

Ramanova spektroskopie ochranných prvků bankovek

Milan Struška

Bakalářská práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Milan Struška**
Osobní číslo: **A12144**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Ramanova spektroskopie ochranných prvků bankovek**
Téma anglicky: **Raman Spectroscopy of the Security Features of Banknotes**

Zásady pro vypracování:

1. Nastudujte základy Ramanovy spektroskopie a seznamte se s principem měření na Ramanově mikroskopu v laboratoři FAI na UTB.
2. Nastudujte základní informace o eurobankovkách.
3. Vypracujte podrobný přehled použitých ochranných prvků na eurobankovkách.
4. Proveďte experimentální analýzu vybraných bankovek pomocí Ramanovy spektroskopie.
5. Zpracujte získaná data.
6. Zhodnoťte výsledky a použitelnost metody.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. CHALMERS, John M, Howell G EDWARDS a Michael D HARGREAVES. Infrared and Raman spectroscopy in forensic science. 1st pub. Chichester, West Sussex, UK: Wiley, 2012, 618 s., [34] s. obr. příl. ISBN 978-0-470-74906-7.
2. VAŠKOVÁ, Hana, Pavel VALÁŠEK. Hodnocení pravosti českých bankovek pomocí Ramanovy spektroskopie. Jemná mechanika a optika. 2012, vol. 7-8, s. 229 - 230. ISSN: 0447-6441.
3. KOLEKTIV, Luděk Lukáš a. Bezpečnostní technologie, systémy a management III: [teorie a praxe ochrany majetku a fyzické bezpečnosti]. 1. vyd. Zlín: VerBuM, 2013. ISBN 978-808-7500-354.
4. VILA, A., et al. Development of a fast and non-destructive procedure for characterizing and distinguishing original and fake euro notes. Analytica Chimica Acta, 2006, 559.2: 257-263.
5. DE ALMEIDA, Mariana R., et al. Discrimination between authentic and counterfeit banknotes using Raman spectroscopy and PLS-DA with uncertainty estimation. Microchemical Journal, 2013, 109: 170-177.
6. Interaktivní prezentace ochranných prvků eurobankovek [online]. 2014. Dostupné z: https://www.ecb.europa.eu/euro/html/security_features.cs.html.

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Hana Vašková
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

6. února 2015

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2015

Ve Zlíně dne 6. února 2015



L.S.

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská 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/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- 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/bakalářskou 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/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské 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

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Problematika falšovania peňazí sprevádza ľudstvo od ich samotného vzniku. Zo zjavných dôvodov vzniká potreba rýchleho a spoľahlivého overenia pravosti bankoviek, prípadne odhalenia napodobeniny. Hlavným cieľom práce je ukázať, či je metóda Ramanovej spektroskopie vhodná pre tieto účely. Práca sa konkrétne zaoberá eurobankovkami a ich ochrannými prvkami vo vzťahu k Ramanovej spektroskopii. Súčasťou práce je vypracovaný prehľad eurobankoviek, charakteristika ochranných prvkov a objasnenie metódy Ramanovej spektroskopie. Experimentálna časť sa venuje spracovaniu a analýze nameraných dát s následným vyhodnotením výsledkov a použiteľnosti metódy.

Kľúčové slová: bankovky, euro, napodobenina, falšovanie, ochranné prvky, Ramanova spektroskopia

ABSTRACT

The issue of counterfeiting accompanied mankind from its very beginning. For obvious reasons, there is a need for fast and reliable validation of banknotes and counterfeit detection. The aim of this thesis is to prove whether the method of Raman spectroscopy is suitable for these purposes. The thesis deals specifically with euro banknotes and their security features in relation to the Raman spectroscopy. Part of the work is a review of euro banknotes, characteristics of security features and clarification of method of Raman spectroscopy. The experimental part is devoted to processing and analysis of measured data with subsequent evaluation of the results and applicability of the method.

Keywords: banknotes, euro, counterfeit, counterfeiting, security features, Raman spectroscopy

Pod'akovanie

Na tomto mieste by som sa rád poďakoval Mgr. Hanke Vaškovej za ochotu, nápady, rady a trpezlivosť pri tvorbe bakalárskej práce. Vďaka patrí aj Oliverovi Jurčákovi, ktorý mi pomohol vytvoriť vzorky napodobenín bankoviek. Rovnako pri poďakovaní nemôžem zabudnúť na svoju rodinu a priateľov, ktorí ma pri štúdiu a písaní práce podporovali.

Motto

"Všetko, čo si dokážete predstaviť je skutočné."

- - Pablo Picasso

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČASŤ	10
1 EUROBANKOVKY	11
1.1 VIZUALIZÁCIA.....	11
1.1.1 Prvky grafického návrhu	12
1.1.2 Podpisy.....	12
1.1.3 Mapa Európy.....	13
1.1.4 Sériové číslo	13
1.2 PREHLAD EUROBANKOVIEK.....	14
2 OCHRANNÉ PRVKY EUROBANKOVIEK	18
2.1 VŠEOBECNÉ OVERENIE PRAVOSTI.....	18
2.1.1 Papier.....	19
2.1.2 Vystupujúca tlač.....	19
2.1.3 Minitlač	20
2.1.4 Sútláčová značka	20
2.1.5 Vodoznak	20
2.1.6 Ochranný prúžok.....	21
2.1.7 Zlatistý pruh	21
2.1.8 Hologram.....	21
2.1.9 Opticky premenlivá farba.....	22
2.2 PROFESIONÁLNE OVERENIE PRAVOSTI.....	23
2.2.1 Mikrotlač	24
2.2.2 2D vlastnosti.....	24
2.2.3 Fluorescenčné vlastnosti	24
2.2.4 Magnetické vlastnosti.....	25
2.2.5 Infračervené vlastnosti	26
2.2.6 Chemické vlastnosti	26
3 RAMANOVA SPEKTROSKOPIA	27
3.1 PRINCÍP RAMANOVEJ SPEKTROSKOPIE	27
3.2 RAMANOVO SPEKTRUM	28
3.3 INŠTRUMENTÁCIA	29
3.4 VLASTNOSTI RAMANOVEJ SPEKTROSKOPIE	30
3.5 UPLATNENIE RAMANOVEJ SPEKTROSKOPIE.....	31
II PRAKTICKÁ ČASŤ	32
4 STANOVENIE CIEĽOV	33
5 EXPERIMENTÁLNA ANALÝZA	34
5.1 MERACÍ PRÍSTROJ.....	34
5.2 SOFTWARE WIRE 3.2.....	35
5.3 PRÍPRAVA A VÝBER VZORIEK	35
5.3.1 Vzorky pravých bankoviek	36
5.3.2 Vzorky napodobením	36
5.3.3 Vzorky papiera.....	38

5.4	POSTUP MERANIA	39
5.5	SPRACOVANIE NAMERANÝCH DÁT	40
6	VÝSLEDKY MERANIA	43
6.1	SPEKTRÁ ORIGINÁLNYCH BANKOVIEK	43
6.1.1	Bankovka 10 EUR - prvá séria.....	43
6.1.2	Bankovka 10 EUR - druhá séria.....	44
6.1.3	Bankovka 20 EUR.....	45
6.1.4	Bankovka 50 EUR.....	46
6.1.5	Spektrá originálnych atramentov	46
6.2	SPEKTRÁ NAPODOBENÍN BANKOVIEK	47
6.2.1	Porovnanie atramentov modrej farby	49
6.2.2	Porovnanie atramentov žltej farby	50
6.2.3	Porovnanie atramentov hnedej farby	51
6.3	SPEKTRÁ PAPIERA	52
6.4	OSTATNÉ MERANIA	53
7	ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV A POUŽITEĽNOSTI METÓDY	54
7.1	ROZŠÍRENIE VÝSKUMU OCHRANNÝCH PRVKOV EURO BANKOVIEK.....	56
	ZÁVER	57
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	58
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	60
	ZOZNAM OBRÁZKOV	61

ÚVOD

Od výroby prvej formy peňazí ako nástroja platenia a nevyhnutnej súčasti procesu obchodovania ubehlo mnoho rokov. Za tento čas peniaze prešli mnohými zmenami, týkajúcich sa ich tvaru, materiálu, hodnoty či dizajnu. V dnešnej dobe sú peniaze stále fenoménom, ktorý stelesňuje bohatstvo a moc. Hlavným problémom, ktorý sa s peniazmi tiahne už od ich počiatku až do prítomnosti, pričom sa dá takmer s istotou predpovedať, že rovnako pôjde o problém budúcnosti, je ich falšovanie. Zo zjavných dôvodov sa najčastejšie možno stretnúť s falšovaním peňazí vo forme bankoviek. Základným nástrojom proti falšovaniu bankoviek sú ochranné prvky, ktoré každá bankovka obsahuje. Ich význam spočíva v zaručení istoty pravosti bankovky. Ochranné prvky sa tak stávajú prekážkou pre falšovateľov, ktorí sa ich snažia v čo najvernejšej miere napodobiť. V súčasnosti má aktivita falšovateľov stúpajúcu tendenciu. Každým rokom sa snažia do obehu vypustiť stále viac falzifikátov, ktoré charakterizuje rôzna kvalita, od amatérskych vyhotovení, ktoré je jednoduché odhaliť, až po profesionálne falzifikáty, ktoré musia prejsť detailnou analýzou, aby sa preukázala originalita bankovky. Rozvoj vedy a techniky prináša nové nástroje, ktoré umožňujú použitie lepších ochranných prvkov a s nimi zároveň aj nástroje overenia ich pravosti. Na druhej strane vývoj, ktorý ide rýchlo vpred, obohacuje falšovateľov o nové možnosti a postupy, ktoré následne využívajú k prekonaniu ochranných prvkov.

Práca sa snaží predstaviť Ramanovu spektroskopiu ako metódu pre overenie pravosti bankoviek, konkrétne so zameraním na eurobankovky. Z hľadiska štruktúry je rozdelená na teoretickú a praktickú časť. Teoretická časť v troch kapitolách postupne predstavuje eurobankovky, uvádza ich prehľad, podrobne popisuje použité ochranné prvky a zaoberá sa bližšie Ramanovou spektroskopiou, jej princípom a využitím ako aj inštrumentáciou. Praktická časť je zameraná na výskum eurobankoviek pomocou metódy Ramanovej spektroskopie. Obsahuje štyri kapitoly, počínajúc stanovením cieľov, pokračujúc ďalšími, v ktorých sú prezentované nástroje a postupy, ktoré boli pri výskume použité ako aj výber a príprava vzoriek. Následne sú v práci predstavené namerané údaje, ktoré sú spracované do formy prehľadných grafov. Kapitola sa taktiež zaoberá porovnaním údajov originálnych bankoviek a napodobení. V poslednej kapitole možno nájsť zhodnotenie nameraných výsledkov a stanovenie do akej miery je metóda Ramanovej spektroskopie použiteľná vo vzťahu k problematike overenia pravosti eurobankoviek.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 EUROBANKOVKY

Eurobankovky sú nástrojom platenia spoločnej meny Európskej únie a sú zákonným platidlom na území celej eurozóny. V súčasnosti tvorí eurozónu 19 štátov, konkrétne sa jedná o Belgicko, Cyprus, Estónsko, Fínsko, Francúzsko, Grécko, Holandsko, Írsko, Lotyšsko, Litvu, Luxembursko, Maltu, Nemecko, Portugalsko, Rakúsko, Slovensko, Slovinsko, Španielsko a Taliansko. Patria sem aj niektoré územia mimo Európy, zväčša sa jedná o ostrovy, súostrovia alebo zámorské územia. Euro možno nájsť aj v nečlenských štátoch Európskej únie ako sú Andorra, Monako, San Maríno a Vatikán. Ostatné štáty Európskej únie, ktoré napriek svojmu členstvu využívajú pôvodnú menu, majú poskytnutú dočasnú výnimku a v budúcnosti sú povinné na euro prejsť. Jedná sa o Bulharsko, Českú republiku, Chorvátsko, Maďarsko, Poľsko, Rumunsko a Švédsko. Výnimku tvoria štáty Dánsko a Spojené kráľovstvo, ktoré majú výnimku trvalú a nie sú povinné zaviesť euro vôbec. Ako symbol sa používa znak "€" a jeho medzinárodný trojpísmenový kód je EUR.[1]

1.1 Vizualizácia

Bankovky sú potlačené obojstranne a ústredným motívom každej z nich sú architektonické slohy rôznych kultúrnych epoch európskych dejín. Na lícnej strane sa nachádza vyobrazenie okien a brán, čo má symbolizovať európskeho ducha otvorenosti a spolupráce. Na rubovej zadnej strane možno nájsť vyobrazenie mostov ako architektonických prvkov symbolizujúci komunikáciu a prepojenosť medzi jednotlivými európskymi národmi, no i prepojenie a otvorenosť Európy voči zvyšku sveta. Je nutné dodať, že jednotlivé vyobrazenia okien, brán a mostov sú iba štylizovanou ilustráciou a nejedná sa o obrázky skutočných stavieb alebo ich častí.[1]

V súčasnosti existujú dve verzie bankoviek, obe rovnocenne platné. Jedna sa označuje ako "Prvá" séria, ide o pôvodné prvotné bankovky, ktorých autorom je rakúsky dizajnér Robert Kalina. Druhou verziou je "Druhá" séria, často označovaná aj ako séria "Európa". Táto séria vznikla ako reakcia na stále častejšie pokusy o tvorbu falošných bankoviek. Séria "Európa" vzniká postupne od najmenej nominálnej hodnoty s periódou približne jeden rok, počínajúc rokom 2013. Do dnešnej doby (roku 2015), boli predstavené prvé 3 nové bankovky nominálnej hodnoty 5 €, 10 € a 20 €, z ktorých sa zatiaľ využívajú iba dve, 5 € a 10 €. Bankovka nominálnej hodnoty 20 € má naplánované vypustenie do obehu v novembri 2015. V budúcnosti sa plánuje postupná obmena všetkých bankoviek a plynulý

prechod na novú sériu "Európa". Nová séria sa od starej líši mierne pozmeneným dizajnom, ktorý má na starosti nezávislý dizajnér Reinhold Gerstetter, no primárne lepším zabezpečením, čím sa snaží byť Európska banka o krok vpred pred pokusmi o falšovanie. Druhým hlavným dôvodom je použitie kvalitnejších a odolnejších materiálov, vďaka ktorým dokáže bankovka dlhšie zotrvať v obehu, čím sa šetrí životné prostredie, pretože nie je potrebné tak časté dotlačanie nových kusov a ich následná výmena za opotrebované kusy v obehu.[1,2]

1.1.1 Prvky grafického návrhu

V rámci prvkov grafického návrhu obsahujú bankovky charakteristické prvky ako uvedenie názvu meny - euro v podobe latinskej abecedy (EURO), gréckej abecedy (ΕΥΡΩ) alebo abecedy cyriliky (ЕВРО). Na prvej sérii je názov uvedený latinskou a gréckou abecedou a na druhej sérii Európa sú použité abecedy všetky tri.[1]

Na každej bankovke je takisto uvedená skratka Európskej centrálnej banky. V prvej sérii išlo o 5 skratiek (BCE, ECB, EZB, EKT, EKP), na sérii Európa ide o skratiek 9 (BCE, ECB, ЕЦБ, EZB, EKP, EKT, EKB, БСЕ, EBC). Skratiek je väčšie množstvo z dôvodu rôznych jazykových verzií jednotlivých krajín.[1]

Ďalším z prvkov grafického návrhu je symbol "©", za ktorým sa nachádza práve vymenovanie skratiek názvu Európskej centrálnej banky. Symbol označuje ochranu autorských práv.[1]

Samozrejmosťou je vyobrazenie vlajky Európskej únie. Vlajka sa nachádza na lícnej strane v ľavom hornom rohu. Ide o tradičnú známu verziu vlajky dvanástich zlatých, respektíve žltých hviezd do kruhu na modrom pozadí. Kruh hviezd symbolizuje harmóniu a solidaritu medzi občanmi únie. Takisto počet dvanásť je symbolom dokonalosti, rovnako ako počet mesiacov v roku, či počet čísel na ciferníku hodín. Modrá farba pozadia vyjadruje nebo, ktoré je symbolom slobody.[3]

1.1.2 Podpisy

Neoddeliteľnou súčasťou grafiky bankovky je podpis jedného z prezidentov Európskej centrálnej banky. Nachádza sa na lícnej strane, v závislosti od série buď priamo pod vlajkou alebo pod skratkami banky. Existujú tri prevedenia, pretože do súčasnosti mala banka troch prezidentov. Bankovka môže obsahovať podpis súčasného prezidenta Maria

Draghiho alebo podpisy bývalých prezidentov Willema F. Duisenberga či Jean-Clauda Tricheta. Platnosť bankoviek je nezávislá od použitého podpisu.[1]



Obr. 1 Ukážka podpisu na bankovke [1]

1.1.3 Mapa Európy

Mapa vyobrazená na bankovkách je geografickým znázornením Európy. Nejedná sa o úplne identické prenesenie reality, pretože z dôvodu použitej mierky sú niektoré ostrovy malej rozlohy do 400 kilometrov štvorcových príliš malými na to, aby to vysokokapacitná tlač dokázala reprodukovať. Mapa sa nachádza na zadnej strane bankovky a je možné si všimnúť malých rámečkov v spodnej časti bankovky, v ktorých sa nachádzajú Kanárske ostrovy a niektoré francúzske zámorské územia, kde sa taktiež euro používa.[1]

1.1.4 Sériové číslo

V prvej sérii bankoviek bolo sériové číslo tvorené jedným písmenom, ktoré vyjadruje kód krajiny označujúci národnú centrálnu banku, ktorá oprávnila tlač príslušnej bankovky a za ním 11 číslic, ktoré vyjadrujú poradie bankovky. Teda nie je zaručené, že na bankovke je práve kód krajiny, kde bola vytlačená. Sériové číslo je uvedené na zadnej strane bankovky a nachádza sa tam dvakrát. V pravej hornej časti vytlačené čiernou farbou a v ľavej spodnej vytlačené farbou inou. Kód krajiny je možné zistiť z tabuľky uvedenej na stránke Európskej centrálnej banky. Ak je na bankovke uvedené napríklad sériové číslo X79856163533, z tabuľky možno vyzistiť, že daná bankovka bola vytlačená pre Nemeckú centrálnu banku, pretože kód "X" patrí Nemecku.[1,2]

V sérii Európa je situácia so sériovými číslami mierne odlišná. Číslo sa taktiež nachádza na zadnej strane bankovky, no rozdiel spočíva v tom, že je rozdelené na dve časti horizontálnu a vertikálnu. Horizontálna časť je vytlačená čiernou farbou a obsahuje dve písmená a desať číslic. Prvé písmeno v tomto prípade označuje konkrétnu tlačiareň, zoznam je opäť možné dohľadať na stránke ECB. Druhé písmeno nemá žiaden špecifický význam a slúži iba na rozšírenie počtu kombinácií sériového čísla. Zvyšných desať číslic je

opäť poradových. Vertikálna časť je vytlačená inou farbou a obsahuje šesť číslic, ktoré sú zhodné s poslednou šesticou čísel horizontálnej časti. Ak je na bankovke napríklad uvedené horizontálne číslo SA4901068396 a vertikálne 068396, z prvého znaku "S" je možné zistiť, že bankovka bola vytlačená v tlačiarňi Banca d'Italia, čo je vlastne priamo názov Talianskej centrálnej banky.[1,2]

1.2 Prehľad eurobankoviek

Séria eurobankoviek pozostáva zo siedmich rôznych nominálnych hodnôt, konkrétne 5 €, 10 €, 20 €, 50 €, 100 €, 200 €, 500 €. Jednotlivé nominálne hodnoty sa od seba líšia v rozmeroch bankovky, farbe, ilustrácii či v ochranných prvkoch.[1]

5 EUR

Ide o bankovku s najmenšou nominálnou hodnotou. Jej rozmery sú 120 x 62mm. Je vyhotovená v sivej farbe a vyjadruje architektonický sloh obdobia klasiky. Existuje vo vyhotovení prvej série, no i druhej série Európa, v ktorej bola vydaná 2.mája roku 2013.[1]



Obr. 2 Bankovka hodnoty 5 EUR - prvá séria [1]



Obr. 3 Bankovka hodnoty 5 EUR - druhá séria "Európa" [1]

10 EUR

Ide o bankovku v poradí s druhou najmenšou nominálnou hodnotou. Jej rozmery sú 127 x 67mm. Je vyhotovená v červenej farbe a vyjadruje románsky architektonický sloh. Existuje vo vyhotovení prvej série, no i druhej série Európa, v ktorej bola vydaná 23.septembra roku 2014.[1]



Obr. 4 Bankovka hodnoty 10 EUR - prvá séria [1]



Obr. 5 Bankovka hodnoty 10 EUR - druhá séria "Európa" [1]

20 EUR

Ide o bankovku v poradí s treťou najmenšou nominálnou hodnotou. Jej rozmery sú 133 x 72mm. Je vyhotovená v modrej farbe a vyjadruje architektonický sloh obdobia gotiky. Existuje vo vyhotovení prvej série, no i druhej série Európa, ktorej vydanie bolo ohlásené na november 2015.[1]



Obr. 6 Bankovka hodnoty 20 EUR - prvá séria [1]



Obr. 7 Bankovka hodnoty 20 EUR - druhá séria "Európa" [1]

50 EUR

Ide o bankovku v poradí so štvrtou najmenšou nominálnou hodnotou. Jej rozmery sú 140 x 77mm. Je vyhotovená v oranžovej farbe a vyjadruje architektonický sloh obdobia renesancie. Zatiaľ existuje iba vo vyhotovení prvej série. Druhá séria Európa doteraz (do roku 2015) nebola ohlásená.[1]



Obr. 8 Bankovka hodnoty 50 EUR - prvá séria [1]

100 EUR

Ide o bankovku v poradí s treťou najväčšou nominálnou hodnotou. Jej rozmery sú 147 x 82mm. Je vyhotovená v zelenej farbe a vyjadruje architektonický sloh obdobia baroka a rokoka. Zatiaľ existuje iba vo vyhotovení prvej série. Druhá séria Európa doteraz (do roku 2015) nebola ohlásená.[1]



Obr. 9 Bankovka hodnoty 100 EUR - prvá séria [1]

200 EUR

Ide o bankovku v poradí s druhou najväčšou nominálnou hodnotou. Jej rozmery sú 153 x 82mm. Je vyhotovená v žltohnedej farbe a vyjadruje architektonický sloh obdobia modernej architektúry 19. storočia. Zatiaľ existuje iba vo vyhotovení prvej série. Druhá séria Európa doteraz (do roku 2015) nebola ohlásená.[1]



Obr. 10 Bankovka hodnoty 200 EUR - prvá séria [1]

500 EUR

Ide o bankovku s najväčšou nominálnou hodnotou. Jej rozmery sú 160 x 82mm. Je vyhotovená v purpurovej farbe a vyjadruje architektonický sloh obdobia modernej architektúry 20. storočia. Zatiaľ existuje iba vo vyhotovení prvej série. Druhá séria Európa doteraz (do roku 2015) nebola ohlásená.[1]



Obr. 11 Bankovka hodnoty 500 EUR - prvá séria [1]

2 OCHRANNÉ PRVKY EUROBANKOVIEK

Eurobankovky obsahujú rôzne ochranné prvky, ktoré slúžia na jednoduché rozpoznanie a odlíšenie pravej bankovky od falošnej. Práve špecifické vlastnosti ochranných prvkov tvoria jedinečný súbor, vďaka ktorému je bankovky takmer nemožné duplikovať. Ak by aj došlo k vernému napodobeniu niektorého z ochranných prvkov, za pomoci ostatných je možné identifikovať bankovku ako falošnú. Overenie pravosti bankovky možno previesť dvomi základnými spôsobmi, všeobecným alebo profesionálnym.[2]

2.1 Všeobecné overenie pravosti

Všeobecné overenie pravosti je základným a jednoduchým spôsobom zistenia, či daná bankovka je alebo nie je pravá. Uvedený spôsob sa spolieha na ľudské zmysly a nevyžaduje žiadnu techniku. Jeho výhodou je hlavne rýchlosť a dostupnosť. Naopak za nevýhodu sa považuje menšia spoľahlivosť a subjektivita. Metóda je v dnešných časoch pre bežného človeka dostačujúca, pretože kvalita falšovaných bankoviek zatiaľ nedosahuje tak vysokej úrovne a v obehu ich koluje minimum.

Hlavným nástrojom všeobecného overenia je systém troch kontrol:

- kontrola hmatom,
- kontrola pohľadom,
- kontrola naklonením.[1]

Medzi základné ochranné prvky, ktoré sú predmetom kontroly, patrí:

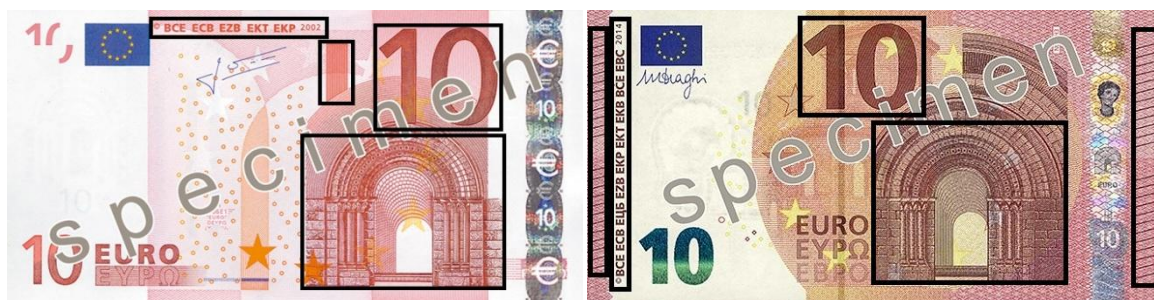
- papier,
- vystupujúca tlač,
- minitlač,
- sýtlačová značka,
- vodoznak,
- ochranný prúžok,
- zlatistý pruh,
- hologram,
- opticky premenlivá farba.[4]

2.1.1 Papier

Bankovky sú zhotovené zo špeciálneho papiera, ktorého hlavnou výrobnou surovinou je čistá bavlna. Vďaka bavlneným vláknám majú bankovky špecifickú štruktúru, čo ich robí veľmi dištinktívnymi na dotyk, no i pohľad. Hlavnou výhodou oproti klasicky dostupnému papieru, vyrábaného z vláknitej drevoviny, je zvýšená mechanická pevnosť, čo činí bankovku tuhú a odolnou. Bankovka musí byť na dotyk pevná, pružná a tuhá, nie vosková a mäkká. Okrem mechanickej pevnosti, papier z bavlnených vlákien prináša zvýšenú chemickú odolnosť, čo dokazuje fakt, že bankovka vydrží vypratie v praciej práčke, kde pôsobia viaceré faktory ako vlhkosť, zvýšená teplota a chemické vplyvy čistiacich a pracích prostriedkov, a to celé za prítomnosti intenzívnej mechanickej námahy. Hoci bankovka je schopná vydržať tieto podmienky, každým pracím cyklom kvalitatívne degraduje a postupne stráca určité vlastnosti. Z pohľadu kontroly je dôležité bankovku preveriť hlavne pohľadom a dotykom, no nápomocný môže byť tiež sluch. Pri ohýbaní bankovky papier vydáva špecifický praskavý zvuk. Ďalším podstatným faktom je, že bankovky sú tvorené vždy iba jednou vrstvou a nemožno ich rozdeliť na viacero tenších plátov, či odlepovať z nich akúkoľvek časť.[2,4]

2.1.2 Vystupujúca tlač

Vystupujúca tlač patrí k ochranným prvkom, ktoré sa dajú najlepšie overiť hmatom. Pri výrobe sa využíva špeciálna reliéfná tlač. Spomínanú techniku tlače je možné postrehnúť jemným prejdením prstom alebo nechtom skrz hlavný motív brány, číslo nominálnej hodnoty, iniciály Európskej centrálnej banky či vertikálne čiary vedľa podpisu. Na novej sérii Európa a na bankovkách hodnoty 200 a 500 EUR sa vystupujúca tlač nachádza na okrajoch v podobe rovnobežných krátkych čiarok, ktoré majú ešte extra funkciu pre zrakovo postihnutých ľudí.[2,4]



Obr. 12 Lokalizácia vystupujúcej tlače na oboch sériách bankovky 10 EUR [1]

2.1.3 Minitlač

Za minitlač sa považuje drobné písmo s veľkosťou 0,8mm, ktoré sa dá zvyčajne prečítať voľným okom. Nachádza sa na všetkých bankovkách, no presná pozícia sa líši v závislosti od nominálnej hodnoty bankovky.[2]

2.1.4 Sútláčová značka

Jedná sa o značky vytlačené v ľavom hornom rohu prednej strany a pravom hornom rohu zadnej strany bankovky. Spolu vytvárajú nominálnu hodnotu bankovky, ktorú je vidieť ak sa na bankovku pozerá proti svetlu. Sútláčové značky je možné nájsť iba na prvej sérii bankoviek.[2,4]



Obr. 13 Sútláčová značka a jej lokalizácia na bankovke 50 EUR [1,2]

2.1.5 Vodoznak

Vodoznak je ochranný prvok, ktorý je možné vidieť oproti svetlu. Vyrába sa zmenou hrúbky a hustoty vlákien papiera. Na bankovke sa nachádzajú dva druhy vodoznaku, multitónový a jednotónový.[2]

Prvý multitónový typ tvorí obrázok, na prvej sérii obrázkov predstavuje ilustráciu brány alebo okna a na druhej portrét. Pre tento typ vodoznaku sú typické plynulé kontrastné prechody medzi jednotlivými časťami obrázka, takže výsledný efekt je akoby vytieňovaný.[2]

Druhý jednotónový typ vyjadruje nominálnu hodnotu bankovky a na prvej sérii sa nachádza vždy pod multitónovým vodoznakom. Na sérii Európa sa jednotónový vodoznak nachádza v pravom hornom rohu portrétu. Tento typ vodoznaku je dobre vidieť aj pri položení na tmavé pozadie, kedy práve z dôvodu menšej hrúbky papiera tmavšie pozadie presvítá a na svetlom papieri je tmavé číslo nominálnej hodnoty dobre čitateľné.[2]



Obr. 14 Vodoznak a jeho lokalizácia na bankovke 5 EUR druhej série [1,2]

2.1.6 Ochranný prúžok

Jedná sa o metalizované plastové vlákno zapustené do papiera približne v strede bankovky. Prvá séria obsahuje text pozostávajúci z hodnoty bankovky a "EURO". Druhá séria obsahuje už skrátenú verziu a to hodnotu bankovky a znak "€". Text je vytvorený demetalizáciou. Prúžok vykazuje magnetické charakteristiky. Spadá do kategórie kontroly pohľadom a opäť je najlepšie viditeľný voči svetlu.[2,4]

2.1.7 Zlatistý pruh

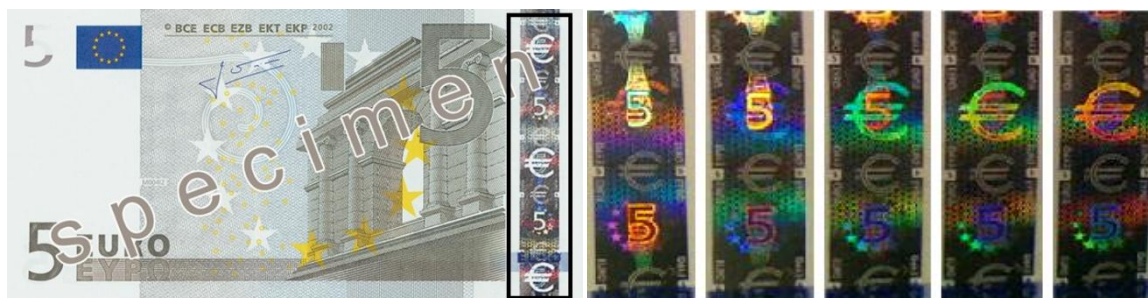
Zlatistý pruh je možné nájsť na zadnej strane bankoviek nominálnych hodnôt 5 €, 10 €, 20 €. Patrí do kategórie kontroly naklonením. Pri správnom pozorovaní uhol sa zjaví zlatožltý pruh, v ktorom je vynechaním zlatožltej farby vyobrazená niekoľkonásobne hodnota bankovky a znak "€".[4]

2.1.8 Hologram

Hologram na bankovkách sa objavuje v dvoch podobách, a to v závislosti od nominálnej hodnoty bankovky ako pásik alebo medailón. Bez ohľadu na tvar, ide o metalizovaný útvar, ktorý mení vyobrazenie a farbu závisle od náklonu, respektíve pozorovacieho uhla.[4]

Vo forme pásika sa dá hologram nájsť na bankovkách nižších hodnôt 5 €, 10 € a 20 €, v pravej časti prednej strany bankovky. V prvej sérii je pásik celistvý po celej výške bankovky, široký 8 mm a premenlivý efekt spočíva v zmene medzi obrazom znaku "€" a hodnotou bankovky. V druhej sérii je pásik delený na 4 časti, pričom zmena obrazu nastáva len v najvrchnejšej časti, opäť ide prechod medzi znakom "€" a hodnotou. V troch

d'alších častiach sa zostupne nachádza portrét, ilustrácia brány a hodnota bankovky, no v týchto častiach sa nemenia obrazy, ale iba farby.[2,4]



Obr. 15 Lokalizácia hologramu na bankovke 5 EUR + detail farebného prechodu [1,2]

Forma medailónu je charakteristická pre zvyšné nominálne hodnoty, teda 50 €, 100 €, 200 € a 500 €. Hologram sa nachádza v pravej časti približne v oblasti nižšieho stredú bankovky. Premennivý efekt vyobrazuje dva stavy, a to hodnotu bankovky a ilustráciu brány alebo okna. Na pozadí medailónu sa objavujú sústredné kruhy dúhovej farby zložené z drobného písma. Dúhové farby sa menia podľa pozorovacieho uhla.[2,4]



Obr. 16 Lokalizácia hologramu na bankovke 50 EUR + detail farebného prechodu [1,2]

Na všetkých hologramoch sa objavuje ešte ďalší ochranný prvok, ktorý sa nazýva perforácia. Perforácia má tvar a podobu symbolu "€", ktorý je vytvorený z malých bodiek. Najľahším spôsobom ako skontrolovať perforáciu je umiestniť bankovku voči svetlu a symbol "€" sa zobrazí na holograme.[2,4]

2.1.9 Opticky premenlivá farba

Jedná sa o typ opticky variabilného atramentu. Na prvej sérii bankoviek sa s týmto ochranným prvkom možno stretnúť na bankovkách 50 €, 100 €, 200 € a 500 €, kde je ním na zadnej strane v pravom spodnom rohu vyobrazená nominálna hodnota bankovky. V závislosti od naklonenia sa dá pozorovať farebný prechod medzi fialovou, olivovo zelenou a hnedou farbou.[2,4]



Obr. 17 Ukážka opticky premenlivej farby - prvá séria [2]

Na novej sérii je použitý odlišný typ variabilného atramentu. Nachádza sa na prednej strane v ľavej spodnej časti a je ním vytlačená hodnota bankovky. Pri náklone vzniká svetelný trblietavý efekt, ktorý sa pohybuje nahor a nadol. Zároveň možno pozorovať zmenu farby zo smaragdovozelenej na tmavomodrú.[2,4]



Obr. 18 Ukážka opticky premenlivej farby - druhá séria [2]

2.2 Profesionálne overenie pravosti

Profesionálne overenie pravosti poskytuje jednoznačnú odpoveď na otázku pravosti bankovky. Hoci tiež využíva vyššie uvedené spôsoby všeobecného overenia pravosti, ťažisko pozornosti sa sústreďuje na metódy kontroly, ktoré vyžadujú technické prostriedky a sú nedeštruktívne. So spomínanými metódami sa najčastejšie stretnú banky a spracovatelia peňazí, no na trhu sa vyskytujú aj zariadenia, dostupné pre bežný komerčný sektor, ktoré dokážu overiť pravosť bankovky. Tieto zariadenia sú zatiaľ dostačujúce, no väčšina z nich kontroluje len pomocou niektorých vybraných metód, pričom detailná analýza, spočíva vo vyhodnotení všetkých dostupných ochranných prvkov.

Medzi pokročilé ochranné prvky profesionálneho overenia patria:

- mikrotlač,
- 2D vlastnosti,
- fluorescenčné vlastnosti,

- magnetické vlastnosti,
- infračervené vlastnosti,
- chemické vlastnosti.[1,2]

Odhládnuv od mikrotlače a 2D vlastností, sa jednotlivé pokročilé ochranné prvky vzťahujú hlavne na papier a atramenty použité pri výrobe bankoviek.

2.2.1 Mikrotlač

Mikrotlač pozostáva z veľmi malých znakov veľkosti 0,2 mm. Voľným okom sú len ťažko pozorovateľné a riadok takýchto znakov sa javí ako tenká čiara. Vhodným nástrojom na vyhodnotenie mikrotlače je lupa alebo mikroskop. Na pravej bankovke by sa po zväčšení mal text javiť ako ostrý a dobre čitateľný, nie rozmazaný. Mikrotlač sa nachádza na každej bankovke prvej i druhej série.[2,4]

2.2.2 2D vlastnosti

Overenie 2D vlastností je jednoduchým, no nie príliš spoľahlivým spôsobom určenia pravosti. Jedná sa o prosté premeranie rozmerov skúmanej bankovky, prípadne stanovenie pomeru strán či jednotlivých grafických prvkov na bankovke. Uvedená metóda vykazuje pomerne veľkú chybovosť v prípade strojového vyhodnotenia, pretože napodobiť rozmery v dnešnej dobe nie je problém. Problém taktiež nastáva pri pravej bankovke, ktorá je deformovaná ohybom alebo je z nej časť odtrhnutá úplne.

2.2.3 Fluorescenčné vlastnosti

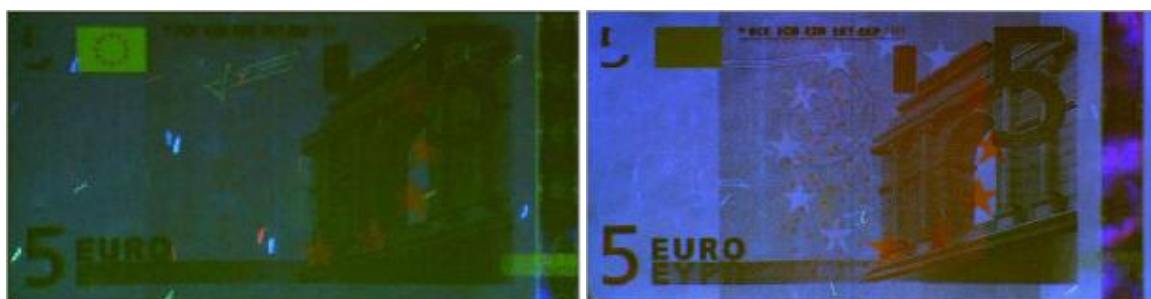
Na overenie fluorescenčných vlastností je potrebný zdroj ultrafialového (UV) svetla. Na novej sérii Európa je možná kontrola dvomi typmi žiarenia, ktoré reagujú so špeciálnym fluorescenčným atramentom, a to klasickým UV alebo špeciálnym UV-C. Rozdiel spočíva vo vlnovej dĺžke. V praxi to znamená, že pod každým vidieť mierne odlišný obraz, hlavne čo sa týka farieb, no rozdiel je aj v pridaní znaku "€" pri použití UV-C žiarenia. Zmeny sa týkajú iba prednej strany bankovky, zadná je rovnaká bez ohľadu na použité žiarenie.[1,2]



Obr. 19 Bankovka pod UV a UV-C svetlom [2]

Ďalším prvkom, ktorý je viditeľný pod UV žiarením, sú náhodne rozmiestnené farebné fluorescenčné vlákna zapustené do papiera. Prvá séria obsahuje 3 typy jednofarebných vlákien, ktoré pod UV svetlom žiaria na modro, červeno alebo zeleno. Druhá séria obsahuje 1 typ, no vlákna sú trojfarebné, zložené z modrej, červenej a žltej.[2]

Dôležitým faktom v súvislosti s fluorescenčnými vlastnosťami je non-fluorescencia papiera, z ktorého sú bankovky zhotovené. Pod UV svetlom by sa mali rozsvietiť iba vybrané miesta a nie celá plocha papiera, čo niekedy môže byť problém, pretože vypratie spôsobí, že sa celá bankovka nasýti chemickými látkami pracieho prášku, ktoré silne žiaria pod UV svetlom. Takáto bankovka, hoci pravá, pod UV svetlom žiari celá a je nemožné rozpoznať napríklad zapustené farebné fluorescenčné vlákna.[2]



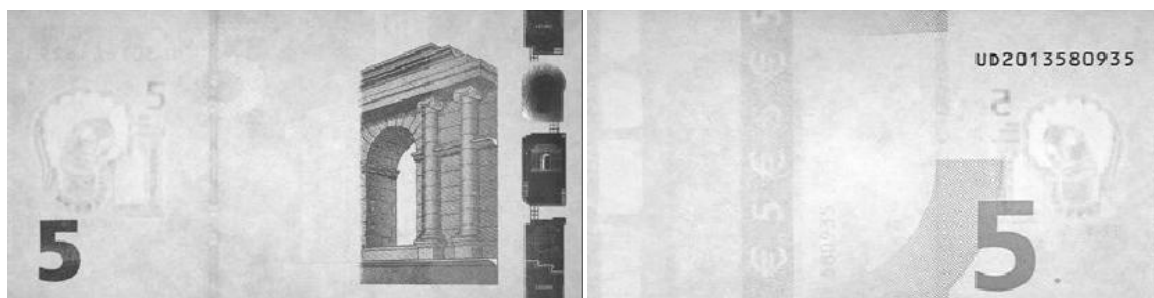
Obr. 20 Pravá bankovka pod UV - nová vs. vypratá [2]

2.2.4 Magnetické vlastnosti

Nositeľom magnetických vlastností je prevažne ochranný metalizovaný prúžok, ale i magnetický atrament. Na detegovanie magnetických charakteristík sa používajú citlivé detektory, ktoré dokážu zaznamenať aj veľmi slabé magnetické pole. Nová séria obsahuje ešte vylepšenú technológiu, kedy prúžok využíva pokročilých magnetických štruktúr, ktoré nesú zakódované informácie o bankovke.[5]

2.2.5 Infračervené vlastnosti

Proces výroby bankovky využíva okrem iných, aj špeciálny atrament ktorý reaguje, ak je vystavený infračervenému svetlu. Po použití infračerveného svetla sa na prvej sérii bankoviek na prednej strane zobrazí polovica ilustrácie brány a hologram. Na zadnej strane sa zobrazí sériové číslo a pri vyšších hodnotách od 50 € nahor, sa zobrazuje aj nominálna hodnota bankovky. Predná strana druhej série zobrazuje za rovnakých podmienok navyše smaragdové číslo hodnoty bankovky. Zadná strana rovnako ukazuje hodnotu bankovky a horizontálnu časť sériového čísla.[1,2]



Obr. 21 Bankovka pod infračerveným svetlom [2]

2.2.6 Chemické vlastnosti

Papier a atrament majú špecifické chemické vlastnosti. Ako bežne dostupný prostriedok overenia pravosti v komerčnej sfére je chemický tester vo forme pera. Pri popísaní pravej bankovky, chemická látka v pere s papierom ani s atramentom nereaguje. Na falzifikáte dôjde k reakcii a popísanie by sa malo zobrazit'.

Existujú aj pokročilé chemické analýzy, no ich značnou nevýhodou je potreba odobratia vzorky zo skúmaného objektu. V súvislosti s overovaním bankoviek sa kladie dôraz na nedeštruktivitu použitých metód, a preto takéto chemické analýzy nie sú vhodné.

Ako veľmi sľubnými, sa v oblasti skúmania chemických vlastností, nielen bankoviek, javia spektroskopické metódy. Spomínaných metód existuje viacero typov, pričom táto práca sa sústreďí na jednu z nich, a to Ramanovu spektroskopiu, ktorá ponúka mnoho výhod a možností, pričom je splnená aj podmienka nedeštruktívnosti.

3 RAMANOVA SPEKTROSKOPIA

Ramanova spektroskopie je analytická metoda, která spolu s ostatními spektroskopickými metodami jako infračervená, terahertzová, fluorescenční, luminiscenční či ultrafialová spektroskopie, tvoří soubor nástrojů moderní analýzy. Z užšího hlediska je možné povedat, že spolu s infračervenou spektroskopií patří mezi metody vibrační spektroskopie, z čehož vyplývá fakt, že poskytuje specifické informace o skúmanej vzorke na molekulárnej úrovni. Získané informácie sú jedinečné pre každú chemickú látku, zlúčeninu alebo materiál, na čom možno založiť ich jednoznačnú identifikáciu.[6]

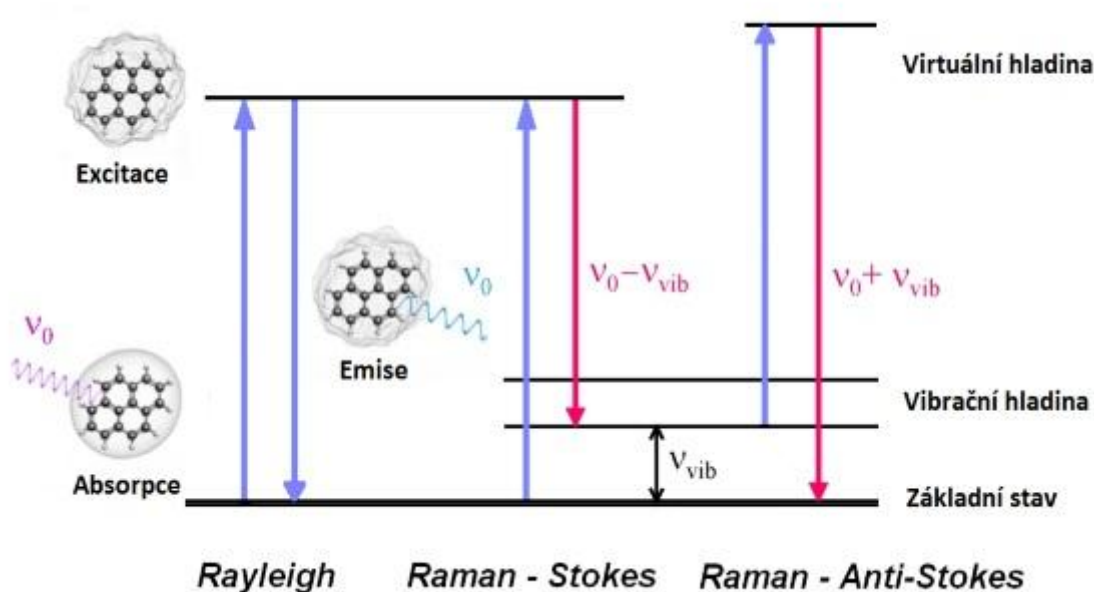
3.1 Princíp Ramanovej spektroskopie

Základným princípom Ramanovej spektroskopie je neelastický rozptyl svetla, ktorý bol objavený už v roku 1928. Objav má na svedomí indický vedec Sir Chandrasekhara Venkata Raman (1888-1970), ktorý bol o dva roky neskôr ocenený Nobelovou cenou za fyziku a na jeho počesť nesie práve jeho meno. Hoci bol Ramanov jav predstavený svetu už v tridsiatych rokoch dvadsiateho storočia, svoj skutočný potenciál bol schopný odhaliť až s patričným technologickým pokrokom približne o sedemdesiat rokov neskôr a nájsť si tak svoje miesto v širokom pásme nielen vedeckých, ale i iných oborov po celom svete.[7]

Samotnému neelastickému, taktiež sa možno stretnúť s termínom nepružnému, rozptylu svetla predchádza ožiarenie meranej vzorky zdrojom monochromatického svetla, ktoré zabezpečuje laser. Dochádza k interakcii laserom emitovaných fotónov s molekulami skúmanej látky. Prevažná časť žiarenia je rozptýlená pružne, čo znamená, že energia sa nemení a nazýva sa Rayleighov rozptyl. Časť žiarenia je absorbovaná. Zvyšok svetla je rozptýlený neelasticky a nesie zodpovednosť za vznik Ramanových spektier. Pre lepšiu predstavu o akú početnosť zúčastnených fotónov na Ramanovom jave sa jedná, je udávaných rádovo jeden z milióna až jeden z desiatich miliónov fotónov.[7]

Podrobnejší pohľad na vznik Ramanovho spektra možno vidieť na *Obr. 1*. Interakcia fotónu a molekuly má za následok vybudenie molekuly do nestabilného virtuálneho stavu, za ktorým nasleduje okamžitá emisia fotónu. Ako už bolo spomenuté pri Rayleighov rozptyle dochádza iba k emisii fotónu do základného stavu, žiadna energetická zmena. Neelastický rozptyl spôsobuje, že excitovaná molekula vyžiari fotón s energiou mierne pozmenenou. Ak nastane stav, kedy molekula absorbuje energiu dopadnutého fotónu a vyžiari fotón s nižšou frekvenciou, v spektre vznikajú tzv. Stokesove čiary. Opozitne

môže nastať, hoci s menšou pravdepodobnosťou, situácia, kedy molekula odovzdá energiu v prospech fotónu. Takýto fotón s vyššou frekvenciou tvorí anti-Stokesove čiary. Zásadnú analytickú informáciu možno vyčítať práve z rozdielov počiatočných a následne pozmenených frekvencií fotónov, pričom treba dodať, že ťažisko pozornosti sa sústreďuje na Stokesovu časť spektra z dôvodu vyššej intenzity.[8]



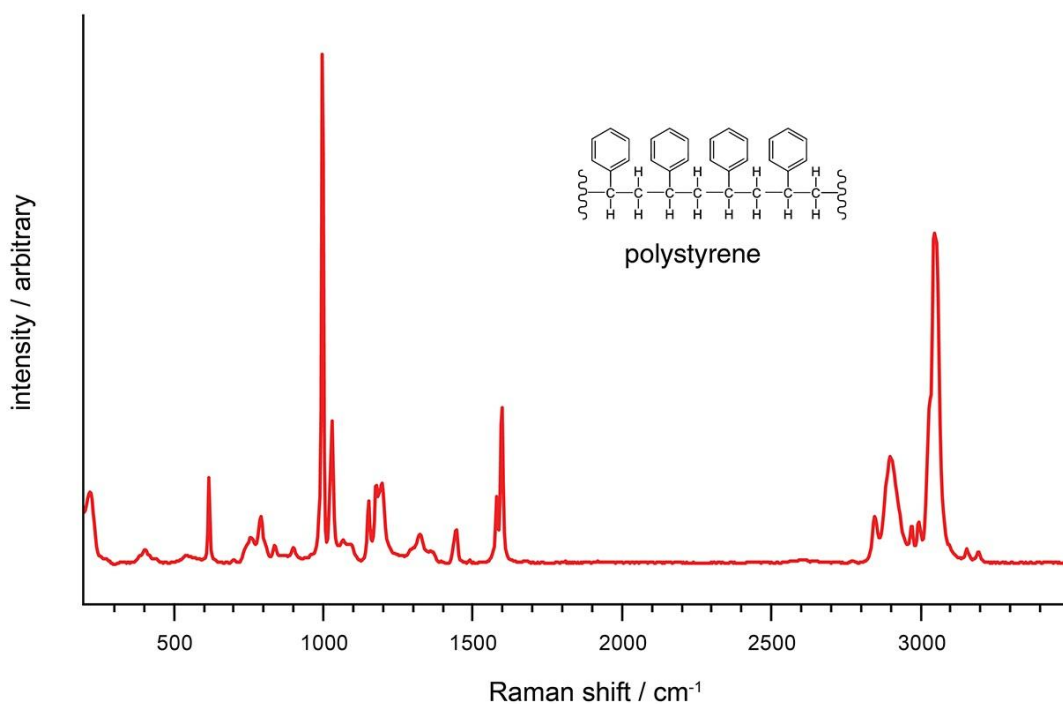
Obr. 22 Schéma prechodov medzi vibračnými stavmi [7]

3.2 Ramanovo spektrum

Ramanovo spektrum je výsledkom merania pomocou metódy Ramanovej spektroskopie. Spektrum odráža vibračné vlastnosti molekúl a vyjadruje závislosť intenzity meraného signálu na Ramanovom posune. Ramanov posun vyjadruje rozdiel vlnočtov laseru a rozptýleného žiarenia a udáva sa v cm^{-1} . Nutnou podmienkou vzniku spektra je zmena polarizovateľnosti molekúl, ktorú vyjadruje jednoduchý vzťah:

$$\frac{\delta\alpha}{\delta q} \neq 0, \quad (1)$$

často označovaný ako základné výberové pravidlo pre Ramanovu spektroskopiu. Intenzitu, udávanú v tzv. arbitrary units [a.u.], ovplyvňujú rôzne faktory ako vlnová dĺžka laseru, jeho výkon, koncentrácia aktívnych molekúl či teplota. Na Obr. 2 sa nachádza ukážka Ramanovho spektra, konkrétne sa jedná o vzorku polystyrénu.[8,9]



Obr. 23 Ukážka Ramanovho spektra - polystyrén [10]

3.3 Inštrumentácia

Prístrojové vybavenie Ramanovej spektroskopie zažíva vďaka technologickému pokroku posledných desaťročí veľkú expanziu. Na trhu sa nachádza viacero výrobcov, ktorí ponúkajú kvalitné prístroje s veľkou variabilitou. Ponúkané spektrometre sa líšia v rôznych aspektoch ako veľkosť, výkonnosť, špecifickosť využitia, rýchlosť, ale aj menej dôležitý dizajn alebo často rozhodujúca cena.

V praxi sa používajú dva základné typy Ramanových spektrometrov. Disperzné a s Fourierovou transformáciou [9]. Bez ohľadu na typ, každý spektrometer obsahuje štyri základné časti, laser, optiku, filtre a detektor.[10]

Laser

Laser je prvou z hlavných častí spektrometra. Produkuje žiarenie v ultrafialovej (UV), viditeľnej (VIS) alebo blízkej infračervenej (NIR) oblasti spektra [10]. Spektrometer s viacerými lasermi umožňuje širšiu použiteľnosť, pretože je možné vybrať si ten, ktorý je pre určitú meranú vzorku vhodnejší, a tým pádom sa dá dosiahnuť lepších výsledkov. Takisto nastavený výkon alebo dĺžka expozície majú vplyv na konečný výsledok.

Optika

Optika má za úlohu v prvom rade dopraviť svetlo z lasera ku skúmanej vzorke a následne sústrediť rozptýlené svetlo do filtra. Ide o súpravu jemných optických štrbín a zrkadiel.[10]

Filtre

Filtre zohrávajú zásadnú úlohu celého procesu. Ramanov jav je javom veľmi slabým, a z tohto dôvodu by bol bez kvalitných filtrov potlačený Rayleigho rozptylom. Ďalšiu dôležitú povinnosť plní optická mriežka, ako disperzný prvok, ktorá nepružne rozptýlené svetlo rozdeľuje a premieta na detektor.[10]

Detektor

Odhladiac od konečného počítačového spracovania, detektor finalizuje proces merania. Zachytáva svetlo z optickej mriežky a signál odošle na vyhodnotenie do počítača. V minulosti sa používali ako detektory fotonásobiče, no značnou nevýhodou bol dlhší čas merania. Dnešné prístroje využívajú tzv. Photo Diode Arrays (PDA) alebo ešte častejšie Charged Coupled Device (CCD) detektory, ktoré sú rýchle a ich vývoj ide neustále dopredu.[10]

3.4 Vlastnosti Ramanovej spektroskopie

Metóda Ramanovej spektroskopie ponúka množstvo výhod. Celý rad výhod prináša aj isté obmedzenia, s ktorými treba počítať. V praxi funguje komplementárny princíp, kedy nedostatky jednej spektroskopickkej metódy pokryje metóda iná a naopak. K Ramanovej spektroskopii je za komplementárnu považovaná infračervená spektroskopia.[11]

Medzi prednosťami Ramanovej spektroskopie patrí:

- vysoko citlivá a špecifická charakteristika,
- možnosť merania látok všetkých skupenstiev a rôznych foriem,
- rýchlosť získania spektroskopických dát,
- nedeštruktivita,
- neinvazívnosť,
- minimálna veľkosť vzorky potrebnej na analýzu,
- bez potreby prípravy vzorky.[12]

Z obmedzení možno spomenúť nasledujúce:

- potreba kvalitného optimalizovaného a vysoko citlivého prístroja,
- fluorescencia - typická pre biologické vzorky,
- možnosť poškodenia vzorky intenzívnym laserom,
- meranie látok obsahujúcich kovy,
- obmedzená detekcia nízkych koncentrácií.[8]

3.5 Uplatnenie Ramanovej spektroskopie

Uplatnenie Ramanovej spektroskopie je skutočne široké. Schopnosť jednoznačne určiť o aký materiál, prípadne látku sa jedná, je vyžadovaná v rôznych oboroch a oblastiach nielen vedeckého charakteru.

Oblasti, v ktorých Ramanova spektroskopía nachádza svoje miesto:

- forenzná analýza, bezpečnostné aplikácie,
- medicína, farmácia, biológia,
- materiálové inžinierstvo, nanotechnológie, polovodiče,
- umenie, archeológia,
- geológia, mineralógia.[6]

Práve pod bezpečnostné aplikácie spadá aj problematika skúmania bankoviek. Od zavedenia spoločnej meny euro ubehlo niekoľko rokov a do obehu sa začína dostávať stále viac falošných bankoviek. Ramanova spektroskopía sa javí ako účinný nástroj na identifikáciu bankoviek, či už pravých alebo nepravých. Jediné, čo metóda vyžaduje k overeniu pravosti, sú namerané spektrálne dáta pravých bankoviek. Odhalenie prípadnej napodobeniny spočíva v porovnaní nameraných spektier s referenčnými spektrami pravej bankovky na základe výskytu charakteristických píkovo v spektre. Jedná sa o pomerne rýchly a spoľahlivý spôsob overenia pravosti.[13]

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

4 STANOVENIE CIEĽOV

Stanovenie cieľov možno považovať za prvú etapu výskumu. Pri výskume použitia metódy Ramanovej spektroskopie v procese overovania pravosti bankoviek boli stanovené nasledovné ciele:

1. Previest' experimentálnu analýzu
 - a. Zoznámenie s meracím prístrojom a potrebným softwarom
 - b. Výber a príprava vzoriek
 - c. Previest' meranie dát
 - d. Zaznamenať postup merania
2. Spracovať namerané dáta
 - a. Upraviť namerané dáta
 - b. Vytvoriť grafické zobrazenia
3. Prezentovať výsledky
 - a. Vytvoriť prehľad originálnych atramentov bankoviek
 - b. Porovnať spektrá atramentov originálnych bankoviek a napodobení
 - c. Porovnať spektrá bankoviek prvej a druhej série
 - d. Porovnať spektrá vzoriek papiera
4. Zhodnotiť výsledky
5. Zhodnotiť použiteľnosť metódy

5 EXPERIMENTÁLNA ANALÝZA

Kapitola sa venuje popisu súboru nástrojov a postupov, ktoré boli pri meraní využité. Zaoberá sa predstavením meracieho prístroja a softwaru, ktoré boli nevyhnutne potrebné pre uskutočnenie merania, no taktiež popisuje postupy prípravy vzoriek alebo samotného merania. Kapitulu uzatvára časť venovaná spracovaniu nameraných dát.

5.1 Merací prístroj

Na proces merania bol použitý Ramanov mikroskop inVia Basis značky Renishaw, ktorý je dostupný na Fakulte aplikovanej informatiky. Prístroj disponuje dvoma typmi laseru, ktoré sa líšia v excitačných vlnových dĺžkach:

- argónový iónový - viditeľná oblasť 514 nm,
- diódový - blízka infračervená oblasť 785 nm.

Na zachytenie rozptýleného žiarenia slúži termoelektricky chladený CCD detektor s rozlíšením 1024 x 256 pixelov. V prístroji je taktiež zabudovaný konfokálny mikroskop Leica s objektívmi pre 5x, 20x, 50x násobné zväčšenie. Pre jednoduchú a presnú manipuláciu s meranou vzorkou je prístroj vybavený motorizovanou jednotkou, ktorá umožňuje jemný posun v 3D osiach. Prístroj dokáže merať v spektrálnom rozsahu 100 - 3200 cm^{-1} . [8]



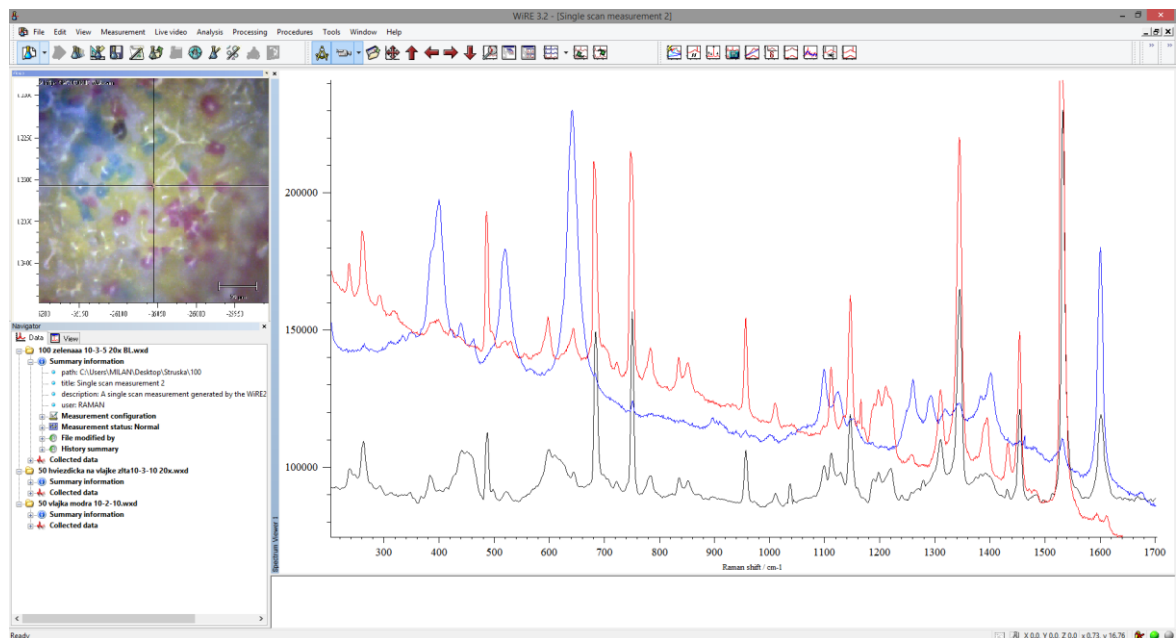
Obr. 24 Ramanov mikroskop Renishaw inVia Basis [14]

5.2 Software WiRE 3.2

Jedná sa o software od firmy Renishaw, ktorý je dodávaný k meracím prístrojom určeným k Ramanovej spektroskopii. Skratka znamená **W**indows-based **R**aman **E**nvironment, z čoho vyplýva, že je určený pre platformu Windows. Medzi jeho základné funkcie patrí:

- riadenie meracieho prístroja,
- zaznamenávanie a analýza dát,
- spracovanie dát,
- identifikácia spektier.

Ukážka prostredia WiRE 3.2 sa nachádza na *Obr. 25*.



Obr. 25 Ukážka softwaru WiRE 3.2 – zobrazenie spektier vybraných atramentov

5.3 Príprava a výber vzoriek

Príprava a výber vzoriek spočíval hlavne v určení rozsahu merania:

- koľko vzoriek bude použitých,
- aké nominálne hodnoty bankoviek budú skúmané,
- výber pozícií na bankovke, v ktorých prebehne meranie.

Do prípravy taktiež možno zaradiť snahu o vytvorenie napodobeniny bankovky, ktorá posluží na účely merania a na jej základe bude možné uskutočniť porovnanie medzi nameranými dátami skutočnej bankovky a jej napodobeniny.

Rozdelenie z hľadiska skúmaných vzoriek na:

- vzorky pravých bankoviek,
- vzorky napodobení,
- vzorky papiera.

5.3.1 Vzorky pravých bankoviek

Z pomedzi pravých eurobankoviek boli vybraté bankovky nominálnej hodnoty 10, 20 a 50 EUR. Bankovka hodnoty 10 EUR sa merania zúčastnila v oboch verziách, staršej prvej série a novej série Európa, pričom tento výber reprezentuje snahu o získanie dát, ktoré umožnia porovnať zmeny medzi staršími bankovkami a tými z novej série.

Bankovky 20 a 50 EUR boli zvolené z dôvodu najčastejšej snahy o falšovanie. Medzi vzorkami sa ešte objavila bankovka v hodnote 100 EUR, no nešlo o tak detailnú analýzu ako v predchádzajúcich prípadoch. Hlavným zámerom bolo obohatenie výskumu o spektrum ďalšej farby, teda v tomto prípade zelenej, ktorá sa na ostatných bankovkách nenachádza, na rozdiel od napríklad modrej, ktorú obsahuje každá bankovka v grafickom prvku vlajky európskej únie.

5.3.2 Vzorky napodobením

Ambícia rozšíriť komplexnosť výskumu viedla k pokusom o vytvorenie napodobeniny eurobankoviek. Je nutné podotknúť, že sa jednalo o jednostranné vyhotovenia určené iba pre účely výskumu a nikdy nebolo a nebude zámerom získané vzorky či výsledky uplatniť nezákonným spôsobom.

Pri vytváraní napodobeniny boli použité tri postupy, ktoré sa dajú realizovať pomocou bežne dostupnej techniky.

Postup 1 - Farebné kopírovanie

Pri prvom postupe bolo použité multifunkčné zariadenie i-Sensys MF8450 značky Canon, ktoré spája funkciu laserovej tlačiarne, kopírky, faxu a skeneru. Bankovky boli uložené na skenovaciu plochu a bola spustená jednoduchá funkcia kopírovania. Laserová tlač prebehla na klasický kancelársky papier. Pri tomto postupe bolo zistené, že uvedené zariadenie rozpoznalo, že sa jedná o bankovky a zámerne neposkytlo plnohodnotnú kópiu. Vo výsledku sa to prejavilo bielymi prúžkami skrz tlačенú plochu bankovky, ako je ukázané na *Obr. 26*.



Obr. 26 Kópia bankovky na zariadení Canon i-Sensys MF8450

Postup 2 - Skenovanie a PC úprava

Základnou myšlienkou druhého postupu bolo naskenovať bankovku a následne ju počítačovo upraviť do najvierohodnejšej podoby tak, aby po vytlačení pôsobila realisticky. Na skenovanie bolo opäť použité zariadenie od firmy Canon, tento raz model MP550. Bolo zistené, že aj tento model má zabudovanú vnútornú ochranu vo vzťahu k bankovkám, čo sa prejavilo zámerným neposkytnutím skenovaného obrazu.

Úspech bol nakoniec dosiahnutý na zariadení Photosmart C4180 od firmy HP. Tento model poskytol pomerne kvalitný obraz v rozlíšení 1200 DPI a nebol problém s uložením do počítača. Problém nastal až v momente otvorenia súboru v grafickom editore Photoshop CC 2014 2.2, software rozpoznal bankovku, odmietol otvorenie a akékoľvek editovanie.

Postup 3 - Fotografia a PC úprava

Tretí postup vznikol ako reakcia na postup 2. Išlo o pokus obísť odmietnutie skenovania a zároveň aj problém s grafickým spracovaním. Idea spočívala v odfotozovaní bankovky fotoaparátom, čím sa zabránilo prvému problému. Druhý problém vyriešilo foteenie na dvakrát, pričom prvá snímka obsahovala jednu polovicu bankovky a ďalšia druhú. Rovnaký software ako v minulom prípade tento raz nedokázal odhaliť bankovku a umožnil otvoriť obe polovice, ktoré boli následne spojené do jedného celku. Týmto spôsobom vytvorený obraz prešiel mnohými grafickými zmenami za účelom vytvoriť najrealistickejší výsledok. Bolo vytvorených niekoľko verzií, ktoré boli neskôr vytlačené. Na foteenie bol využitý fotoaparát Canon 40D a na finálnu tlač tlačiareň DEVELOP ineo+ 220.

Vyhodnotenie

Napriek veľkej snahe o vytvorenie realistických napodobení bankoviek sa dajú výsledky považovať iba za amatérske vyhotovenia, ktoré predstavujú minimálnu hrozbu a už na prvý pohľad či dotyk je jednoduché určiť, že sa nejedná o bankovky pravé. V prípade využitia bežne dostupných technických prostriedkov úsilie troskotá hlavne na absencii vhodnej náhrady za papier, z ktorého sú bankovky vyhotovené. Rozpoznanie pomocou hmatu patrí k jednému z prvých bežných spôsobov ako napodobeninu odhaliť. Takisto odlišná technológia samotnej tlače rýchlo prezradí originalitu bankovky, nehovoriac o ochranných prvkoch ako hologram, ktorý je tlačou nenapodobiteľný. Hoci výsledky nie sú príliš oslnivé, svoj účel pri výskume veľmi dobre splnili. Nielenže rozšírili výskum o ďalšie dáta, ktoré možno porovnávať s referenčnými hodnotami pravých bankoviek, ale takisto priniesli zaujímavé zistenia v oblasti bežne dostupnej techniky vo vzťahu k bankovkám.

5.3.3 Vzorok papiera

Počas prebiehajúceho výskumu vznikol záujem o jeho ďalšie rozšírenie, a to konkrétne o vzorky papiera. Inšpiráciou boli práve pokusy o tvorbu napodobeniny, kedy bolo tlačenie vyskúšané na rôzne typy papiera so zámerom dosiahnutia lepšieho výsledku. Z tohto dôvodu bolo medzi skúmané vzorky zaradených niekoľko rôznych typov bežne dostupného papiera, aby následne po nameraní dát mohlo byť vytvorené porovnanie spektra originálneho papiera so spektrami ostatných vzoriek. Vzorky papiera zapojené do výskumu:

- papier originálnych bankoviek,
- kancelársky papier,
- hladký papier,
- tvrdý papier,
- novinový papier,
- starý papier (kniha - rok 1950).

Spektrá papierov boli taktiež potrebné pre získanie čistého spektra atramentov, ktoré je možné získať po odčítaní spektra samotného papiera od nameraného spektra.

5.4 Postup merania

Merací prístroj bolo potreba zapnúť 30 minút vopred, aby sa dostal do správneho prevádzkového režimu. Keď bol prístroj pripravený nasledovala pred každou sériou meraní jeho kalibrácia, ktorá prebiehala na vzorke kremíku. Ďalší postup merania možno popísať v nasledujúcich krokoch:

1. Umiestnenie vzorky do prístroja pod mikroskop, výber vhodného objektívu (5x, 20x, 50x) a zameranie vybraného bodu, v ktorom prebehne meranie, s následným zaostrením.
2. Vytvorenie nového merania a nastavenie parametrov merania v programe WiRE 3.2. Medzi základné nastavované parametre patrí dĺžka expozičného času, počet akumulácií a výkon laseru. Takisto je možné konfigurovať typ laseru, optickej mriežky a detektoru. Pre všetky merania bol použitý diódový laser (785 nm).
3. Opätovná kontrola vzorky pomocou kamery, ktorá sníma skúmanú oblasť. Spustenie merania v režime STATIC SCAN (s centrom v 1000 cm^{-1}) => meranie prebieha pomerne rýchlo a je takmer ihneď možné určiť kvalitu nameraného spektra. V prípade dobrého výsledku možno pokračovať na ďalší krok, v prípade zlej kvality spektra (veľký šum, deformované píky) je potrebné vrátiť sa ku kroku 2, prípadne až ku kroku 1.
4. Použitie nastavení z predošlého merania, kontrola vzorky a spustenie merania v režime EXTENDED SCAN (rozsah $200 - 1700\text{ cm}^{-1}$) => meranie je výrazne dlhšie ako v predošlom prípade. Po prvej akumulácii je možné zistiť kvalitu spektra, v prípade dobrých výsledkov nasleduje dokončenie merania. Nekvalitné meranie je lepšie prerušiť a vyskúšať iné nastavenie.
5. Uloženie nameraných dát.
6. Výber ďalšieho bodu na vzorke alebo zmena vzorky a návrat ku kroku 1.

Uvedený postup sa systematicky opakuje. Realizácia všetkých krokov merania v závislosti od dĺžky merania (expozičný čas + počet akumulácií) a hľadanie ideálnych parametrov si vyžaduje svoj čas, no samotné získanie spektra tvorí niekoľko sekúnd či minút, čo je v porovnaní s niektorými ďalšími, napríklad chemickými metódami, stále pomerne rýchly proces. Taktiež je vyžadované veľké množstvo praxe a skúseností obsluhy, ktorá už má vypracovaný dobrý odhad na nastavenie prístroja, ktoré prinesie kvalitné a použiteľné výsledky.

Ďalším faktom, ktorý bezprostredne súvisí s daným postupom, no i s následným spracovaním dát je zavedenie jednotného systému ukladania a pomenovania nameraných údajov. Odporúča sa zaviesť jednotnú formu názvu, ktorý bude priamo charakterizovať meranie a uľahčí tak ďalšiu prácu. V prípade výskumu bankoviek bol zvolený systém s nasledovnou štruktúrou:

- označenie vzorky (nominálna hodnota bankovky),
- lokalizácia a farba atramentu,
- expozičný čas (v sekundách) - počet akumulácií - výkon laseru (v percentách),
- použitý objektív na mikroskope (5x, 20x, 50x).

Príklad: 50 vlajka modrá 10-2-10 5x

5.5 Spracovanie nameraných dát

Na spracovanie nameraných dát je možné použiť rovnaký software ako pre meranie, teda WiRE 3.2. Program medzi svojimi základnými funkciami obsahuje nástroje, ktoré sú nápomocné pri samotnom procese vyhodnocovania, porovnávania a úpravy spektier. Pri spracovaní nameraných spektier bankoviek boli najviac využívané funkcie:

Baseline subtraction

Táto úprava spôsobuje preloženie spektra, ktoré je deformované napríklad vplyvom fluorescencie, buď lineárnou alebo nelineárnou funkciou, podľa ktorej sa základná línia spektra prispôsobí.

Smooth

Funkcia Smooth umožňuje do istej miery redukovať šum, respektíve zlepšovať pomer signál - šum. Využíva sa Savitsky - Golay algoritmus. Túto funkciu je treba používať opatrne, pretože môže negatívne ovplyvniť spektrálne rozlíšenie.

Arithmetic functions on data

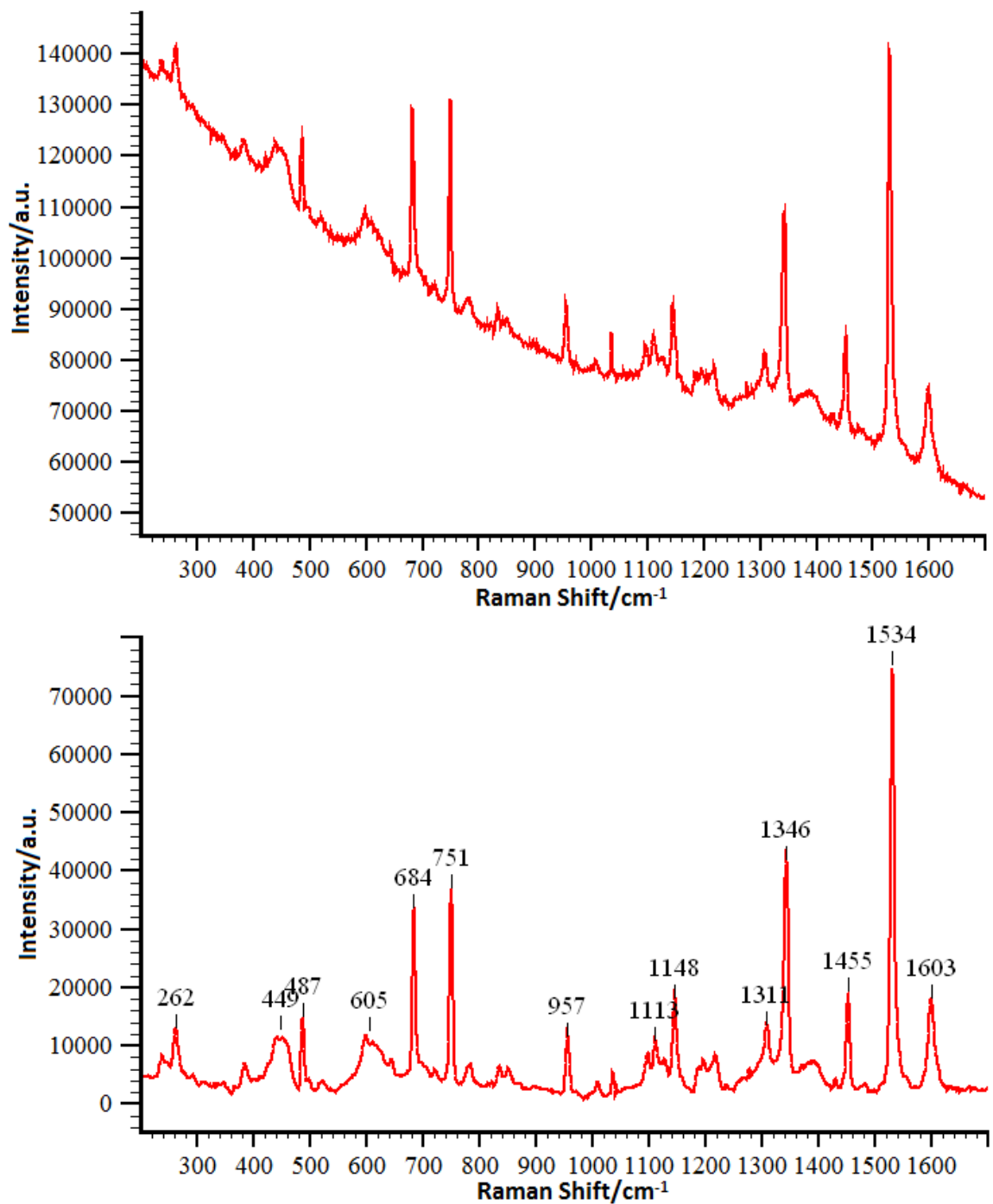
Ide o súbor funkcií, ktoré umožňujú prevádzať aritmetické operácie medzi spektrami, napríklad sčítavanie či odčítavanie. Z dôvodu dosiahnutia lepších výsledkov je možné taktiež využívať lineárnu kombináciu, pretože nie vždy sú údaje na osi Y porovnateľné.

Zapp

Funkcia, ktorá sa najčastejšie využíva pri odstránení kozmického alebo iného rušivého žiarenia, ktoré sa prejavilo v spektre. Dokáže vystrihnúť vybrané časti spektra. Aj túto funkciu treba používať opatrne a zvážiť, či v záujme kvality merania, meranie radšej nezopakovať.

Peak pick

Slúži na získanie informácií o píkoch v spektre. Vyznačí hlavné píky a pod spektrom v tabuľke vypíše hodnoty intenzity, plochy pod píkom, stredov a ďalšie údaje.



Obr. 27 Spektrum pred úpravou (hore) a po úprave (dole)

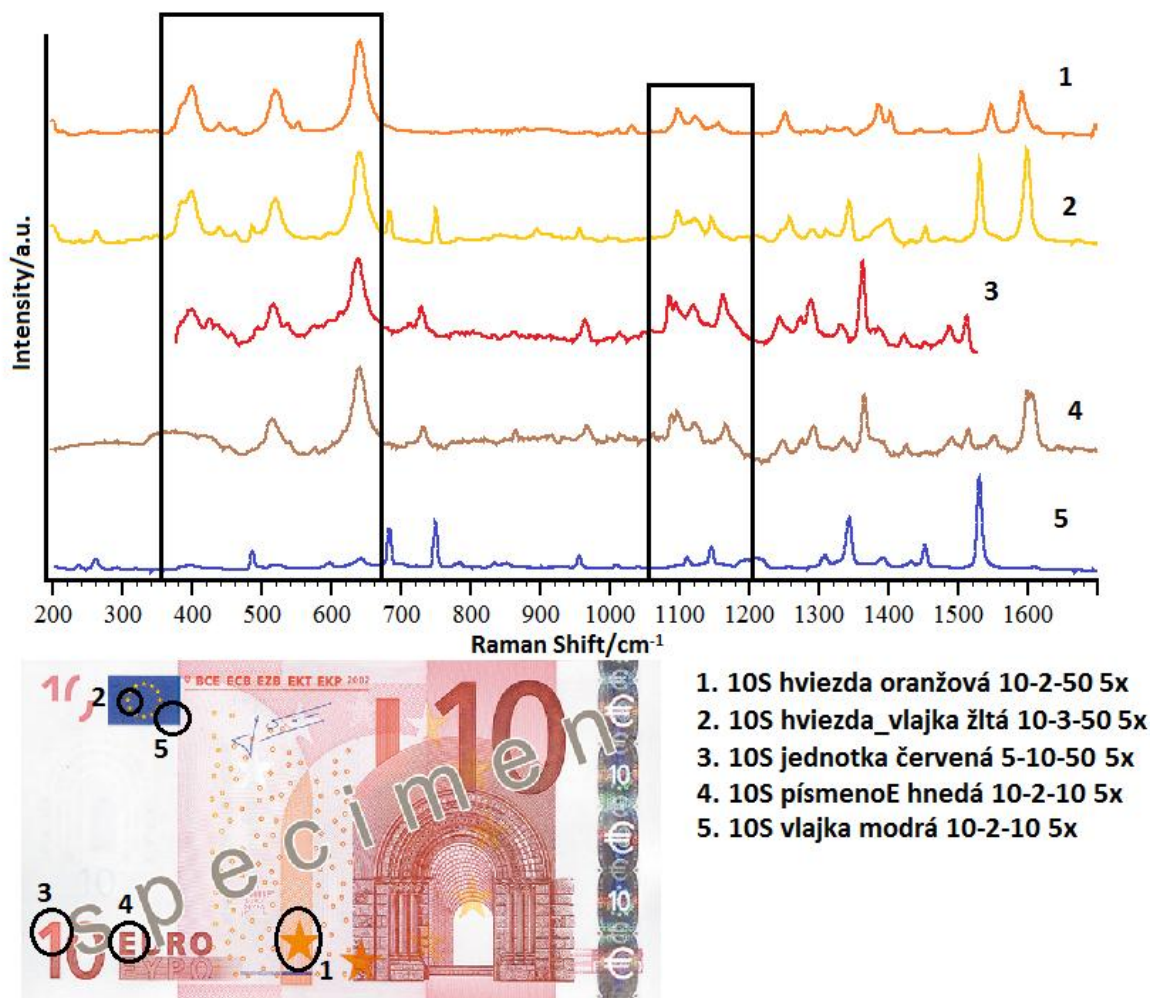
Na Obr. 27 je možné vidieť výsledok použitia funkcií Baseline subtraction, Smooth a Peak pick.

6 VÝSLEDKY MERANIA

6.1 Spektrá originálnych bankoviek

Hlavnou náplňou výskumu bolo nameranie spektrálnych dát vybraných originálnych eurobankoviek, pričom dôraz bol kladený na atramenty a papier, ktoré sa využívajú pri výrobe.

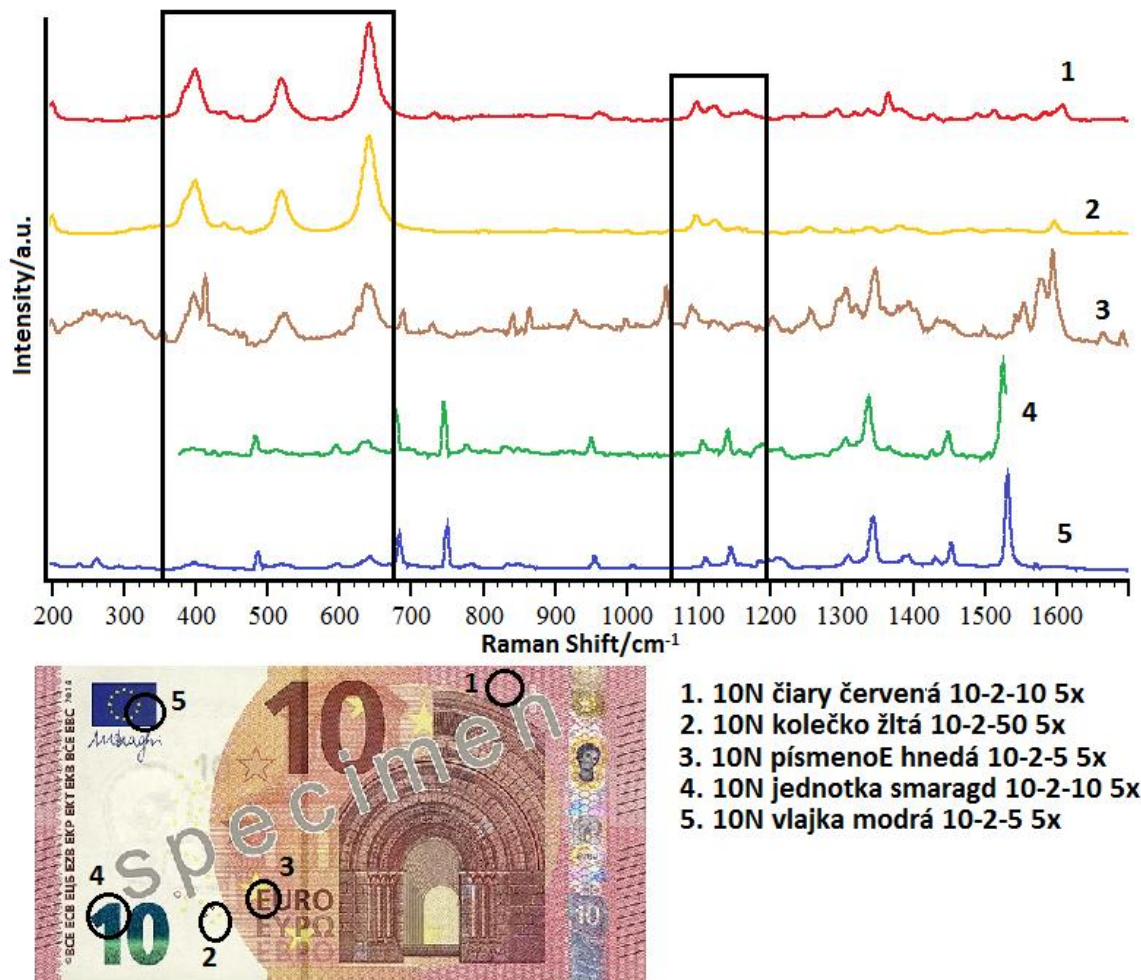
6.1.1 Bankovka 10 EUR - prvá séria



Obr. 28 Namerané spektrá - 10 EUR - prvá séria + lokalizácia

Na Obr. 28 sú v spektrách čiernymi rámečkami vyznačené oblasti ($350 - 680 \text{ cm}^{-1}$; $1050 - 1200 \text{ cm}^{-1}$), v ktorých sa najviac prejavil papier bankoviek, za zvyšnú časť je zodpovedný atrament. Taktiež je možné si všimnúť, že pri tmavomodrej farbe vlajky (spektrum číslo 5) sa papier prejavil iba minimálne.

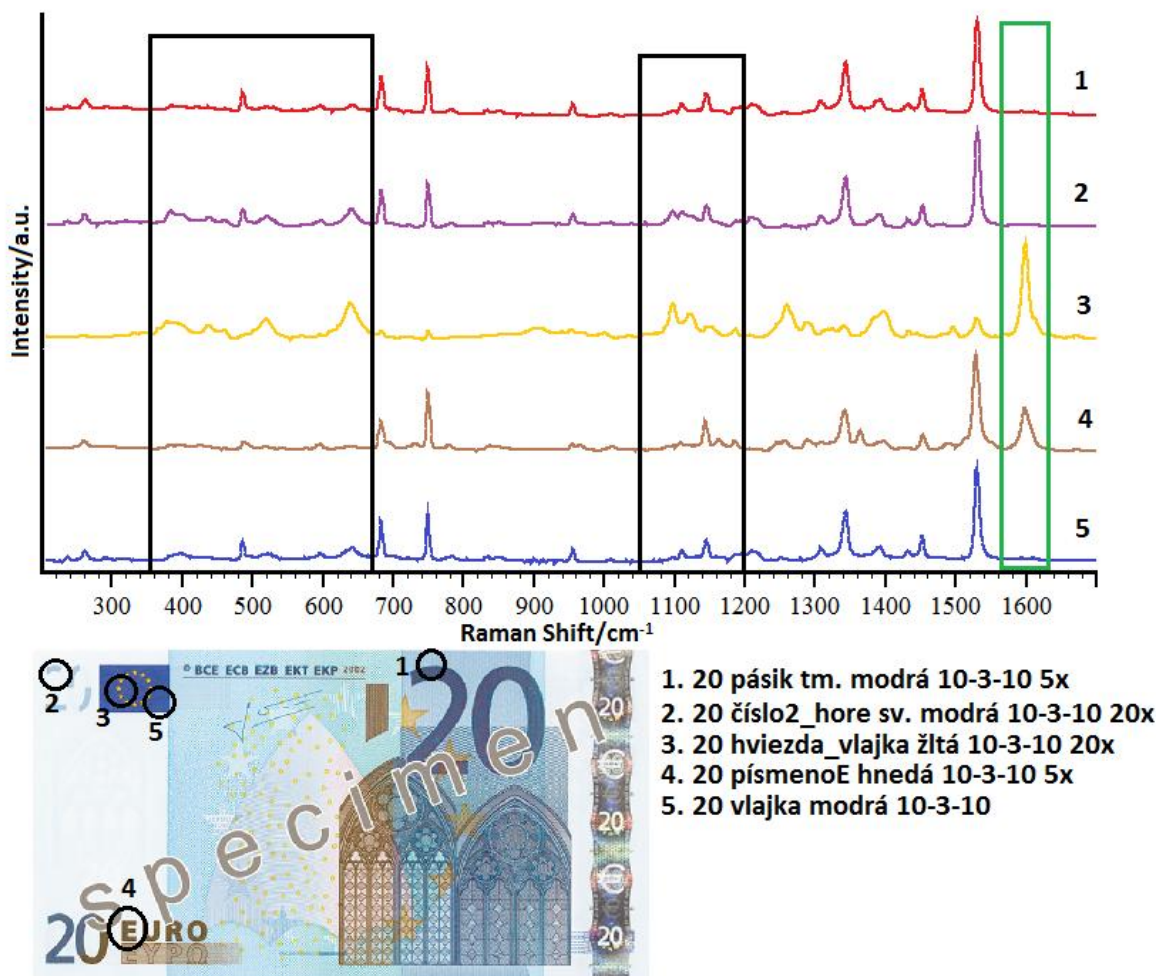
6.1.2 Bankovka 10 EUR - druhá séria



Obr. 29 Namerané spektrá - 10 EUR - druhá séria + lokalizácia

Na Obr. 29 je možné všimnúť si podobnosti so spektrami na Obr. 28. Spektrum modrej farby je takmer identické, zatiaľ čo spektrum červenej sa odlišuje, pričom väčšiu zhodu možno nájsť pri porovnaní s farbou oranžovou. Čierne rámečky vyjadrujú oblasti, v ktorých sa vyskytujú charakteristické píky papiera bankoviek. Zo spektra žltej farby nemožno jednoznačne určiť, či sa jedná o nejakým spôsobom chybné meranie alebo použitie atramentu iného chemického zloženia, keďže ide o novú sériu bankoviek. Podobný problém prináša aj spektrum hnedej farby, ktoré nesie podobné znaky ako v prípade bankovky prvej série, no je možné si všimnúť jemných odlišností.

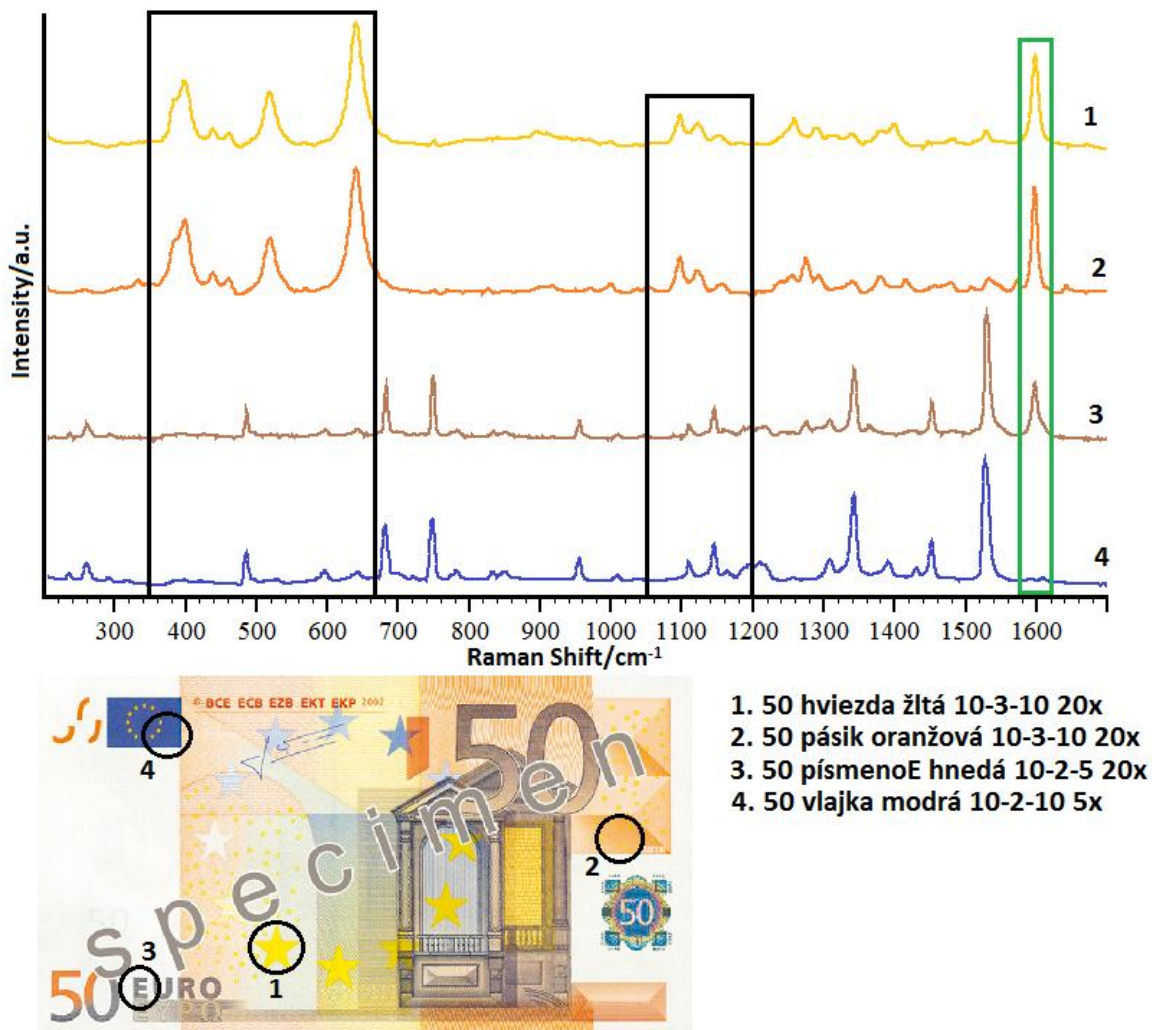
6.1.3 Bankovka 20 EUR



Obr. 30 Namerané spektrá - 20 EUR + lokalizácia

Bankovka nominálnej hodnoty 20 EUR je vyhotovená prevažne v odtieni modrej. Hoci boli namerané tri odtiene modrej (spektrum 1, 2, 5) na Obr. 30 je jasne vidieť, že spektrá sú totožné. Počas merania bolo zistené že sa skutočne jedná o jednu farbu a výsledný efekt viacerých odtieňov je spôsobený hustotou rozloženia a vzorkovaním jednotlivých čiar. Taktiež sa potvrdilo, že v spektre modrej, a v tomto prípade aj hnedej farby atramentu sa charakteristické píky papiera prejavili len minimálne, a to hlavne v prvej vyznačenej oblasti ($350 - 680 \text{ cm}^{-1}$). Zaujímavá je oblasť v okolí 1600 cm^{-1} , ktorá je na Obr. 30 vyznačená zeleným rámcikom. Práve pík s centrom v tomto bode, je najvýraznejším rozdielom medzi nameraným spektrom modrej a hnedej farby atramentu (v danom spektrálnom rozsahu). Spektrum žltého atramentu spomínaný pík obsahuje tiež.

6.1.4 Bankovka 50 EUR



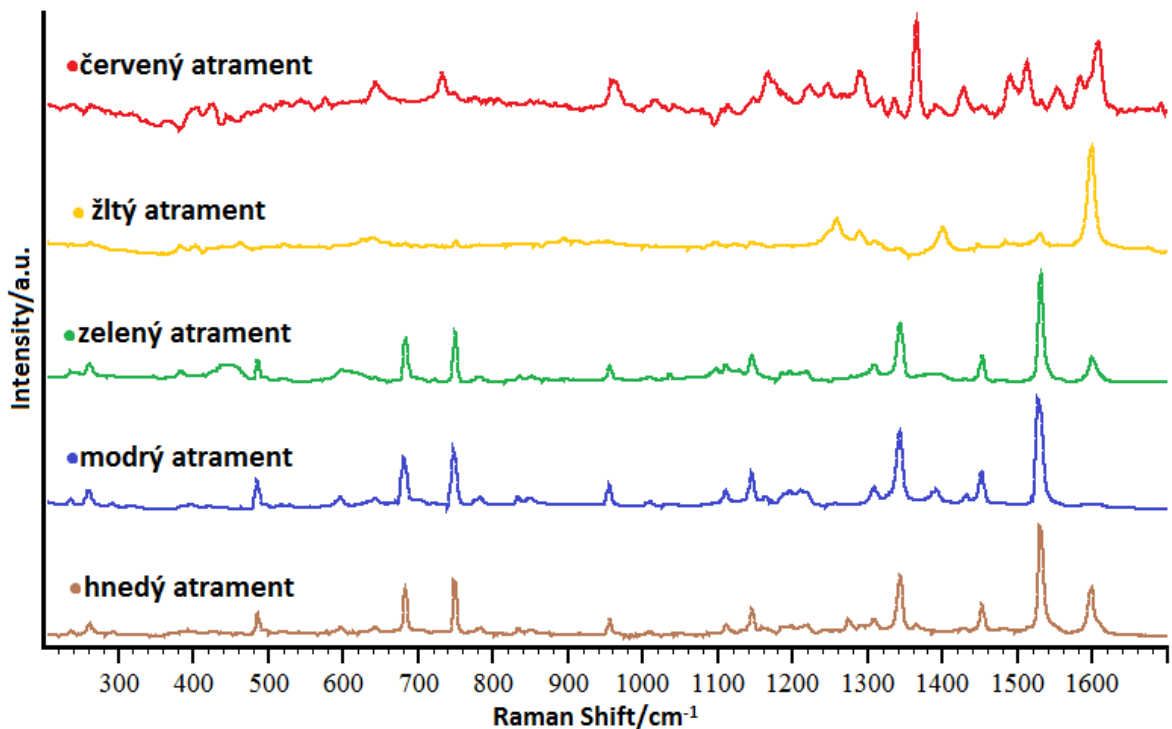
Obr. 31 Namerané spektrá - 50 EUR + lokalizácia

Spektrálne dáta namerané na bankovke nominálnej hodnoty 50 EUR priniesli veľmi podobné výsledky ako v predošlých prípadoch. Zaujímavým faktom je veľká podobnosť spektier žltého a oranžového atramentu. Rovnaké výsledky priniesli oblasti, v ktorých sa najviac prejavuje papier bankoviek ($350 - 680 \text{ cm}^{-1}$; $1050 - 1200 \text{ cm}^{-1}$) a ako v prípade 20 EUR bankovky, prítomnosť píku s centrom v pozícii 1600 cm^{-1} .

6.1.5 Spektrá originálnych atramentov

Keďže namerané spektrálne dáta odrážajú okrem samotného atramentu aj prítomnosť papiera, pri spracovaní vznikla snaha z týchto spektier odčítať spektrum papiera, a takýmto spôsobom získať čisté spektrá atramentov rôznych farieb.

Problém nastal pri snahe odčítať spektrum papiera od tmavších farieb (modrá, hnedá, zelená), v ktorých sa papier prejavil len minimálne. V týchto prípadoch použitie aritmetických funkcií na dané spektrálne dáta prinieslo netransparentné výsledky, a preto pri uvedených spektrách bolo od pokusov o odčítanie upustené. Odčítanie z tohto dôvodu prebehlo iba pri spektrách žltého a červeného atramentu, v ktorých sa prítomnosť papiera dostatočne prejavila.



Obr. 32 Namerané spektrá originálnych atramentov

6.2 Spektrá napodobení bankoviek

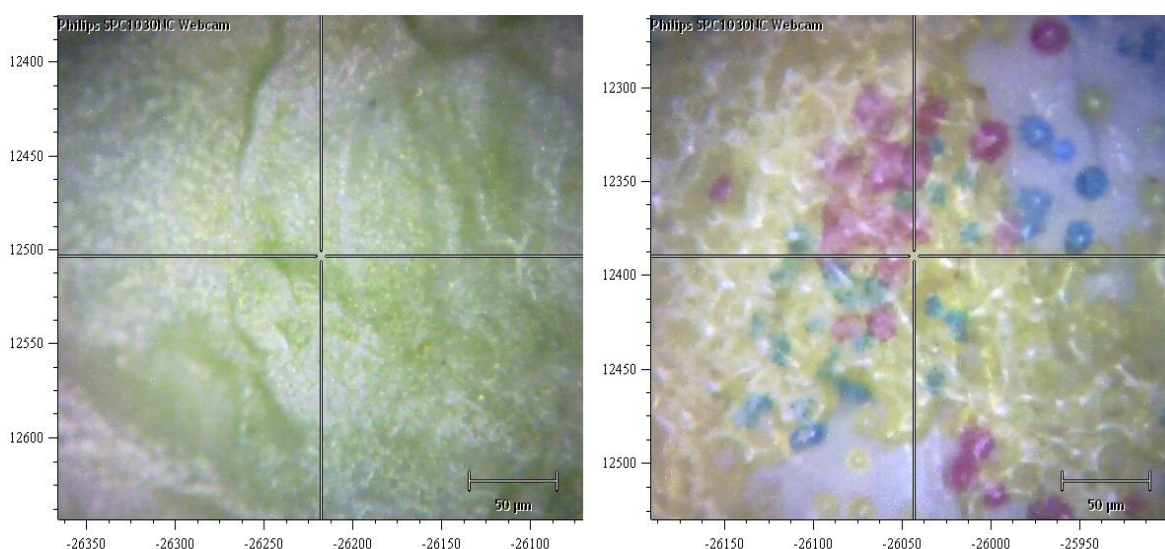
V priebehu výskumu bol pri meraní zistený fakt, ktorý vyplýva z technológie tlače bežne dostupnou technikou. Vyhotovenia napodobení boli vytvorené na tlačiarňach, ktoré pracujú v režime CMYK. Tento režim využíva 4 základné farby:

- Cyan - azúrová,
- Magenta - purpurová,
- Yellow - žltá,
- Key - čierna.[15]

Vhodnou kombináciou a rozložením farebných bodov, pozostávajúcich z uvedených farieb, pri tlači, je možné dosiahnuť takmer celé spektrum farieb. Obmedzenia sa líšia

v závislosti od použitého zariadenia. Na dosiahnutie akejkoľvek farby by teoreticky mala postačovať kombinácia prvých troch základných farieb, teda CMY, no z ekonomického hľadiska je pridaná čierna, pretože jej vytvorenie vyžaduje veľké množstvo ostatných farieb, navyše čierna tlač patrí medzi najčastejšiu.[15]

Rozdiel medzi pravou bankovkou a jej vytvorenou napodobeninou v použitej tlači je zjavný už na prvý pohľad pod mikroskopom pri dostatočnom zväčšení. Na Obr. 33 je dvojica fotografií získaná pri meraní. Vľavo sa nachádza originálna 100 EUR bankovka, zatiaľ čo vpravo jej napodobenina. Mikroskop je pri 50x násobnom zväčšení zameraný na rovnakú oblasť.



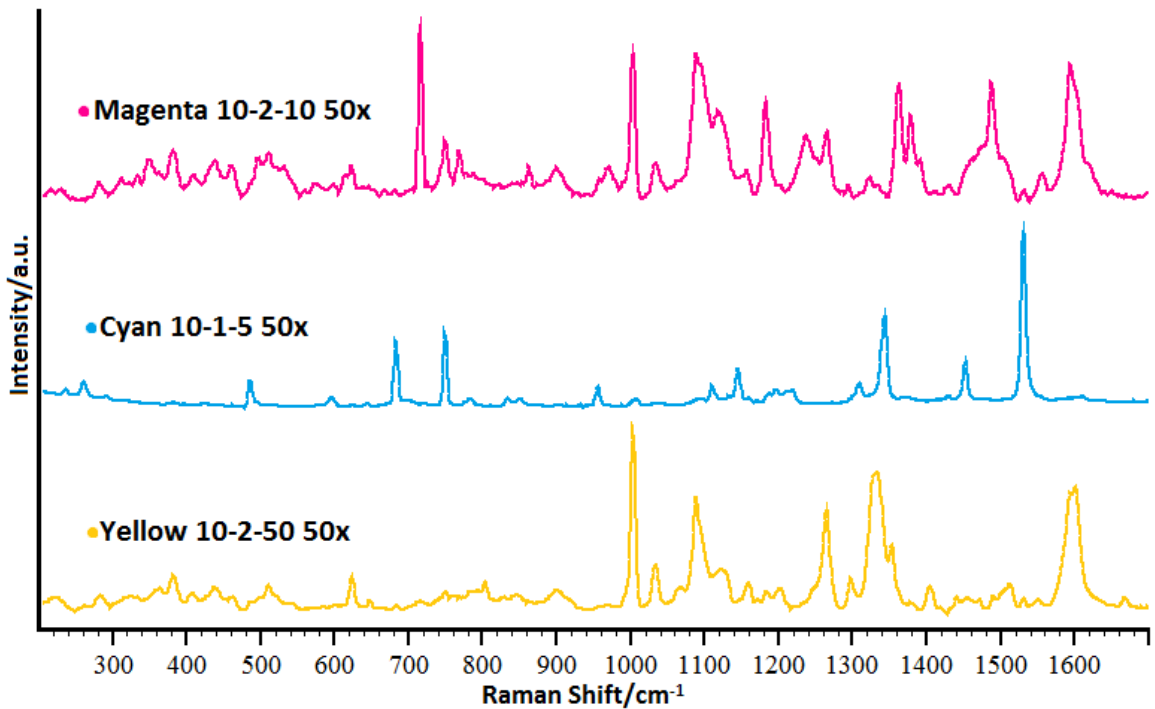
Obr. 33 Rozdiel tlače - pravá bankovka vs. napodobenina (zelená farba)

Práve spomínaný fakt vyvolal záujem o získanie spektrálnych dát jednotlivých farebných atramentov CMY, ktoré boli použité pri vytvorení napodobenín. Meranie uvedených špecifických atramentov bolo možné len pri 50x násobnom zväčšení a veľmi presnom zameraní konkrétneho bodu s citlivým zaostrením.

Na vzorkách napodobenín ďalej prebehli merania v miestach výskytu hnedej a modrej farby, ktoré sú síce vytvorené kombináciou CMY farieb, no pri 5x násobnom zväčšení je tento fakt nerozlišiteľný a dáta sa získavajú z väčšej plochy, čo taktiež poskytuje výsledky, ktoré možno ďalej vyhodnotiť.

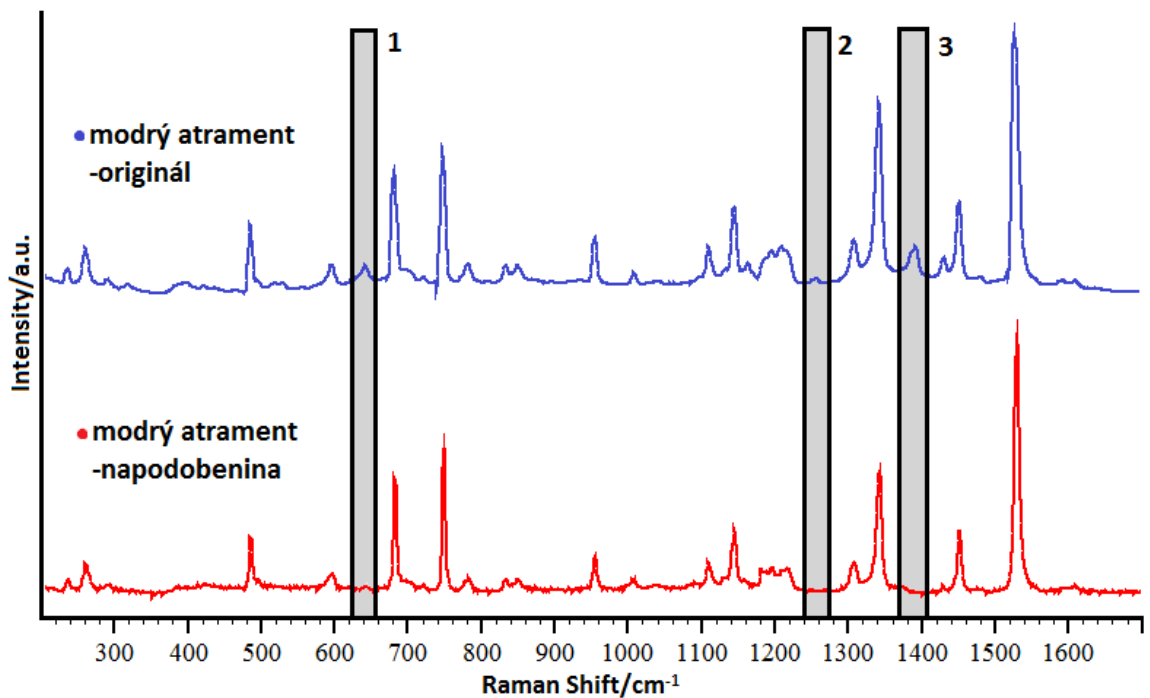
Namerané dáta poslúžili nielen na vytvorenie spektier uvedených atramentov, ale takisto na vytvorenie porovnania spektier atramentov pravých bankoviek a napodobenín, z čoho je možné určiť do akej miery sa atramenty odlišujú a či je v konečnom dôsledku možné

na základe porovnania spektier atramentov, získaných pomocou metódy Ramanovej spektroskopie, spoľahlivo stanoviť pravosť bankovky.



Obr. 34 Namerané spektrá atramentov napodobenín - farby CMY

6.2.1 Porovnanie atramentov modrej farby



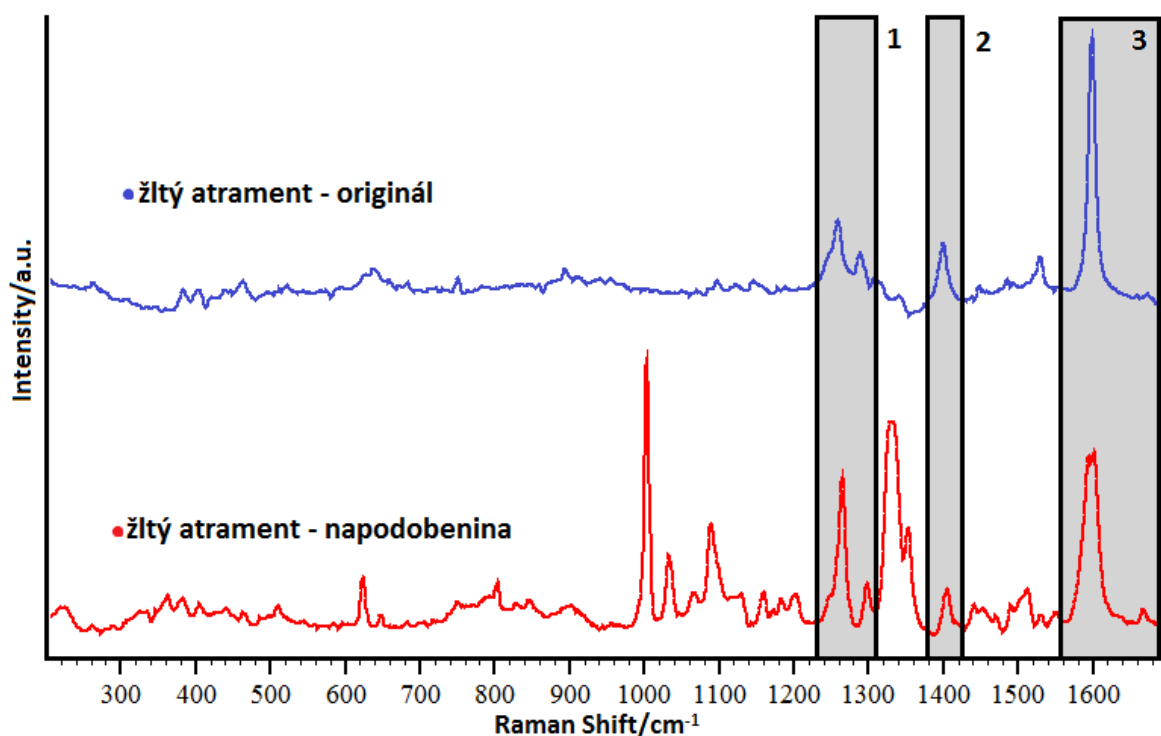
Obr. 35 Namerané spektrá atramentov modrej farby - porovnanie

Na Obr. 35, ktorý zobrazuje porovnanie spektier modrého atramentu pravej bankovky a napodobeniny, je možné si všimnúť, že spektrá sú veľmi podobné. Čiernymi rámičkami sú vyznačené oblasti, v ktorých sa spektrá najviac odlišujú, aj keď v niektorých prípadoch ide o rozdiely naozaj minimálne. Ide o oblasti:

- (1) $620 - 660 \text{ cm}^{-1}$,
- (2) $1240 - 1270 \text{ cm}^{-1}$,
- (3) $1370 - 1410 \text{ cm}^{-1}$.

Uvedené rozdiely môžu byť spôsobené mierne odlišným chemickým zložením atramentu, napríklad použitie iných spojovacích zložiek, konzervačných prostriedkov, rozpúšťadiel, prípadne modrého pigmentu.

6.2.2 Porovnanie atramentov žltej farby



Obr. 36 Namerané spektrá atramentov žltej farby - porovnanie

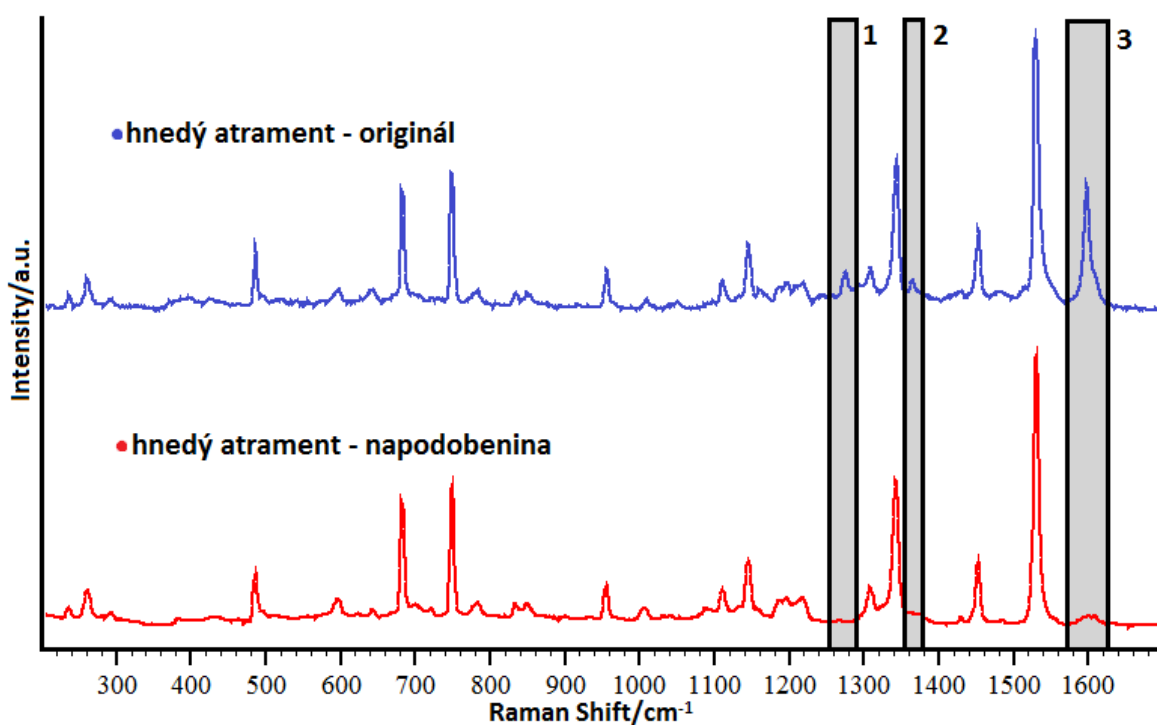
Na Obr. 36, ktorý zobrazuje porovnanie spektier žltého atramentu pravej bankovky a napodobeniny, je možné si všimnúť, že v tomto prípade sa spektrá zhodujú podstatne menej. Z tohto dôvodu bol zvolený opačný prístup, kedy je pozornosť zameraná na oblasti, v ktorých sa vyskytuje zhoda polohy významných pík, hoci s rozdielnou intenzitou.

Oblasti sú vyznačené čiernymi očíslovanými rámikmi, konkrétne:

- (1) 1230 - 1310 cm^{-1} ,
- (2) 1380 - 1430 cm^{-1} ,
- (3) 1560 - 1690 cm^{-1} .

Pomerne značná odlišnosť spektier, ktoré bezprostredne súvisia s chemickým zložením atramentu, môže byť aj v tomto prípade spôsobená použitím iných spojovacích zložiek, konzervačných prostriedkov či rozpúšťadiel, no nemožno vylúčiť ani použitie rozdielnej zložky atramentu zodpovednú za samotnú farbu (farbivá, pigmenty).

6.2.3 Porovnanie atramentov hnedej farby



Obr. 37 Namerané spektrá atramentov hnedej farby - porovnanie

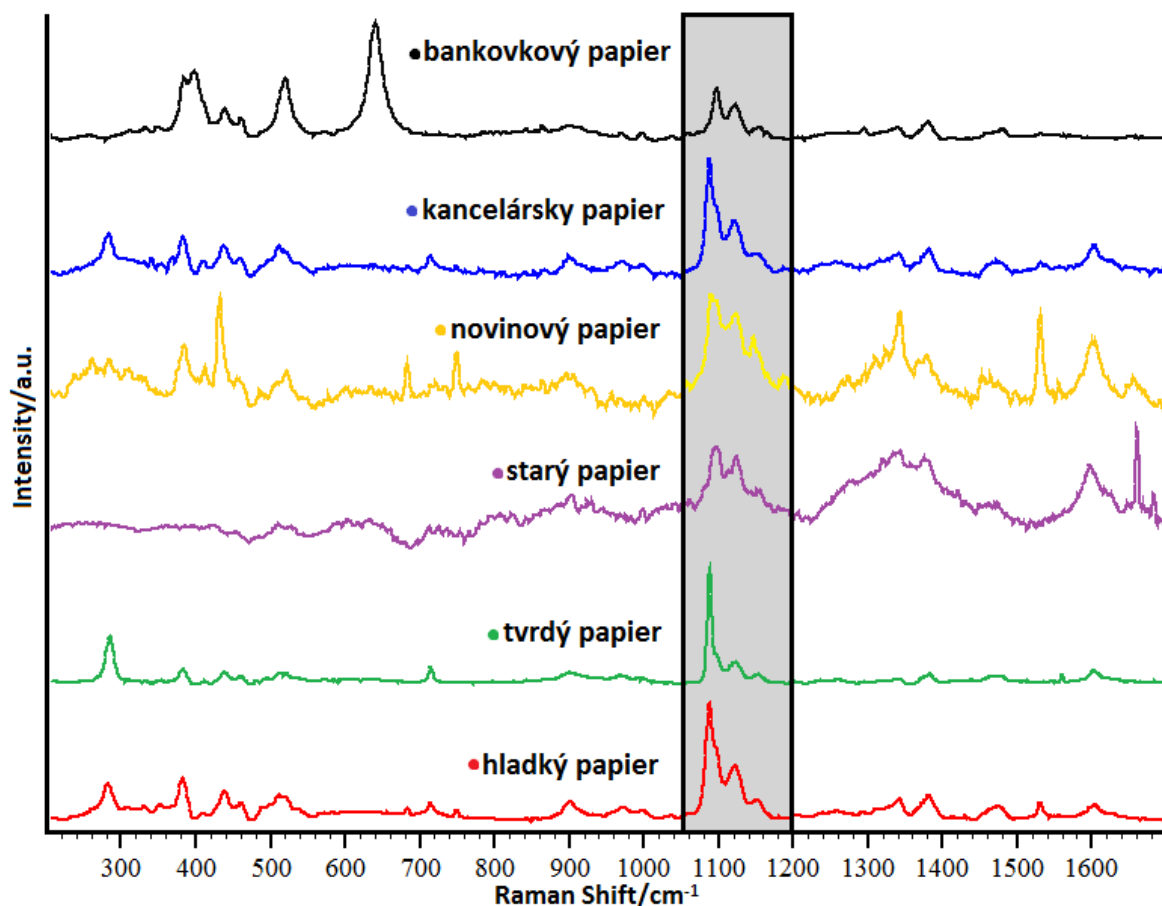
V prípade spektier hnedeého atramentu, ktoré sú vyobrazené na Obr. 37, je výsledok podobný ako pri atramente modrej farby. Spektrá originálneho atramentu a jeho napodobeniny sa odlišujú len málo. Tieto odlišnosti sú vyjadrené vyznačením oblastí čiernymi rámikmi:

- (1) 1250 - 1290 cm^{-1} ,
- (2) 1355 - 1380 cm^{-1} ,
- (3) 1570 - 1630 cm^{-1} .

Zatiaľ čo v oblasti 1 a 2 možno pozorovať len nepatrné zmeny, v oblasti 3 je zmena pomerne výrazná. Originálny atrament obsahuje charakteristický pík s centrom v 1600 cm^{-1} , no v spektre hnedého atramentu napodobeniny sa spomínaný pík nenachádza.

Aj v tomto prípade sa dá predpokladať, že porovnávané atramenty sa chemickým zložením líšia len minimálne, rovnako ako v prvom porovnaní modrých atramentov.

6.3 Spektrá papiera



Obr. 38 Namerané spektrá rôznych vzoriek papiera

Zobrazenie nameraných spektier vzoriek papiera sa nachádza na Obr. 38, kde si možno všimnúť vyznačenú oblasť v čiernom ráme ($1050 - 1200\text{ cm}^{-1}$). Vo všetkých nameraných spektrách sa v danej oblasti prejavili podobné charakteristiky. V ostatných oblastiach sa už podobné zhody hľadajú len ťažko, aspoň čo sa týka meraného rozsahu. Taktiež je vidieť, že spektrum papiera bankoviek je značne odlišné od ostatných vzoriek a nie je problém ho identifikovať. Pomerne veľkú zhodu možno nájsť v spektrách kancelárskeho, hladkého a tvrdého papiera, čo je očakávaný výsledok. Horšiu kvalitu výsledkov priniesli vzorky

novinového papiera, v ktorom sa prejavila zvýšená hladina šumu, a takisto vzorka starého papiera, ktorá poskytla v meranom rozsahu menej výrazné spektrum.

Na spektrách *Obr. 38* je pekne vidieť ako sa prejavlia zmeny chemického zloženia vo výsledkoch. Papier bankoviek na báze bavlny sa zjavne odlišuje od kancelárskeho, hladkého a tvrdého papiera, ktoré sú na báze celulózy, no tie sú si navzájom podobné. Osobitnú skupinu tvorí novinový papier, ktorý je vyhotovený z recyklátu. Zaujímavým postrehom je podobnosť spektra recyklovaného novinového papiera so spektrom starého papiera približne od oblasti 800 cm^{-1} až po koniec meraného rozsahu. Ďalším zaujímavým postrehom je prítomnosť pík v pozíciách okolo 395 cm^{-1} , 515 cm^{-1} a 638 cm^{-1} . Tieto píky sa vyskytujú v rôznej intenzite vo vzorkách papiera bankoviek, no i v ostatných vzorkách s výnimkou starého papiera. Ide o prejav spektra oxidu titaničitého (TiO_2), známeho aj pod názvom titánová beloba. Používa sa ako pigment.

6.4 Ostatné merania

Pri výskume boli uskutočnené aj ďalšie merania, u ktorých bolo predpokladané, že meranie neprinesie kvalitné výsledky. Išlo predovšetkým o oblasť hologramu alebo opticky premenlivej farby. V konečnom dôsledku možno konštatovať, že sa predpoklady naplnili. Výsledné spektrá sa vyznačovali veľkým zašumením a v podstate neobsahovali žiadne píky, z ktorých by sa dala vyčítať bližšia charakteristika. Za hlavnú príčinu takýchto výsledkov sa dá pravdepodobne považovať materiál, z ktorého je hologram vyhotovený, teda kov, prípadne prítomnosť látok obsahujúcich kov v atramente opticky premenlivej farby.

7 ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV A POUŽITEĽNOSTI METÓDY

Uskutočnené merania priniesli rôzne výsledky, pričom základnou snahou bolo vybrať z nameraných dát, také ktoré sú kvalitatívne na vyššej úrovni a s tými ďalej pracovať. Cieľom bolo vytvorenie prehľadných grafov, v ktorých budú vyobrazené namerané spektrá vybraných bodov na bankovke, čomu predchádzala pomerne časovo náročná úprava nielen samotných dát, ale aj následného grafického spracovania. Z upravených dát mohli byť následne vytvorené porovnania, ktoré sa snažia graficky zvýrazniť odlišnosti, respektíve podobnosti medzi spektrami originálnych atramentov a napodobeninami.

Samotné výsledky vyznievajú uspokojivo a môžu mať reálny význam a uplatnenie v praxi. Prinášajú súbor referenčných hodnôt, s ktorými možno ďalej pracovať pri riešení problematiky falšovania eurobankoviek. Hoci výsledky nepriniesli odpovede na presné konkrétne chemické zloženie papiera bankoviek či jednotlivých farebných atramentov, čo ani nebolo cieľom, pretože ich zloženie podlieha utajeniu, no na ich základe je možné vybrať špecifické oblasti v spektre, ktoré budú kľúčové pri ich identifikácii.

Výskum sa venoval prevažne atramentom modrej, hnedej a žltej farby. Tento výber opodstatnil fakt, že uvedené farby sa nachádzajú na každej z bankoviek a s veľkou pravdepodobnosťou by bolo rovnaké hodnoty možné namerať aj na ostatných bankovkách, ktoré sa výskumu nezúčastnili. Dáta Ramanových spektier boli namerané nielen zo vzoriek originálnych bankoviek, ale aj z napodobení, ktoré boli vyrobené za použitia bežne dostupnej techniky. Analýza výsledkov priniesla zistenie, že atramenty napodobení modrej a hnedej farby sú veľmi podobné originálnym atramentom, čo sa týka chemického zloženia, preto nie je možné na ich základe predpokladať stopercentne správne stanovenie pravosti. Výsledky, týkajúce sa atramentu žltej farby, pôsobia pri stanovení pravosti spoľahlivejšie, pretože namerané spektrá sú značne odlišné. Tento poznatok vedie k myšlienke, že práve spektrum atramentu žltej farby by sa mohlo stať rozhodujúcim faktorom určenia pravosti bankovky a s využitím takéhoto tvrdenia by bolo možné zostrojiť napríklad jednoúčelové prístroje, ktoré by pracovali na princípe metódy Ramanovej spektroskopie. Ich hlavnou funkciou by bolo získanie spektrálnych dát zo vzorky z oblasti výskytu žltého atramentu (napríklad žlté hviezdy na vlajke EÚ) s následným spracovaním a porovnaním dát s referenčnými hodnotami originálnej bankovky, pričom spektrum žltého atramentu by sa považovalo za primárny rozlišovací faktor, ako sekundárny rozlišovací faktor by mohli poslúžiť spektrá atramentov ďalších

fariieb, či už tých, ktoré sa nachádzajú na všetkých bankovkách alebo tých, ktoré sú špecifické pre rôzne nominálne hodnoty bankoviek, prípadne ich kombinácia. Jednoúčelové prístroje by sa vyznačovali veľkou rýchlosťou a spoľahlivosťou, ktorá by vychádzala zo samotného chemického zloženia použitých materiálov, čo sa dá považovať za bezkonkurenčne najkomplexnejší spôsob určenia pravosti. Na oklamanie takéhoto prístroja by bolo potrebné získanie presne rovnakých materiálov ako využívajú tlačiarne, ktoré bankovky vyrábajú.

Medzi ďalšie ciele výskumu patrilo odhalenie odlišností medzi materiálmi použitými na výrobu bankoviek prvej série a druhej série Európa. Z nameraných údajov nemožno jednoznačne usúdiť, že na výrobu druhej série bankoviek boli použité rovnaké atramenty ako na výrobu série prvej. Iba v prípade modrého atramentu možno tvrdiť, že sa namerané spektrá zhodujú. Na základe nameraných spektier atramentov žltej, hnedej či červenej sa nedá s istotou povedať jednoznačný záver. Spektrá papiera bankoviek vyšli zhodne, čo je pomerne zaujímavé zistenie, keďže Európska centrálna banka tvrdí, že nové bankovky majú byť údajne mechanicky odolnejšie, aby dlhšie zotrvali v obehu. V prípade, že je toto tvrdenie pravdivé, z výskumu sa dá dedukovať, že zvýšená odolnosť musí byť zaručená zväčšenou hrúbkou papiera alebo veľmi malou zmenou v chemickom zložení, ktorá sa v spektre neprejavila výraznejšie, prípadne kombináciou uvedeného.

Medzi výsledky takisto možno zaradiť aj namerané údaje atramentu zelenej a oranžovej farby. Ich cieľom bolo hlavne rozšíriť výskum o ďalšie údaje, ktoré by ale niekedy v budúcnosti mohli nájsť svoje uplatnenie napríklad pri tvorbe databázy spektier, ktoré súvisia s problematikou bankoviek. Podobným prípadom sú spektrá farieb CMY, ktoré využíva bežne dostupná technika tlače.

Poslednú skupinou výsledkov tvoria spektrá vzoriek papiera, ktoré jednoznačne poukazujú na odlišnosť papiera bankoviek od rôznych typov papiera, s ktorými sa možno denne stretnúť. V tomto prípade išlo o očakávaný výsledok, pretože papier bankoviek má veľmi dištinktívnu charakteristiku už len z hľadiska zmyslového overenia, takže pravdepodobnosť odlišnosti spektra sa zdala byť vysoká. Práve táto skutočnosť je prvou prekážkou pre potenciálneho falšovateľa, ktorého snaha o vyrobenie falzifikátu stroskotá na absencii vhodnej náhrady za originálny papier bankoviek.

Po uskutočnení potrebných meraní, spracovania a analýzy dát je možné usúdiť, že metóda Ramanovej spektroskopie je vhodná na proces vyhodnocovania pravosti eurobankoviek,

pričom ťažiskovým ochranným prvkom, na ktorý sa metóda sústreďí je použitý atrament a papier. Aplikácia metódy na tieto prvky poskytuje pomerne spoľahlivé údaje. Očakávaným problémom pre túto metódu je hologram ako jeden z ochranných prvkov umiestnených na eurobankovkách, preto sa aplikácia metódy na hologram neodporúča. Základnou výhodou metódy je nedeštruktívnosť, ktorá je pri overovaní pravosti podmienkou. Rovnako fakt, že vzorky je možné skúmať bez akejkoľvek prípravy, sa javí ako vhodný. Kladne možno hodnotiť aj rýchlosť analýzy.

7.1 Rozšírenie výskumu ochranných prvkov eurobankoviek

Hoci výskum priniesol uspokojivé výsledky, udialo sa tak v obmedzenom rozsahu a jeho potenciál nebol plne vyčerpaný. Vo výskume je možné pokračovať ďalej a vytvoriť ucelený komplexný súbor analytických dát, ktoré poslúžia ako spoľahlivý nástroj v problematike falšovania peňazí. Z tohto dôvodu bol vytvorený návrh rozšírenia výskumu, ktorý by potenciál výskumu naplnil a vyčerpал jeho rezervy.

Návrh rozšírenia výskumu:

- uplatniť výskum na všetky nominálne hodnoty eurobankoviek (5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 EUR) prvej i druhej série,
- zvýšiť počet meraných oblastí, pridať druhú stranu bankoviek,
- porovnať výsledky v závislosti od:
 - tlačiarne, ktorá bankovku vyrobila (podľa sériového čísla),
 - miery opotrebenia bankovky,
 - vplyvu vypratania bankovky v praciej práčke,
- zaradiť medzi merané vzorky profesionálne falzifikáty na vysokej úrovni,
- fotograficky zachytiť každú meranú oblasť,
- vytvoriť databázu spektier z nameraných údajov.

ZÁVER

V práci sa podarilo dokázať, že Ramanova spektroskopia je vhodnou metódou pri posudzovaní pravosti eurobankoviek a určite jej zaslúžene patrí miesto pri riešení problematiky falšovania bankoviek. Hoci bol výskum zameraný iba na eurobankovky, na základe výsledkov je možné predpokladať, že aplikácia metódy je vhodná aj na bankovky, ktoré sú využívané v ostatných zemiach mimo eurozónu, prípadne iné formy cenín, kolkov alebo známok. Za hlavné výhody, ktoré predurčujú Ramanovu spektroskopiu k získaniu dominantnej pozície medzi bežne využívanými metódami overenia pravosti možno považovať rýchlosť, nedeštruktívnosť, neinvazívnosť, no hlavne spoľahlivosť. Ako nevýhodu je potreba uviesť cenu inštrumentácie. Za odpoveď na vysokú cenu by sa dalo považovať zostrojenie jednoučelových prístrojov, ktoré by boli priamo prispôbené iba na zisťovanie pravosti bankoviek, čo znamená, že by obsahovali iba nevyhnutne potrebné minimum technických súčastí. Z dlhodobého hľadiska cenu znižuje aj technologický pokrok. Vznikajú postupy ako niektoré súčiastky vyrábať lacnejšie, prípadne ich nahrádzať alternatívami, ktoré spĺňajú funkčné požiadavky. Každopádne sa dá očakávať, že vývoj v oblasti analytickej techniky, nielen Ramanovej spektroskopie, bude pokračovať rýchlym tempom.

Za súčasných podmienok sa nedá predpokladať, že využitie metódy Ramanovej spektroskopie, pre účely stanovenia pravosti bankoviek, prenikne do bežnej komerčnej sféry v nasledujúcich niekoľkých rokoch. Hlavným dôvodom je spomínaná cena a presvedčenie, že falzifikáty zatiaľ nedosahujú tak vysokej úrovne, aby ich v súčasnosti používané zariadenia nedokázali odhaliť. Z tohto dôvodu metódu zatiaľ uplatnia skôr banky alebo spracovatelia peňazí. Zaujímavý je aj pohľad z hľadiska následného vyšetrovania pôvodu falšovaných bankoviek, kedy by sa Ramanova spektroskopia dala uplatniť pri dokazovaní, na základe ktorého by bolo možné priradiť konkrétne falzifikáty k odhaleným miestam ilegálnej výroby bankoviek, respektíve vylúčiť, že falzifikáty vznikli na danom mieste.

Spektroskopické metódy v dnešnej dobe možno považovať za vrchol analytických nástrojov a Ramanova spektroskopia je ich neodmysliteľnou súčasťou. Svojimi vlastnosťami a uplatnením si pýta pozornosť v rôznych oblastiach vedy, výskumu či priemyslu, za ktorú sa odvdáča poskytnutím hodnotných informácií, a preukazuje tak svoje právoplatné miesto v oblasti modernej analýzy.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] ECB: Bankovky. *Európska centrálna banka* [online]. 2015 [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: <https://www.ecb.europa.eu/euro/banknotes/html/index.sk.html>
- [2] Training - Knowledge of Banknotes. *Banco de Portugal Eurosystem* [online]. © 2009- [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: http://www.bportugal.pt/en-US/NotaseMoedas/FormacaoemNotaseMoedas/Documents/ES210euros/Knowledge_%20Banknotes_start.html
- [3] MCCORMICK, John. *European Union politics*. England: Palgrave Mackmillan, 2011. ISBN 978-0-230-557706-0.
- [4] Interaktivní prezentace ochranných prvků eurobankovek [online]. 2014. Dostupné z: https://www.ecb.europa.eu/euro/html/security_features.cs.html
- [5] Magnetic Sensor for Security Feature Detection of Second Euro-Series. *Measurement Specialities* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: http://www.meas-spec.com/news/t_threecolumn.aspx?id=10348
- [6] CHALMERS, John M, Howell G EDWARDS a Michael D HARGREAVES. *Infrared and Raman spectroscopy in forensic science*. 1st pub. Chichester, West Sussex, UK: Wiley, 2012, 618 s., [34] s. obr. příl. ISBN 978-0-470-74906-7.
- [7] KOLEKTIV, Luděk Lukáš a. *Bezpečnostní technologie, systémy a management III: [teorie a praxe ochrany majetku a fyzické bezpečnosti]*. 1. vyd. Zlín: VeRBuM, 2013. ISBN 978-808-7500-354.
- [8] VAŠKOVÁ, Hana, Pavel VALÁŠEK. *Hodnocení pravosti českých bankovek pomocí Ramanovy spektroskopie. Jemná mechanika a optika*. 2012, vol. 7-8, s. 229 - 230. ISSN: 0447-6441.
- [9] DENDISOVÁ, Marcela, Pavel ŽVÁTORA a Pavel MATĚJKA. *Ramanova spektrometrie*. 2005.
- [10] Raman spectra explained. *Renishaw* [online]. © 2001-2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.renishaw.com/en/raman-spectra-explained--25807>
- [11] Spectroscopy Applications. *Princeton Instruments* [online]. 2010 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: http://www.princetoninstruments.com/spectroscopy/raman.aspx#raman_anchor2

- [11] LARKIN, Peter. *Infrared and raman spectroscopy: principles and spectral interpretation*. Boston: Elsevier, c2011, x, 228 p. ISBN 978-012-3869-845.
- [12] DE ALMEIDA, Mariana R., et al. Discrimination between authentic and counterfeit banknotes using Raman spectroscopy and PLS-DA with uncertainty estimation. *Microchemical Journal*, 2013, 109: 170-177.
- [13] VILA, A., et al. Development of a fast and non-destructive procedure for characterizing and distinguishing original and fake euro notes. *Analytica Chimica Acta*, 2006, 559.2: 257-263.
- [14] Raman Spectroscopy and Spectrometers. *Warsash Scientific* [online]. 2012 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.warsash.com.au/Raman-spectroscopy/research-grade-raman-spectrometers.php>
- [15] PIFKOVÁ, Hana. Farebné modely. *FIIT-STUBA* [online]. 2008 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://student.fiit.stuba.sk/~pifkova04/farebne_modely/cmyk.html

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

a.u.	Arbitrary units
CCD	Charged Coupled Device
CMYK	Farebný model (Cyan, Magenta, Yellow, Key)
ECB	Európska centrálna banka
EUR	Medzinárodný trojpísmenový kód meny euro
HP	Hewlett-Packard
NIR	Near Infrared - Blízka infračervená oblasť
PDA	Photo Diode Array
UV	Ultraviolet - ultrafialové žiarenie
UV-C	Ultraviolet C type - ultrafialové žiarenie typu C
VIS	Visible - viditeľná oblasť svetla

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1 Ukážka podpisu na bankovke [1].....</i>	13
<i>Obr. 2 Bankovka hodnoty 5 EUR - prvá séria [1]</i>	14
<i>Obr. 3 Bankovka hodnoty 5 EUR - druhá séria "Európa" [1].....</i>	14
<i>Obr. 4 Bankovka hodnoty 10 EUR - prvá séria [1]</i>	15
<i>Obr. 5 Bankovka hodnoty 10 EUR - druhá séria "Európa" [1].....</i>	15
<i>Obr. 6 Bankovka hodnoty 20 EUR - prvá séria [1]</i>	15
<i>Obr. 7 Bankovka hodnoty 20 EUR - druhá séria "Európa" [1].....</i>	16
<i>Obr. 8 Bankovka hodnoty 50 EUR - prvá séria [1]</i>	16
<i>Obr. 9 Bankovka hodnoty 100 EUR - prvá séria [1]</i>	16
<i>Obr. 10 Bankovka hodnoty 200 EUR - prvá séria [1]</i>	17
<i>Obr. 11 Bankovka hodnoty 500 EUR - prvá séria [1]</i>	17
<i>Obr. 12 Lokalizácia vystupujúcej tlače na oboch sériách bankovky 10 EUR [1]</i>	19
<i>Obr. 13 Súťažná značka a jej lokalizácia na bankovke 50 EUR [1,2].....</i>	20
<i>Obr. 14 Vodoznak a jeho lokalizácia na bankovke 5 EUR druhej série [1,2].....</i>	21
<i>Obr. 15 Lokalizácia hologramu na bankovke 5 EUR + detail farebného prechodu [1,2]</i>	22
<i>Obr. 16 Lokalizácia hologramu na bankovke 50 EUR + detail farebného prechodu [1,2]</i>	22
<i>Obr. 17 Ukážka opticky premenlivej farby - prvá séria [2].....</i>	23
<i>Obr. 18 Ukážka opticky premenlivej farby - druhá séria [2].....</i>	23
<i>Obr. 19 Bankovka pod UV a UV-C svetlom [2].....</i>	25
<i>Obr. 20 Pravá bankovka pod UV - nová vs. vypratá [2]</i>	25
<i>Obr. 21 Bankovka pod infračerveným svetlom [2]</i>	26
<i>Obr. 22 Schéma prechodov medzi vibračnými stavmi [7]</i>	28
<i>Obr. 23 Ukážka Ramanovho spektra - polystyrén [10]</i>	29
<i>Obr. 24 Ramanov mikroskop Renishaw inVia Basis [14].....</i>	34
<i>Obr. 25 Ukážka softwaru WiRE 3.2 – zobrazenie spektier vybraných atramentov.....</i>	35
<i>Obr. 26 Kópia bankovky na zariadení Canon i-Sensys MF8450</i>	37
<i>Obr. 27 Spektrum pred úpravou (hore) a po úprave (dole).....</i>	42
<i>Obr. 28 Namerané spektrá - 10 EUR - prvá séria + lokalizácia.....</i>	43
<i>Obr. 29 Namerané spektrá - 10 EUR - druhá séria + lokalizácia</i>	44
<i>Obr. 30 Namerané spektrá - 20 EUR + lokalizácia</i>	45

<i>Obr. 31 Namerané spektrá - 50 EUR + lokalizácia</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 32 Namerané spektrá originálnych atramentov</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 33 Rozdiel tlače - pravá bankovka vs. napodobenina (zelená farba)</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 34 Namerané spektrá atramentov napodobenín - farby CMY</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 35 Namerané spektrá atramentov modrej farby - porovnanie</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 36 Namerané spektrá atramentov žltej farby - porovnanie.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 37 Namerané spektrá atramentov hnedej farby - porovnanie.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 38 Namerané spektrá rôznych vzoriek papiera</i>	<i>52</i>