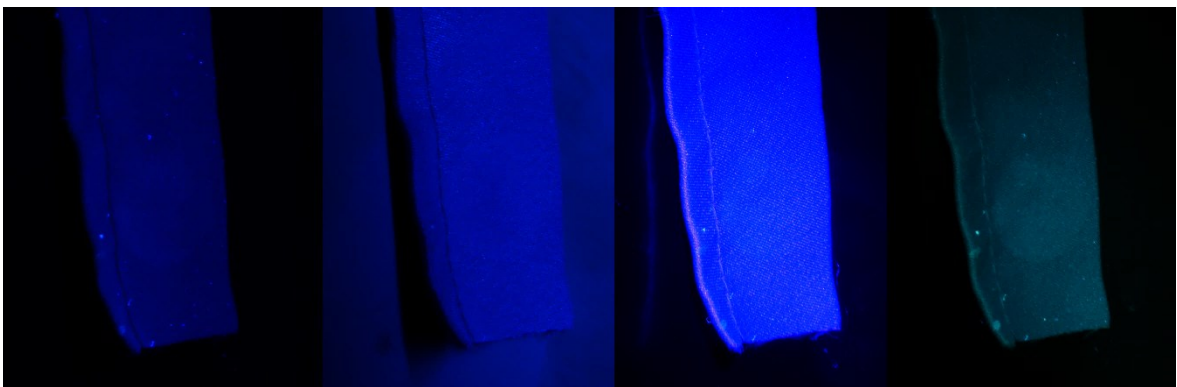
Obr. 40. Polyester pod UV žiarením vlnovej dĺžky 254 nm, 366 nm, 395 nm a 395nm so žltým filtrom (zľava doprava).

Prvá bola ožarovaná tkanina zo 100% polyesteru. Pre lepšiu viditeľnosť bol použitý aj žltý fotografický filter, ktorý bol vyhovujúci pre dané vlnové dĺžky a experiment. Pri tejto vzorke nebol vizualizovaný odlaček prsta pomocou UV žiarenia.



Obr. 41. Polyamid a elastan pod UV žiarením vlnovej dĺžky 254 nm, 366 nm, 395 nm a 395nm so žltým filtrom (zľava doprava).

Ďalšou ožarovanou vzorkou bola tkanina zložená zo 62% polyamidu a 38% elastanu. Ani pri tejto vzorke nebol viditeľný odtlačok prsta pod UV žiarením.

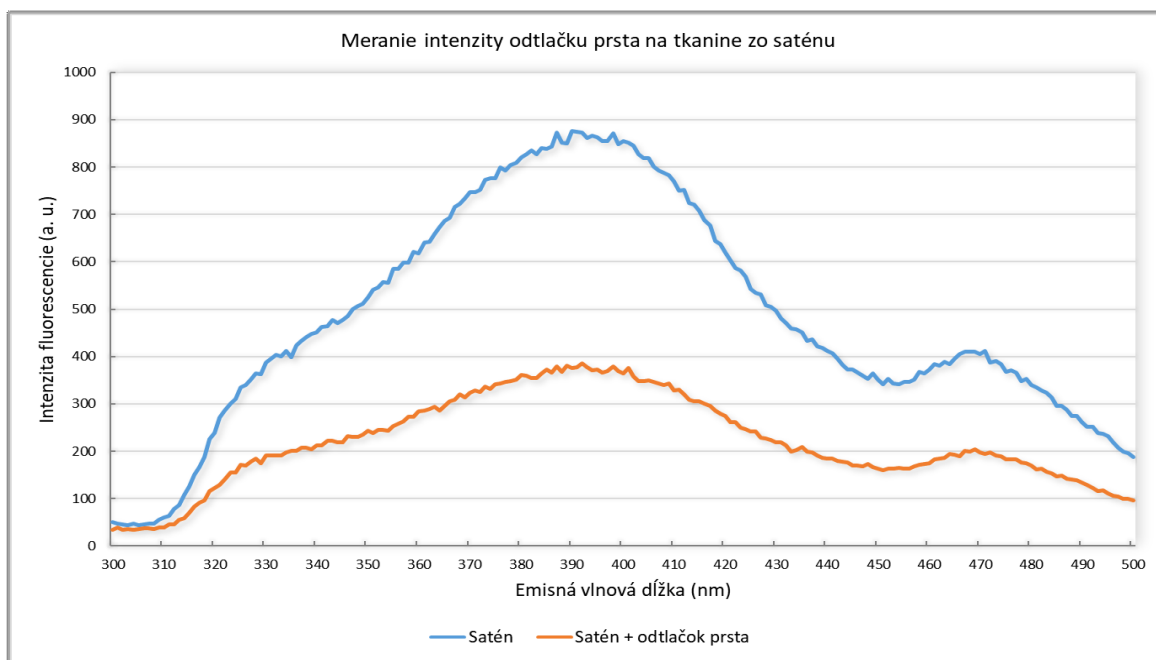


Obr. 42. Satén pod UV žiarením vlnovej dĺžky 254 nm, 366 nm, 395 nm a 395nm so žltým filtrom (zľava doprava).

Poslednou vybranou vzorkou tkaniny bol 100% satén. Pri vlnovej dĺžke 366nm bol viditeľný obrys zanechaného odtlačku prsta. Svetlo pri vlnovej dĺžke 395 nm bolo silnejšie a tkanina vykazovala vysokú luminiscenciu, preto bol použitý žltý fotografický filter, ktorý odstránil nadbytočnú luminiscenciu tkaniny a jasne zviditeľnil odtlačok prsta.

Luminiscenčná UV technika je užitočná, pretože dokáže zobrazit' veci, ktoré nie sú viditeľné za normálnych podmienok. Môže sa jednať o prachové častice, vlákna, stopy krvi alebo aj bezpečnostné prvky bankoviek. Z experimentov ožarovania vzorky na kremennom sklíčku bolo vidieť, že odtlačok prsta vykazuje silnú luminiscenciu v krátkych vlnových dĺžkach. Preto bol uskutočnený pokus ožarovania odtlačku prsta na tkanine. Z množstva

druhov tkanín boli vybrané iba 3 náhodné. Odtlačok prsta sa podarilo vizualizovať pomocou UV žiarenia len na povrchu tkaniny zo saténu.



Obr. 43. Graf intenzity žiarenia čistého saténu a saténu s odtlačkom prsta.

Pre porovnanie spektroskopie luminiscencie odtlačku prsta na laboratórnom sklíčku z kremenného skla a na tkanine vyrobenej zo 100 % saténu bola vzorka saténu vložená do spektrofluormetra. Meranie prebehlo najprv s čistým saténom bez odtlačku a potom sa zmeral satén so zanechaným odtlačkom prsta. Z grafu je možné vidieť opačný prípad intenzity žiarenia ako pri kremennom sklíčku, pretože intenzita žiarenia saténu bez odtlačku prsta je väčšia ako intenzita žiarenia so zanechaným odtlačkom. Pravdepodobne je to spôsobené tým, že luminiscencia danej tkaniny je väčšia ako luminiscencia odtlačku prsta a preto tam vzniká istá absorpcia intenzity žiarenia.

7 ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV PRÁCE

Meraním luminiscencie odtlačku prsta zanechanom na kremennom sklíčku bolo zistené, že intenzita emisného žiarenia časom narastá. Nárast intenzity žiarenia je spôsobený oxidáciou prvkov zložiek obsiahnutých v zanechanom odtlačku prsta. Veľký nárast intenzity žiarenia bol viditeľný počas prvých týždňov merania. Od 3. týždňa sa nárast intenzity žiarenia spomalil a od 6. týždňa merania začala intenzita žiarenia klesať.

Každá nameraná intenzita žiarenia mala podobný priebeh s dvoma vrcholmi intenzít. Prvý vrchol sa vyskytoval pri emisnom žiarení pri vlnových dĺžkach od 350 nm do 370 nm a druhý pri vlnových dĺžkach 465 nm až 485 nm. Pre výpočet časovej závislosti boli vybrané vždy dva vrcholy, ktorých pomerom vyšlo bezrozmerné číslo. K tomuto číslu boli priradené časové údaje merania, na základe ktorých bol vytvorený graf časovej závislosti. Pre jednoznačnosť určenia veku odtlačku prsta musí byť meranie vykonané do 42 dní.

Pre určenie presnosti merania bol vykonaný test reprodukovateľnosti merania. Intenzita emisného žiarenia odtlačku prsta bola zmeraná 5-krát v jednom časovom úseku. Maximálna chyba merania vyšla 3 %, čo je zanedbateľná hodnota.

Vizualizácia odtlačku prsta na povrchoch nevhodných pre klasické kriminalistické techniky bola vykonávaná pomocou rady svetiel až po UV žiarenia. Ožarovaný bol najprv odtlačok na kremennom sklíčku, kde bolo zistené, že vysokú luminiscenciu odtlačok vykazuje pri UV žiarení pri vlnových dĺžkach 254, 366 a 395 nm.

Pre vizualizáciu odtlačku prsta na nevhodných povrchoch boli vybrané 3 druhy tkanín: 100% satén, 100% polyester, 62% polyamid a 38% elastan. Z experimentu bola zistená luminiscencia odtlačku na tkanine zo 100% saténu. Tkanina zo saténu bola zmeraná spektrofluometrom, ktorým sa zistila absorpcia intenzity žiarenia odtlačkom prsta.

Na základe týchto meraní a zistení je možné vizualizovať odtlačok prsta pomocou luminiscencie UV žiarením a určiť vek odtlačku zanechanom na laboratórnom sklíčku. Na odtlačok prsta má vplyv aj prostredie, ktoré naň pôsobí. Ide hlavne o slnečné žiarenie, prípadne poveternostné vplyvy vonkajšieho prostredia ako napríklad vlhkosť alebo teplota. Pôsobenie týchto vplyvov na odtlačok treba ešte preskúmať. Na základe meraní použitých sofistikovanejších matematických metód a vytvoriť matematický model, ktorý by odstránil nežiaduce vplyvy z meraní. Do budúcnosti by bolo vhodné vytvoriť prenosný spektrometer, ktorým by sa dali vizualizovať odtlačky prstov a určiť ich vek na mieste činu.

ZÁVER

S prejavom luminiscencie sa môžeme stretnúť v mnohých priemyselných odvetviach. Jej využitie býva uplatnené aj v kriminalistických metódach pri vyšetrowaní závažných trestných činov. Odtlačky prstov bývajú najčastejšou stopou zanechanou na mieste činu a zvyčajne nie sú voľným okom viditeľné. Tieto latentné daktyloskopické stopy môžu vzniknúť aj na povrchoch nevhodných pre klasické kriminalistické techniky, čo predstavovalo hlavný cieľ výskumu.

Teoretická časť práce bola rozdelená do 4 kapitol. V prvej kapitole bola vysvetlená podstata odtlačkov prstov, metódy snímania odtlačkov prstov, zaistenie daktyloskopických stôp a ich časová trvácnosť. Druhá kapitola popisuje princíp luminiscencie, jednotlivé druhy a jej využitie v praxi. V tretej kapitole je vysvetlený pojem spektroskopie a optické metódy. Keďže praktická časť je zameraná na meranie spektroskopie luminiscencie odtlačkov prstov, štvrtá kapitola sa zaoberá luminiscenčnými spektrami.

Praktická časť je rozdelená do 3 kapitol. V prvej kapitole bola vykonaná analýza starnutia odtlačku prsta pomocou luminiscenčnej spektroskopie. Druhá kapitola sa zaoberala vizualizáciou odtlačkov prstov pod UV žiarením. V poslednej kapitole boli zhodnotené výsledky experimentov a práce. Analýza starnutia odtlačku prsta bola uskutočnená pomocou spektrofluormetra, kde bol odtlačok analyzovaný na laboratórnom sklíčku z kremenného skla. Z nameraných hodnôt bolo zistené, že je možné určiť vek odtlačku prsta do 42 dní s maximálnou hodnotou chyby merania 3 %, čo je zanedbateľné pre určenie veku odtlačku prsta. Vizualizácia odtlačku prsta prebiehala najprv na laboratórnej vzorke z kremenného skla, kde sa stanovili vhodné vlnové dĺžky k vybudeniu luminiscencie. Odtlačok vykazoval vysokú luminiscenciu pri UV žiarení pri vlnových dĺžkach 254, 366 a 395 nm.. Potom bol pomocou týchto vlnových dĺžok ožarovaný povrch nevhodný pre klasické kriminalistické techniky, akými sú tkaniny. Z vybraných tkanín bola zistená luminiscencia odtlačku na látke zo 100 % saténu.

Pomocou týchto metód by bolo možné vizualizovať odtlačok prsta zanechanom na mieste činu a určiť jeho vek, čo by pomohlo pri vyšetrowaní trestného činu, určení páchatel'a na základe rovnakého času zanechania odtlačku s časom trestného činu. Práca môže v budúcnosti poslúžiť ako podklad k výskumu, v ktorom je možné pokračovať. Pri ďalšom pokračovaní vo výskume určenia veku odtlačku prsta odporúčam použiť sofistikovanejšie matematické metódy, pretože na odtlačok prsta má vplyv aj prostredie, ktoré naň pôsobí.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] Rak, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2365-5.
- [2] STRAUS, Jiří. *Kriminalistická technika*. 2., rozš. vyd. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2008. ISBN 978-80-7380-052-9.
- [3] PORADA, Viktor. *Kriminalistika: technické, forenzní a kybernetické aspekty*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2016. ISBN 9788073805890.
- [4] DRAHANSKÝ, Martin a Filip ORSÁG. *Biometrie*. [Brno: M. Dražanský], 2011. ISBN 978-80-254-8979-6.
- [5] Prášek Argentorat. *Krimi-ltsezam.cz* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.krimi-ltsezam.cz/cs/prasek-argentorat/>
- [6] SIEGEL, Jay A, Pekka J SAUKKO a Max M HOUCK. *Encyclopedia of forensic sciences. Second edition*. Waltham, MA, USA: Elsevier, Academic Press, [2013]. ISBN 9780123821652.
- [7] NINHYDRIN, AND IODINE-FUMING. *Leelofland.com* [online]. 2008 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.leelofland.com/ninhydrin-and-iodine-fuming/>
- [8] Fingerprinting. *Mrlynchscience.com* [online]. 2014 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://mrlynchscience.wordpress.com/2014/03/25/fingerprinting/>
- [9] WORLEY, Christopher G. *Detection of Visible and Latent Fingerprints Using Micro-X-ray Fluorescence Elemental Imaging*. Journal of Forensic Sciences [online]. 2006. ISSN 0022-1198. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1556-4029.2005.00006.x>
- [10] STRAUS, Jiří a Viktor PORADA. *Teorie, metody a metodologie kriminalistiky*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2017. ISBN 978-80-7380-666-8.
- [11] PORADA, Viktor. *Kriminalistika*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-7204-194-0.
- [12] DVOŘÁK, Lubomír a Zdeněk KUPKA. *Fyzikální podstata a využití luminiscence*. Praha: SPN, 1980. Odborná literatura pro učitele.
- [13] PELANT, Ivan a Jan VALENTA. *Luminiscence doma, v přírodě a v laboratoři*. Praha: Academia, 2014. Průhledy (Academia). ISBN 978-80-200-2394-0.
- [14] DEKKER, Adrianus J. *Fyzika pevných látek* [Dekker, 1966]. Praha: Academia, 1966. 543 s.

- [15] PELANT, Ivan a Jan VALENTA. *Luminiscenční spektroskopie*. Praha: Academia, 2006. ISBN 80-200-1447-0.
- [16] PELANT, Ivan a Jan VALENTA. *Luminescence spectroscopy of semiconductors*. New York: Oxford University Press, 2012. ISBN 0199588333
- [17] NEON FLEX, 24V, Teplá biela, 3000K. *Ziarovky.eu* [online]. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://www.ziarovky.eu/produkt/neon-flex-24v-tepla-biela-3000k-10-metrove-balenie/>
- [18] Chemiluminescence: Definition and Examples. *Thoughtco.com* [online]. 2019 [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/chemiluminescence-definition-4142622>
- [19] Bioluminescent Mushroom. *Dphotographer.co.uk* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://www.dphotographer.co.uk/image/223371/bioluminescent_mushroom
- [20] Spectroscopy Definition. *Thoughtco.com* [online]. 2018 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/definition-of-spectroscopy-605676>
- [21] VONDRÁK, Dalibor a Jaroslav VULTERIN. *Analytická chemie*. Bratislava: Nakladateľství technické literatury, 1985. ISBN 04-619-85.
- [22] UNIT 5: COLOURS OF LIGHT. *Andressegovia5primaria.blogspot.com* [online]. 2018 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://andressegovia5primaria.blogspot.com/2018/03/unit-5-colours-of-light.html>
- [23] HOLZBECHER, Závaš a Jaroslav CHURÁČEK. *Analytická chemie*. Bratislava: Nakladateľství technické literatury, 1987. ISBN 04-612-87.
- [24] Trocha teórie o žiarení. *Bioclio.com* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://bioclio.com/trocha-teorie-o-ziareni/>
- [25] Ultraviolet Radiation Definition. *Thoughtco.com* [online]. 2018 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/definition-of-ultraviolet-radiation-604675>
- [26] Harmful and beneficial effects of UV radiation. *Hko.gov.hk* [online]. 2016 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: https://www.hko.gov.hk/m/article_e.htm?title=ele_00127
- [27] Medical Definition of Ultraviolet radiation. *Medicinenet.com* [online]. 2018 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.medicinenet.com/script/main/art.asp?articlekey=5898>

- [28] Spektrum. *Hvezdy.astro.cz* [online]. 2010 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z:
<http://hvezdy.astro.cz/charakteristika/4-spektralni-typy-hvezd>
- [29] LAKOWICZ, Joseph R. *Principles of fluorescence spectroscopy. 3rd ed.* New York: Springer, c2006. ISBN 0387312781
- [30] AKIBA, Norimitsu. *Visualization of Aged Fingerprints with an Ultraviolet Laser.* Journal of Forensic Sciences [online]. 2018. [cit. 2019-05-07]. ISSN 0022-1198. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1556-4029.13588>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

3D	Trojdimenzionálny.
2D	Dvojdimezcionálny.
DFO	1,8-Diazafluoren-9-one.
UV	Ultrafialové žiarenie.
LED	Luminiscenčná dióda.
CD	Kompaktný disk.
IR	Infračervené žiarenie.
FM	Frekvenčná modulácia.
AM	Amplitúdová modulácia.
UVA	Ultrafialové žiarenie A.
UVB	Ultrafialové žiarenie B.
UVC	Ultrafialové žiarenie C.
NUV	Blízke ultrafialové žiarenie.
MUV	Stredné ultrafialové žiarenie.
FUV	Ďaleké ultrafialové žiarenie.
VUV	Vákuové ultrafialové žiarenie.
EUV	Extrémne ultrafialové žiarenie.
DNA	Deoxyribonukleová kyselina.
Nd:YAG	Kryštál Yttrium Aluminium Granátu dopovaný Neodýmom ($\text{Nd:Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$).
ISO	Citlivosť obrazového snímača na svetlo.

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1. Významní predstavitelia daktyloskopie a rok objavu. [1]</i>	12
<i>Obr. 2. Detail papilárnych línií prsta.</i>	14
<i>Obr. 3. Zloženie kože s papilárnymi líniami. [2]</i>	14
<i>Obr. 4. Klasifikácia daktyloskopických stôp. [2, upravil Potůček 2019]</i>	16
<i>Obr. 5. Základné daktyloskopické vzory. [1]</i>	18
<i>Obr. 6. Počet papilárnych línií. [4]</i>	19
<i>Obr. 7. Zloženie kože s papilárnymi líniami. [1, upravil Potůček 2019]</i>	20
<i>Obr. 8. Typy markantov odtlačku prsta. [2]</i>	21
<i>Obr. 9. Argentorát. [5]</i>	22
<i>Obr. 10. Biela daktyloskopická fólia, sada daktyloskopických práškov, štetec z peria (vľavo) a z ľavej srsti (vpravo).</i>	23
<i>Obr. 11. Príklad použitia fluorescenčného prášku na lesklom povrchu.</i>	23
<i>Obr. 12. Ninhydrín. [7]</i>	25
<i>Obr. 13. Zviditeľnenie daktyloskopických stôp pomocou jódových pár. [8]</i>	26
<i>Obr. 14. Fotoluminiscencia bezpečnostných prvkov bankoviek pod UV žiarením.</i>	31
<i>Obr. 15. Farebné LED diódové pásiky. [17]</i>	33
<i>Obr. 16. Fotoluminiscencia roztokov pod UV žiarením. [18]</i>	34
<i>Obr. 17. Bioluminiscencia húb. [19]</i>	35
<i>Obr. 18. Disperzia svetla prechádzajúceho hranolom. [22, upravil Potůček]</i>	39
<i>Obr. 19. Rozsah oblastí elektromagnetického žiarenia. [24]</i>	40
<i>Obr. 20. Porovnanie absorpčných a emisných spektier. [28]</i>	44
<i>Obr. 21. Meracie zariadenie SHIMADZU RF-6000.</i>	48
<i>Obr. 22. Laser Quanta-Ray (vľavo) a laditeľný farbivový laser Cobra-Stretch (vpravo).</i>	48
<i>Obr. 23. Prechod lúčov trojbokým hranolom (vľavo) a dvojdutou šošovkou (vpravo).</i>	49
<i>Obr. 24. Vytvorenie vzorky odtlačku prsta.</i>	50
<i>Obr. 25. Komora meracieho prístroja fluorescencie.</i>	50
<i>Obr. 26. Detail skúmaného odtlačku prsta.</i>	51
<i>Obr. 27. 3D graf mapy spektra skúmanej vzorky.</i>	52
<i>Obr. 28. Meranie starnutia odtlačku prsta.</i>	53
<i>Obr. 29. Graf časovej závislosti odtlačku prsta.</i>	53
<i>Obr. 30. Graf reprodukovateľnosti merania.</i>	54

<i>Obr. 31. Graf smerodajnej odchýlky.</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 32. UV lampa KRUSS Optronix 254/366 nm.</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 33. Súprava MEGAMAXX MMX 300.</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 34. Použité LED svetlá s charakteristickou vlnovou dĺžkou.</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 35. Luminiscencia odtlačku prsta pri bielom svetle, 625 nm, 590 nm a 530 nm vlnovej dĺžky (zhora nadol).</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 36. Luminiscencia odtlačku prsta pri vlnových dĺžkach: 505 nm, 470 nm, 455 nm a 395 nm (zhora nadol).</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 37. Odtlačok prsta pod UV lampou KRUSS pri vlnovej dĺžke 366 nm.</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 38. Odtlačok prsta pod UV lampou KRUSS pri vlnovej dĺžke 254 nm.</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 39. Vybrané kusy tkaniny: polyester (vľavo), polyamid a elastan (v strede), satén (vpravo).</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 40. Polyester pod UV žiarením vlnovej dĺžky 254 nm, 366 nm, 395 nm a 395nm so žltým filtrom (zľava doprava).</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 41. Polyamid a elastan pod UV žiarením vlnovej dĺžky 254 nm, 366 nm, 395 nm a 395nm so žltým filtrom (zľava doprava).</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 42. Satén pod UV žiarením vlnovej dĺžky 254 nm, 366 nm, 395 nm a 395nm so žltým filtrom (zľava doprava).</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 43. Graf intenzity žiarenia čistého saténu a saténu s odtlačkom prsta.</i>	<i>63</i>

ZOZNAM TABULIEK

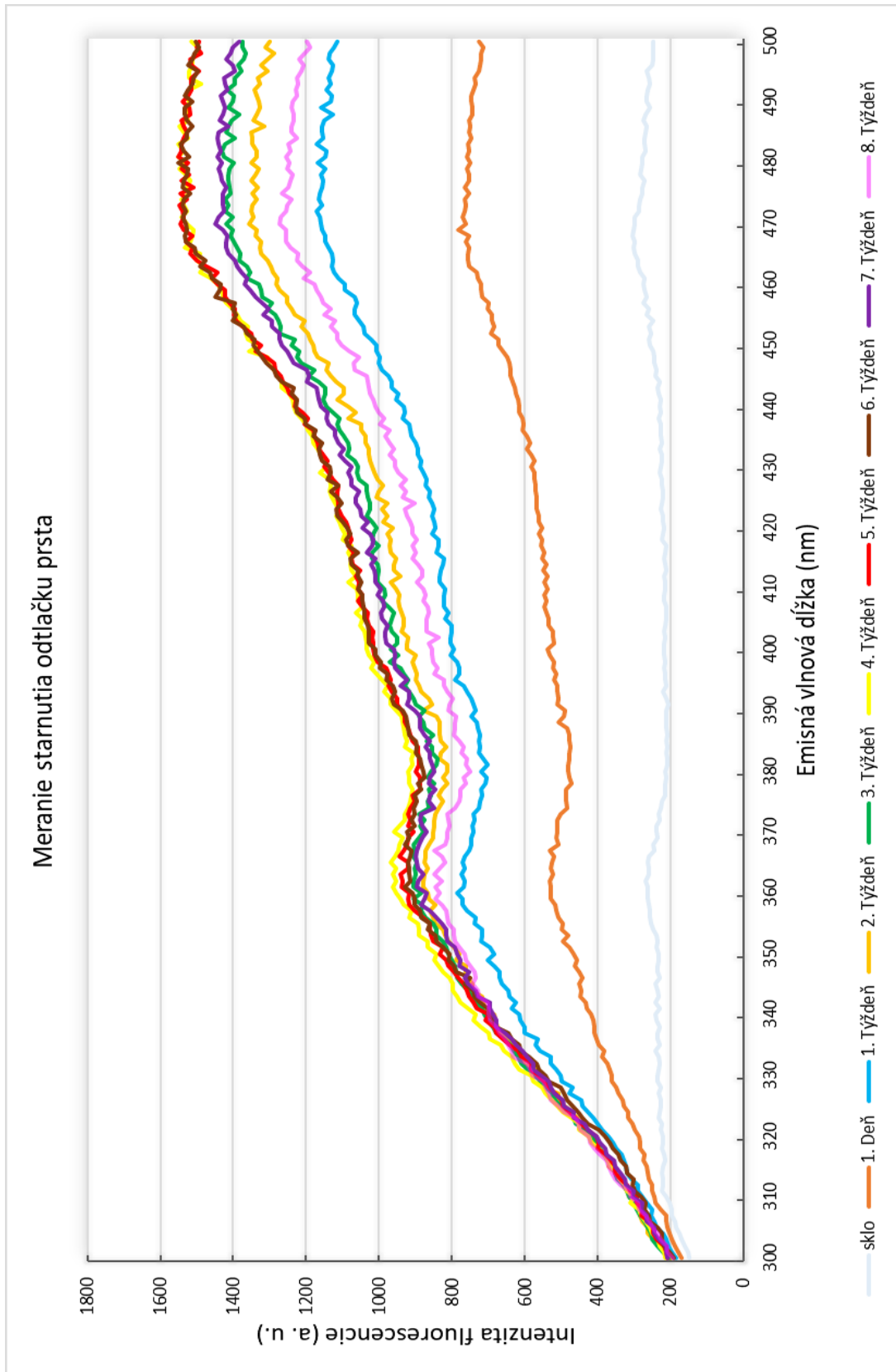
<i>Tab. 1. Kategórie ultrafialového žiarenia. [25]</i>	41
--	----

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha P I: Meranie intenzity žiarenia odtlačku prsta

Príloha P II: Vizualizácia odtlačku prsta na tkanine zo 100 % saténu pomocou UV žiarenia pri vlnovej dĺžke 395 nm s použitím žltého filtra

PRÍLOHA P I: MERANIE INTENZITY ŽIARENIA ODTLAČKU PRSTA



**PRÍLOHA P II: VIZUALIZÁCIA ODTLAČKU PRSTA NA TKANINE
ZO 100 % SATÉNU POMOCO U V ŽIARENIA PRI VLNOVEJ
DĹŽKE 395 NM S POUŽITÍM ŽLTÉHO FILTRA**

