

Studium stárnutí latentních otisků prstů pomocí luminiscenční spektroskopie

Bc. Jan Kedra

Diplomová práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav elektroniky a měření

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Kedra**
Osobní číslo: **A20205**
Studijní program: **N1032A020003 Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Specializace: **Bezpečnostní technologie**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Studium stárnutí latentních otisků prstů pomocí luminiscenční spektroskopie**
Téma práce anglicky: **Study of Ageing of Latent Fingerprints Using Luminescence Spectroscopy**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte přehled prací zabývajících se odhadem stáří otisků prstů.
2. Stručně popište metody používané pro odhad stáří otisků, detailněji popište metodu luminiscenční spektroskopie.
3. Připravte vzorky latentních otisků prstů a měřte jejich luminiscenční chování v čase.
4. V naměřených datech se pokuste nalézt specifické trendy, které umožní popsat luminiscenční chování otisků v čase.
5. Získané výsledky vyhodnotte a porovnejte s výsledky již publikovanými.

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

Seznam doporučené literatury:

1. DE ALCARAS-FOSSOUL, Josep. Technologies for Fingermark Age Estimations: A Step Forward. Cham: Springer, 2021. ISBN 978-3-030-69336-7.
2. AKIBA, Norimitsu, Kenro KUROKI, Kenji KUROSAWA a Ken'ichi TSUCHIYA. Visualization of Aged Fingerprints with an Ultraviolet Laser. Journal of Forensic Sciences [online]. 2018, 63(2), 556-562. ISSN 0022-1198. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13588>
3. SIEGEL, Jay A. a Pekka SAUKKO (eds.). Encyclopedia of forensic sciences. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, c2013. ISBN 978-0-12-398365-7.
4. LAKOWICZ, Joseph R. Principles of fluorescence spectroscopy. 3rd ed. New York: Springer, c2006. ISBN 978-0387-31278-1.
5. PELANT, Ivan a Jan VALENTA. Luminiscence doma, v přírodě a v laboratoři. Praha: Academia, 2014. Průhledy (Academia). ISBN 978-80-200-2394-0.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michaela Mikuličová**
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce: **3. prosince 2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2022**

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D. v.r.
děkan



Ing. Milan Navrátil, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. února 2022

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 práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- 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 připouští-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 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 19. 5. 2022

Jan Kedra, v.r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je popsat luminiscenční chování latentních neboli neviditelných otisků prstů v čase. V teoretické části je podrobněji popsána kriminalistická daktyloskopie. Následně jsou popsány metody používané pro odhad stáří otisků prstů, přičemž luminiscenční spektroskopii je věnována samostatná kapitola. Úvod praktické části je zaměřen na přípravu vzorků včetně nastavených parametrů měření. Pro měření bylo využito celkem 7 vzorků. Následně jsou vzorky měřeny s využitím luminiscenční spektroskopie a z naměřených dat jsou vybrány charakteristické trendy, s jejichž pomocí lze popsat luminiscenční chování latentních otisků prstů v čase. Na závěr jsou naměřené výsledky porovnány s výsledky již publikovanými.

Klíčová slova: daktyloskopie, luminiscence, fluorescence, spektroskopie, latentní otisk prstu, stárnutí otisků.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to describe the luminescence behavior of latent fingerprints. The theoretical part describes criminalistic dactyloscopy in detail. Then, the methods used to estimate the age of fingerprints are presented, whereas a separate chapter is focused only on luminescence spectroscopy. The introduction to the practical part is focused on the preparation of samples and measurement parameters. Seven samples were prepared for these measurements. The samples were measured by luminescence spectroscopy. In the measured data, characteristic trends are chosen, with which the luminescence behavior of latent fingerprints can be described in a timeline. In conclusion, the measured results are compared with known and published results.

Keywords: dactyloscopy, luminescence, fluorescence, spectroscopy, latent fingerprint, the aging of fingerprints

Na tomto místě bych v první řadě rád poděkoval vedoucí své diplomové práce Ing. Michaelle Mikuličové za veškeré rady a připomínky, ochotu a odborné vedení. Rovněž bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu nejen při tvorbě této diplomové práce, ale i po dobu studia.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KRIMINALISTICKÁ DAKTYLOSKOPIE	11
1.1 VLASTNOSTI PAPILÁRNÍCH LINÍ	11
1.1.1 Jedinečnost	11
1.1.2 Neměnnost.....	12
1.1.3 Neodstranitelnost.....	12
1.2 CHARAKTERISTICKÉ ZNAKY PAPILÁRNÍCH LINÍ	13
1.3 DRUHY DAKTYLOSKOPICKÝCH STOP	14
1.4 VYHLEDÁVÁNÍ A ZAJIŠŤOVÁNÍ DAKTYLOSKOPICKÝCH STOP	16
1.4.1 Metody používané ke zviditelnění stop.....	16
1.4.2 Způsoby zajišťování daktyloskopických stop	18
1.5 ZKOUMÁNÍ DAKTYLOSKOPICKÝCH STOP	19
1.5.1 Fáze zkoumání otisků.....	20
1.5.2 Identifikace.....	20
1.5.3 Složení latentních otisků prstů	21
2 METODY POUŽÍVANÉ PRO ODHAD STÁŘÍ OTISKŮ PRSTŮ	24
2.1 PRÁŠKOVÉ METODY	24
2.2 ELEKTRICKÉ METODY.....	24
2.3 PLYNOVÁ CHROMATOGRAFIE-HMOTNOSTNÍ SPEKTROMETRIE	25
2.4 RAMANOVA SPEKTROSKOPIE.....	26
2.5 INFRAČERVENÁ SPEKTROSKOPIE S FOURIEROVOU TRANSFORMACÍ.....	27
2.6 DALŠÍ METODY.....	27
3 LUMINISCENČNÍ SPEKTROSKOPIE	28
3.1 FLUORESCENCE A FOSFORESCENCE	28
3.2 PRINCIPY FLUORESCENČNÍ SPEKTROSKOPIE	28
3.3 USTÁLENÁ A ČASOVĚ ROZLIŠENÁ FLUORESCENCE	30
3.4 VYUŽITÍ LUMINISCENCE PRO ODHAD STÁŘÍ OTISKŮ PRSTŮ	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	32
4 PŘÍPRAVA VZORKŮ A JEJICH MĚŘENÍ	33
4.1 POUŽITÉ LABORATORNÍ VYBAVENÍ	33
4.1.1 Software LabSolutions RF	35
4.1.2 Nastavené parametry měření.....	36
4.2 PŘÍPRAVA, ODBĚR A MĚŘENÍ VZORKŮ	37
5 NAMĚŘENÉ HODNOTY INTENZITY LUMINISCENCE	39
5.1 MUŽSKÉ VZORKY	41
5.2 ŽENSKÉ VZORKY	43
5.3 POROVNÁNÍ MUŽSKÉHO A ŽENSKÉHO VZORKU	45
5.4 VZOREK S PŘÍMĚSÍ VNĚJŠÍCH KONTAMINANTŮ	47
5.5 ZÁVISLOST POMĚRU VYBRANÝCH INTENZIT NA ČASE	49
6 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ	53

ZÁVĚR	55
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	56
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	60
SEZNAM OBRÁZKŮ	61
SEZNAM TABULEK.....	63
SEZNAM PŘÍLOH.....	64

ÚVOD

Cílem diplomové práce je naměřit a následně popsat stárnutí latentních (neviditelných) otisků prstů s využitím luminiscenční spektroskopie. Otisky prstů zajišťované na místech činů coby důkazní materiál jsou velmi důležité z hlediska identifikace osob. Nicméně v současnosti neexistuje spolehlivá metoda k určení přibližného stáří otisku. Luminiscenční spektroskopie je inovativní metoda, která by právě v tomto ohledu mohla výrazně pomoci kriminalistickému zkoumání. Výhodou zvolené metody je mimo jiné to, že původní otisk nemusí být kvalitní po vizuální stránce, poněvadž se pracuje jen s jeho chemickým složením.

Teoretická část diplomové práce je rozdělena na tři kapitoly. První kapitola hlouběji rozebírá kriminalistickou daktyloskopii. Pojednává o vlastnostech papilárních linií, o jejich charakteristických znacích a rovněž jsou v ní uvedeny metody a způsoby zviditelňování a zajišťování daktyloskopických stop. V neposlední řadě je zde popsáno složení latentních otisků prstů. V následující kapitole jsou uvedeny metody používané pro odhad stáří otisků prstů, jakými jsou např. práškové metody, plynová chromatografie-hmotnostní spektrometrie nebo infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací. Luminiscenční spektroskopii je věnována samostatná, třetí, kapitola, jelikož právě tato metoda byla v praktické části práce využívána k měření.

V praktické části diplomové práce je nejprve popsána příprava, odběr a měření vzorků včetně použitého laboratorního vybavení a nastavených parametrů měření. V následující druhé kapitole jsou rozebrány naměřené hodnoty intenzity luminiscence a emisní spektra a podle specifických trendů je popsáno luminiscenční chování latentních otisků v čase. Na závěr praktické části jsou v samostatné kapitole naměřené výsledky porovnány s výsledky již dříve publikovanými.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KRIMINALISTICKÁ DAKTYLOSKOPIE

Kriminalistická daktyloskopie je jednou z nejstarších a nejdůležitějších kriminalistických disciplín. Zabývá se identifikací osob na základě zkoumání papilárních linií, které se nacházejí nejenom na posledních člancích prstů rukou a nohou, ale také na samotných dlaních a chodidlech [1].

Existuje mnoho důkazů o tom, že otisk prstu (především palce) se využíval jako osobní podpis již před mnoha stovkami let, avšak první významnější progres v této oblasti na evropském území proběhl až v roce 1823, kdy český přírodovědec J. E. Purkyně popsal základní tvary papilárních linií a také jako první kategorizoval dermatoglyfické útvary. O necelých šedesát let později, v roce 1880, se Angličan H. Faulds nechal slyšet, že by daktyloskopické stopy bylo možné využít k identifikaci osob, přesněji pachatelů trestných činů. Paradoxně ve stejnou dobu již byly otisky prstů k identifikaci osob využívány, a to v Indii W. J. Herschelem [1;2].

Největší rozmach kriminalistické daktyloskopie nastal počátkem 20. století vznikem identifikačního systému, založeného právě na otiscích prstů. Až do současnosti se stále jedná o nejdůležitější a nejpoužívanější nástroj k přesné identifikaci osob [1].

1.1 Vlastnosti papilárních linií

Veškerá individuální identifikace osob s využitím otisků prstů je možná díky několika vědeckým a matematickým poznatkům, jejichž autorem je Angličan Francis Galton. Ten na přelomu 19. a 20. století dokázal, že existuje takové množství kombinací papilárních linií, že je prakticky nemožné nalézt dva shodné otisky. Mimo jiné se opíral o několik důležitých vlastností (popsaných v následujících podkapitolách), které jsou typické pro papilární linie a platí pro všechny osoby [1;2].

1.1.1 Jedinečnost

Papilární linie jsou u všech osob zcela jedinečné a neopakovatelné, tedy na celém světě se nevyskytují dva jedinci s naprosto totožnými otisky prstů. Již F. Galton pomocí matematických poznatků dokázal, že pravděpodobnost vzniku dvou shodných obrazců je tak nízká, že se stejné otisky nevyskytly ani za celou existenci lidstva. Toto tvrzení platí do současnosti, jelikož zatím nebylo nijak vyvráceno. Individuálnost obrazců dokonce platí i u jednovaječných dvojčat. Díky jejich shodné DNA je možné zaznamenat určité spojitosti mezi

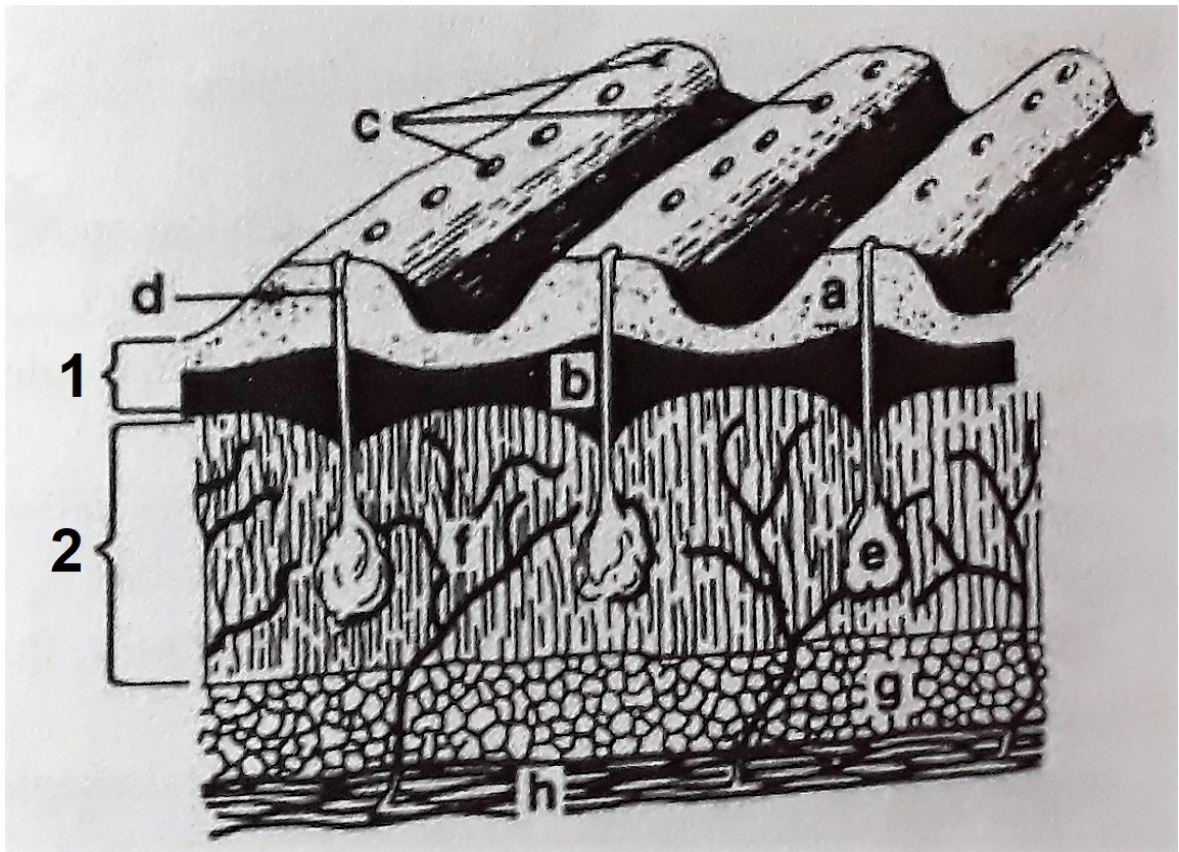
papilárními liniemi, zejména v typech obrazců, avšak i přes to je jejich výsledný tvar a umístění rozdílné [1;3].

1.1.2 Neměnnost

Papilární linie se v průběhu života nijak zásadně nemění. Jejich vývoj u člověka začíná již v embryonálním stádiu, konkrétně ve 4. měsíci, a je ukončen přibližně po dvou měsících. Následně jsou papilární linie na rukou i na nohou neměnné po celou délku života člověka. V některých výjimečných případech však může dojít k poškození těchto obrazců např. vlivem zjizvení kůže nebo některých nemocí [1;3].

1.1.3 Neodstranitelnost

Drobná povrchová zranění pokožky (epidermis) mají na papilární linie jen dočasný efekt, a pokud není nějakým způsobem zasažena zárodečná vrstva kůže (dermis neboli škára), papilární linie po nějakém čase opět dorostou. Při poškození nebo odstranění zárodečné vrstvy kůže však dochází k nenávratné ztrátě. Jedná se ale spíše o velmi výjimečné případy, jelikož právě k odstranění zárodečné vrstvy je potřeba buď lékařský zásah, nebo musí dojít k závažnějšímu fyzickému zranění. Na obrázku 1 je znázorněna a popsána pokožka pokrytá papilárními liniemi [1;3].



Obrázek 1. Pokožka s papilárními liniemi: 1 – pokožka (epidermis); 2 – škára (dermis); a – rohová vrstva; b – zárodečná vrstva; c – potní póry; d – vývody potních žláz; e – potní žláza; f – cévy; g – podkožní tuk; h – svalstvo [4].

1.2 Charakteristické znaky papilárních linií

Při zkoumání otisků prstů se nepracuje s celým otiskem, nýbrž se vždy vyberou jen výrazné části, v nichž papilární linie nabývají určitých charakteristických tvarů – obrazců (tyto obrazce jsou patrně rovněž na dlaních a chodidlech). Identifikace osob pak probíhá právě na základě podobnosti těchto obrazců a samotných papilárních linií [1].



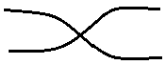
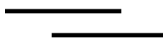








Mezi charakteristické obrazce se mimo jiné řadí následující:

- triradius – linie (nejčastěji jsou 3) vytvářejí tvar hvězdy/trojúhelníku;
- začátek a konec linie;
- oblouček – základní útvar v podobě paralelního průběhu zakřivených linií;
- smyčka – ostřejší zatočení linií oproti obloučku (může vzniknout i dvojsmyčka, a to tehdy, když se do sebe propletou dvě jednoduché smyčky);
- vír – kruhovitě paralelní uspořádání linií;

- krátká linie;
- háček – linie je slepě háčkovitě zakončena;
- můstek – spojení (přemostění) dvou linií;
- křížení;
- vidlice – rozdělení jedné linie na další;
- očko/ostrůvek;
- tečka – jednou z variant je, že se nachází uvnitř očka/ostrůvku, avšak se může vyskytovat i samostatně;
- ostatní útvary – mohou sem patřit i kombinace několika jednodušších útvarů vytvářejících složitější obrazce [1;3].

V tabulce 1 jsou uvedeny grafické ukázky výše popsaných charakteristických obrazců.

Tabulka 1. Některé z typických obrazců tvořených papilárními liniemi [1; úprava: autor].

Triradius		Vír		Křížení	
Začátek a konec linie		Krátká linie		Vidlice	
Oblouček		Háček		Očko, ostrůvek	
Smyčka		Můstek		Tečka (v očku)	

1.3 Druhy daktyloskopických stop

Druhy daktyloskopických stop se rozlišují na základě dvou hlavních kritérií, a to podle způsobu, jakým byly vytvořeny, a podle jejich viditelnosti [3].

Dle způsobu, jakým byly daktyloskopické stopy vytvořeny, je dělíme na stopy plošné a na stopy objemové.

- a) Plošné – tyto otisky vznikají na místech, kde dojde ke kontaktu s nějakou pevnou podložkou a s částí těla, na které se nacházejí papilární linie. Plošné stopy se dělí na dvě kategorie:
 - navrstvené – vytvořený otisk papilárního terénu může být složen z různých látek, které nějakým způsobem ulpěly na pokožce (jsou jimi např. lidská krev, pot, kožní maz, barviva, ale i prachové částice);
 - odvrstvené – otisk vzniká tak, že dojde ke kontaktu pokožky s nějakým předmětem, který je pokryt vrstvou nečistot (nejčastěji se jedná o vrstvu prachu, ale může jít i např. o povrch pokrytý krví anebo o povrch, který byl zrovna čerstvě nalakován nebo natřen barvou), přičemž část těchto nečistot v místě kontaktu přilne k pokožce [1;3;4].
- b) Objemové – k jejich vzniku je zapotřebí nějaký měkký a snadno se deformující materiál. Následně při kontaktu části těla s papilárními liniemi a tohoto materiálu vzniká otisk, který je do něj vtlačen (má objemový charakter). Mezi takové materiály se může řadit např. plastelína [1;4].

Na základě viditelnosti daktyloskopických stop je rozlišujeme na dvě kategorie.

- a) Viditelné – otisky jsou dobře vidět lidským okem. Není zapotřebí otisky nijak upravovat nebo využívat speciální přístroje pro jejich zviditelnění. Viditelné daktyloskopické stopy jsou zejména tvořeny krví nebo prachovými částicemi a mohou mít plošný i objemový charakter [1;3].
- b) Neviditelné (latentní) – latentní daktyloskopické stopy se řadí mezi nejčastěji se vyskytující typy otisků. Vznikají tak, že dojde ke kontaktu mezi pokožkou s papilárními liniemi a nějakým předmětem, přičemž objekty ani pokožka nejsou pokryty žádnými nečistotami, které by jinak tvořily stopu viditelnou (např. zbytky krve nebo barvy). Vzniklý otisk je tak složen převážně z lidského potu a mazu. Pouhým lidským okem jsou nepozorovatelné (nebo jen s obtížemi při kvalitním osvětlení, eventuálně při pohledu z určitého směru – úhlu) a proto je k jejich zviditelnění (a následnému zajištění) zapotřebí použít některých speciálních přípravků nebo metod [2;4].

1.4 Vyhledávání a zajišťování daktyloskopických stop

Při vyhledávání daktyloskopických stop na místě činu se postupuje systematicky. Je zapotřebí prozkoumat veškerá místa a předměty, se kterými mohl pachatel přijít do styku a na nichž se tedy mohou nacházet jeho otisky papilárního terénu. Práci usnadňuje, je-li známo, kudy se pachatel na místě činu přesně pohyboval [1;3].

1.4.1 Metody používané ke zviditelnění stop

Latentní daktyloskopické stopy je před zajištěním a jejich následným zkoumáním zapotřebí zviditelnit pomocí některé ze specifických metod. Podle různých technik využívaných ke zviditelnění stop je lze rozdělit na fyzikální metody, chemické metody, fyzikálně-chemické a speciální metody [1;3;5].

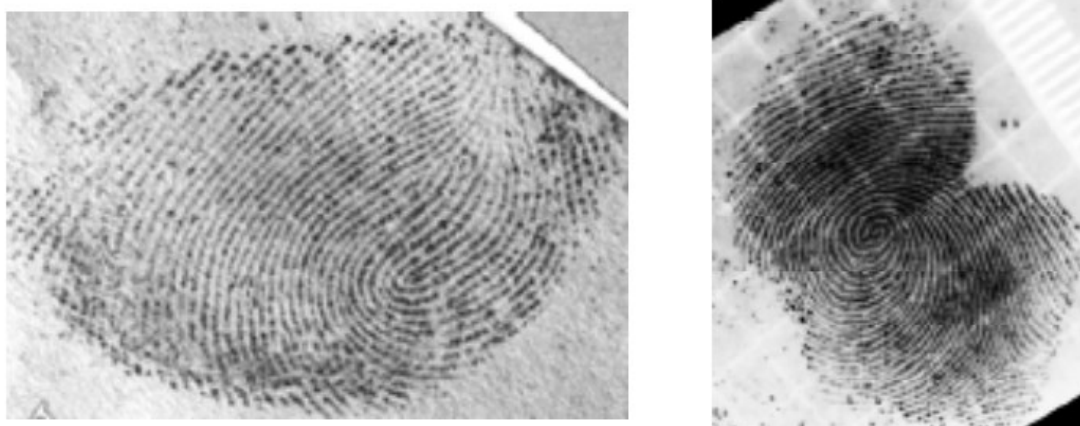
- 1) Fyzikální metody – tyto metody obecně využívají adheze (přilnavosti), a proto se používají různé daktyloskopické prášky složené z buď z nejemno namletých kovů nebo z nekovových materiálů nerozpustných ve vodě (např. argendorát, karborafin apod.). Jelikož jsou latentní stopy tvořeny především lidským mazem a potem, tak při nanesení prášku dochází k jeho ulpívání na otisku a tím pádem se i zviditelní papilární terén. Na obrázku 2 vlevo jsou uvedeny příklady štětců sloužící k nanášení daktyloskopických prášků a na obrázku 2 vpravo jsou některé vybrané druhy daktyloskopických prášků včetně černé a bílé daktyloskopické fólie [1;3].



Obrázek 2. Příklady štětců (vlevo) a daktyloskopických prášků a fólií (vpravo) využívající se ve fyzikálních metodách ke zviditelňování daktyloskopických stop [zdroj: vlastní].

- 2) Chemické metody – zde se ke zviditelňování otisků používají různá chemická činidla, která reagují s některými látkami (např. pot, maz apod.), z nichž je

daktyloskopická stopa složena. Mezi využívané chemikálie se řadí např. dusičnan stříbrný, ninhydrin nebo DFO (1,8-diazafluoren-9-one). Dusičnan stříbrný reaguje se solí, jež je obsažena v lidském potu, a výsledkem je šedočerné zbarvení (jelikož po reakci vzniká chlorid stříbrný, jež se rozkládá na stříbro), a latentní otisk se stává viditelným. Ninhydrin zase reaguje s bílkovinou a v tomto případě je výsledkem červenofialové zbarvení (viz obrázek 3 vlevo). Při použití DFO barviva jsou výhodou jeho fluorescenční vlastnosti při reakci s aminokyselinami (jsou obsaženy v tělním proteinu). Díky luminiscenci tak DFO zvýrazní mnohem více detailů v otisku (viz obrázek 3 vpravo). Nejběžnější uplatnění chemických metod je zviditelňování latentních stop, jež se nacházejí na papírovém podkladu, kterým mohou být mimo jiné bankovky, noviny nebo smlouvy [1–3;6;7].



Obrázek 3. Příklad zviditelnění daktyloskopických stop chemickými metodami (vlevo detekce s využitím ninhydrinu, vpravo s využitím DFO) [6].

- 3) Fyzikálně-chemické metody – jedním ze způsobů zviditelnění stop je aplikování par kyanoakrylátu (neboli Superglue, viz obrázek 4), které přilnou na otisk a zvýrazní jej (mají bílé zbarvení). Další možností je aplikování par jódu, přičemž výsledné zbarvení je hnědočervené (tato metoda se v současnosti již příliš nevyužívá z důvodu korozivity a toxicity jódu) [1;3;5].



Obrázek 4. Zvýrazněný otisk za použití Superglue (par kyanoakrylátu) [8].

- 4) Speciální metody – do této skupiny spadají zejména laserová zařízení, kterými jsou např. argonové lasery (používají se, pokud se latentní otisk nachází např. na dřevě či různých plastických hmotách) [1;3;5].

1.4.2 Způsoby zajišťování daktyloskopických stop

Prakticky veškeré daktyloskopické stopy se v první řadě zajišťují fotograficky. Jedná se o nedestruktivní způsob dokumentace, jenž je možný několikanásobně opakovat při změně osvětlení nebo změnách/kombinacích různých filtrů. Viditelné stopy lze fotograficky zaznamenat prakticky okamžitě, zatímco latentní stopy je potřeba nejdříve zvýraznit. Jakmile je daktyloskopická stopa tímto způsobem patřičně zdokumentována, lze přistoupit i k dalším metodám zajišťování [1;3;4].

U otisků, na něž byl kvůli zvýraznění aplikován některý z daktyloskopických prášků, se přistupuje k zajištění na daktyloskopickou fólii. Fólie je pokryta pružnou želatinou, do níž se odrazí papilární terén. Fólie má různá barevná provedení, z důvodu zajištění dobrého barevného kontrastu mezi fólií a zviditelněnou daktyloskopickou stopou (např. pokud je na otisk použit bílý daktyloskopický prášek, zvolí se fólie černé barvy) [1;3;4].

V případech, kdy má stopa objemový charakter, je možné ji zajistit také odlitím. K tomuto účelu se může použít např. sádra nebo silikonové hmoty Lukopren, Mikrosil či Dentaflex. Někdy lze dokonce zajistit i celý předmět (přijatelných rozměrů), na němž se

daktyloskopická stopa nachází, a odeslat jej k dalšímu zkoumání do kriminalistické laboratoře. Takový způsob se označuje jako zajištění stopy in natura [1;3;4].

1.5 Zkoumání daktyloskopických stop

Jakmile jsou daktyloskopické stopy zajištěny, přistupuje se k jejich zkoumání, a tedy i k následné identifikaci. Postup zkoumání je založen na skutečnosti, že papilární terén obsahuje různé charakteristické znaky neboli markanty (např. můstek, křížení, ostrůvek apod.), jejichž počet, umístění a tvar jsou pro každého člověka naprosto jedinečné (viz předchozí kapitoly). K tomu, aby bylo možné otisk využít k identifikaci jedince, je nutné, aby obsahoval minimálně 10 markantů (tato hodnota platí v ČR, ale v jiných státech se může lišit) [1–3].

K převodu zajištěných daktyloskopických stop do digitální podoby a k jejich následnému zkoumání a porovnávání s již existujícími otisky v databázi se využívá například automatizovaný systém daktyloskopické identifikace osob neboli AFIS (Automated Fingerprint Identification System). Systém je naplněn tzv. daktyloskopickými kartami (příklad, jak taková karta může vypadat, je uveden na obrázku 5), které obsahují jednak identifikační údaje již známých pachatelů, jednak jejich otisky, a to otisky jak jednotlivých prstů, tak celých dlaní, jsou-li k dispozici. V případě doposud neznámého pachatele jsou ukládány pouze veškeré zajištěné daktyloskopické stopy. V současnosti systém obsahuje již několik desítek milionů záznamů [1–3;9].

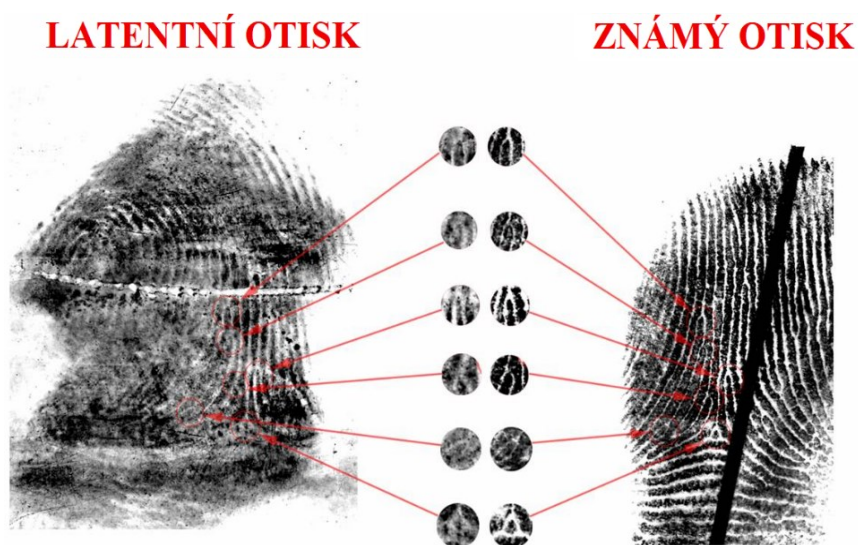


Obrázek 5. Příklad daktyloskopické karty [1].

1.5.1 Fáze zkoumání otisků

První fází je analýza zajištěného otisku, kdy se hodnotí jeho různé detaily a výrazné markanty. V první řadě se vyhodnotí průběh všech papilárních linií tvořících hlavní vzor a určí se, o jaký otisk se jedná (zdali papilární terén náleží poslednímu článku prstu, chodidlu apod.). Do této doby se jedná spíše o hrubé zařazení otisku do některé z kategorií, přesná identifikace je možná až po analýze markantů. Nakonec, pokud to dovoluje kvalita zajištěného otisku, lze zkoumat i takové detaily, jakými jsou např. viditelné potní póry v lištách papilárních linií [1–3].

Jakmile je dokončena analýza daktyloskopických stop, tak se přistupuje ke druhé fázi zkoumání, kterou je komparace. Náplní této fáze je nalézt shodnosti (případně rozdíly) mezi zajištěným otiskem a porovnávaným otiskem z daktyloskopické sbírky/databáze. V případě shody s některou již známou daktyloskopickou stopou je možná identifikace konkrétní osoby. Na obrázku 6 je znázorněn příklad porovnání latentního otisku prstu s již známým otiskem z databáze [1–3].



Obrázek 6. Porovnání latentního otisku prstu s otiskem z databáze [10].

1.5.2 Identifikace

Ve chvíli, kdy jsou dokončeny všechny fáze zkoumání daktyloskopických stop, se přistupuje k finální identifikaci na základě předešlých závěrů. Pokud je nalezena shoda s otiskem uvedeným v daktyloskopické sbírce, tak je právě tento jedinec označen jako jediná osoba, které

daný zajištěný otisk náleží. Identifikaci nelze provést, pokud se některý z obrazců papilárního terénu neshoduje s porovnávaným otiskem [1;3].

1.5.3 Složení latentních otisků prstů

V některých případech se stává, že klasická latentní stopa není vhodná pro klasickou daktyloskopickou identifikaci. Stává se to např. v případech, kdy je otisk nějakým způsobem rozmazaný a papilární linie nejsou jasně rozlišitelné. I přes to, že pak nelze provést identifikaci na základě charakteristických obrazců tvořených papilárními liniemi, lze z otisku určit několik důležitých informací o osobě, která jej vytvořila. Jsou jimi např. pohlaví, věk, užívání léků nebo drog, stravovací návyky, etnikum apod. Tyto informace lze zjistit na základě analýzy chemického složení otisku [9;11].

Latentní otisk prstu je složen hned z několika různých látek (např. aminokyseliny, cukry, proteiny, mastné kyseliny, acylglyceroly apod.), které jsou vylučovány v sekretech ekrinních potních, mazových a apokrinních potních žláz, jež se nacházejí v lidské pokožce. Rovněž mezi látkami značně figurují i vnější kontaminanty (jakými jsou např. barvy, kousky potravin, kosmetické přípravky nebo stopy střelného prachu), které se na prsty a dlaně dostanou běžnou denní činností [9;11].

Složení se časem mění, jelikož dochází mimo jiné k odpařování některých látek či k jejich oxidaci. Vše závisí jednak na vnějších podmínkách, kterým je otisk vystaven (teplota, vlhkost apod.), a jednak na jeho počátečním chemickém složení. Pro účely zkoumání jsou nejdůležitější sekrety z ekrinních potních a mazových žláz, jelikož apokrinní potní žlázy se nacházejí pouze na specifických částech těla (např. v podpaží) [9;11].

Na dlaních a chodidlech se nacházejí pouze ekrinní potní žlázy, nicméně v důsledku běžných činností (jakými jsou např. dotýkání se obličeje nebo vlasů) jsou ruce znečištěny i složkami ze sekretů mazových žláz. Produkce mazu je u žen značně nižší, než je u mužů – to je dáno tím, že ženy mají oproti mužům nižší hladinu androgenů (pohlavních hormonů, které řídí produkci mazu). Z tohoto důvodu ani jedna ze složek nemá ve vytvořeném latentním otisku prstu 100% zastoupení [9].

V tabulce 2 jsou uvedeny hlavní organické a anorganické složky vyskytující se v sekretu jak ekrinních potních, tak i mazových žláz.

Tabulka 2. Hlavní složky vyskytující se v sekretu ekrinních potních a mazových žláz [9].

Druh sekretu	Složky	
	Organické	Anorganické
Pot	Aminokyseliny Proteiny Močovina Kyselina močová Kyselina mléčná Cukry Kreatinin Cholin	Voda (>98 %) Chloridy Ionty kovů (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) Sírany Fosforečnany Hydrogenuhličitany Amoniak
Kožní maz	Acylglyceroly Mastné kyseliny Vosky Skvalen Steroly	

Mezi organickými složkami lidského potu převládají aminokyseliny, kterých je v něm obsaženo několik druhů. K nejvíce zastoupeným aminokyselinám patří serin, glycin, ornitin, alanin a kyselina asparagová [9].

Samotný kožní maz se skládá ze směsi různých lipidů, kterými jsou např. mastné kyseliny, triglyceridy nebo vosky. Jeho složení bývá ovlivněno několika různými faktory, jako je věk, strava, zdraví či genetika člověka. Díky přítomnosti některých odolnějších materiálů v kožním mazu (vosky a triglyceridy) zůstávají latentní otisky prstů detekovatelné i poté, co byly vystaveny vodě. Přesné procentuální zastoupení nejčastějších lipidů na povrchu kůže je uvedeno v tabulce 3 [9].

Tabulka 3. Nejběžnější lipidy a jejich procentuální zastoupení na povrchu kůže [9].

Lipidy	Zastoupení na povrchu kůže (%)
Mastné kyseliny	25
Triglyceridy	25
Vosky	22
Skvalen	10
Monoglyceridy a diglyceridy	10
Steroly a jejich estery	4
Ostatní	4

2 METODY POUŽÍVANÉ PRO ODHAD STÁŘÍ OTISKŮ PRSTŮ

Otisky prstů, zajištěné na místě činu, jsou velice důležitým důkazním a identifikačním prostředkem. Existuje mnoho způsobů, jak je vyhledávat, zajišťovat a následně také zkoumat. V současnosti jsou mimo to rozvíjeny i metody, na jejichž základě lze odhadovat přibližné stáří zajištěných otisků prstů, což může výrazně pomoci kriminalistickému zkoumání (např. zdali byl otisk vytvořen ještě před trestným činem apod.). V následujících podkapitolách jsou tyto metody blíže popsány, přičemž luminiscenční spektroskopii je dále v práci věnována samostatná kapitola.

2.1 Práškové metody

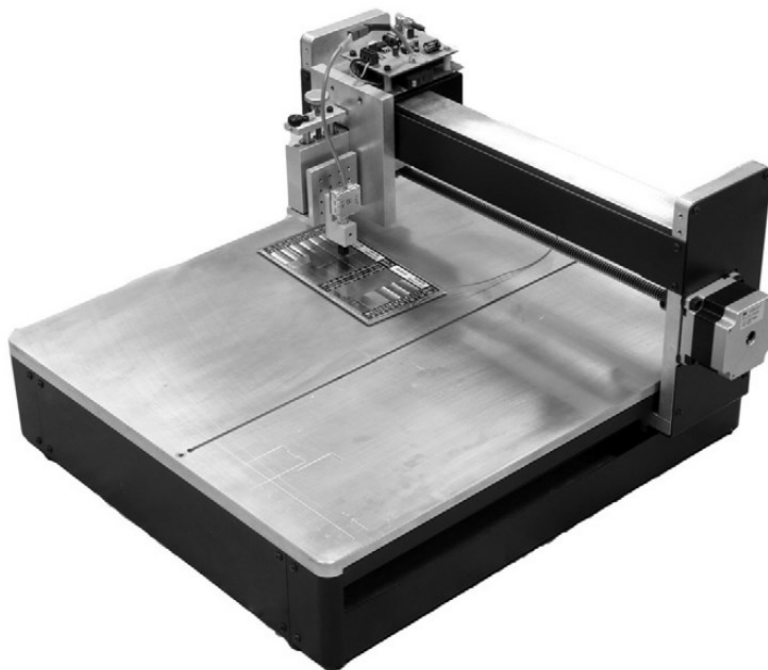
Jednou z možností, jak zjišťovat pravděpodobné stáří latentního otisku prstu, je využití daktyloskopických prášků. Odhad je založen na různé přilnavosti prášku na papilárním terénu nebo na výsledné míře zviditelnění otisku, jež se v časovém horizontu mění. Jedna z novějších studií [12] se soustředila na degradaci latentních otisků v čase při vystavení různým podmínkám (teplota, vlhkost, druh materiálu podložky apod.). Po uplynutí určité doby byl na otisky nanesen daktyloskopický prášek na bázi oxidu titaničitého. Otisky degradovaly podobně na světle i ve tmě, ale konkrétní závěry nebyly stanoveny. Odhadem stáří otisků na základě změny adheze se zabývala i studie [13]. Otisky byly sledovány po dobu 90 dnů ve třech typech prostředí a po uplynutí určité doby byl aplikován daktyloskopický prášek. První výraznější pokles sytosti barev nastává mezi 3 a 7 dnem. Od 60 dne již nedochází k významnější změně sytosti [14].

Některé metody [15] zkoumaly i stáří otisků nanesením prášků poté, co byly vzorky vystaveny vodě, avšak bez větších úspěchů. Závěry dalších studií [16;17] ukazují, že metody využívající ke zjištění přibližného stáří latentních otisků prstů daktyloskopické prášky nejsou příliš přesné.

2.2 Elektrické metody

Tyto metody se opírají o elektrické vlastnosti latentního otisku prstu, především o změny jeho elektrického náboje v časovém horizontu. Např. studie [18] se zabývá tzv. kontaktní elektrifikací, při níž je v důsledku kontaktu prstu se substrátem na povrch substrátu přiveden elektrický náboj. Tento náboj lze poté zobrazit pomocí skenovacího zařízení (viz obrázek 7) s bezkontaktní sondou, která umožňuje měřit plošnou hustotu náboje. Dle závěrů studie plošná hustota náboje s časem klesá; u příliš starých otisků nebyl náboj zaznamenán

vůbec. Nevýhodou zmíněné metody je velmi dlouhý čas, který je vyžadován pro nasnímání otisku na skenovací zařízení. Omezující je také typ a tloušťka substrátu, na kterém se otisk nachází – vhodný je tenký izolant [14].



Obrázek 7. Skenovací zařízení využívané pro snímání elektrického potenciálu otisku [18].

2.3 Plynová chromatografie-hmotnostní spektrometrie

Plynová chromatografie-hmotnostní spektrometrie neboli GC-MS (gas chromatography-mass spectrometry) je metoda, při které je nejdříve využit plynový chromatograf sloužící k oddělení jednotlivých složek vzorku. Výhodou plynového chromatografu je to, že dokáže rozlišit i směsi s velkým množstvím různých sloučenin. Následně jsou oddělené složky analyzovány pomocí hmotnostní spektrometrie. Velkou nevýhodou této metody je to, že je destruktivní. Příklad zařízení pro metodu GC-MS je uveden na obrázku 8 [19].



Obrázek 8. Zařízení využívané pro plynovou chromatografii s hmotnostní spektrometrií [19].

Ve studii [20] využívající GC-MS ke zkoumání stárnutí latentních otisků prstů na základě změny složení lipidů v čase byly monitorovány otisky od 8 osob v průběhu 28 dnů. Bylo zjištěno, že pokud jsou otisky uchovávány ve tmě, nedochází k tak rychlému úbytku sloučenin (zejména skvalenu), jako když jsou otisky dlouhodobě vystaveny světlu. Rovněž ve vzorcích došlo vlivem stárnutí k navýšení některých mastných kyselin. Metoda GC-MS je využita i v [21], v níž bylo ve vzorcích zjištěno 104 různých sloučenin, přičemž nejdůležitějších k rozlišení osob bylo právě 10 esterů vosku, jejichž zastoupení bylo ve všech 25 zkoumaných otiscích.

2.4 Ramanova spektroskopie

Jedná se o nedestruktivní metodu založenou na Ramanově rozptylu, která se využívá pro analýzu molekulových spekter látek. Ve studii [22] byla pomocí Ramanovy spektroskopie porovnávána sada otisků prstů uchovávaná na světle se sadou uloženou ve tmě. Bylo mimo jiné zjištěno, že Ramanovy pásy odpovídající skvalenu jsou při uchovávání v tmavých podmínkách viditelné i po 700 hodinách, zatímco na světle vymizí již po 140 hodinách. K podobnému zjištění, že světelné podmínky mají vliv na degradaci otisku v čase, dospěla i studie [20] s použitím metody GC-MS (viz předchozí kapitola) [23].

2.5 Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací

Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací neboli FT-IR (Fourier transform infrared spectroscopy) je rovněž nedestruktivní metoda pracující s absorpcí infračerveného záření látkou. V [24] bylo pomocí FT-IR studováno stárnutí latentních otisků prstů dětí ve věku od 2 do 11 let. Bylo zjištěno, že dětské latentní otisky prstů obsahují jen malé množství proteinových částic oproti otiskům dospělých osob. Místo toho mají velké zastoupení solí kyselin (jedná se o hlavní složku v otiscích), které jsou díky své teplotní a časové stabilitě vhodné k měření. Popisem stárnutí a určením původního složení latentního otisku prstu se zabývá mimo jiné i [25], jejímž výsledkem byl model sloužící k určení stáří vzorku.

2.6 Další metody

Jednou z možností jsou také fyzické metody neboli sledování degradace papilárního terénu latentního otisku prstu v čase. Např. studie [26] se zaměřuje na změnu velikosti pórů potních žláz nebo na změnu šířky jednotlivých linií papilárního terénu, přičemž se k pozorování využívají různé optické senzory. Konkrétně šířka linií se skutečně časem zmenšuje, avšak problematické jsou různé biologické/genetické faktory a rovněž má velký vliv již původní kvalita latentního otisku prstu. Kromě kvality je taktéž problematická znalost počáteční šířky jednotlivých linií papilárního terénu [14].

3 LUMINISCENČNÍ SPEKTROSKOPIE

Luminiscenční spektroskopie je metoda založená na principu fotoluminiscence, což je emise záření (ultrafialového, viditelného nebo infračerveného) z materiálu a nastává při návratu elektronu z excitovaného do základního stavu. Příčinou fotoluminiscence je absorpce excitační energie ve formě fotonu látkou, což vede k excitaci elektronu do některého z vyšších energetických stavů. Podle charakteru excitovaného stavu se fotoluminiscence rozděluje na dva hlavní typy, a to na fluorescenci a fosforescenci [27;28].

3.1 Fluorescence a fosforescence

Při fluorescenci je návrat elektronu z excitovaného do základního stavu spinově povolený (elektron v excitovaném stavu je spárován s elektronem v základním stavu, který má opačný spin). Proto emise fotonu probíhá velmi rychle (životnost fluorescence je řádově v nanosekundách). U fosforescence je návrat elektronu do základního stavu spinově zakázaný, a proto je emise fotonu velmi pomalá (řádově v milisekundách až v sekundách, ale i v mnohem delších časových intervalech) [27;28].

Výsledná spektrální data fluorescence se nejčastěji uvádí ve formě grafů – emisních spekter. Jedná se o závislost intenzity fluorescence na vlnové délce [27].

3.2 Principy fluorescenční spektroskopie

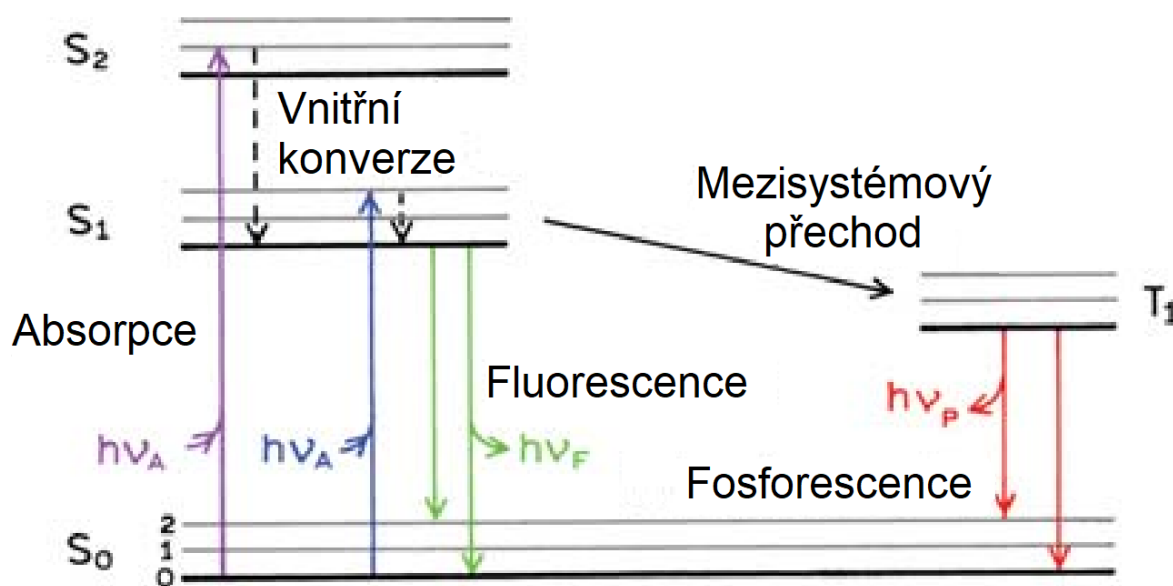
Jednotlivé procesy, jež vzájemně probíhají mezi absorpcí a emisí záření, se znázorňují pomocí Jablonského diagramů. Tyto diagramy existují v několika variantách tak, aby přesně znázorňovaly molekulární procesy, které mohou nastat v excitovaných stavech. Nesou jméno po prof. Aleksandrovi Jablonském, jenž se významně podílel na rozvoji fluorescenční spektroskopie [27;29].

Na obrázku 9 je zobrazen jeden z klasických příkladů Jablonského diagramu. S_0 znázorňuje základní stav (počet elektronů v molekule je sudý), S_1 a S_2 pak jednotlivé excitované stavy. Na každé z těchto úrovní mohou excitované fluorofory existovat v mnoha různých vibračních a rotačních stavech, jež jsou na obrázku znázorněny číslicemi 0, 1 a 2. Přejechy mezi jednotlivými stavy jsou zobrazeny svislými křivkami, které znázorňují okamžitou povahu absorpce světla [27].

Po dokončení absorpce dochází k několika různým procesům. Fluorofor je většinou excitován na některou z vyšších vibračních úrovní S_1 nebo S_2 . Molekuly v kondenzovaných fázích

se velmi rychle uvolňují na nejnižší vibrační úroveň S_1 . Jedná se o tzv. vnitřní konverzi, která nastává řádově během 10^{-12} sekund. Trvanlivost fluorescence je však obvykle kolem 10^{-8} sekund, díky čemuž je vnitřní konverze dokončena ještě před emisí. Fluorescenční emise tedy nastává z nejnižší vibrační energetické hladiny stavu S_1 (tepelně rovnovážný excitovaný stav). Přechod obvykle probíhá na některou z vyšších vibračních hladin stavu S_0 , v důsledku čehož je emisní spektrum zrcadlovým obrazem absorpčního spektra přechodu ze stavu S_0 do stavu S_1 [27;29].

Molekuly, které se nacházejí ve stavu S_1 , mohou podstoupit spinovou konverzi a přejít do některé z vibračních hladin prvního tripletového stavu T_1 , která má podobnou energii (tato konverze mezi S_1 a T_1 se nazývá mezisystémový přechod). Následná emise z T_1 se nazývá fosforescence. Přechod ze stavu T_1 do základního singletového stavu je zakázán (elektrony mají stejný spin) [27].



Obrázek 9. Jedna z forem Jablonského diagramu [27].

Z Jablonského diagramu rovněž vyplývá, že energie absorpce je větší, než je energie emise. Pro fluorescenci je typické, že nastává při delších vlnových délkách, tj. při nižších energiích. Taktéž pro fluorescenci platí, že bez ohledu na excitační vlnovou délku je fluorescenční emisní spektrum vždy stejné [27].

3.3 Ustálená a časově rozlišená fluorescence

Fluorescenční měření lze rozdělit na 2 typy, a to na ustálená měření (nejčastější způsob měření) a časově rozlišená měření. V případě časově rozlišeného měření se sleduje a analyzuje buď anizotropie fluorescence nebo pokles intenzity. Měřený vzorek je nejprve vystaven pulzu záření, přičemž šířka tohoto pulzu je zpravidla kratší, než je doba dohasínání fluorescence vzorku. K zaznamenání následného poklesu intenzity nebo anizotropie se využívá vysokorychlostní detekční systém. Jeho výhodou je měření v řádech nanosekund [27;30].

Pokud se měření provádí v ustáleném stavu, vzorek je excitován kontinuálním zářením a zaznamenává se jeho emisní spektrum nebo intenzita fluorescence. Jedná se prakticky o průměr jevů z časově rozlišeného měření sledujícího pokles intenzity fluorescence. Měření fluorescence v ustáleném stavu je velmi jednoduché a často využívané, jelikož oproti časově rozlišenému měření není zapotřebí využívat konstrukčně složitou a finančně nákladnou měřicí aparaturu [27;30].

3.4 Využití luminiscence pro odhad stáří otisků prstů

Luminiscenční spektroskopie se používá v mnoha různých oblastech, jakými jsou např. fyzika, chemie, medicína, potravinářský průmysl nebo forenzní analýza. Jedním z možných forenzních využití je odhad stáří latentních otisků prstů. Jedná se o novou, málo prozkoumanou oblast, která v literatuře dosud není rozsáhleji popsána. Výhodou luminiscenční spektroskopie je, že otisk nemusí být kvalitně vyhotoven, jelikož se pracuje pouze s jeho chemickým složením. Různé látky (organické i anorganické) totiž vykazují rozdílné fluorescenční vlastnosti. Studie [31] se zabývala odhadem stáří otisků pomocí fluorescence s využitím oxidačních procesů nenasycených lipidů, které na vzduchu oxidují. Následně byla sledována postupná degradace takto vzniklých sloučenin, čímž docházelo i ke změně intenzity fluorescence. S malou odchylkou bylo možné odhadnout stáří do tří týdnů asi poloviny mužských vzorků. Nevýhodou ale pro luminiscenční spektroskopii je přítomnost některých látek (kontaminantů) v otiscích, které neluminiskují, a tudíž o nich pomocí luminiscenční spektroskopie nelze zjistit žádné informace [30].

Studie [32] se zabývala odhadem stáří otisků pomocí časově rozlišené luminiscenční spektroskopie. Při analýze emisního spektra byly zjištěny dva hlavní píky, a to v oblastech kolem 340 nm a kolem 440 nm. Následně bylo ve studii [30] zjištěno, že latentní otisky prstů degradují rychleji při vyšší vlhkosti nebo na světle. Rovněž bylo vyzorováno, že k lepší

detekci starších otisků je vhodnější zaměřit se na pík v oblasti 440 nm, jelikož jeho intenzita v delším časovém horizontu stoupá (řádově v měsících, přičemž vzorky byly pozorovány po období 1 roku), na rozdíl od píku v oblasti 340 nm, jehož intenzita výrazně klesla, čímž byla ztížena možnost detekce.

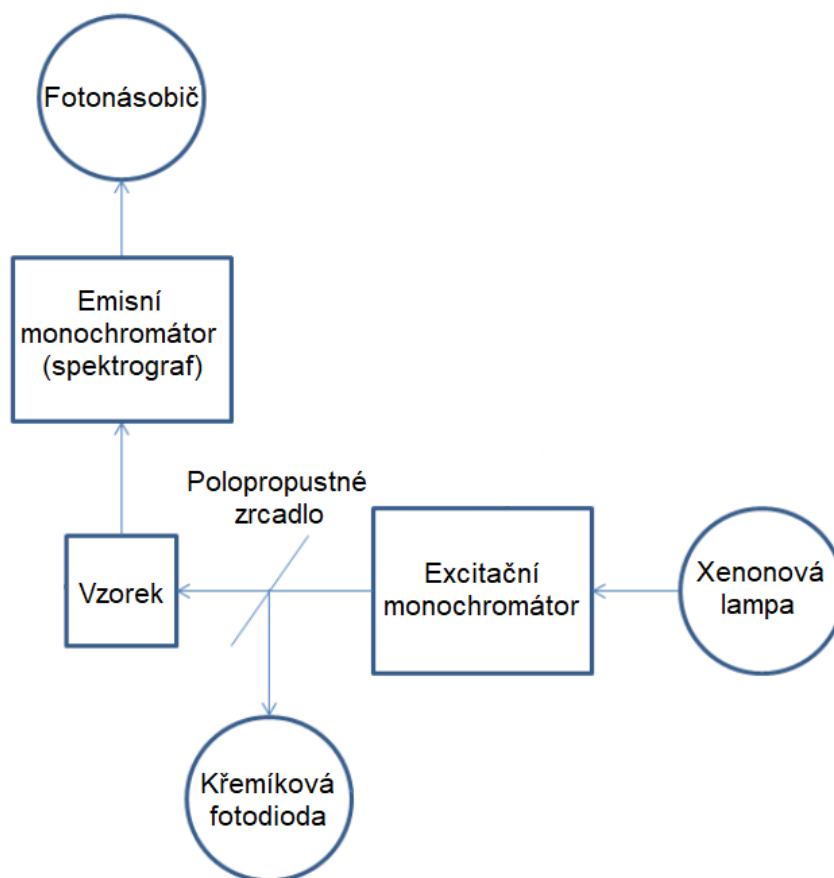
II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PŘÍPRAVA VZORKŮ A JEJICH MĚŘENÍ

Tato kapitola se zabývá použitým laboratorním vybavením (včetně obecného popisu spektrofluorimetru a principu jeho funkce), přípravou a měřením vzorků určených ke zkoumání s využitím luminiscenční spektroskopie.

4.1 Použité laboratorní vybavení

K měření fotoluminiscenčních spekter se používá spektrofluorimetr. K excitaci se využívá ultrafialové, viditelné nebo infračervené záření, pocházející z některého z mnoha druhů laserů nebo lamp. V minulosti se místo laseru k vyvolání záření používaly lampy pracující s rtuťovými párami. Schéma použitého spektrofluorimetru, využívajícího k buzení xenonovou lampu, je uvedeno na obrázku 10. Vzorek je ve stojánku umístěn do zařízení, následně je excitován a vzorkem emitované fotoluminiscenční záření je s využitím zrcadel přeneseno do spektrografu, kde je záření rozloženo na jednotlivé vlnové délky a poté detekováno fotonásobičem. Křemíková fotodioda je použita k zaznamenávání intenzity excitačního záření [27;28].



Obrázek 10. Schéma použitého spektrofluorimetru [28].

V ideálním případě by měla být intenzita záření ze zdroje záření konstantní na všech vlnových délkách, a zároveň by měl spektrograf propouštět všechny fotony se stejnou účinností, a to bez ohledu na jejich vlnovou délku. V reálných podmínkách však takových vlastností dosáhnout nelze, a proto je nutné pečlivě vybírat požadované komponenty. Z toho důvodu se může stát, že kvůli rozdílné citlivosti různých přístrojů se na nich výsledná emisní spektra mírně odlišují [27].

K rozptylu (disperzi) polychromatického záření na záření jednotlivých vlnových délek se ve spektrografu používá buď skleněný hranol (méně častěji), nebo difrakční mřížka. Konkrétně u fluorescence je žádoucí, aby měl spektrograf nízkou úroveň nežádoucího rozptýleného záření (takové záření, které se přenáší na jiných než zvolených vlnových délkách) [27].

K měření emisních spekter latentních otisků prstů byl využit spektrofluorimetr Shimadzu RF-6000 (viz obrázek 11) disponující vysokou rychlostí skenování (až 60 000 nm/min) a s možností nastavení rozsahu vlnových délek od 200 nm až do hodnoty 900 nm [33].



Obrázek 11. Spektrofluorimetr Shimadzu RF-6000.

Zdrojem excitačního záření spektrofluorimetru Shimadzu RF-6000 je 150W vysokotlaká xenonová lampa. Jako detektor je použit fotonásobič R928 od firmy Hamamatsu. Přístroj je rovněž opatřen barevnou LED diodou, jejíž barva informuje o průběhu měření (zelená – připraven k měření, modrá – měření probíhá, červená – chyba).

4.1.1 Software LabSolutions RF

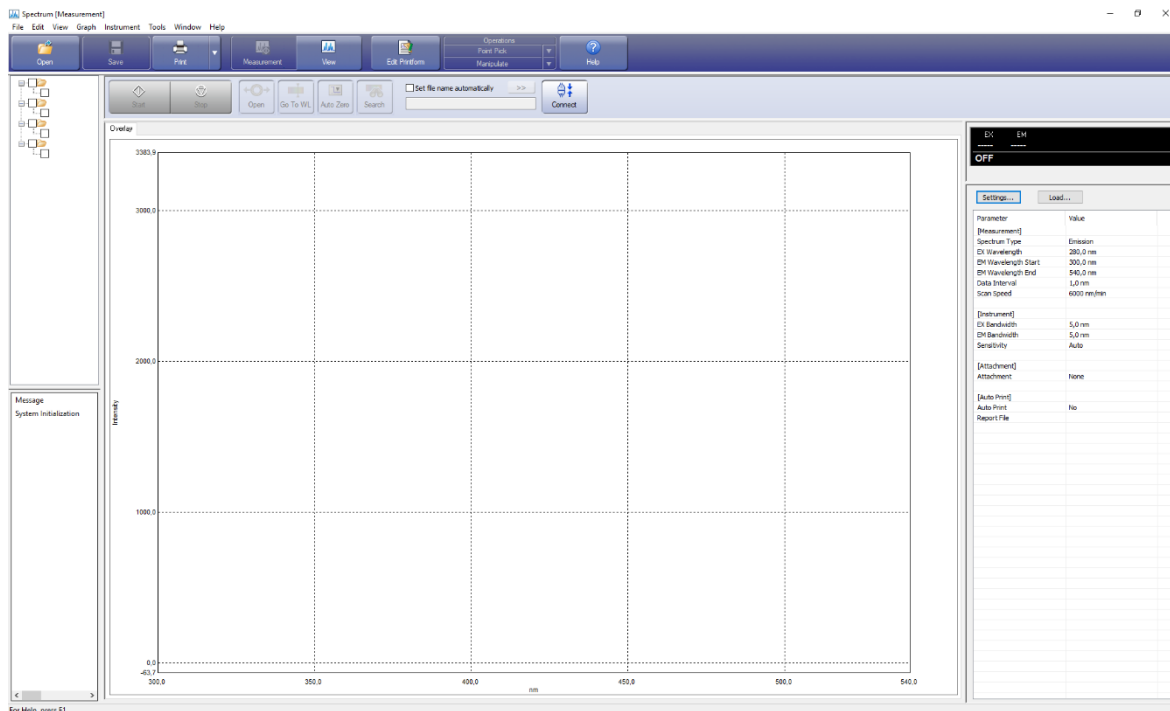
K ovládání a nastavování spektrofleurimetru Shimadzu RF-6000 se používá software LabSolutions RF. Na obrázku 12 je základní dialogové okno, které se uživateli zobrazí při spuštění. Funguje jako rozcestník, v němž je možné zvolit požadovanou formu měření. Pro účely této diplomové práce bylo použito měření z kategorie Základní analýza (Basic Analysis), režim Spektrum (Spectrum).



Obrázek 12. Základní dialogové okno softwaru LabSolutions RF.

Po zvolení požadované analýzy se zobrazí uživatelské rozhraní (viz obrázek 13), jež je členěno do několika hlavních částí. Největší část zabírá okno pro zobrazování spekter, které funguje ve dvou režimech. Buď se zde zobrazují výsledky přímo v průběhu měření, anebo slouží k prohlížení již dříve vytvořených spektrálních grafů. Další, dodatečné, dialogové

menu s různými příkazy a nastavením (škálování, kopírování apod.) se zobrazí při kliknutí pravým tlačítkem myši do oblasti grafu. Hlavní lišta nástrojů se všemi potřebnými a důležitými funkcemi je umístěna v horní části. Část vlevo obsahuje průzkumník souborů, v němž lze rovněž exportovat data do textového souboru. Část vpravo pak obsahuje informace o nastavených parametrech měření, jako je např. excitační vlnová délka a rozsah emisních vlnových délek.



Obrázek 13. Uživatelské rozhraní softwaru LabSolutions RF.

4.1.2 Nastavené parametry měření

Pro měření fluorescence latentních otisků prstů byla nastavena excitační vlnová délka $\lambda_{\text{ex}} = 280 \text{ nm}$, která experimentálně vyšla jako nejvhodnější. Rovněž byla zvolena proto, aby výsledky bylo možné porovnat s výsledky publikovanými v [30], kde tato excitační vlnová délka byla označena jako jedna z optimálních variant. Jako nejvhodnější rozsah emisního spektra pro následující měření bylo zvoleno 300 nm až 540 nm. Rychlost měření byla nastavena na 6 000 nm/min, přičemž interval zaznamenávání dat byl nastaven po 1 nm.

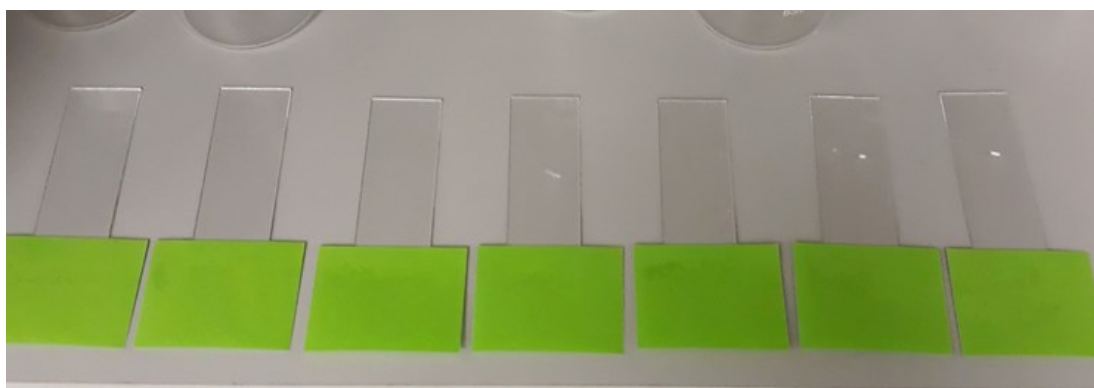
4.2 Příprava, odběr a měření vzorků

Před zahájením samotného odběru vzorků byl připraven podkladový materiál (substrát). K tomuto účelu byla vybrána podložní sklíčka, která byla důkladně zbavena veškerých nečistot, jejichž přítomnost by mohla negativně ovlivnit výsledky měření.

Pro analýzu bylo odebráno celkem 7 vzorků (5 mužů a 2 ženy ve věku 24-37 let), přičemž každý vzorek pocházel od jiného jedince. Aby byly minimalizovány potenciální odchylky měření, způsob odběru otisku byl vždy stejný. Odběr a příprava vzorku sestávala z následujících kroků:

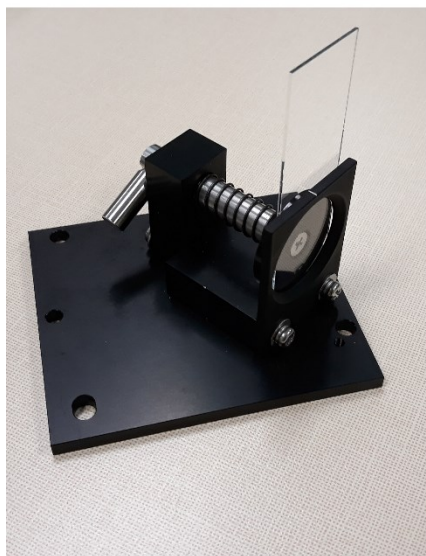
- jedinec si nejdříve důkladně umyl obě ruce mýdlem pod tekoucí vodou a následně se osušil tak, aby na dlaních ani prstech nezůstaly žádné kapičky vody;
- v dalším kroku si jedním, libovolně zvoleným, suchým prstem přešel po svém čele a tváři (na obličej se kromě potních nachází i velké množství mazových žláz, které jinak na dlaních a prstech chybí);
- nakonec oním prstem udělal otisk na čisté podložní sklíčko.

Všechny vzorky byly mezi jednotlivými měřeními uchovávány na stejném místě z důvodu zachování konstantních podmínek – tma a pokojová teplota (viz obrázek 14).



Obrázek 14. Skladované vzorky odebraných otisků.

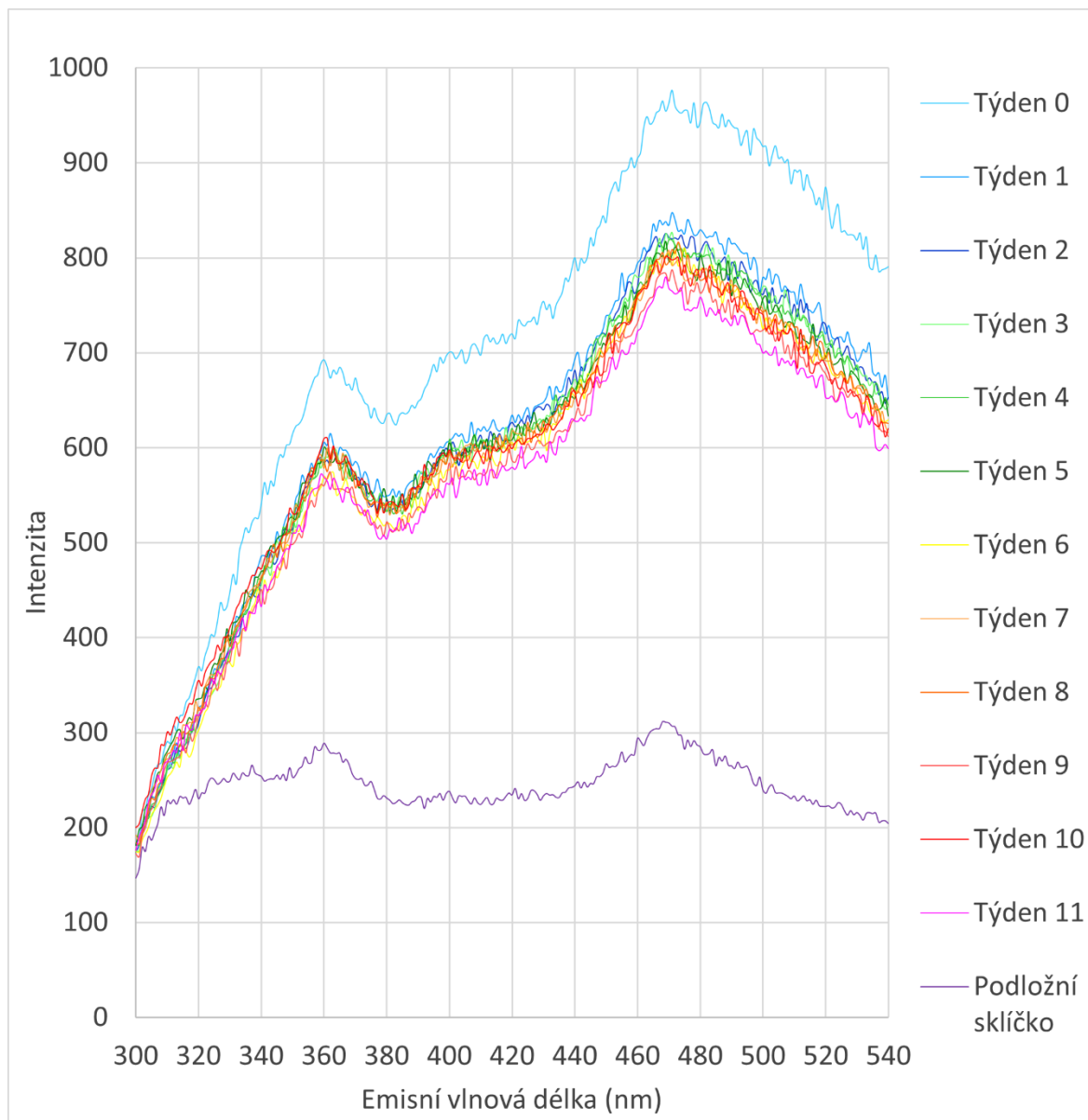
První měření všech vzorků proběhlo bezprostředně po jejich odebrání. Všechna následující pak probíhala vždy ve stejný den v týdenních intervalech po dobu 12 týdnů. Na obrázku 15 vlevo je vyfotografován stojánek, do nějž se přesně umístilo podložní sklíčko s latentním otiskem prstu. Na obrázku 15 vpravo je pak měřicí komora přístroje Shimadzu RF-6000, do níž byl stojánek s podložním sklíčkem pevně umístěn. Po zavření odklopného víka komory a po nastavení parametrů v softwaru LabSolutions RF bylo zahájeno měření.



Obrázek 15. Vlevo stojánek s podložním sklíčkem, vpravo měřicí komora spektrofleurimetru Shimadzu RF-6000 s umístěným stojánkem.

5 NAMĚŘENÉ HODNOTY INTENZITY LUMINISCENCE

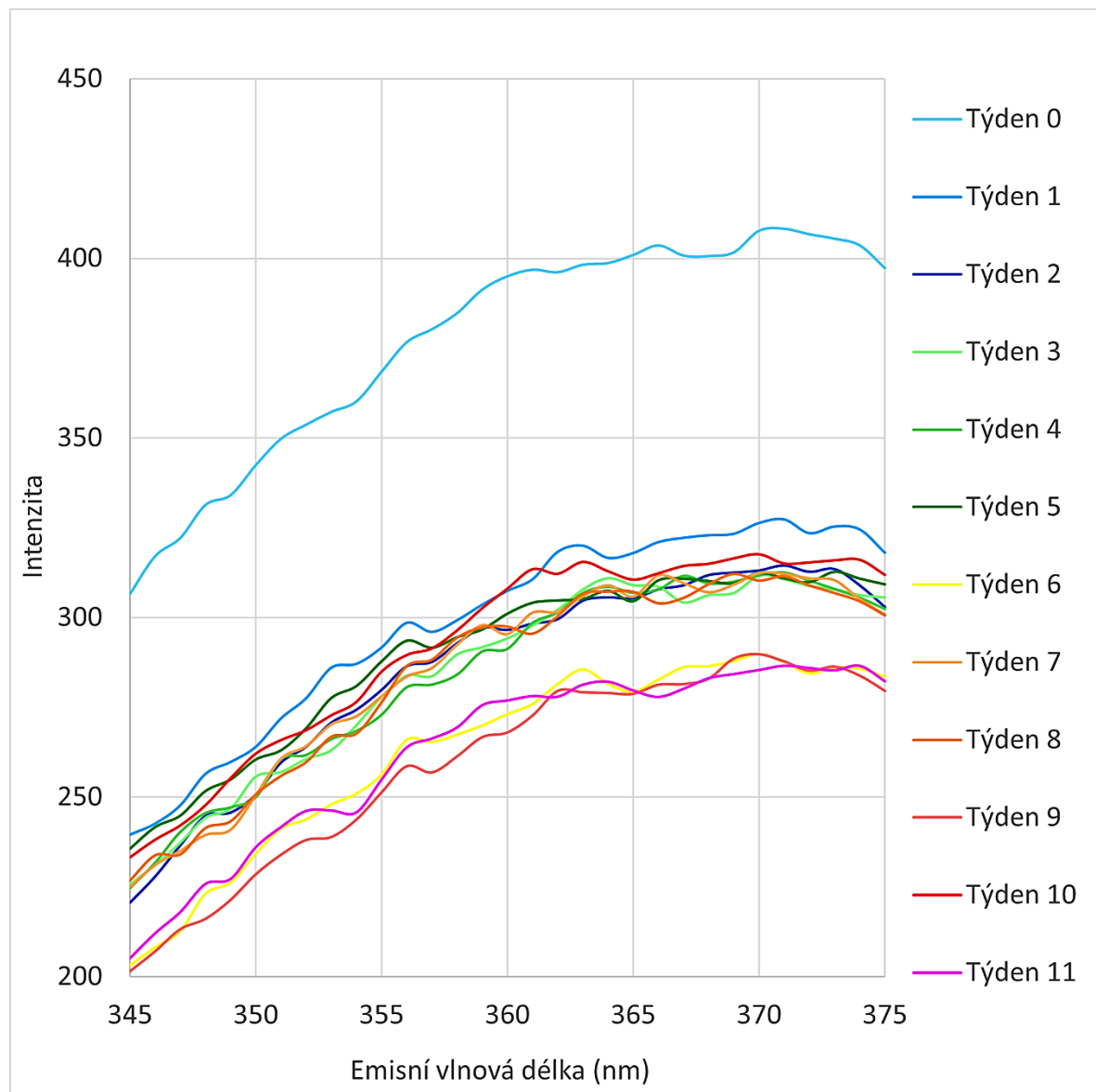
Změna intenzity luminiscenčního záření v čase byla sledována v oblasti emisních vlnových délek 300 nm až 540 nm. Na obrázku 16 jsou uvedena emisní spektra mužského vzorku M-1 naměřená za 12 týdnů. Dále je uvedeno emisní spektrum podložního sklíčka, které posloužilo jako podkladový materiál. Ostatní vzorky jsou z důvodu přesnosti následně vždy uváděny po odečtu intenzity podložního sklíčka.



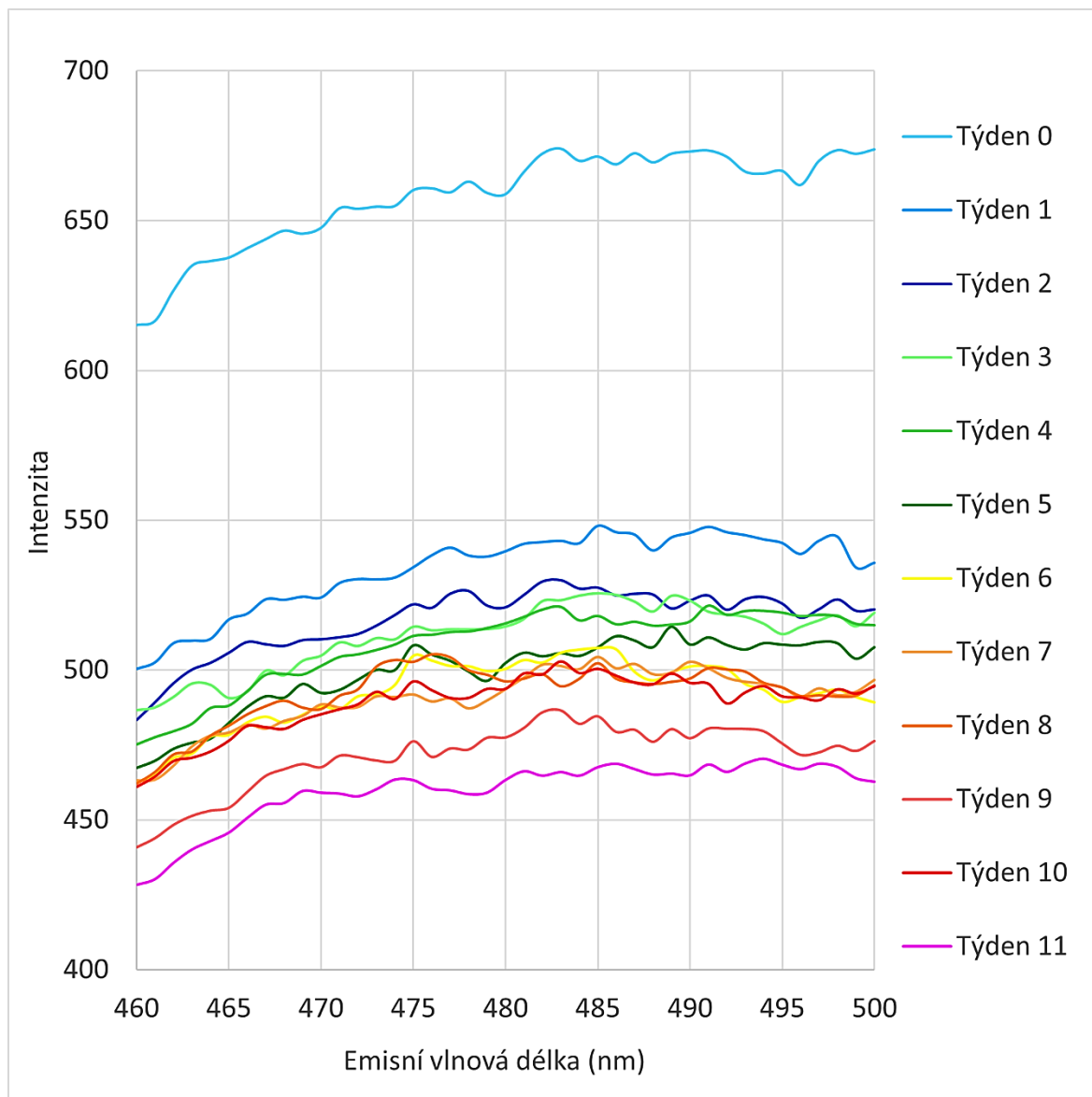
Obrázek 16. Emisní spektra mužského vzorku M-1 v čase.

V emisním spektru se objevují dva hlavní píky. První se nachází v oblasti kolem 360 nm, druhý v oblasti kolem 480 nm. Pro lepší přehlednost jsou příslušné oblasti znázorněny na

samostatných obrázcích (oblast 345 nm až 375 nm na obrázku 17 a oblast 460 nm až 500 nm na obrázku 18).



Obrázek 17. Vybrané vlnové délky emisních spekter mužského vzorku M-1, první pík.



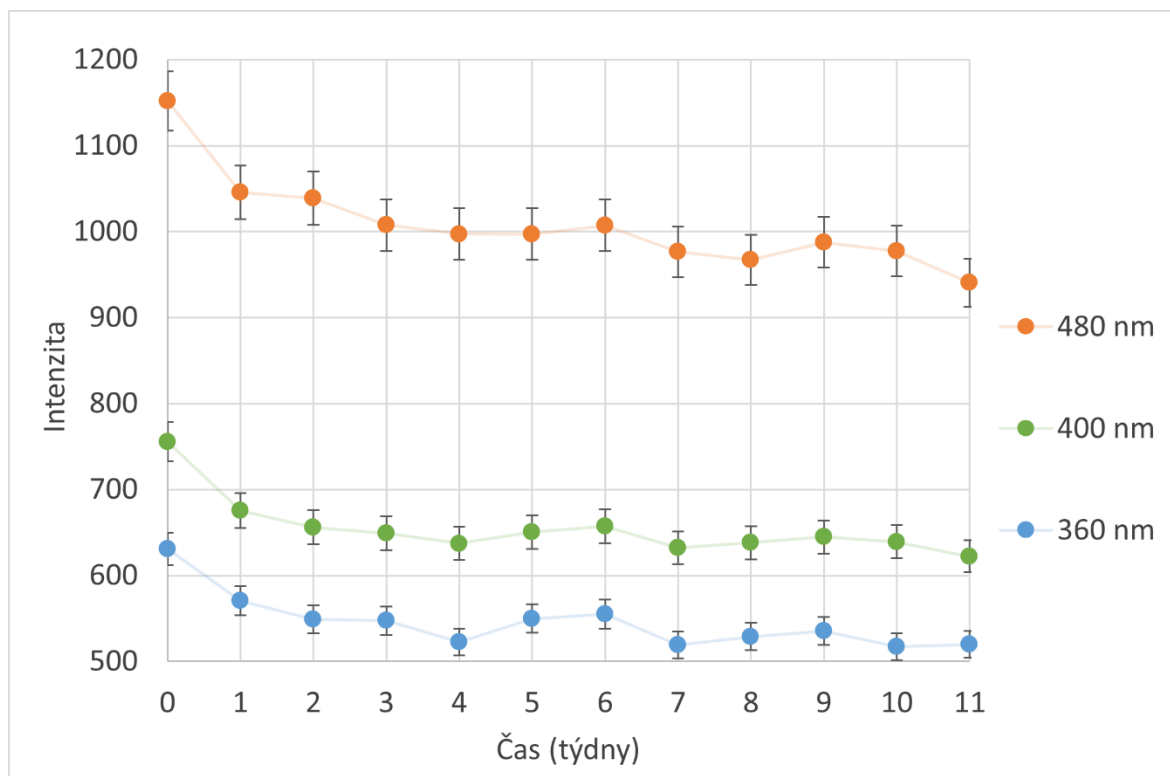
Obrázek 18. Vybrané vlnové délky emisních spekter mužského vzorku M-1, druhý pík.

Jeden menší pík se nachází rovněž v oblasti okolo 400 nm. I když se u jednotlivých vzorků liší hodnota intenzity luminiscence, tak samotný tvar spektra a umístění jednotlivých píků zůstává přibližně stejné.

5.1 Mužské vzorky

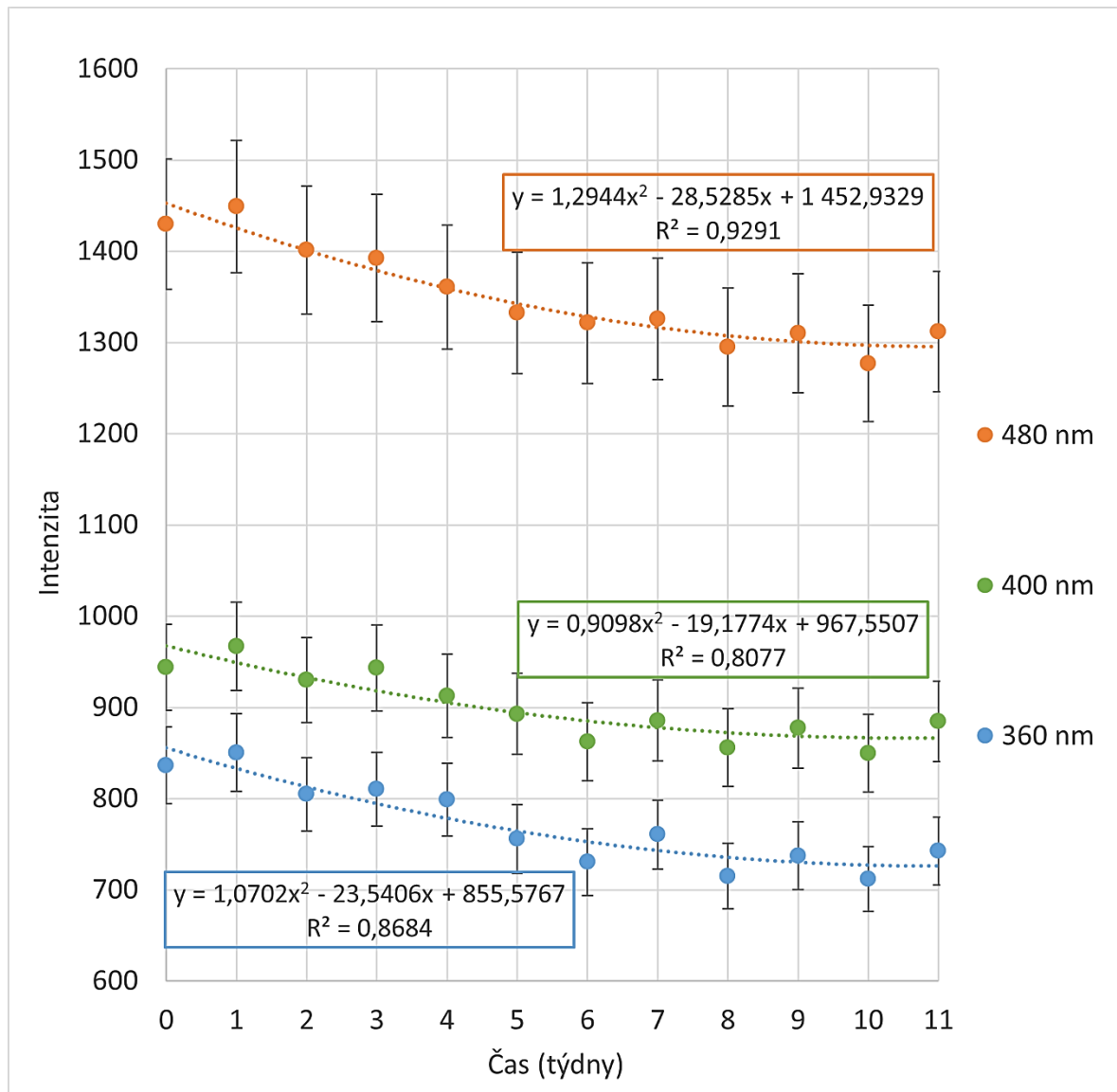
U většiny mužských vzorků (4 z 5) byl zaznamenán pokles intenzity luminiscence v čase, přičemž nejvýznamnější skok byl během prvních 2 týdnů. Zbylé týdny byl sice klesající trend zachován, avšak již ne v takovém rozsahu, a především na delších vlnových délkách (nejvýrazněji v oblasti druhého píku – kolem 480 nm). Na kratších vlnových délkách byla změna intenzity mnohem pomalejší anebo zanedbatelná.

Na obrázku 19 jsou kvůli přehlednosti uvedeny jen závislosti intenzit luminiscence odpovídajících vlnovým délkám 360 nm, 400 nm a 480 nm na čase, a to pro mužský vzorek M–2. Pomocí chybových úseček je znázorněna nejistota měření, která byla z opakovaných měření stanovena na 3 %. K nejvýznamnějšímu poklesu intenzity dochází během prvních 2 týdnů, přičemž nejzřetelnější skok nastal během prvního týdne. Pro hodnotu 480 nm je klesající trend zachován i po zbylé týdny, i když v menší míře. Naopak intenzita luminiscence na ostatních dvou vlnových délkách se po zbývajících týdny již příliš neměnila.



Obrázek 19. Závislost vybraných vlnových délek emisního spektra mužského vzorku M–2 na čase (12 týdnů).

Na obrázku 20 jsou uvedeny opět závislosti intenzit luminiscence odpovídajících vlnovým délkám 360 nm, 400 nm a 480 nm na čase, tentokrát pro mužský vzorek M–3. Zde intenzita sice po prvním týdnu mírně narostla, avšak po zbylé týdny je zachován klesající trend, nejzřetelněji na 480 nm (na 400 nm a 360 nm se intenzita poslední 3 týdny již téměř neměnila). Hodnoty intenzit na vybraných vlnových délkách byly proloženy polynomem druhého stupně.



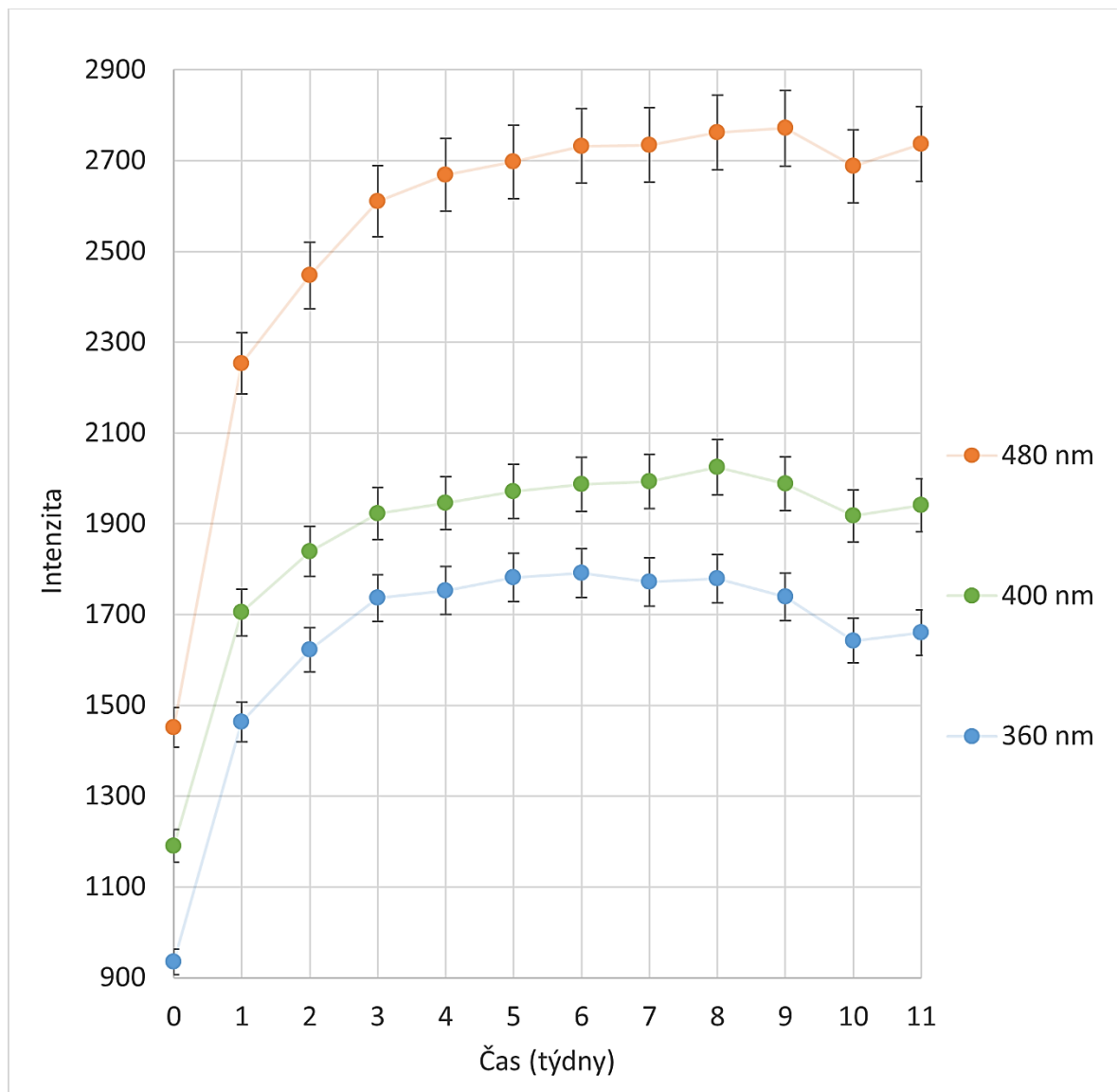
Obrázek 20. Závislost vybraných vlnových délek emisního spektra mužského vzorku M-3 na čase (12 týdnů).

Veškerá zbylá emisní spektra otisků jsou uvedena v příloze P I: Emisní spektra měřených vzorků.

5.2 Ženské vzorky

Oba ženské vzorky vykazovaly opačné chování než vzorky mužské. Intenzita luminiscence ženských vzorků v čase rostla. K největšímu nárůstu došlo během prvních 3 týdnů; po následujících 5 týdnů zůstal stoupající trend zachován, avšak nárůst intenzity byl výrazně menší. Během posledních 3 týdnů měření došlo dokonce k mírnému poklesu intenzity.

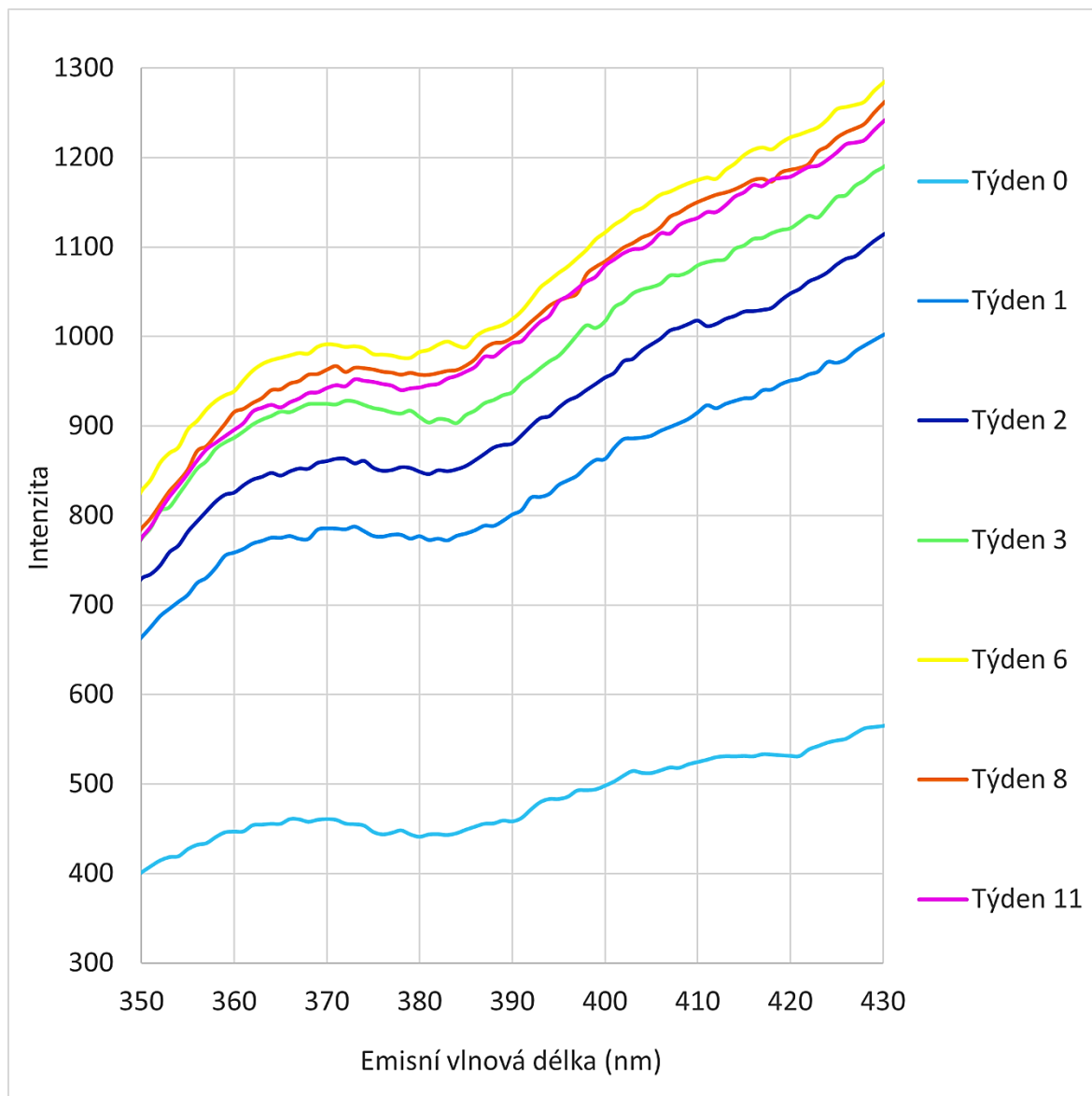
Na obrázku 21 je ženský vzorek Ž-1, přičemž z vybraných délek emisního spektra je zřetelně vidět narůstající intenzita luminiscence v čase. Nejmarkantnější nárůst je během prvních 3 týdnů. Rovněž je patrné, že intenzita luminiscence dosahuje v jednotlivých týdnech vyšších hodnot než u ostatních vzorků. To je způsobeno tím, že na podložní skličko byly nanесeny dva otisky (od stejné osoby), které se navzájem překrývají. Jedná se o simulaci situace, která v reálném životě může běžně nastat, jelikož např. pachatel při manipulaci s předmětem může na tomto předmětu zanechat otisků více. Tyto otisky se potom mohou i vzájemně překrývat, což může ztížit nebo dokonce znemožnit klasickou daktyloskopickou identifikaci. Z výsledného grafu vyplývá, že překrývající se otisky nemají vliv na samotný tvar spektra, pouze intenzita luminiscence je vyšší.



Obrázek 21. Závislost vybraných vlnových délek emisního spektra ženského vzorku Ž-1 (dva překrývající se otisky) na čase.

5.3 Porovnání mužského a ženského vzorku

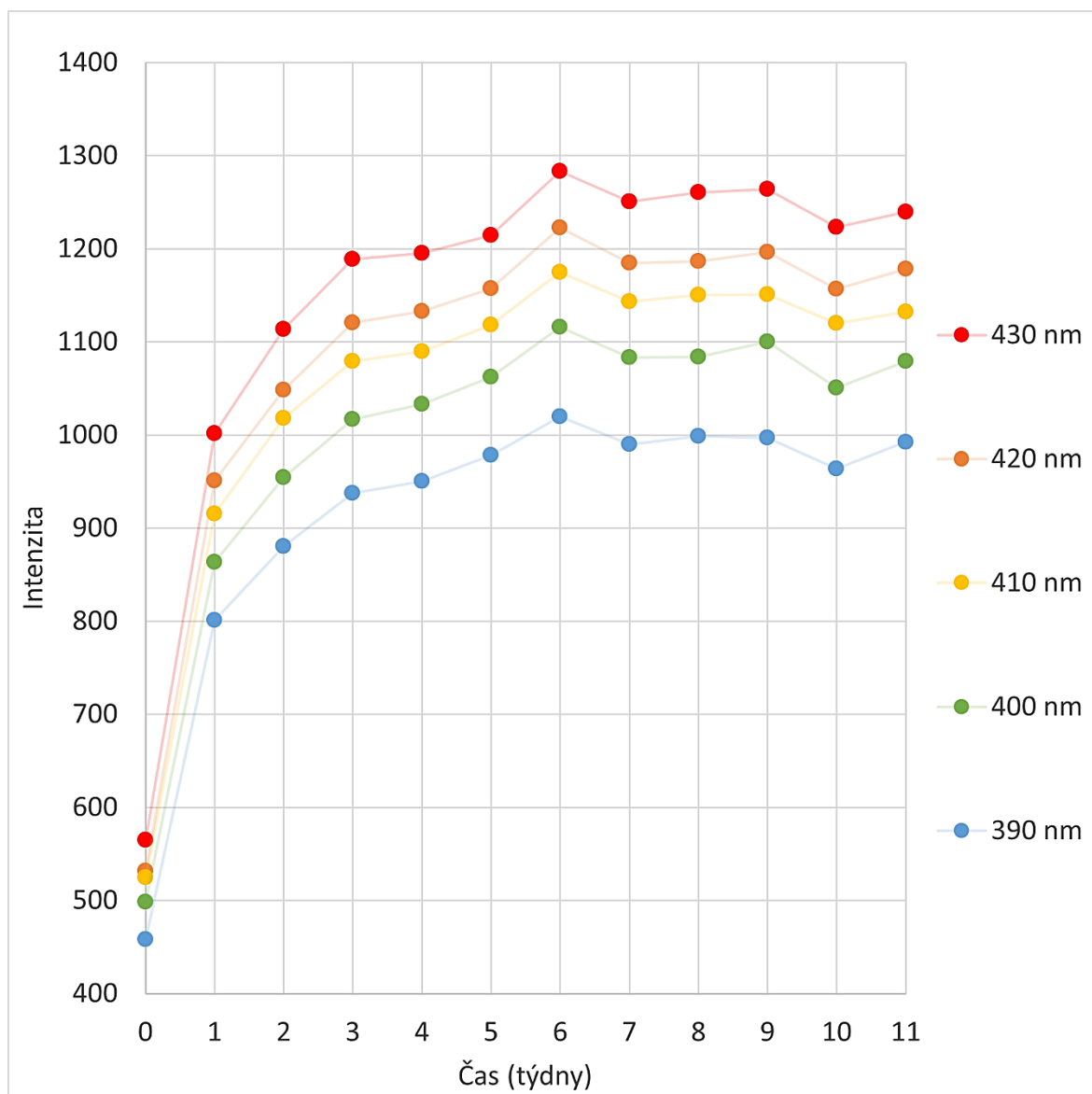
Na obrázku 22 je uveden mužský vzorek M-4, jenž na rozdíl od zbylých mužských vzorků vykazuje rostoucí intenzitu luminiscence v čase. Od šestého týdne však jeho intenzita již neroste a začíná pozvolna klesat. Pro ukázkou byla vybrána některá emisní spektra z oblasti mezi 350 nm a 430 nm.



Obrázek 22. Vybraná emisní spektra mužského vzorku M-4 v čase.

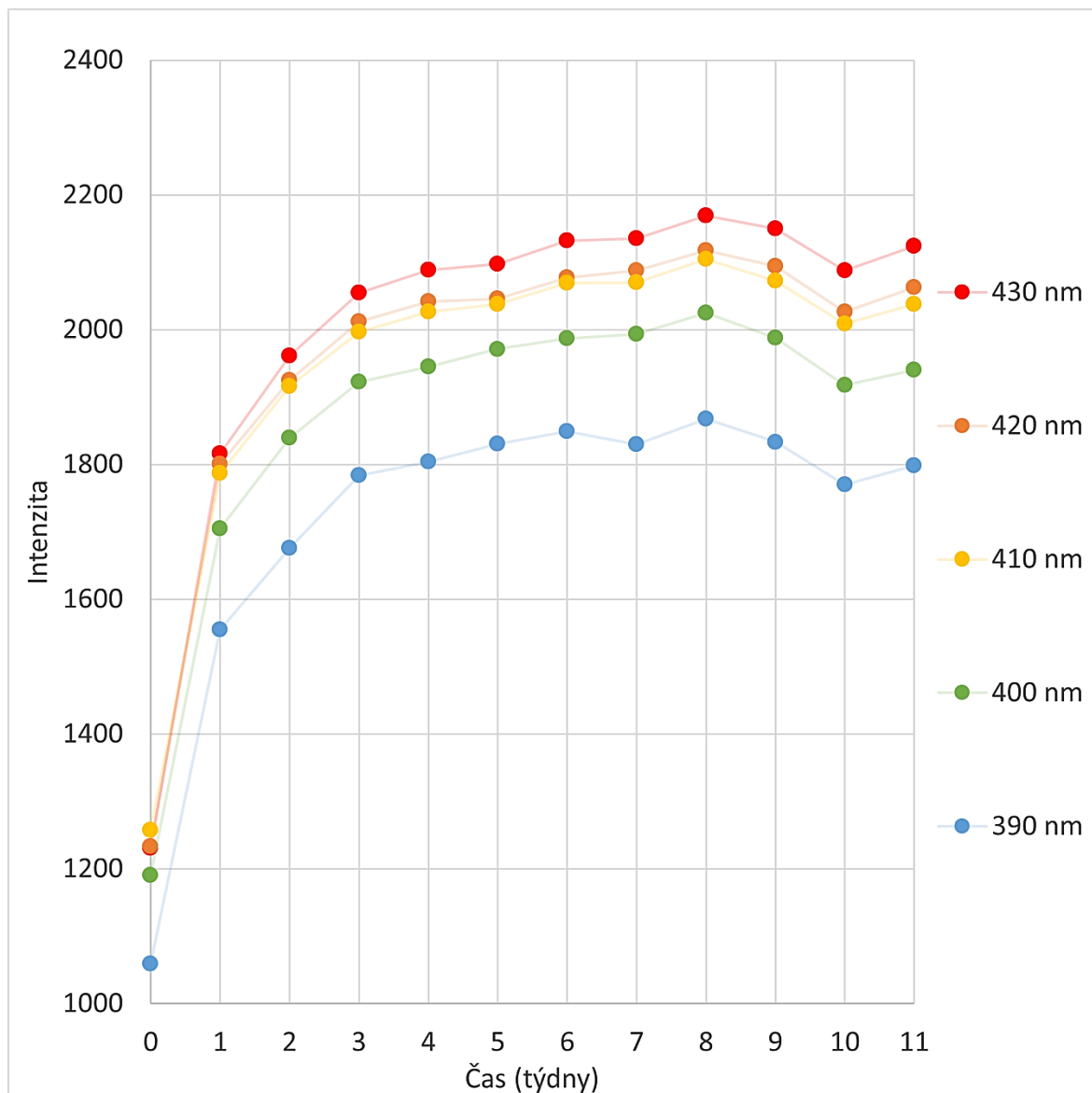
V případě vzorku M-4 by k rozlišení (muž nebo žena) mohla posloužit oblast mezi 390 nm a 430 nm. Zatímco u všech mužských vzorků je nárůst intenzity luminiscence v této oblasti pozvolnější a lineárnější, tak u ženských vzorků je na přibližně 410 nm menší pík. Na

obrázku 23 jsou znázorněny intenzity odpovídající vybraným emisním vlnovým délkám spektra vzorku M-4 v závislosti na čase, na kterých lze vidět postupný nárůst intenzity.



Obrázek 23. Závislost vybraných vlnových délek emisního spektra vzorku M-4 na čase po dobu 12 týdnů.

Na obrázku 24 jsou znázorněny intenzity odpovídající vybraným emisním vlnovým délkám spektra vzorku Ž-1, pro který je nárůst intenzity luminiscence v oblasti mezi 400 nm a 420 nm minimální. Intenzity na 410 nm a 420 nm jsou dokonce téměř totožné po celou dobu měření, zatímco u mužských vzorků byl v této oblasti patrný nárůst intenzity. Intenzitu luminiscence ve zmíněné oblasti by potenciálně bylo možné použít pro určení pohlaví původce otisku. Tento výsledek však bude nutné ověřit na větším počtu vzorků od různých osob.

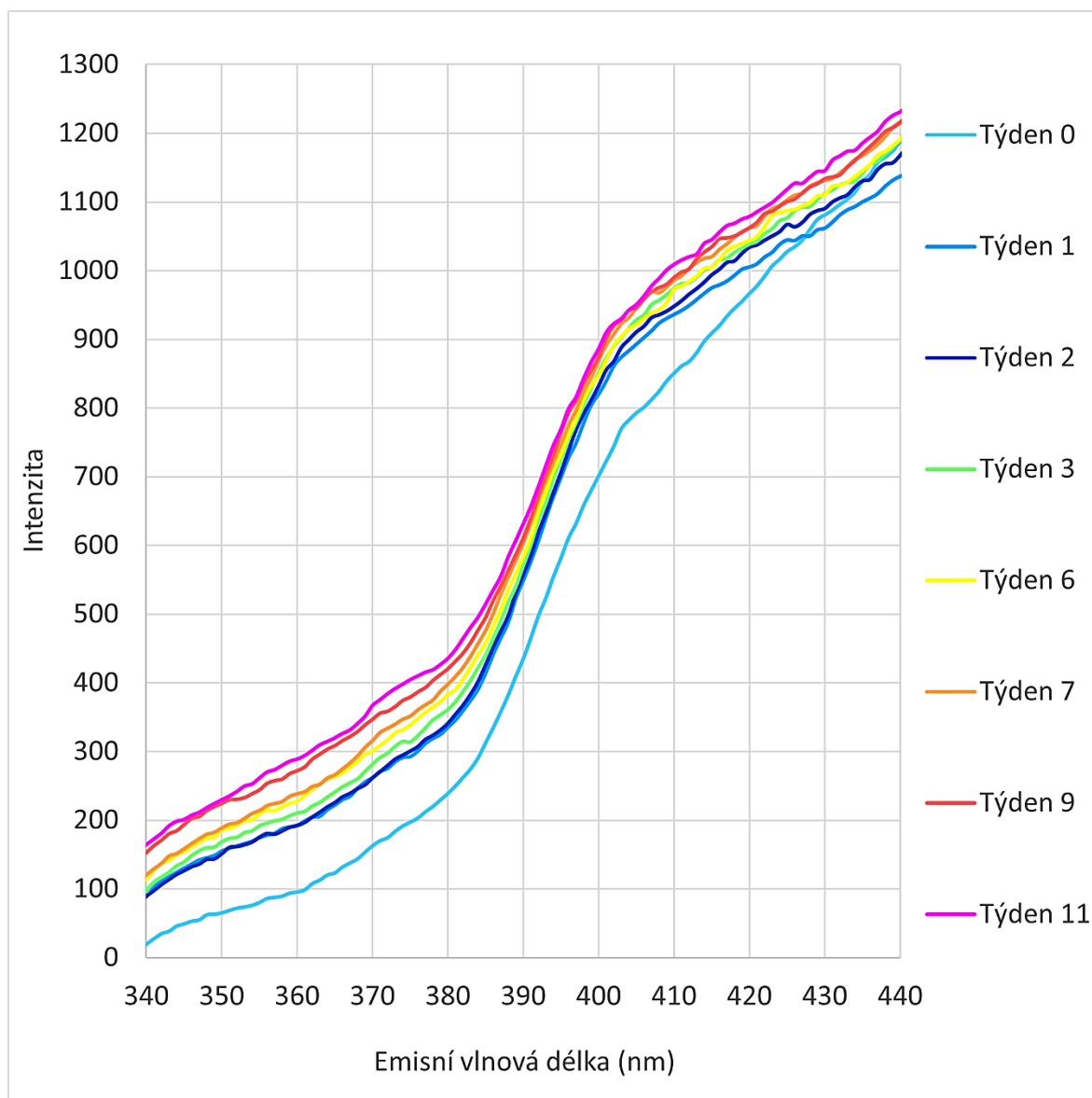


Obrázek 24. Závislost vybraných vlnových délek emisního spektra vzorku Ž-1 na čase po dobu 12 týdnů.

5.4 Vzorek s příměsí vnějších kontaminantů

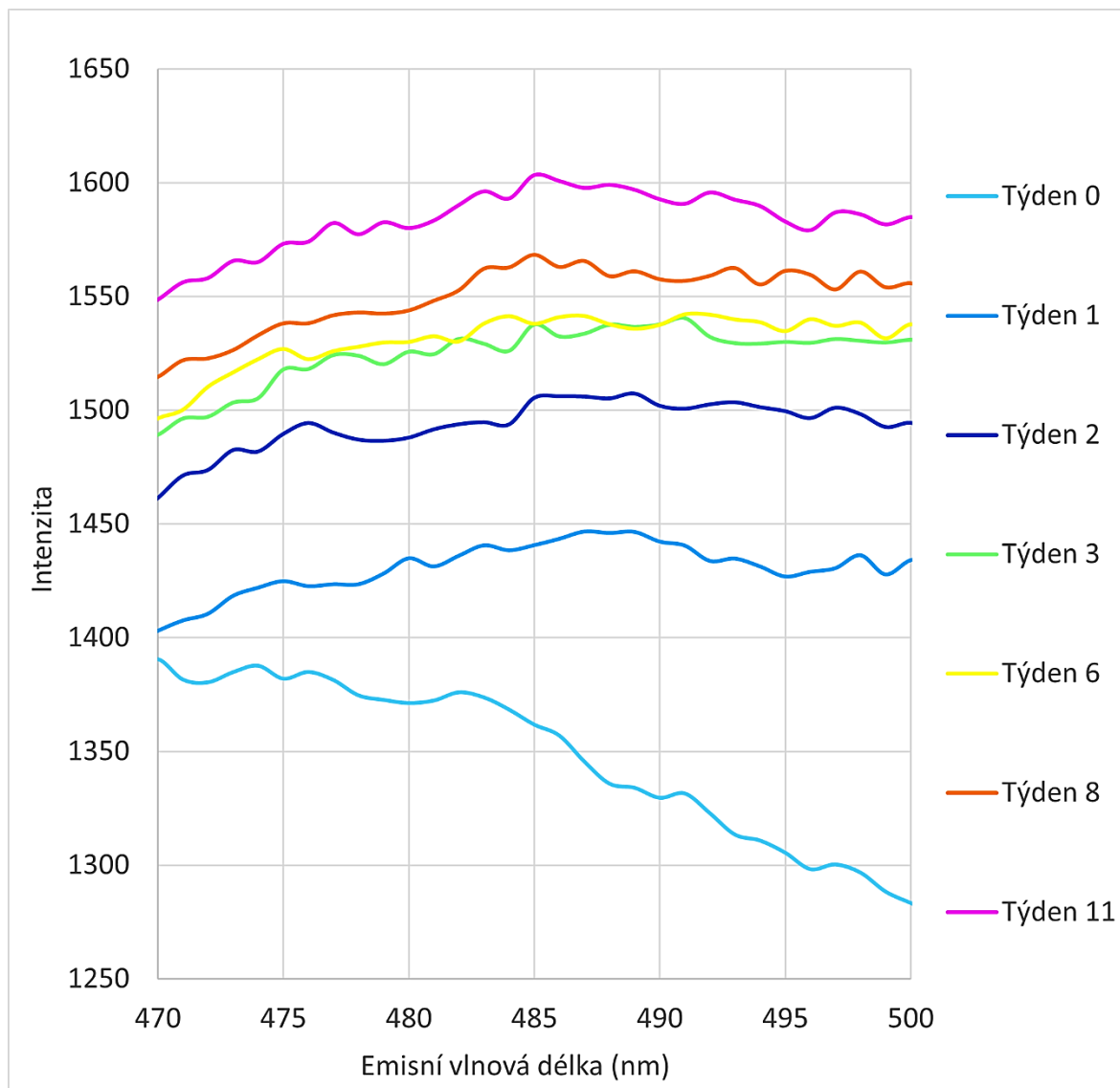
Na obrázku 25 jsou uvedena vybraná emisní spektra ženského vzorku Ž-2 v oblasti 340 nm až 440 nm. Tento otisk obsahuje vnější kontaminanty, konkrétně kosmetické přípravky, které se do otisku dostaly při jeho odebrání (při kontaktu prstu s obličejem). Jedná se o situaci, která v reálné praxi může běžně nastat, jelikož latentní otisk prstu téměř vždy obsahuje nějaké kontaminanty (např. kosmetické přípravky, kousky jídla, zbytky střelného prachu apod.). Z obrázku 25 je patrné, že v oblasti prvního píku na 360 nm dochází k poměrně významnému útlumu intenzity luminiscence (pík v podstatě úplně zmizí), avšak rostoucí trend, podobně jako u prvního ženského otisku, zůstává zachován. Přítomnost kontaminantů v

otisku měla vliv i na oblast mezi 380 nm až 410 nm, kde je útlum maximální a emisní spektra jednotlivých týdnů se téměř překrývají.



Obrázek 25. Vybraná emisní spektra ženského vzorku Ž-2 (obsahujícího vnější kontaminanty – kosmetické přípravky) v čase.

Intenzity na delších vlnových délkách pak již vykazují obdobné vlastnosti jako předchozí vzorky, tedy pík v oblasti kolem 480 nm. Kontaminanty zde mají pravděpodobně vliv na emisní spektrum otisku měřeného bezprostředně po depozici (týden 0), kde je v oblasti 470–500 nm zaznamenán strmější pokles intenzity luminiscence, avšak emisní spektra zbylých týdnů jsou již bez viditelnějšího vlivu útlumu kontaminanty (viz obrázek 26). Rovněž zde intenzita luminiscence otisku v čase roste, nejznatelněji během prvních 3 týdnů.



Obrázek 26. Vybraná emisní spektra ženského vzorku Ž-2 (obsahujícího vnější kontaminanty – kosmetické přípravky) v čase – detail píku v oblasti okolo 480 nm.

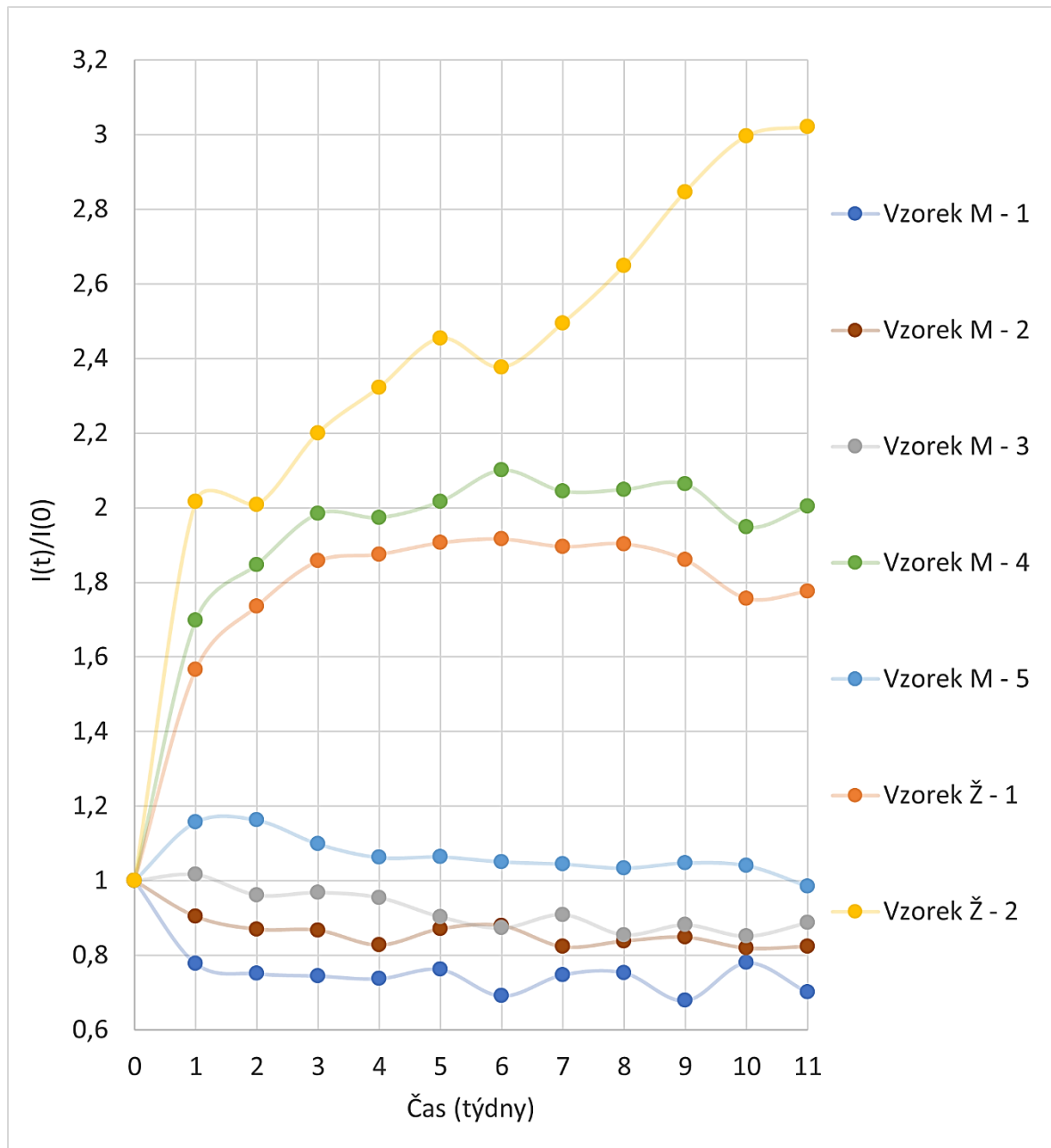
5.5 Závislost poměru vybraných intenzit na čase

Grafy s poměry vybraných intenzit slouží k tomu, aby bylo možné porovnat chování vzorků. Z toho důvodu byly hodnoty normovány podle následující rovnice:

$$y = I(t)/I(0) \quad (1)$$

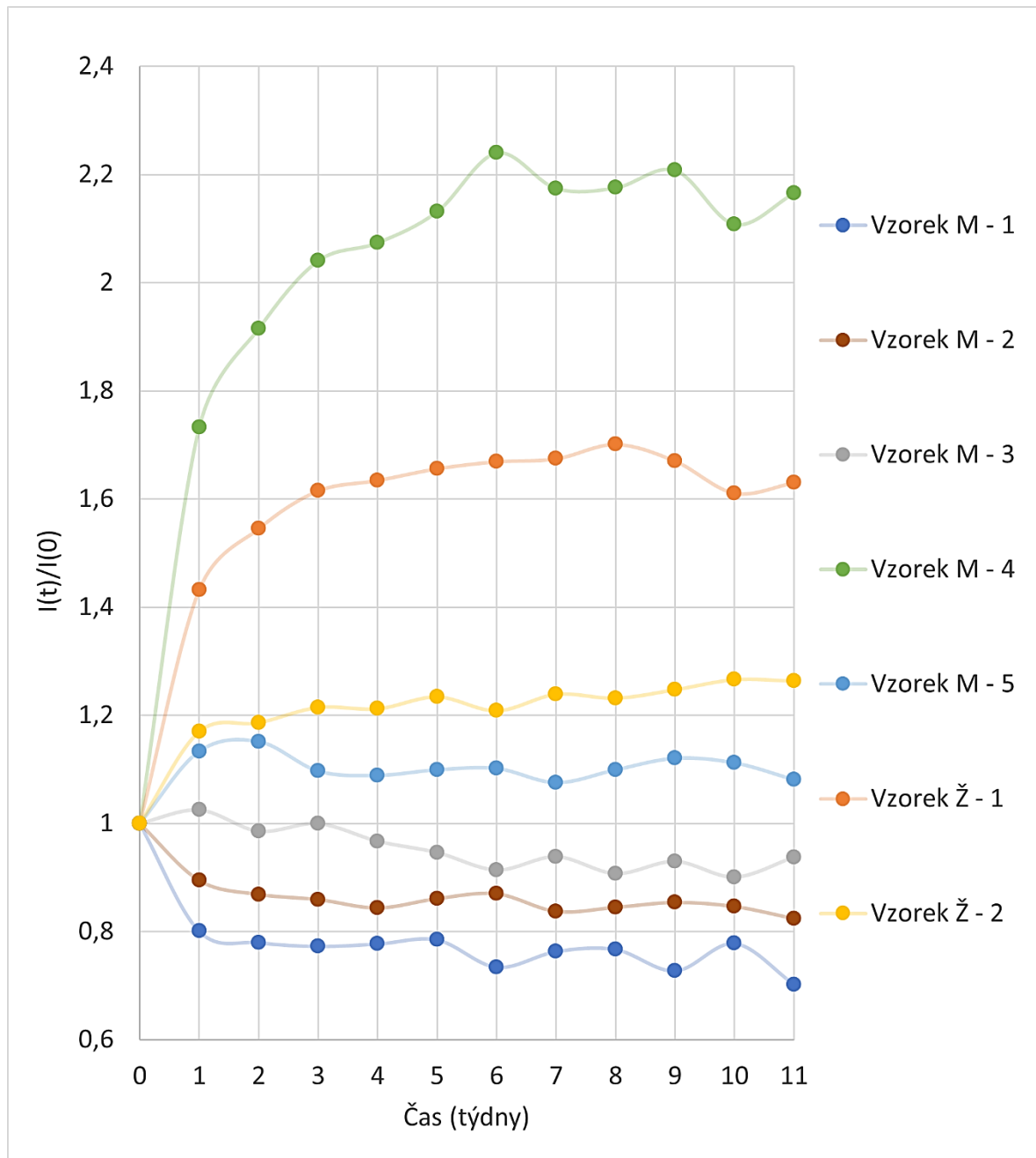
Jedná se o poměr intenzity v čase t ku intenzitě v čase 0. Na obrázku 27 je uvedena závislost poměru intenzity v čase t ku intenzitě v čase 0 na čase pro emisní vlnovou délku 360 nm. Nejvyšší změna vůči nultému týdnu je patrná u vzorku Ž-2, avšak celková hodnota intenzity luminiscence je několikanásobně nižší (viz obrázek 25) oproti ostatním vzorkům, jelikož

tento obsahuje vnější kontaminanty – kosmetické přípravky. U mužských vzorků M-3 a M-5 je sice první týden zaznamenán nárůst intenzity luminiscence, nicméně po prvním týdnu již intenzita klesá.



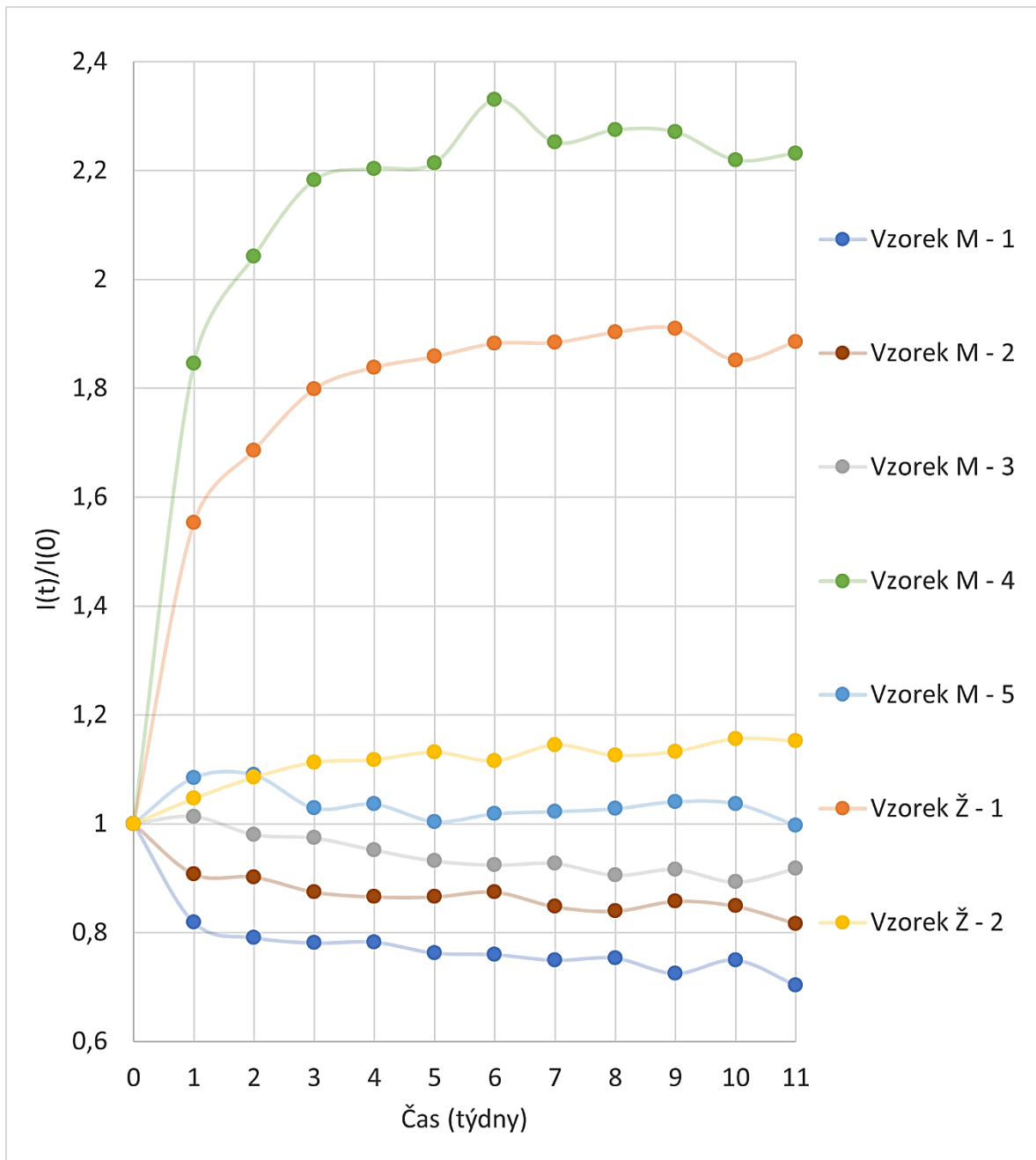
Obrázek 27. Závislost poměru intenzit pro vlnovou délku 360 nm na čase (12 týdnů).

Na obrázku 28 je uvedena závislost poměru intenzity v čase t ku intenzitě v čase 0 na čase pro emisní vlnovou délku 400 nm. Na rozdíl od vzorku Ž-2 z obrázku 27 je na obrázku 28 nárůst intenzity luminiscence u vzorku Ž-2 po prvním týdnu prakticky zastaven po dalších 7 týdnech. Vzorek M-4 jako jediný mužský vzorek vykazuje narůstající intenzitu luminiscence obdobně jako ženské vzorky, avšak nárůst je jen do šestého týdne.



Obrázek 28. Závislost poměru intenzit pro vlnovou délku 400 nm na čase (12 týdnů).

Na obrázku 29 je uvedena závislost poměru intenzity v čase t ku intenzitě v čase 0 na čase pro emisní vlnovou délku 480 nm. Zde je nárůst intenzity luminiscence u vzorku Ž-2 již lineárnější, i když ne natolik jako u prvního ženského vzorku. I u zbylých vzorků je nárůst nebo pokles intenzity luminiscence lineárnější než na kratších vlnových délkách.



Obrázek 29. Závislost poměru intenzit pro vlnovou délku 480 nm na čase (12 týdnů).

6 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

Ve studii [30] byla k analýze využita luminiscenční spektroskopie, přičemž excitační vlnová délka byla nastavena na 280 nm. Vzorky byly skladovány na dvou typech substrátu – na skle a na papíru; a sledovány při různých podmínkách po dobu jednoho roku. Byly zjištěny dva hlavní píky, a to na 340 nm a 440 nm. Intenzita píku na 440 nm v dlouhodobém časovém horizontu stoupala (řádově v měsících, přičemž vzorky byly měřeny po dobu 1 roku), zatímco intenzita na 340 nm klesala. V této práci byl první pík situován spíše do oblasti kolem 360 nm a druhý pík do oblasti kolem 480 nm. Na umístění píků v jiných oblastech by mohl mít vliv použitý substrát, což bude třeba ověřit provedením měření otisků na rozdílných materiálech. Ve studii [30] bylo rovněž zjištěno, že vzorky degradují rychleji na světle než ve tmě a že k odhadu přibližného stáří je vhodnější využít pík v oblasti kolem 440 nm, jelikož intenzita luminiscence na kratších vlnových délkách vymizí rychleji, a proto tato oblast není vhodná pro odhad stáří u starších otisků. Tento závěr se v diplomové práci nepodařilo ověřit jednak z důvodu kratšího časového období sledování vzorků (12 týdnů), jednak z důvodu uchovávání vzorků ve tmě, kde by měla jejich degradace probíhat mnohem pomaleji než na světle. Samotní autoři studie [30] však uvádějí, že je potřeba provést další výzkum oblasti druhého píku a ověřit tak vztah mezi intenzitou luminiscence a dobou, která uplynula od depozice otisku.

Studie [31] se zaměřila na odhad stáří otisků prstů s využitím oxidačních procesů nenasyčených lipidů, které na vzduchu oxidují. Přibližné stáří bylo možné odhadnout v intervalu 3 týdnů u 55 % mužských vzorků, avšak ani u jednoho ženského vzorku. Autoři studie to odůvodňují jiným složením potu a mazu u žen. V diplomové práci bylo zjištěno, že při použití luminiscenční spektroskopie bez zaměření se pouze na oxidační procesy nenasyčených lipidů lze sledovat jak mužské, tak i ženské vzorky, přičemž k nejvýraznějším změnám intenzity luminiscence dochází během prvních 3 týdnů od depozice, jak bylo potvrzeno i v [30]. Právě první 3 týdny se projevují jako vhodná doba na přibližný odhad stáří latentního otisku. Jako výhoda se ukazuje i to, že množství materiálu v otisku (dva překrývající se otisky) nemá vliv na polohu ani tvar píků, liší se jen intenzitou luminiscence.

Ve studii [32] bylo pro excitaci použito záření vlnové délky 266 nm, jako substrát bylo vybráno sklo a měření probíhalo 14 dnů. Byly dosaženy podobné výsledky jako ve [30], kde bylo použito záření vlnové délky 280 nm. První pík se nachází v oblasti kolem 330 nm, druhý pík v oblasti kolem 440 nm.

Oproti jiným metodám používaným k odhadu stáří otisků se jako výhoda luminiscenční spektroskopie ukazuje to, že je nedestruktivní, rychlá a pro dosažení výsledků není podmínkou kvalitní vizuální podoba otisku, jelikož se pracuje pouze s jeho chemickým složením.

Luminiscenční spektroskopii lze ve forenzní analýze využít i k odhadu stáří latentních otisků prstů, avšak tento přístup není v současnosti zatím příliš prozkoumán. V rámci práce bylo zjištěno, že v emisním spektru se nacházejí 2 píky. První v oblasti kolem 360 nm a druhý v oblasti kolem 480 nm. Jejich intenzita luminiscence u ženských vzorků v čase rostla, zatímco u 4 z 5 mužských vzorků klesala. K nejvýraznějším změnám docházelo během prvních 3 týdnů od depozice. Ukázalo se, že množství materiálu v otisku (dva překrývající se otisky) nemá vliv na tvar spektra, avšak přítomnost kontaminantů (kosmetické přípravky) tvar spektra do značné míry ovlivňují (prakticky vymizení prvního píku v oblasti kolem 360 nm). V práci bylo rovněž zjištěno, že oblast kolem 400 nm by potenciálně mohla být využitelná při rozlišení pohlaví původce vzorku. Nicméně, aby bylo možné stanovit jednoznačné závěry, je třeba měření zopakovat na větším počtu vzorků, na různých typech substrátu a při odlišných skladovacích podmínkách.

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala luminiscenční spektroskopií, s jejíž pomocí bylo měřeno stárnutí latentních (neviditelných) otisků prstů. V práci byly popsány charakteristické trendy, které vyplynuly z naměřených dat a na jejichž základě by bylo možné popsat luminiscenční chování otisků v čase.

Teoretická část práce se v první kapitole zabývala kriminalistickou daktyloskopií. Následující kapitola byla věnována různým metodám, jež se používají pro odhad stáří otisků prstů. Luminiscenční spektroskopii byla věnována samostatná kapitola, jelikož právě tato metoda byla využita k měření stárnutí otisků v praktické části práce.

Bylo měřeno celkem 7 vzorků (5 od mužů, 2 od žen; ve věku 24-37 let) latentních otisků prstů po dobu 12 týdnů, přičemž cílem bylo v naměřených datech nalézt specifické trendy, které umožní popsat luminiscenční chování otisků v čase. V emisním spektru byly nalezeny dva hlavní píky, a to v oblastech kolem 360 nm a kolem 480 nm. Jeden menší pík byl zaznamenán v oblasti kolem 400 nm. Intenzita luminiscence u mužských otisků v čase převážně klesá, zatímco u žen roste (nejvýrazněji během prvních 3 týdnů). I když se hodnoty intenzity luminiscence mezi jednotlivými vzorky liší, což je dáno množstvím materiálu v otisku, tvar spektra a poloha píků zůstávají přibližně stejné.

Bylo zjištěno, že na tvar spektra nemá vliv ani poškozený otisk (dva vzájemně se překrývající otisky). Naopak vnější kontaminanty (konkrétně kosmetické přípravky) výrazně ovlivňují určité oblasti vlnových délek (převážně kratší vlnové délky).

Na základě výsledků provedených měření lze konstatovat, že luminiscenční spektroskopie je potenciálně využitelná při odhadu stáří otisku prstu a mohla by tak být významným přínosem pro kriminalistickou praxi. Nicméně tato problematika vyžaduje další výzkum, protože otisk prstu je biologický materiál, jehož složení je komplikované a velmi variabilní. Při dalším studiu je třeba ověřit zjištěné výsledky na větším souboru vzorků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SVOBODA, Ivo. *Kriminalistika*. Ostrava: Key Publishing, 2016. Učebnice (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-259-4.
- [2] DE ALCARAS-FOSSOUL, Josep. *Technologies for Fingerprint Age Estimations: A Step Forward*. Cham: Springer, 2021. ISBN 978-3-030-69336-7.
- [3] STRAUS, Jiří a Viktor PORADA. *Teorie, metody a metodologie kriminalistiky*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2017. ISBN 978-80-7380-666-8.
- [4] PORADA, Viktor. *Kriminalistika: (úvod, technika, taktika)*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2007. ISBN 978-80-7380-038-3.
- [5] JASUJA, Om Prakash, Gurvinder Singh BUMBRAH a Rakesh Mohan SHARMA. Emerging latent fingerprint technologies: a review. *Research and Reports in Forensic Medical Science* [online]. 2016, **6**, 39-50 [cit. 2022-02-23]. ISSN 2230-2476. Dostupné z: doi:10.2147/RRFMS.S94192
- [6] CHAMPOD, Christophe a Paul CHAMBERLAIN. Fingerprints. *Handbook of Forensic Science* [online]. Routledge, 2014 [cit. 2022-02-23]. ISBN 9781843927327. Dostupné z: doi:10.4324/9781843927327.ch3
- [7] Barvivo daktyloskopické DFO ve spreji, Sirchie. Krimi-LTsezam.cz [online]. Praha: LT Sezam [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.krimi-ltsezam.cz/cs/barvivo-daktyloskopicke-dfo-ve-spreji-sirchie/>
- [8] Cyanocrylate Fuming - Fingerprinting with Superglue. Lee Lofland [online]. United States: Lee Lofland, c2008-2021 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://leelofland.com/cyanocrylate-fuming-fingerprinting-with-superglue/>
- [9] SIEGEL, Jay A. a Pekka SAUKKO (eds.). *Encyclopedia of forensic sciences*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, c2013. ISBN 978-0-12-398365-7.
- [10] Latent Prints. The University of Rhode Island [online]. Kingston, USA: University of Rhode Island [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://web.uri.edu/risc1/services/latent-prints/>
- [11] ARCHER, Nia E., Yannis CHARLES, Julia A. ELLIOTT a Sue JICKELLS. Changes in the lipid composition of latent fingerprint residue with time after deposition on a surface. *Forensic Science International*. 2005, **154**(2-3), 224-239 [cit. 2022-03-26]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2004.09.120

- [12] DE ALCARAZ-FOSSOUL, Josep, Cristina MESTRES PATRIS, Antoni BALACIART MUNTANER, Carme BARROT FEIXAT a Manel GENÉ BADIA. Determination of latent fingerprint degradation patterns—a real fieldwork study. *International Journal of Legal Medicine* [online]. 2013, **127**(4), 857-870 [cit. 2022-03-18]. ISSN 0937-9827. Dostupné z: doi:10.1007/s00414-012-0797-0
- [13] STRAUS, Jiří a Petr HLAVÍN. Příspěvek k určení stáří latentních daktyloskopických stop. *Kriminalistika: časopis pro kriminalistickou teorii a praxi*. Praha: MV ČR, odbor tisku a public relations, 2006, **39**(4), 275–291. ISSN 1210-9150.
- [14] CADD, Samuel, Meez ISLAM, Peter MANSON a Stephen BLEAY. Fingerprint composition and aging: A literature review. *Science & Justice* [online]. 2015, **55**(4), 219-238 [cit. 2022-03-18]. ISSN 1355-0306. Dostupné z: doi.org/10.1016/j.sci-jus.2015.02.004
- [15] STONE, R. S.; METZGER, R. A. Comparison of Development Techniques Sudan Black B Solution/Black Magna Powder for Water-Soaked Porous Items. *Ident. News*, 1981, 31.1: 13-14.
- [16] BARNETT, P.D. a R.A. BERGER. The Effects of Temperature and Humidity on the Permanency of Latent Fingerprints. *Journal of the Forensic Science Society* [online]. 1976, **16**(3), 249-254 [cit. 2022-03-28]. ISSN 00157368. Dostupné z: doi:10.1016/S0015-7368(76)71068-5
- [17] ALMOG, Joseph; HIRSHFELD, Amiram; KLUG, J. T. Reagents for the chemical development of latent fingerprints: synthesis and properties of some ninhydrin analogues. *Journal of Forensic Science*, 1982, **27**(4), 912-917.
- [18] WATSON, Philip, Robert J. PRANCE, Sam T. BEARDSMORE-RUST a Helen PRANCE. Imaging electrostatic fingerprints with implications for a forensic timeline. *Forensic Science International* [online]. 2011, **209**(1–3), 41-45 [cit. 2022-03-20]. ISSN 0379-0738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2011.02.024
- [19] Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS). Thermo Fisher Scientific [online]. Waltham (Massachusetts): Thermo Fisher Scientific, c2021 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.com/cz/en/home/industrial/mass-spectrometry/mass-spectrometry-learning-center/gas-chromatography-mass-spectrometry-gc-ms-information.html>

- [20] FRICK, A.A., G. CHIDLOW, J.V. GOODPASTER, S.W. LEWIS a W. VAN BRONSWIJK. Monitoring compositional changes of the lipid fraction of fingermark residues deposited on paper during storage. *Forensic Chemistry* [online]. 2016, **2**, 29-36 [cit. 2022-03-29]. ISSN 24681709. Dostupné z: doi:10.1016/j.forc.2016.09.001
- [21] GIROD, Aline a Céline WEYERMANN. Lipid composition of fingermark residue and donor classification using GC/MS. *Forensic Science International* [online]. 2014, **238**, 68-82 [cit. 2022-03-29]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2014.02.020
- [22] ANDERSSON, Per Ola, Christian LEJON, Therese MIKAELSSON a Lars LANDSTRÖM. Towards Fingermark Dating: A Raman Spectroscopy Proof-of-Concept Study. *ChemistryOpen* [online]. 2017, **6**(6), 706-709 [cit. 2022-03-29]. ISSN 21911363. Dostupné z: doi:10.1002/open.201700129
- [23] What is Raman Spectroscopy?: Raman Spectroscopy Principle. Edinburgh Instruments [online]. Edinburgh: Edinburgh Instruments, c2022 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.edinst.com/blog/what-is-raman-spectroscopy/>
- [24] WILLIAMS, Diane Keith, Corrie J. BROWN a Justine BRUKER. Characterization of children's latent fingerprint residues by infrared microspectroscopy: Forensic implications. *Forensic Science International* [online]. 2011, **206**(1-3), 161-165 [cit. 2022-03-29]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2010.07.033
- [25] GIROD, Aline, Linda XIAO, Brian REEDY, Claude ROUX a Céline WEYERMANN. Fingermark initial composition and aging using Fourier transform infrared microscopy (μ -FTIR). *Forensic Science International* [online]. 2015, **254**, 185-196 [cit. 2022-03-29]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/j.forsciint.2015.07.022
- [26] POPA, Gheorghe, Romica POTORAC a Nicolae PREDA. Method for fingerprints age determination. *Romanian Journal of Legal Medicine* [online]. 2010, **18**(2), 149-154 [cit. 2022-03-28]. ISSN 12218618. Dostupné z: doi:10.4323/rjlm.2010.149
- [27] LAKOWICZ, Joseph R. *Principles of fluorescence spectroscopy*. 3rd ed. New York: Springer, c2006. ISBN 978-0387-31278-1.
- [28] PELANT, Ivan a Jan VALENTA. *Luminiscence doma, v přírodě a v laboratoři*. Praha: Academia, 2014. Průhledy (Academia). ISBN 978-80-200-2394-0.

- [29] Jablonski Diagram - What is it?. Edinburgh Instruments [online]. Edinburgh: Edinburgh Instruments, c2022 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.edinst.com/blog/jablonski-diagram/>
- [30] AKIBA, Norimitsu, Kenro KUROKI, Kenji KUROSAWA a Ken'ichi TSUCHIYA. Visualization of Aged Fingerprints with an Ultraviolet Laser. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2018, **63**(2), 556-562 [cit. 2022-03-17]. ISSN 0022-1198. Dostupné z: doi:10.1111/1556-4029.13588
- [31] VAN DAM, Annemieke, Janina C. V. SCHWARZ, Judith DE VOS, Maria SIEBES, Titia SIJEN, Ton G. VAN LEEUWEN, Maurice C. G. AALDERS a Saskia A. G. LAMBRECHTS. Oxidation Monitoring by Fluorescence Spectroscopy Reveals the Age of Fingermarks. *Angewandte Chemie International Edition* [online]. 2014, **53**(24), 6272-6275 [cit. 2022-03-28]. ISSN 14337851. Dostupné z: doi:10.1002/anie.201402740
- [32] SAITOH, Naoki a Norimitsu AKIBA. Ultraviolet Fluorescence Spectra of Fingerprints. *The Scientific World JOURNAL* [online]. 2005, **5**, 355-366 [cit. 2022-03-28]. ISSN 1537-744X. Dostupné z: doi:10.1100/tsw.2005.43
- [33] Products. SHIMADZU: Excellence in Science [online]. Kjóto: Shimadzu Corporation, [2022] [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.shimadzu.com/products/index.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AFIS Automated Fingerprint Identification System

DFO 1,8-diazafluoren-9-one

LED Light Emitting Diode

GC-MS gas chromatography-mass spectrometry

FT-IR Fourier transform infrared microscopy

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Pokožka s papilárními liniemi: 1 – pokožka (epidermis); 2 – škára (dermis); a – rohová vrstva; b – zárodečná vrstva; c – potní póry; d – vývody potních žláz; e – potní žláza; f – cévy; g – podkožní tuk; h – svalstvo [4].....	13
Obrázek 2. Příklady štětců (vlevo) a daktyloskopických prášků a fólií (vpravo) využívající se ve fyzikálních metodách ke zviditelňování daktyloskopických stop [zdroj: vlastní].....	16
Obrázek 3. Příklad zviditelnění daktyloskopických stop chemickými metodami (vlevo detekce s využitím ninhydrinu, vpravo s využitím DFO) [6].....	17
Obrázek 4. Zvýrazněný otisk za použití Superglue (par kyanoakrylátu) [8].....	18
Obrázek 5. Příklad daktyloskopické karty [1].	19
Obrázek 6. Porovnání latentního otisku prstu s otiskem z databáze [10].	20
Obrázek 7. Skenovací zařízení využívané pro snímání elektrického potenciálu otisku [18].	25
Obrázek 8. Zařízení využívané pro plynovou chromatografii s hmotnostní spektrometrií [19].	26
Obrázek 9. Jedna z forem Jablonského diagramu [27].....	29
Obrázek 10. Schéma použitého spektrofluorimetru [28].....	33
Obrázek 11. Spektrofluorimetr Shimadzu RF-6000.	34
Obrázek 12. Základní dialogové okno softwaru LabSolutions RF.....	35
Obrázek 13. Uživatelské rozhraní softwaru LabSolutions RF.	36
Obrázek 14. Skladované vzorky odebraných otisků.....	37
Obrázek 15. Vlevo stojánek s podložním sklíčkem, vpravo měřicí komora spektrofluorimetru Shimadzu RF-6000 s umístěným stojánkem.	38
Obrázek 16. Emisní spektra mužského vzorku M–1 v čase.	39
Obrázek 17. Vybrané vlnové délky emisních spekter mužského vzorku M–1, první pík.	40
Obrázek 18. Vybrané vlnové délky emisních spekter mužského vzorku M–1, druhý pík.....	41
Obrázek 19. Závislost vybraných vlnových délek emisního spektra mužského vzorku M–2 na čase (12 týdnů).	42
Obrázek 20. Závislost vybraných vlnových délek emisního spektra mužského vzorku M–3 na čase (12 týdnů).	43

Obrázek 21. Závislost vybraných vlnových délek emisního spektra ženského vzorku Ž-1 (dva překrývající se otisky) na čase.	44
Obrázek 22. Vybraná emisní spektra mužského vzorku M-4 v čase.	45
Obrázek 23. Závislost vybraných vlnových délek emisního spektra vzorku M-4 na čase po dobu 12 týdnů.	46
Obrázek 24. Závislost vybraných vlnových délek emisního spektra vzorku Ž-1 na čase po dobu 12 týdnů.	47
Obrázek 25. Vybraná emisní spektra ženského vzorku Ž-2 (obsahujícího vnější kontaminanty – kosmetické přípravky) v čase.	48
Obrázek 26. Vybraná emisní spektra ženského vzorku Ž-2 (obsahujícího vnější kontaminanty – kosmetické přípravky) v čase – detail píku v oblasti okolo 480 nm.	49
Obrázek 27. Závislost poměru intenzit pro vlnovou délku 360 nm na čase (12 týdnů).	50
Obrázek 28. Závislost poměru intenzit pro vlnovou délku 400 nm na čase (12 týdnů).	51
Obrázek 29. Závislost poměru intenzit pro vlnovou délku 480 nm na čase (12 týdnů).	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Některé z typických obrazců tvořených papilárními liniemi [1; úprava: autor].	14
Tabulka 2. Hlavní složky vyskytující se v sekretu ekrinních potních a mazových žláz [9].	22
Tabulka 3. Nejběžnější lipidy a jejich procentuální zastoupení na povrchu kůže [9].	23

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Emisní spektra měřených vzorků

