

Využití Ramanovy spektroskopie pro studium polymerových bankovek

Michal Pulkert

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav bezpečnostního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Michal Pulkert**
Osobní číslo: **A17174**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Využití Ramanovy spektroskopie pro studium polymerových bankovek**
Téma práce anglicky: **The Application of Raman Spectroscopy to Study Polymer Banknotes**

Zásady pro vypracování

1. Seznamte se s Ramanovou spektroskopií.
2. Stručně uveďte příklady využití Ramanovy spektroskopie pro forenzní zkoumání bankovek.
3. Nastudujte potřebné informace o polymerových bankovkách, jejich ochranných prvcích a stručně komentujte jejich používání podle geografického členění.
4. Diskutujte zásadní rozdíly mezi papírovými a polymerovými bankovkami, uveďte jejich výhody a nevýhody.
5. Proveďte systematickou experimentální analýzu u vybraných polymerových bankovek, soustředte se na oblasti jednotlivých bezpečnostních prvků.
6. Zhodnotte získaná spektrální data a přehledně je zpracujte.
7. Komentujte dosažené výsledky včetně použitelnosti Ramanovy spektroskopie.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam doporučené 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, xxviii, 618 s., [34] s. obr. příl. ISBN 978-0-470-74906-7.
2. VASKOVA, Hana, VALASEK, Pavel. Authentication of Czech Banknotes using Raman Microscopy. In: Tenth International Conference on Emerging Security Information, Systems and Technologies, Nice, France. IARIA, 2016, pp. 220-224. ISBN: 978-1-61208-493-0.
3. LUKÁŠ, Luděk a kol. Bezpečnostní technologie, systémy a management III. 1. vyd. Zlín: VeRBuM, 2013, 456 s. ISBN 978-80-87500-35-4.
4. SOLOMON, D. H. a Tom SPURLING. The plastic banknote: from concept to reality. Collingwood, VIC, Australia: CSIRO Publishing, 2014. ISBN 9780643094277
5. Take a closer look [online]. Bank of England [cit. 2019-11-13]. Dostupné z <https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/banknotes/take-a-closer-look.pdf?la=en&hash=E8C27D561C2F99570FEADE4327974856C86396A9>

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Hana Tomášková, Ph.D.
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce: 7. prosince 2019
Termín odevzdání bakalářské práce: 25. května 2020

L.S.

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. prosince 2019

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním 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 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 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 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 bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem 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 bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

Michal Pulkert, v.r.
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá analýzou polymerových bankovek pomocí Ramanovy spektroskopie. Součástí práce je seznámení se s vědní disciplínou spektroskopie a následně popis samotné Ramanovy metody. Podstatná část je věnována polymerovým bankovkám, konkrétně australským dolarům a jejich ochranným prvkům. V praktické části práce jsou vybrané bankovky měřeny pomocí Ramanova spektrometru. Výsledky ukazují, že společné rysy polymerových bankovek a jejich bezpečnostní prvky jsou charakteristické pro tento typ platidla bez ohledu na jeho nominální hodnotu nebo rub a líc bankovky. Tudíž Ramanova spektroskopie je využitelná pro studium polymerových bankovek.

Klíčová slova: Polymerové bankovky, Ramanova spektroskopie, australské dolary, ochranné prvky.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with analysis of polymer banknotes using Raman spectroscopy. Part of the work is familiarization with the scientific discipline of spectroscopy and description of Raman spectroscopy. The main part is focused on to polymer banknotes, specifically australian dollars and their security features. In the practical part of the work, selected banknotes are measured using the Raman spectrometr. The results show that common features of polymer banknotes and their security features are characteristic of this type of currency regardless of his denomination or the back and front of the banknote. Therefore, Raman spectroscopy is a useful method for studying polymer banknotes.

Keywords: Polymer banknotes, Raman spectroscopy, Australian dollar, security features.

Mé poděkování patří paní Mgr. Haně Tomáškové Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, velice drahocenné rady, doporučení, věcné poznámky, trpělivost a v neposlední řadě její ochotu i pomoc, které mi pomohly práci dokončit.

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

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 10 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 11 |
| 1 SPEKTROSKOPIE | 12 |
| 1.1 HISTORIE SPEKTROSKOPIE..... | 12 |
| 1.2 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ..... | 13 |
| 1.3 SPEKTRUM..... | 14 |
| 1.3.1 Emisní..... | 14 |
| 1.3.2 Absorpční..... | 15 |
| 1.3.3 Luminiscenční..... | 15 |
| 1.4 VIBRAČNÍ SPEKTROSKOPIE..... | 16 |
| 2 RAMANOVA SPEKTROSKOPIE | 19 |
| 2.1 INSTRUMENTACE..... | 21 |
| 2.2 REZONANČNÍ RAMANOVA SPEKTROSKOPIE..... | 23 |
| 2.3 SROVNÁNÍ RAMANOVY A INFRAČERVENÉ SPEKTROSKOPIE..... | 23 |
| 2.4 VYUŽITÍ RAMANOVY SPEKTROSKOPIE..... | 24 |
| 2.5 VYUŽITÍ RAMANOVY SPEKTROSKOPIE PRO FOREZNÍ ZKOUMÁNÍ BANKOVEK..... | 24 |
| 3 POLYMEROVÉ BANKOVKY | 26 |
| 3.1 HISTORIE VZNIKU POLYMEROVÝCH BANKOVEK..... | 26 |
| 3.2 PRVNÍ POLYMEROVÉ BANKOVKY..... | 26 |
| 4 VÝROBA POLYMEROVÝCH BANKOVEK | 28 |
| 4.1 POLYPROPYLENOVÝ SUBSTRÁT..... | 28 |
| 4.1.1 Výroba polymerového substrátu..... | 28 |
| 4.2 POUŽÍVÁNÍ POLYMEROVÝCH BANKOVEK DLE GEOGRAFICKÉHO ČLENĚNÍ..... | 29 |
| 4.3 VÝHODY POLYMEROVÝCH BANKOVEK..... | 30 |
| 4.4 NEVÝHODY POLYMEROVÝCH BANKOVEK..... | 30 |
| 4.5 POROVNÁNÍ POLYMEROVÝCH BANKOVEK A PAPIROVÝCH..... | 31 |
| 5 POLYPROPYLENOVÝ SUBSTRÁT GUARDIAN® A JEHO OCHRANNÉ PRVKY | 32 |
| 5.1 OKENNÍ OCHRANNÉ PRVKY..... | 32 |
| 5.1.1 Průhledné..... | 32 |
| 5.1.2 Bezrámové..... | 33 |
| 5.1.3 Poloviční..... | 33 |
| 5.1.4 WinBOSS®..... | 34 |
| 5.2 DESIGNOVÉ OCHRANNÉ PRVKY..... | 34 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.2.1 | MultiCLR® | 35 |
| 5.2.2 | Stínové obrázky | 35 |
| 5.2.3 | Viněta | 36 |
| 5.3 | TAJNÉ OCHRANNÉ PRVKY | 37 |
| 5.3.1 | MAGread® | 37 |
| 5.3.2 | ECLIPSE® | 37 |
| 5.3.3 | D-CODE™ | 38 |
| 5.3.4 | Vlákna označena malými písmeny | 39 |
| 5.4 | OCHRANNÉ PRVKY S METALICKÝMI EFEKTY | 39 |
| 5.4.1 | LATITUDE® | 39 |
| 5.4.2 | METALIX® | 40 |
| 5.4.3 | DOVDs: Flexibilní optické variabilní prvky | 41 |
| 5.5 | MĚNÍCÍ SE OCHRANNÉ PRVKY | 41 |
| 5.5.1 | HORIZON® | 42 |
| 5.5.2 | AURORA® | 42 |
| 5.5.3 | G-Switch® | 43 |
| 5.5.4 | RIswitch® | 43 |
| 6 | AUSTRALSKÉ DOLARY | 44 |
| 6.2 | BANKOVKA 10 \$ | 45 |
| 6.2.1 | Ochranné prvky líce | 46 |
| 6.2.2 | Ochranné prvky rubu | 48 |
| II | PRAKTICKÁ ČÁST | 50 |
| 7 | HLAVNÍ CÍLE PRÁCE | 51 |
| 8 | SPEKTROMETR NA FAKULTĚ APLIKOVANÉ INFORMATIKY | 52 |
| 8.1 | PARAMETRY MĚŘENÍ | 52 |
| 9 | MĚŘENÍ BANKOVEK | 55 |
| 9.1 | BANKOVKA 10 \$ | 55 |
| 9.1.1 | Porovnání spekter rubu a líce 10 \$ | 58 |
| 9.1.2 | Porovnání spekter různých barev a polypropylenového substrátu | 59 |
| 9.2 | BANKOVKA 20 \$ | 60 |
| 9.2.1 | 20 \$ bankovka – porovnání nové a staré série | 62 |
| 9.2.2 | 20 \$ bankovka ze staré série – porovnání s databází knihovny | 64 |
| 9.3 | POROVNÁNÍ OCHRANNÉHO PRVKU 20 \$ A 50 \$ | 65 |
| 9.4 | 50 \$ POROVNÁNÍ S DATABÁZÍ KNIHOVNY | 66 |
| 9.5 | BANKOVKA 5 \$ | 68 |
| 9.6 | POROVNÁNÍ BANKOVEK RŮZNÝCH NOMINÁLNÍCH HODNOT | 68 |
| 9.6.1 | Porovnání písmene T | 68 |
| 9.6.2 | Porovnání zelených lístků | 70 |
| 9.6.3 | Porovnání průhledných okének u všech bankovek | 70 |
| 9.6.4 | Porovnání zelených barev u všech bankovek | 71 |

| | |
|---|-----------|
| 10 ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ | 73 |
| ZÁVĚR | 74 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 76 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 81 |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 82 |
| SEZNAM TABULEK..... | 84 |
| SEZNAM PŘÍLOH..... | 85 |

ÚVOD

Lidé po celém světě používají peníze v různých podobách po mnoho staletí. V současné době je celosvětově v oběhu celá řada různých měn ve formě papírových bankovek. Jsou ovšem i země, které místo papírových bankovek používají bankovky polymerové. Právě těm se věnuje tato práce. Jako první na světě vydala Austrálie do oběhu polymerové bankovky, které obsahují nespočet ochranných prvků, díky kterým jsou velice náročné na padělání.

Pro zkoumání falzifikátů bankovek se využívá řada různých metod včetně spektroskopických. V poslední době se uplatňuje i Ramanova spektroskopie, jejíž historie sahá do 20. let 20. století. Jedná se o analytickou metodu, jejímž cílem je studium struktury anorganických i organických látek a materiálů za pomoci Ramanova spektrometru. Tato metoda je hojně využívána nejen ve forenzní oblasti. Používají ji také pracovníci bezpečnostních složek například k identifikaci výbušnin a drog. Použitelná je také například při zkoumání původu cenných knih obrazů apod.

Austrálie je první zemí, která vydala do oběhu právě polymerové bankovky. Výčet jednotlivých bankovek nové generace společně s jejich ochrannými prvky je uveden v teoretické části práce a přílohách č: 1, 2, 3, 4. Tento druh plastového platidla pochází již z 80. let 20. století, kdy státy jako Kostarika a Haiti začaly jako vůbec první tyto bankovky tisknout, ale to se neobešlo bez komplikací. Vývoj této nové výroby trval necelých 10 let a jako první vznikla australská bankovka s nominální hodnotou 10 dolarů. Hlavním materiálem pro výrobu je polypropylenový substrát Guardian®. V současné době využívá tento druh bankovek přes 20 států světa.

Do praktické části byly vybrány již zmíněné australské dolary z důvodu vydání nové generace s inovativními prvky a designem. Měření probíhalo na jednotlivých nominálních hodnotách se zaměřením na ochranné prvky a jednotlivé barvy. Cílem bylo zjistit, zda je Ramanova metoda vhodná pro strukturální analýzu těchto bankovek.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SPEKTROSKOPIE

Spektroskopie je vědní disciplína zabývající se zkoumáním interakce elektromagnetického záření a hmoty. Dle rozboru vyzářeného nebo pohlceného záření, lze získat detailní informace o složení materiálu a jeho částicích. Lze též říci, že spektroskopie je obor zkoumající vznik a vlastnost spekter.

Využitelnost spektroskopických metod sahá do velké řady oborů, od fyzikálních a chemických přes forenzní až po lékařský. [1]

Nejprve spektroskopie využívala pouze viditelné světlo, které bylo rozloženo na jednotlivé barvy (intervaly vlnových délek záření). V průběhu jejího využívání se dále rozvíjela, a to například použitím dalších typů záření (infračervené, ultrafialové atd.), tedy využitím dalších vlnových délek (ekvivalentně dalších frekvencí). [1], [2], [5]

1.1 Historie spektroskopie

Jako první bylo používáno monochromatické světlo, a to rozkladem bílého světla pomocí optického hranolu. Pozornost se soustředila především na elastický rozptyl záření tzv. Rayleighův rozptyl. Byly objeveny anomálie zejména v případě fluorescence, kdy dochází k emisi záření o jiné vlnové délce, než bylo původní absorbované záření. V roce 1923 byl teoreticky předpovězen nepružný rozptyl fotonu, a to rakouským fyzikem Adolfem Smekalem. Dále touto problematikou se také zabývali Kramers a Heisenberg (1925), Schrödinger (1926) a Dirac (1927). V roce 1928 jej experimentálně potvrdil indický vědec Sir C. V. Raman, a to díky rozptylu slunečního záření na molekule kapalin a při difrakci na pevných látkách. [3]

Raman při studiu kombinačního rozptylu světla pozoroval při průchodu záření látkami kromě frekvence dopadajícího světla i vyšší a nižší frekvence v závislosti na daném prostředí (látce). Právě tento objev nese jméno Ramanův rozptyl a umožňuje popsat neelastický rozptyl záření na molekulách plynu, kapalin i pevných látek. [4]

Raman nebyl sám, kdo se zajímal o kombinovaný rozptyl záření. Nezávisle na Ramanově studii zkoumali na Lomonosově univerzitě v Moskvě stejný jev na krystalech křemenu. L. I. Mandelštam a G. S. Landsberg popsali odlišné linie dle Debyeho teorie. Tento jev prezentovali jako neelastický rozptyl světelných kvant. Také ve Spojených státech amerických představil Woods roku 1928 termín „anti Stokes“ pro rozptýlené světlo. I on pozoroval a zaznamenal spektrální linie v důsledku Ramanova rozptylu na fotografické desky, když

zkoumal rezonanční fluorescenci. Raman byl však prvním, kdo publikoval spektra rozptýleného záření a díky prvnímu uveřejnění nového objevu byla právě jemu udělena Nobelova cena za fyziku a to 11. prosince 1930 za jeho práci na rozptylu světla. Vědci L. I. Mandelštam a G. S. Landsberg Nobelovu cenu, stejně jako Ramanův spoluobjevitel Krišnan, nezískali. [4]

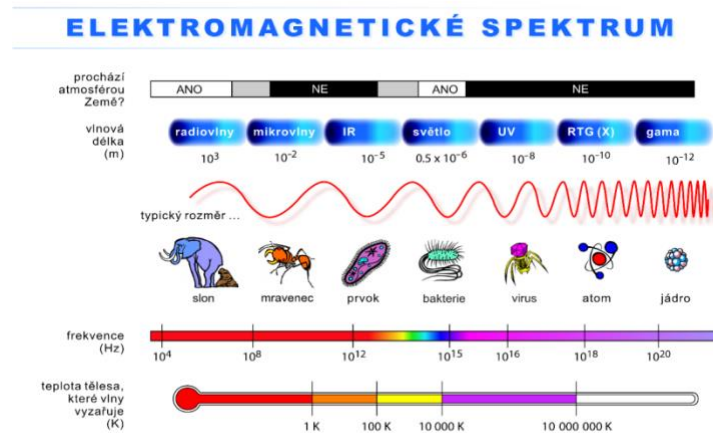
Je nutné si uvědomit, že v roce, kdy byl tento jev objeven, byla dostupná pouze velmi omezená instrumentace, ale i přesto byla Ramanova spektroskopie do roku 1950 hojně využívána. Jako zdroj bylo používáno viditelné záření, jako sběrač paprsků dalekohled a jako oči detektory. Výzkum se tedy postupně zaměřoval na zlepšení těchto excitačních zdrojů záření a začaly se vyrábět různé lampy (heliové, zinkové atd.), které však byly nepoužitelné kvůli nízké intenzitě. V roce 1962 se začaly jako zdroje využívat lasery a staly se nejdůležitějším stimulem pro rozvoj spektroskopie. Důležitým zjištěním a pro vývoj optiky zásadním objevem bylo objevení dvojitého monochromátoru, který odstraňuje rozptýlené světlo lépe než pouze jednoduchý monochromátor. V dnešní době je možno získat Ramanova spektra také pomocí Fourierovy transformace. Tento jev, dodnes označovaný jako Ramanův, byl ještě koncem dvacátých let Kohlrauschem a Dadienem v Grazu poprvé použit k systematickému studiu různých organických sloučenin. [3]

1.2 Elektromagnetické záření

Existuje mnoho zdrojů elektromagnetického záření, přičemž záření viditelné pro člověka leží v rozsahu vlnových délek od 400 nm (fialová barva) až po 800 nm (červená barva). Světlo může být popsáno jako vlna nebo jako proud částic, nazývajících se fotony. [2], [5]

Elektromagnetické záření je příčné vlnění elektromagnetického pole, které může přenášet energii. [2], [5]

Spektrum elektromagnetického záření je možné definovat buď frekvencí nebo ekvivalentně vlnovou délkou. Přehled elektromagnetických vln lze vidět na Obr.1.



Obr.1. Elektromagnetické spektrum [6]

Elektromagnetické záření proniká nějakým hmotným objektem a interaguje s ním. Z možných interakcí jsou pro spektroskopii důležité následující:

- Absorpce znamená pohlcení elektromagnetického záření v důsledku elektronové struktury atomů a molekul v závislosti na frekvenci záření.
- Rozptyl nastává změnou směru šíření záření v důsledku jeho interakce s látkou (např. atomem nebo molekulou) buď bez změny frekvence tedy energie záření, což je elastický rozptyl, nebo se změnou frekvence, což se nazývá neelastický rozptyl.
- Odraz nastává na rozmezí prostředí s rozdílnými optickými veličinami vyjadřujícími vliv látky na elektromagnetické vlny. [2], [5]

1.3 Spektrum

Spektrum je grafické vyjádření výkonové hustoty (W/Hz) nebo odlišné fotometrické veličiny v závislosti na vlnové délce a frekvenci. Podle uplatňujícího se fyzikálního jevu můžeme nejčastěji pozorovat tato spektra. [1], [7], [5]

1.3.1 Emisní

Toto spektrum obsahuje všechny frekvence elektromagnetických vln vyzařovaných látkou. Každá látka zpravidla vyzařuje pro ni charakteristické vlnové délky. Měřením těchto vlnových délek lze tedy určit z jaké látky (chemického prvku, sloučeniny atd.) se daný předmět skládá.

1.3.2 Absorpční

Vzniká ozářením nějakého druhu materiálu spojitým (širokospektrálním) zdrojem světla a měřením vlnových délek za materiálem. U tohoto typu spektra mohou být určité vlnové délky pro daný typ látky zcela absorbovány. Registrováno je tedy pouze to záření, které látkou prochází.

1.3.3 Luminiscenční

Vzniká při výběrovém pohlcení záření o delší vlnové délce. Tento jev se nazývá luminiscence. [1], [7], [5]

Absorpční spektrum - infračervená spektroskopie



Obr.2. Absorpční a emisní spektrum [5]

Spektrum také můžeme rozdělit na tři druhy dle vlnových délek a frekvencí, které obsahuje:

- Spojité spektrum, jehož obsah je tvořen všemi vlnovými délkami v daném místě spektra.
- Čárové spektrum, někdy nazýváno jako diskrétní. Obsahuje ostře dělné čáry. Příkladem toho spektra je charakteristická emise atomů.
- Pásové spektrum obsahuje pásy, které jsou tvořeny rozsáhlými počty čar, tzn. příslušnými vlnovými délkami. Takové spektrum je charakteristické pro molekuly.
- Absorpční pásové spektrum vypadá jako spojitě spektrum, v němž chybějí určité vlnové délky – absorpční spektrální čáry. Toto spektrum je doplňkem emisního čárového spektra. [1], [7], [5]

1.4 Vibrační spektroskopie

Vibrace molekul při interakci s elektromagnetickým zářením vytváří tři typy spekter, infračervené, absorpční a spektrum neelastického rozptylu. První, infračervené lze naměřit, když je molekula dané látky převedena ze základního do vyššího vibračního stavu interakcí s infračerveným zářením o dané vlnové délce. V tomto případě pozorujeme absorpci záření. Dodatečné informace lze získat i pomocí viditelného, ultrafialového a infračerveného záření s tím, že měříme jeho neelastický rozptyl v pozorovaném vzorku. Takto naměřené vlnové délky jsou pak uvedeny v tzv. Ramanových spektrech. [8]

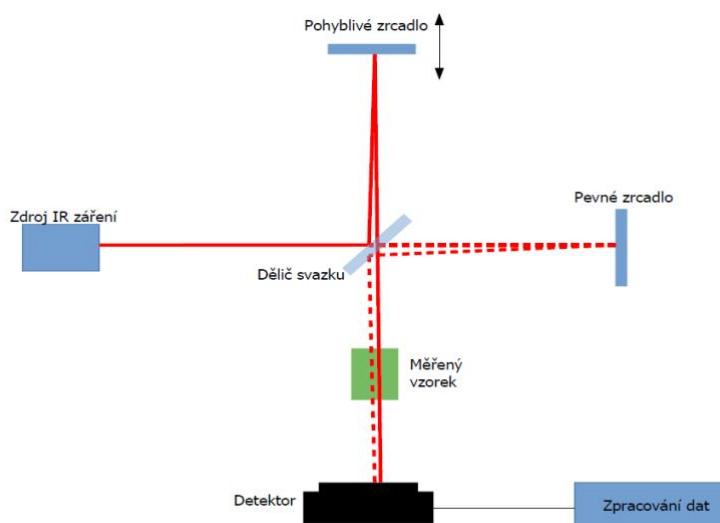
Vibrace molekul lze rozdělit do dvou základních skupin. První skupinu tvoří valenční vibrace ve směru vazby mezi dvěma atomy. Druhou skupinou jsou vibrace deformační, při nichž se objevuje deformace vazebných (valenčních) úhlů. U této skupiny můžeme rozpoznávat vyšší počet vibrací než u první skupiny. [8]

Oba druhy vibrační spektroskopie poskytují informace o různých materiálech či látkách a jejich hlavním úkolem je zkoumání a identifikace sloučenin. Tato identifikace různých sloučenin probíhá v podstatě odhalením molekulární struktury, protože právě molekulární struktura je charakterizována svými vibračními spektry. Existují databáze knihoven referenčních spekter, se kterými mohou být naměřená spektra porovnávána, a tak může být daná látka identifikována. Referenční spektra jsou zpravidla charakteristická přítomností určitých funkčních skupin atomů. [2], [8]

Infračervená spektroskopie patří do spektroskopických metod a její hlavní princip je založen na vzájemné interakci záření s hmotou, konkrétně na absorpci infračerveného záření, v důsledku přechodu molekul z nižšího vibračního stavu do vyššího. Je založena na nedestruktivní analýze zkoumaného materiálu. Základním principem infračervené spektroskopie je pohlcení infračerveného záření molekulami daných látek. Molekula je schopna pohltit pouze to záření, jehož energie tedy frekvence a vlnová délka odpovídá rotačním a vibračním stavům. „Vlnová délka infračerveného záření leží v oblasti 760 nm až 1 mm“.¹ Pro nejefektivnější analýzu materiálu jsou primárně nejvhodnější střední vlnové délky infračerveného záření. [1]

¹ NĚMCOVÁ, Irena, Ludmila ČERMÁKOVÁ a Petr RYCHLOVSKÝ. *Spektrometrické analytické metody I*. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 802460776X.

V současné době je využíváno v infračervené spektroskopii měření pomocí techniky FTIR (z anglického Fourier transform infrared, česky Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací). Tento druh spektroskopu funguje na základě interference tedy vzájemného ovlivňování svazků záření z polychromatického zdroje. V důsledku interference je každá vlnová délka zeslabována. Rozmezí vlnové délky používané ve spektrometru je závislé na velikosti pohybu pohyblivého zrcátka. Záření vychází ze zdroje a dopadá na dělič svazku rozdělující toto záření na dva svazky. První z nich pokračuje rovně, projde děličem a dopadne na pevné zrcadlo. Druhý svazek je od děliče odražen a dopadá na pohyblivé zrcadlo. Oba svazky se odrazí od zrcadel a dopadnou zpět na dělič, odkud pokračují na detektor. V tuto chvíli mohou svazky interferovat – určité vlnové délky jsou zesíleny, jiné zeslabeny v závislosti na poloze pohyblivého zrcadla. Následně oba svazky dopadají na detektor skrze kyvetu s analyzovanou látkou. Výstupní informace z detektoru je upravena pomocí počítače za použití Fourierovy transformace a výsledkem je absorpční infračervené spektrum. [1]



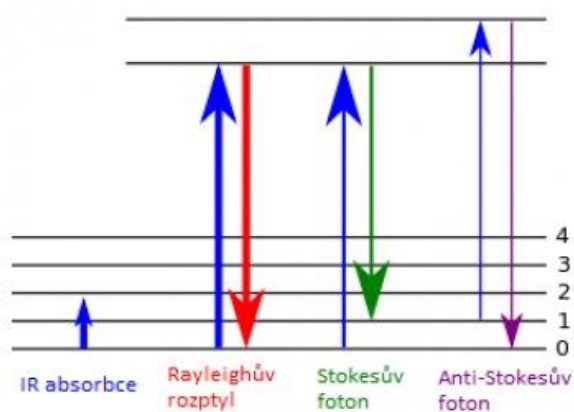
Obr.3. Princip FTIR spektrometru [Archiv autora]

FTIR se využívá k analyzování organických i anorganických látek. Zkoumaný vzorek musí být předem upraven. Pro identifikace vzorku materiálu se využívá speciální rozpouštědlo propouštějící IR záření. Materiál se v něm rozpustí, ale nesmí s rozpouštědlem reagovat, protože by to změnilo jeho chemickou podstatu. Výstup z měření může mít jak kvantitativní, tak i kvalitativní výsledek. Pomocí Lambert – Beerova zákona určíme intenzitu naměřeného záření, a tedy kvantitu vzorku, zatímco pomocí kvalitativní analýzy identifikujeme vzorek,

a to porovnáním naměřeného spektra se spektry známých vzorků z knihovny infračervených spekter. Nejrozsáhlejší využití si metoda FTIR našla v oboru kriminalistiky, a to především pro analýzu různých typů drog, léčiv nebo i k určení totožnosti pachatele pomocí vzorků z jeho oděvu. [2], [8], [9]

2 RAMANOVA SPEKTROSKOPIE

Ramanova spektroskopie spadá mezi analytické nedestruktivní metody a zároveň patří i do oblasti vibrační molekulové spektroskopie. Obecně je charakterizována jako vědní obor, který se zabývá vznikem a vlastnostmi spekter v důsledku neelastického rozptylu světla na částicích dané látky. Tato metoda je založena na tzv. Ramanově jevu, kdy je zkoumáno záření rozptýlené na studovaném analytu Ramanovým rozptylem. Obecně je světelný paprsek průchodu určitým prostředím z části absorbován, část ho projde beze změny a část je rozptýlena. Právě při rozptylu záleží na pružnosti srážky a na tom, zda je světelný paprsek dopadající na molekuly látky dokonale rozptýlen beze změny vlnové délky nebo ne. Pokud změna vlnové délky nenastává, srážka je nazývána dokonale pružnou. Je-li srážka nepružná, změní se vlnová délka světla. [10]



Obr.4. Základní princip RS [11]

Ramanova spektroskopie je založena na neelastickém rozptylu ultrafialového (250-400 nm), viditelného (400-700 nm) a blízkého infračerveného záření (700-1400 nm) na vibračních stavech molekul, přičemž rozdíl mezi energií dopadajícího a rozptýleného fotonu odpovídá vždy některému z vibračních energetických přechodů v molekule. Rozdíl energií je definován vztahem:

$$\Delta E = h \cdot (\nu_0 - \nu_r) \quad (1)$$

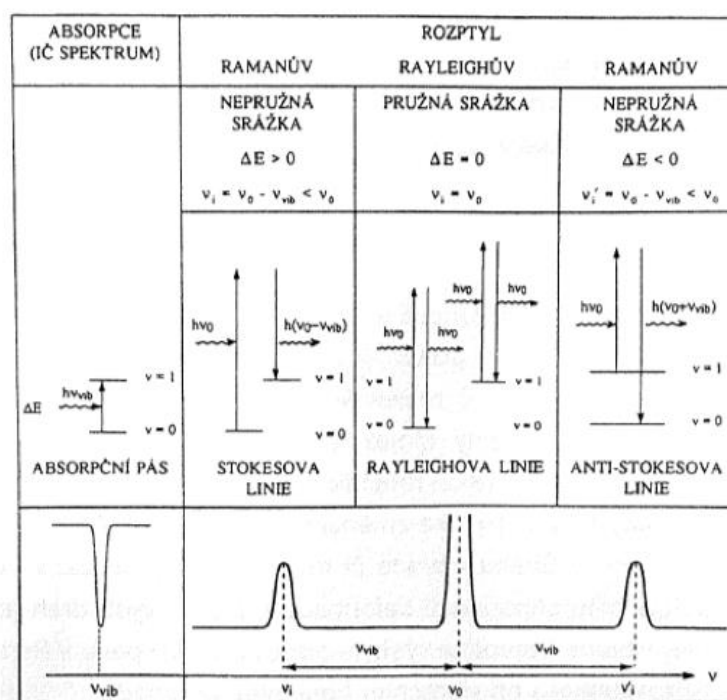
- $h\nu_0$ energie dopadajícího záření
- $h\nu_r$ energie rozptýleného záření

Metoda se hojně využívá hlavně pro identifikaci látek a odhalení struktury a složení molekul. [10]

Ramanova spektroskopie je tedy založena na ozáření materiálu monochromatickým zářením laserového zdroje. Díky tomu dochází k rozptylu světla a nastává transformace vibračně – rotační situace molekul materiálu. Rozptýlené záření, které má frekvenci shodnou s frekvencí laseru, nazýváme Rayleighův rozptyl. Záření, které je také rozptýlené, ale má odlišnou frekvenci, se nazývá právě Ramanův rozptyl, tzv. nepružný rozptyl záření. Z celé teorie o Ramanově rozptylu vyplývá, že základním předpokladem pro vznik Ramanova spektra je míra změny polarizovatelnosti molekul během vibrace. Rozptyl je úměrný změně polarizovatelnosti molekuly. [1], [2]

Výměna energie může proběhnout tak, že foton předá molekule menší energii a rozptýlené záření bude mít delší vlnovou délku, protože zvýšení vibrační energie molekuly spotřebovalo část energie. Toto rozptýlené záření můžeme sledovat ve Stokesově oblasti spektra zobrazující čáry. Druhou variantou je, že molekula předá fotonu vyšší energii a rozptýlené záření tedy bude mít kratší vlnovou délku, neboť foton převezme vibrační energii od molekuly. Tato varianta je zobrazena také jako čáry, ale v Anti-Stokesově oblasti. Pro spektroskopii bylo důležitým zjištěním, že frekvence Ramanova záření je dána součtem a rozdílem frekvence budícího záření ze zdroje a frekvence vibrací v molekulách vzorku, ve kterém se mění jeho polarizovatelnost. [12]

Energetické přechody a jednotlivé linie vzniku zobrazuje Obr.5.



Obr.5. Energetické přechody a vznik Ramanova spektra [13]

Podmínkou aktivity v Ramanově spektru je především změna polarizovatelnosti molekuly v průběhu vibrace. Změna polarizovatelnosti je formulována jako schopnost posouvání elektrických nábojů vlivem elektrického pole. Touto schopností se vyznačují hlavně nepolární části molekul. Proto pozorujeme v Ramanově spektru intenzivní pásy vibrací nepolárních vazeb, jejichž polarizovatelnost prodělává při vibraci výraznou změnu. [1]

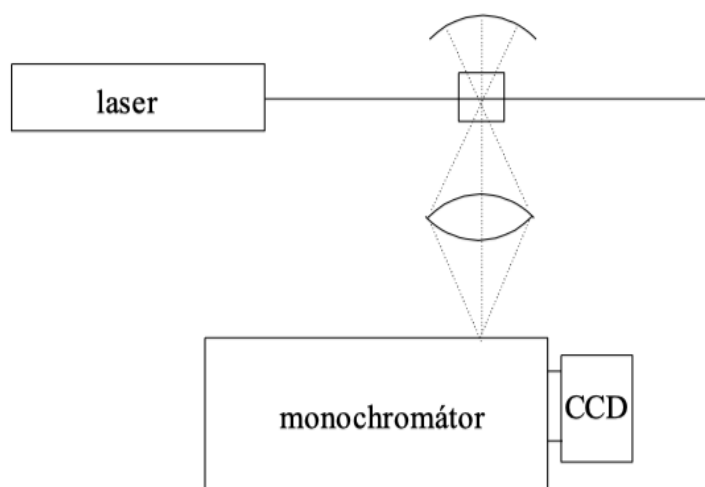
Z pohledu chemické analýzy je Ramanův rozptyl komplementární k infračervené spektroskopii. Doplnkem se stává proto, že Ramanova spektroskopie detekuje vibrace, u kterých nedochází ke změně dipólového momentu vazby. Dále umožňuje ověřit frekvence těchto vibrací za pomoci záření ve viditelné nebo ultrafialové oblasti. Díky tomu máme možnost využívat přístroje z materiálu jako je sklo či křemen, jenž tyto druhy záření propouští. [14]

2.1 Instrumentace

Roku 1928 byl sestaven první Ramanův spektrometr, který využíval jako zdroj záření monochromatické světlo ze Slunce a jeho detektorem bylo lidské oko.

Spektrometr od té doby prošel výrazným vývojem a změnami. V průběhu vývoje docházelo k nahrazení zdroje záření obloukovými lampami a jako detektory sloužila fotografická plátina. Pro měření jednotlivých spekter se využívalo poměrně jednoduché zařízení viz Obr.6. Zde je monochromatické záření vysílané laserovým zdrojem zaostřeným na vzorek a pod správným úhlem je pak opticky detekováno záření, je vzorkem rozptylováno. [1]

Nejběžnějším způsobem je detekce rozptýleného záření ve směru kolmém na směr budícího záření (např. laseru). Další možností, která se naskýtá, je geometrie zpětného rozptylu.



Obr.6. Schéma Ramanova spektrometru [1]

Jelikož má Ramanův rozptyl nízkou energetickou účinnost je nutné sbírat záření pomocí optiky v poměrně širokém úhlu. V takto sebraném svazku je nejprve potlačena Rayleighova linie interferenčním filtrem. Poté je rozptýlené záření zaostřeno na vstupní šterbinu dvojitého monochromátoru s vysokou disperzí. Na výstupu monochromátoru je připojen mnohokanálový detektor představovaný chlazenou CCD kamerou vyčítanou počítačem. [1]

Jako zdroje byly z počátku využívány rtuťové výbojky, ale neposkytovaly tolik linií, které by bylo možné vhodnými filtry snadno izolovat. V dnešní době se jako zdroj záření, až na výjimky, používají lasery. Ve viditelné oblasti se používají hlavně He-Ne lasery (červená linie 633 nm), Ar (argonový) laser (více čar – od modré 457 nm, přes modrozelenou 488 nm, k zelené 514,5 nm) a Kr (kryptonový) laser (červená linie 647 nm, žlutá linie 568 nm). Důvodem excitace ve viditelné oblasti je zejména vyšší intenzita rozptýleného světla. Na druhou stranu se setkáváme i se zásadní nevýhodou, jakou je riziko intenzivní fluorescence nebo nežádoucí fotochemické reakce. Výhodou excitace v NIR je potlačení právě těchto rizik. [15]

Jednoduché monochromátory slouží k odfiltrování Rayleighova rozptylu. Pokud je však Ramanův rozptyl slabý, naskytá se hlavní problém, a to obtížnější separace od intenzivnějšího Rayleighova rozptylu, neboť intenzita rozptýleného záření z tohoto rozptylu může značně převýšit intenzitu Ramanova signálu. Řešení skýtají nové filtry na bázi holografické optiky či dielektrické filtry, které efektivně odstraňují intenzivní Rayleighovo záření. Dalším řešením je použití monochromátorů s dvojitou či trojitou monochromací. [16]

K detekci záření jsou dnes používány např. fotonásobiče, plně nahrazující fotografické desky. U těchto desek byla výhoda, že byly značně citlivé pro zaznamenání Ramanova spektra během jedné expozice. Na druhé straně bylo otázkou, zda optika a měření spektra bylo správně nastavené. Fotonásobiče, označovány také jako tzv. jednobodové detektory, mají schopnost měnit fotony na elektrony. Získaný elektrický signál z fotonásobiče umožňuje optimalizovat optické podmínky pro měření spektra. Tato výhoda je limitována tím, že během jednoho cyklu měření nezískáme celé Ramanovo spektrum. Je tedy nutné snímat postupně a při každém z nich měřit intenzitu rozptýlených fotonů o jiné vlnové délce. Pro záznam intenzity záření jsou dnes používány CCD detektory, které umožňují změřit celé spektrum najednou. [16]

2.2 Rezonanční Ramanova spektroskopie

Jedním z hlavních problémů Ramanovy spektroskopie je možné vytvoření silné fluorescence, která může částečně nebo úplně Ramanovo spektrum zahalit. To může nastat v první řadě při detekci barevných látek, které fluorescenci vykazují. V druhé řadě může fluorescence nastat při použití zdroje excitačního záření, jako jsou lasery z UV oblasti, neboť energie jejich záření je vysoká a snadno tedy fluorescenci vybudí. Oba efekty mohou samozřejmě nastat zároveň. Existují ale látky barevné, které místo fluorescence produkují za určitých podmínek silný Ramanův rozptyl, nazývaný jako rezonanční Ramanův rozptyl. Ten nastává tehdy, pokud frekvence excitačního laseru odpovídá frekvenci záření potřebného na přechod elektronu v molekule zkoumané látky do excitovaného stavu. Právě shodnost těchto frekvencí nazýváme rezonancí. V rezonanci registrujeme zesílení intenzity v Ramanových pásech o 3 až 6 řádů. Aby se dosáhlo nejvyšší intenzity rezonančního Ramanova rozptylu, je nutné vyrovnat frekvenci dopadajícího záření s frekvencí záření, díky němuž dojde k přechodu do prvního nebo druhého excitovaného stavu. Z tohoto důvodu jsou tedy laditelné lasery nejvhodnějšími zdroji záření pro techniku rezonanční Ramanovy spektroskopie, protože umožňují změnit vlnovou délku, tedy frekvenci, a tudíž energii dopadajícího záření. [16]

Důležitost této techniky nacházíme v případě velkých biomolekul, které jsou barevné a obsahují ve svém složení tzv. chromofory, které absorbují ve zvýšené míře dopadající záření. Právě v tom vyniká rezonanční spektroskopie, umožňující studium biochemických molekul, měření v přítomnosti vody a při velmi nízkých koncentracích, protože signál Ramanova rozptylu je v případě rezonance velmi silný. Díky této metodě dokážeme určit oxidační stavy. [1]

2.3 Srovnání Ramanovy a infračervené spektroskopie

Tyto dvě spektroskopické metody se navzájem doplňují při zkoumání vibračních vlastností. Hlavní rozdíl je, že v Ramanových spektrech pozorujeme změnu polarizovatelnosti, narozdíl od změny dipólového momentu během vibračního pohybu, jenž vykazuje infračervená spektroskopie. Molekuly, které mají zřetelná spektra v infračervené spektroskopii, nemusí mít intenzivní vibrační pásy v Ramanově spektru a naopak. Vzhled obou spekter je ovlivněn symetrií molekul a jednotlivých vibračních pohybů. [15]

Obecně platí, že molekuly s nízkou symetrií vykazují vibrační pásy v obou typech spekter. Pokud má molekula nízkou symetrii, rovněž vidíme vibrační pásy v obou typech spekter, ale

zásadní odlišností je jejich intenzita. Také je hodně využívaná možnost kvalitativního určení látek a jejich identifikace pomocí Ramanovy spektroskopie. [15]

Výrazný přínos spatřujeme v měření vodných roztoků látek, kdy je nízká intenzita rozptylu pro vodu. Další výhodou je snadná měřitelnost roztoků, pevných vzorků či krystalů, a to i při velmi malém množství dané látky. Mluvíme zde o Ramanově mikroskopii. Výhoda při analýze pevných látek je možnost měření materiálů bez jakékoli úpravy. [1]

2.4 Využití Ramanovy spektroskopie

Hlavní využití této metody je především pro strukturní analýzu látek. Spektra a polohy Ramanových pásů pro různé látky jsou zaznamenávány v rozsáhlých sbírkách a v databázích. Tato spektroskopie nachází uplatnění při studiu a charakterizaci materiálů, které jiné spektroskopické metody nerozliší. Takovými materiály jsou pyrolytický grafit, uhlíková vlákna, skelný uhlík, uhlíkové nanotrubičky a grafény. Tato detekce nás informuje o velikosti krystalů, hybridizaci a možné přítomnosti nečistot, hustotě, defektech, o počtu grafénových vrstev a podobně. [17]

V praxi se s metodou setkáváme také v medicíně, ve které je využívána při sledování nádorů tlustého střeva či mozku, při skenování kostí a diagnostice nemocí. Další využití nachází v genetice, kde mohou být tímto způsobem sledovány buňky lidského těla. Z dalších oborů je možno jmenovat například zemědělství, nebo farmaceutický průmysl. [17]

Ve forenzní oblasti plní tuto jedinečnou funkci mobilní Ramanovy spektrometry pro ozbrojené nebo záchranné složky. Jako příklad je možno uvést havárii v chemické továrně, při níž musí být hasičský sbor schopen detekovat jednotlivé chemické látky, které by mohly kontaminovat životní prostředí, nebo ohrozit například svou toxicitou zasahující osoby. Ozbrojené složky uplatňují spektrometr jako zdroj k identifikaci nejen drog, ale i výbušnin. [1], [8]

Tato metoda je také spolehlivá v identifikaci původu cenných materiálů jako jsou zejména knihy, obrazy, keramika a sochy. [1], [8]

2.5 Využití Ramanovy spektroskopie pro forenzní zkoumání bankovek

Ramanova spektroskopie je hojně využívána při forenzním zkoumání bankovek jako nedestruktivní metoda pro analýzu padělků. Hlavním cílem této metody je zjistit, zda bankovky obsahují stejné barvy. Výsledky různých studií ukázaly, že Ramanova metoda je

nástrojem pro rychlou identifikaci materiálů obsažených v naměřených Ramanových spektrech, která jsou charakteristická pro příslušný druh materiálu či barvy. Každý jednotlivý druh materiálu, či barvy má jedinečnou sadu molekulárních vibrací, které jsou zaznamenávány právě jako Ramanovo spektrum charakterizující příslušný materiál, či barvu. Využívání zmíněných rysů Ramanovy spektroskopie vede k tomu, aby bylo možno stanovit autentičnost konkrétních typů bankovek, bez jejich zničení, aby se mohly vrátit zpět do oběhu. Využívá se především pro analýzu použitých inkoustů a polymerů. V Ramanových spektrech se složení a typ materiálu stanovuje pomocí distribuce píků a jejich intenzit. Jakékoliv rozdíly se objevují v naměřených Ramanových spektrech jako absence některých píků. [1], [8]

3 POLYMEROVÉ BANKOVKY

Mnoho zemí světa přechází z papírových bankovek na bankovky vyrobené z polymeru. Polymer je čirý tenký kus plastu, který je výrazně odolnější než papír. Tento typ bankovek se začal objevovat díky svým vylepšeným bezpečnostním funkcím, jako jsou průhledná okna či hologramy. Díky tomu je velice těžké tyto bankovky padělat. [18]

3.1 Historie vzniku polymerových bankovek

Jedny z vůbec prvních států, které chtěly využít polymerové bankovky byly Kostarika a Haiti. V 80. letech 20. století právě tyto státy zavedly poprvé polymerové bankovky do praxe. Při tisku prvních polymerových bankovek byla použita americká technologie, která s sebou nesla řadu nevýhod. Hlavní nevýhoda byla zaznamenána v rozmazávání inkoustu na bankovkách. Další zemí zkoušející proces tisku polymerových bankovek byl ostrov Man, který je součástí britských ostrovů. V roce 1983 byla na tomto ostrově vytvořena a současně zavedena do praxe první plastová bankovka. Na rozdíl od států Haiti a Kostarika použil ostrov Man k výrobě plastové bankovky britský technologický postup. I u tohoto postupu však nastaly stejné problémy, a to v podobě rozmazání inkoustu. Na základě těchto problémů nejsou tyto státy tedy považovány jako první, které využívají plastové bankovky. Vůbec prvním státem na světě, jemuž se podařil proces tisku plastových bankovek, byla Austrálie. Ta se tedy v roce 1988 zasloužila, jako první země na světě, o zavedení plastových bankovek do oběhu. [19]

3.2 První polymerové bankovky

Právě Austrálie se stala vůbec první zemí na světě, která nahradila papírové bankovky za bankovky vyrobené ze speciálního polymerového substrátu. Na počátku 90. let 20. století začala probíhat změna přechodu z papírových bankovek na plastové. V tomto stejném roce se objevují i první tiskárny. Vlivem vývoje těchto tiskáren se začala šířit obava z možného tisku a padělání. Do té doby byla i zde používána papírová měna, a to do roku 1996. Bohužel i Austrálie se potýkala s celou řadou padělků těchto papírových bankovek, a právě kvůli těmto problémům tehdejší guvernér místní banky vydal prohlášení, že bude začínat první výroba nových polymerových bankovek. [20], [21]

Vývoj této nové výroby trval přibližně 10 let. První plastové bankovky se objevily v lednu roku 1988, kdy byly vydány Reserve bank of Australie. V tomto roce došlo k prvnímu vydání polymerové bankovky a její hodnota činila 10 dolarů. Jako osoba reprezentující tuto

nominální hodnotu se stal objevitel Austrálie James Cook. Jakmile došlo k jejímu vydání jako první na světě, nastal také velký rozvoj polymerových bankovek. Další hodnotou, která byla jako druhá puštěna do oběhu, se dne 7. července roku 1992 stala nominální hodnota 5 dolarů. Osobou reprezentující tuto 5 dolarovou bankovku se stal portrét Alžběty II. Na lici byly vyobrazeny květy a listy, zatímco na její zadní straně byl vyobrazen parlamentní dům. Dalšími bankovkami, které byly vydány, byly v nominálních hodnotách 10, 20, 50 a 100 dolarů. Kvůli stále se zvyšujícímu padělání na trhu prochází polymerové bankovky stálým vývojem a inovacemi. Bankovka jejíž nominální hodnota činí 20 dolarů byla vydána v září roku 2016. Nové bankovky s nominální hodnotou 50 dolarů byly vydány v roce 2018 ve žluté barvě. Reprezentující osoba této bankovky se stala Edith Cowanová, která byla vůbec první ženou, jež se stala australským parlamentním členem. [20], [21]

4 VÝROBA POLYMEROVÝCH BANKOVEK

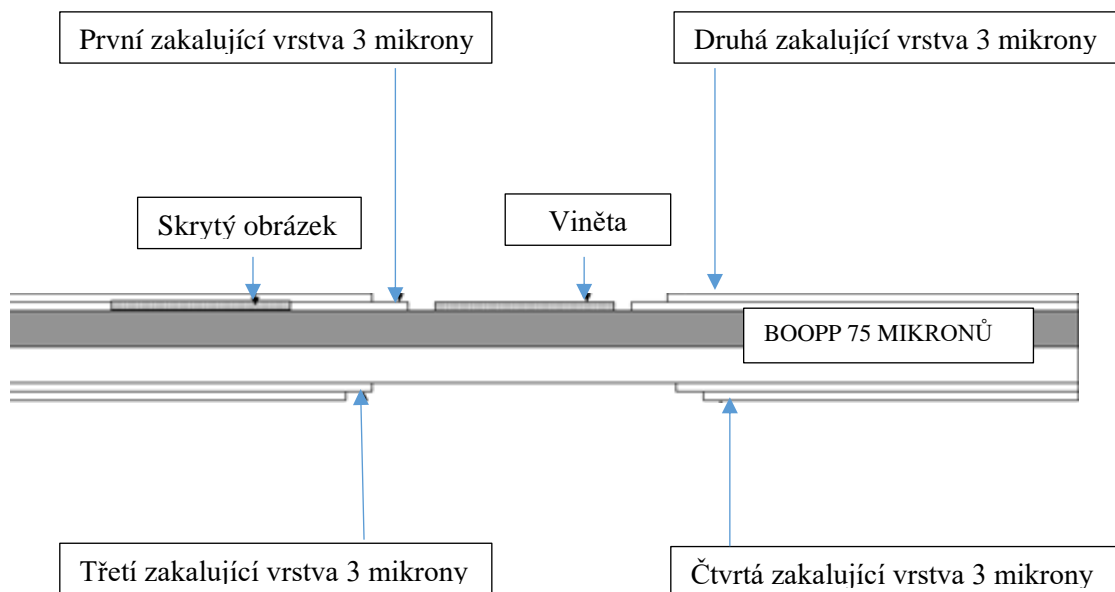
Polymerové bankovky jsou vyrobeny z BOPP (biaxiálně orientovaný polypropylen) pomocí bublinkového procesu. Australské bankovky jsou tisknuty v budově NPA (Note Printing Australia Limited) nacházející se 25 km severně od Melbourne. Společnost NPA je samostatně začleněná a dceřiná firma pro Reserve Bank of Australia. Samotná budova je ohraničena vysokým bezpečnostním oplocením kolem celého obvodu. Je také chráněna ozbrojenou stráží a vysoce kvalitními elektronickými zabezpečovacími systémy. Většina bankovek z polymeru je vytištěna na polypropylenové substráty „Guardian®“ produkované společností Innovia Security s jednotlivými divizemi v Austrálii, Mexiku a Číně. Guardian® představuje více než 99 % polymerových bankovek na dnešním trhu. V současné době je v oběhu více než 20 miliard těchto bankovek. [22], [23]

4.1 Polypropylenový substrát

Polymer je čirá tenká část plastu a je mnohonásobně trvanlivější než papír. Polypropylenový substrát je výhradně vyráběn právě v Austrálii. Polymerní substrát obsahuje několik filmových vrstev. První, základní vrstvou je jasný film, který se nazývá Clarity®C, další vrstvou jsou zakalené tiskové vrstvy umožňující ofsetovým a hlubotiskovým inkoustům přilnout k podkladu. Posledním ze tří vrstev jsou bezpečnostní prvky, které jsou buď vytištěny, nebo vloženy do 75µm hlubokého substrátu. Právě polymerní filmy nejsou komerčně dostupné, na základě čehož jsou i obtížně padělatelné. [22], [23]

4.1.1 Výroba polymerového substrátu

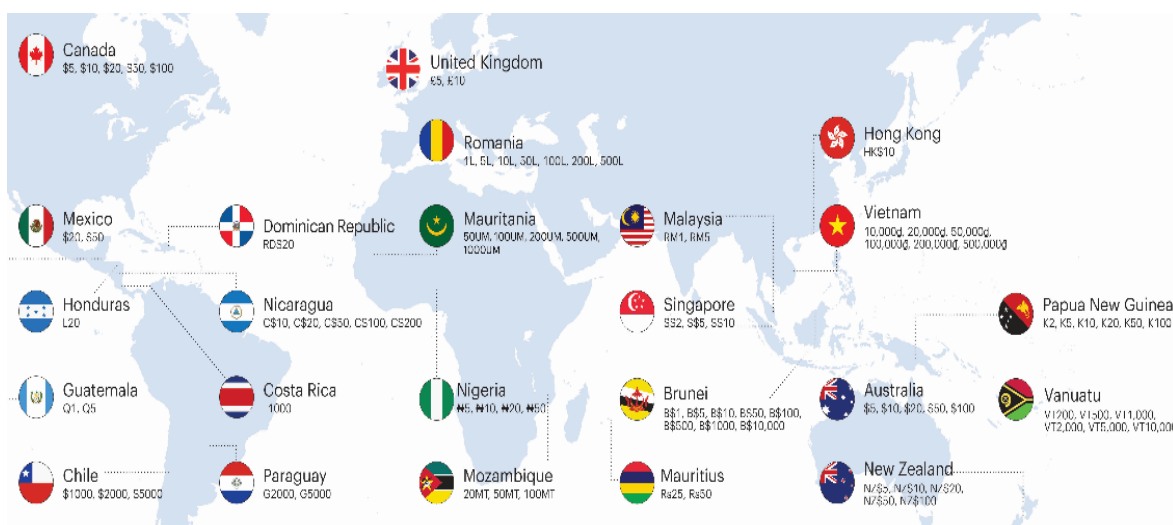
Výroba polymeru je možná pomocí řady technologických procesů, jako je například vstřikování nebo vytlačování. Polymer je vytvořen pomocí jedinečného procesu tzv. „bublinkového procesu“. Při tomto procesu dojde k vytvoření základního filmu a k tomu je použita čtyřpatrová komora, gravitace a vzduch. Tento základní film se nazývá biaxiálně orientovaný polypropylen (BOPP) a využívá se výhradně k vytvoření substrátu Guardian®. Má jedinečné vlastnosti, jako jsou nepropustnost vody a tuhost. Kombinuje základní fólii s vrstvami zakaleného tisku a bezpečnostními prvky, které jsou do něj vloženy a natištěny. Ověření Clarity®C a Guardianu® je možné pomocí autentického detektoru Verus®. [22], [23]



Obr.7. Čtyři základní vrstvy substrátu [Archiv autora]

4.2 Používání polymerových bankovek dle geografického členění

Mezi zásadní výhodu použití substrátu Guardian® patří výrazné snížení množství padělků v oběhu. Z toho plyne značná úspora několika milionů dolarů v prostředcích daňových poplatníků, kvůli jejich delší trvanlivosti a celkovému dopadu k životnímu prostředí, jelikož jsou šetrné. Guardian® se v současné době používá ve 24 zemích celého světa. Viz. Obr.8. [24]



Obr.8. Země používající substrát Guardian® [Archiv autora]

4.3 Výhody polymerových bankovek

Ve srovnání s bankovkami papírovými (např. koruna) nebo bavlněnými (např. euro) mají polymerové bankovky spousty výhod ve využití. Jedna z výhod v rámci používání polymerových bankovek je ta, že mají celou škálu špičkových bezpečnostních prvků, proto je obtížné tyto bankovky padělat, což také souvisí s výrobní technologií a vysokými náklady na výrobu. Proto lze také snadno ověřit jejich pravost. Jednotlivé výhody jsou následující:

- čtyřikrát delší životnost než papírové, což snižuje náklady na výrobu a zpracování,
- dobře recyklovatelné,
- mají vysokou životnost,
- neabsorbují vlhkost,
- odolné vůči přetržení, či poškození,
- mohou vydržet až 100 °C,
- odolné vůči nečistotám, vodě, prachu, olejům a dalším látkám, díky svému ochrannému polymerovému povlaku,
- obtížně padělatelné,
- vyhledávány různými sběrateli po celém světě. [25], [26]

4.4 Nevýhody polymerových bankovek

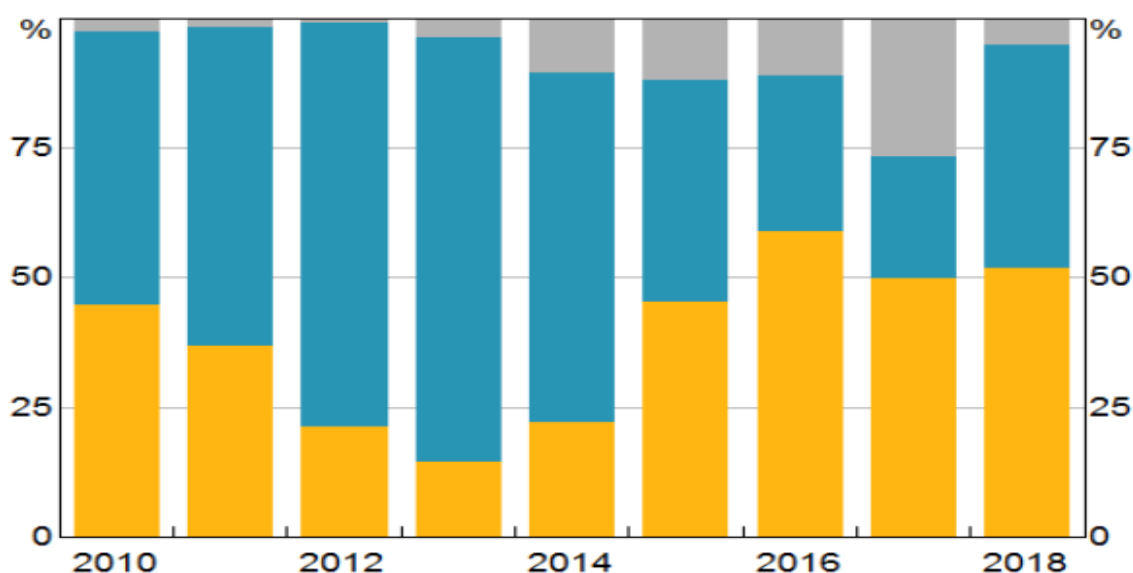
- slepení bankovek při kontaktu s kapalinou,
- vysoké výrobní náklady,
- obtížnější na skládání do různých tvarů, či peněženek,
- jejich pevnost může způsobovat závady na strojích používaných k jejich třídění. [27]

4.5 Porovnání polymerových bankovek a papírových

Tab.1. Porovnání polymerových a papírových bankovek [25], [26]

| Polymerové | Papírové |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| Odolnější vůči padělání | Méně odolnější vůči padělání |
| Dobře recyklovatelné | Hůře recyklovatelné |
| Šetrné k životnímu prostředí | Velký dopad na životní prostředí |
| Obtížněji zničitelné proti přetržení | Snadno zničitelné |
| Neabsorbují žádnou vlhkost | Absorbují vlhkost |
| Větší náklady na výrobu | Menší náklady na výrobu |
| Vysoká životnost | Nízká životnost |

Do roku 2010 byla míra padělatelnosti polymerových bankovek velmi nízká oproti papírovým. Následně začínaly první pokusy o jejich padělání, což vedlo k modernizaci designu a jednotlivých bezpečnostních prvků bankovek. Od roku 2018 se kriminalita v oblasti padělání bankovek zvedla i u polymerových viz., ale stále díky svým inovativním prvkům jsou hůře napodobitelné nežli papírové.



Obr.9. Míra padělatelnosti bankovek [Archiv autora]



5 POLYPROPYLENOVÝ SUBSTRÁT GUARDIAN® A JEHO OCHRANNÉ PRVKY

Polypropylenový substrát GUARDIAN® obsahuje řadu ochranných prvků, které bychom mohli rozdělit do základních skupin, jako jsou:

- Okenní ochranné prvky,
- Designové ochranné prvky,
- Tajné ochranné prvky,
- Ochranné prvky s metalickými efekty,
- Měnící se ochranné prvky. [28]

5.1 Okenní ochranné prvky

Patří mezi primární prvky. Disponuje také velice výraznou designovou částí substrátu GUARDIAN. Ochranné okenní prvky se dále rozdělují do 4 skupin oken:

- Průhledné,
- Bezrámové,
- Poloviční,
- WinBOSS ®. [28]

5.1.1 Průhledné

Průhledné okénko se stalo vysoce účinným prvkem proti padělání bankovek díky použité technologii. Jedna bankovka může obsahovat více okének, přičemž každé okénko obsahuje různé bezpečnostní a designové prvky. Okénkové prvky jsou rychle viditelné a snadno dostupné k efektivnímu rozpoznání. Tím můžeme rychle identifikovat pravou bankovku od



Obr.10. Průhledné okno [28]

falzifikátu. Průhledné okénko se stalo nedílnou součástí designu bankovek během procesu výroby substrátu. [28]

5.1.2 Bezrámové

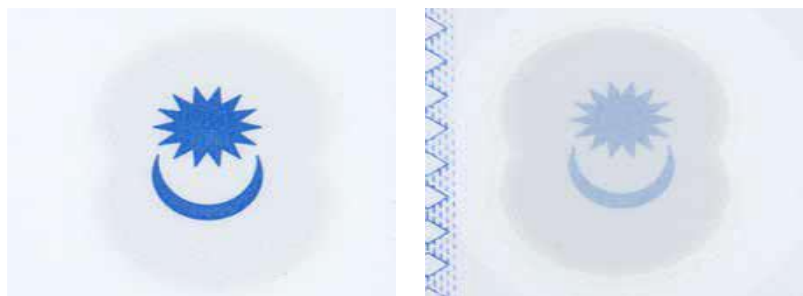
Bezrámová okna mají souvislý design díky dokonalému záznamu ofsetových inkoustových vrstev přímo do okna, které eliminuje vzhled bílého okraje. Zásadou toho je možná další úprava povrchu okna. Ofsetový tisk je proces, při kterém se tiskne nejprve na válec a až poté na polymer. [28]



Obr.11. *Bezrámové okno* [28]

5.1.3 Poloviční

Polovina oken umožňuje tisk na jednu stranu při zachování lesklého povrchu. Díky tomu se vytvoří oblast, kde jedna strana zůstává lesklá, zatímco druhá funguje jako tisková plocha. Poloviční okno je okno, jehož jedna polovina může být jasná, zatímco ta druhá zakalená. [28]



Obr.12. *Poloviční okno* [28]

5.1.4 WinBOSS®

Jedná se o proces, při kterém se využívá embossing technologie, při níž dochází k tisku textů nebo prvků do hloubky bankovky, čímž se zvyšuje její bezpečnost proti padělání. Schopnost polymerního substrátu přijímat trvalé reliéfy je důležitým rysem, který využívá další prvek intaglio procesu pro zvýšení bezpečnosti bankovky. Intaglio je tisková metoda tisknouce do hloubky. Reliéf odpovídá tisknouce matrici a netisknouce prvky jsou do matrice vyraženy. Celkového designu je dosaženo ponecháním vyrytých nenalakovaných oblastí hlubotiskové desky. Tím se vytvoří tepající design. Při pohledu na objekt z různých úhlů je každá část více či méně viditelná, a to kvůli rozdílu odrazu světla od dvou různých liniových struktur. WinBoss® je vysoce odolný intaglio tiskový proces, který je vložen do substrátu a je viditelný pouze z určitých úhlů pohledu. [28], [29]



Obr.13. WinBoss® okno [28]

5.2 Designové ochranné prvky

Polymerový substrát Guardian® může zahrnovat velké spektrum barev představující inovativní a účinné zvýšení bezpečnosti proti snížení hrozby padělání. Také chrání proti znečištění bankovek, protože se tiskne do hlubkové vrstvy, a ne na povrch. [28]

5.2.1 MultiCLR®

Je k dispozici v mnoha barvách a má velké možnosti designu. Zahrnuje výběr buď z dvojité barevného substrátu, kdy jedna strana substrátu má jinou barvu než druhá, anebo vícebarevný substrát. Vícebarevný substrát používá odlišné kombinace barevných vrstev a vytváří tři nebo čtyř barevné bankovky. Tento prvek poskytuje široké spektrum barev substrátů. Zvyšuje také odolnost vůči znečištění a také padělání díky tisku do hloubkové vrstvy, a ne na povrch. MultiCLR® celkově zvyšuje zabezpečení bankovek kvůli pokročilému designu. [28]



Obr.14. *MultiCLR®* [28]

5.2.2 Stínové obrázky

Stínové obrázky jsou podobným prvkem jako vodoznaky na papírových bankovkách, které lze snadno vizuálně poznat. Pokud bankovku dáme pod světlo, objeví se různé skryté obrazce, které nejsou běžně lidským okem viditelné. Díky tomuto efektu je design bankovky mnohem bezpečnější a specifický. Je zobrazen jako obrázek, text nebo číslice a mohou být buď „tónovým“ obrazem, jako portrét, nebo také tučné zvýraznění podobné číslici. Tento bezpečnostní prvek je snadno odhalitelný pomocí světla nasměrovaného proti bankovce, tzn. jsou okem viditelné. Další z výhod těchto prvků je, že nemohou být tištěny pomocí digitálních tiskáren, což znemožňuje příležitostné padělání. [28]



Obr.15. *Obrázky stínové* [28]

5.2.3 Viněta

Vignette neboli Viněta je slovo pocházející z francouzštiny. Původně označovalo dekorativní ozdobu na začátku tištěných textů a literárních děl. Design viněty na bankovkách může nabývat různých tvarů, jako jsou například obrázky, či podrobnější portréty. To nám dává možnost okna modifikovat a tvořit mnoho designů. Viněty jsou také velice účinné v oblasti bezpečnosti, a navíc zvyšují designovou estetiku u průhledných i polovičních oken. Tento typ ochrany vytváří další stupeň zabezpečení proti padělatelům bankovek, kteří mají veliký problém tato designová okna bankovek napodobit. [28], [30]



Obr.16. *Viněta* [28]

5.2.4 DOMINO®

Plní reliéfní funkci, což je ozdobný tvar vystupující z plochy bankovky. Zajišťuje vysokou živostnost a je snadno zjistitelný pomocí hmatatelného pohybu po bankovce. Tato designová funkce umožňuje lidem s tělesným či zrakovým postižením okamžité a účinné rozpoznání nominální hodnoty bankovky. Tento prvek je na dotek jemný a také pomáhá k efektivnímu rozpoznání prvku bankovky bez použití externího zařízení. Díky substrátu Guardian® trvale drží svůj ozdobný tvar a zajišťuje dlouhou životnost v rámci hmatatelné funkce na rozdíl od jiných substrátů. [28]



Obr.17. *DOMINO®* [28]

5.3 Tajné ochranné prvky

Mezi tajné prvky bankovek Guardian® patří:

- MAGread®,
- ECLIPSE®,
- D-CODE™,
- Vlákna označena malými písmeny.

5.3.1 MAGread®

Je čitelná bezpečnostní funkce umožňující použití magnetického inkoustu během výroby substrátu. Na rozdíl od tradičních rovných vláken mohou být pomocí MAGread® navržena vlákna v jakémkoliv formátu, včetně nelineárních komplexních křivek a nespojitých, vícesměrných vzorů. MAGread® prvky tvoří magnetická vlákna, která jsou součástí tradičních bezpečnostních funkcí bankovek využívaných po celém světě. Vlákna nemusí být rovná, ale mohou být navržena tak, aby vyhovovala jakémukoliv designu bankovky. Tento bezpečnostní prvek je strojově čitelný, což umožňuje velice snadnou identifikaci osobě používající daný přístroj. Poskytuje vysokou odolnost vůči padělání z důvodu použití magnetického inkoustu, který je obtížně dostupný. Díky svému jedinečnému flexibilnímu designu může být hladce implementován do bankovky. [28]



Obr.18. *MAGread®* [28]

5.3.2 ECLIPSE®

Je opticky proměnlivý prvek, který při pohledu přes průhledné okno pomocí zdrojového světla odhaluje skrytý obrazec. Tento bezpečnostní prvek vyniká svojí unikátní viditelností, ať už v nočních, či denních podmínkách, ve kterých je mnoho bezpečnostních prvků neviditelných. Další z vynikajících vlastností je, že má mechanickou a chemickou odolnost

v případě pokusu o neoprávněné zničení. Díky své jedinečnosti je bankovka odolná vůči příležitostným či profesionálním padělatelům. [28]



Obr.19. *ECLIPSE*® [28]

5.3.3 D-CODE™

Je vysoce pokročilým zabezpečovacím prvkem, který je velice účinným při identifikaci bankovek. Jedná se o skrytý bezpečnostní prvek vkládaný do substrátu Guardian® při výrobě bankovek s tímto substrátem. Vloženým prvkem se rozumí jedinečný kód. Pomocí technologie D-CODE™ se generuje velké množství jedinečných kódů, které se přiřazují konkrétním bankovkám. Každá bankovka má svůj unikátní kód. Tento prvek se používá ve spojení s ochranou Metalix®, na jehož základě je bankovka bezpečně chráněna a zaručuje se tak její odolnost vůči padělání. Metalix® nabízí širokou škálu barev pro implementaci do bankovky. Je možné použít následující barvy: červená, zlatá, stříbrná, modrá, zelená a fialová. D-CODE™ může být detekován pouze pomocí specializovaného detekčního zařízení. Detektor byl vyvinut v roce 2007 spolu s vývojem tohoto bezpečnostního prvku. Detektor je schopný zpracovat až 40 bankovek za sekundu. Tato ochrana zůstane funkční po celou dobu životnosti konkrétní bankovky. [28]



Obr.20. *D-CODE*™ [28]

5.3.4 Vlákna označena malými písmeny

Jedná se o vlákna obsahující mikro písmena nebo čísla v podobě tištěné či stíněné. Tato vlákna mohou mít podobu přímky či jiných různých křivkových tvarů. Tento bezpečnostní prvek vyniká vysokou odolností z toho důvodu, že slouží jako komponent při výrobě substrátu. Vlákna mohou být identifikovatelná veřejností za použití lupy. Vlákna s mikro písmenem zvyšují celkový design bankovky, a navíc účinně zabraňují padělání. Dalšího zkvalitnění mikro písmenových vláken lze dosáhnout přidáním dalších ochranných prvků např: stínové obrázky či okenní prvky. [28]



Obr.21. Mikropísmenová vlákna [28]

5.4 Ochranné prvky s metalickými efekty

Díky optickým proměnlivým efektům je sníženo riziko padělání a současně poskytuje veřejnosti snadnou identifikovatelnost. Jsou tvořeny inkoustem obsahujícím pigmenty s vysokým indexem lomu, které odrážejí dopadající světlo a vytvářejí kovový lesk. Inkoust byl vyvinut společností Innovia Security pro bankovky vyrobené z polymerního substrátu Guardian®. Metalický inkoust se zpravidla používá k tvorbě přímých tištěných obrazových prvků. Kovový efekt je pozorován v odraženém světle na obou stranách bankovky za předpokladu, že pozorovací a osvětlovací úhly vůči kolmici jsou stejné. Jak již bylo zmíněno výše, u skrytého prvku D-CODE™, obsahuje širokou škálu barev. [28], [31]

5.4.1 LATITUDE®

Je bezpečnostní prvek charakterizovaný svým fóliovým efektem. Tento element je začleněn do okna bankovky a umožňuje vložení jakéhokoliv obrazce v libovolné velikosti. Zjednodušeně řečeno, prvek LATITUDE® poskytuje metalické efekty objevující se na bankovce při jejím naklonění. Dochází k barevným změnám obrázku i k jeho pohybu. Další

z mnoha výhod je i vysoká životnost, protože tento prvek je zapuštěn přímo do substrátu Guardian®. [28]



Obr.22. *LATITUDE*® [28]

5.4.2 METALIX®

Patří do jednoho z průlomových bezpečnostních prvků, který je vybaven kovovým efektem. Kvůli tomuto kovovému složení je extrémně odolný vůči různým chemikáliím a také jeho oxidaci. Zabráňuje zašpinění kovových tiskových barev na bankovce při delším používání. Vyznačuje se hladkým a neporézním povrchem zvyšující metalický lesk tohoto prvku. Působením kyseliny či alkalické látky, jako je prací prostředek, dojde k rychlé degradaci tradičních kovových inkoustů, které se tímto stávají nevhodnými při tisku na bankovky. S METALIXEM® tyto problémy nenastanou, a proto je vhodný pro použití v náročných podmínkách. Je využit na obou stranách bankovky pro jeho lepší identifikovatelnost. Dříve existoval pouze ve zlaté barvě, ale nyní obsahuje 8 barevných kombinací pro lepší design. Je možné ho vylepšit přidáním dalších variabilních prvků jako jsou např: G-Switch®, Aurora™. [28]



Obr.23. *Metalix*® [28]

5.4.3 DOVDs: Flexibilní optické variabilní prvky

Tento prvek je hojně využíván na bankovkách proti jejich padělání a bývá umístěn na obou stranách bankovky, a to buď přímo v okně, nebo v části neprůhledného povrchu. Byl poprvé použit na pamětním australském dolaru v nominální hodnotě 10\$, který byl vydán v roce 1988. Aplikuje se na substrát ještě před jeho hlubotiskem. Lze jej umístit kamkoliv na bankovku a také zvyšuje bezpečnost a estetiku. [28]



Obr.24. Flexibilní optické variabilní prvky [28]

5.5 Měnící se ochranné prvky

Dalšími prvky polymerových bankovek jsou variabilní neboli měnící se prvky, které se na bankovkách vyznačují pomocí různých metod, jako jsou: [28]

- HORIZON®,
- AURORA®,
- G-Switch®,
- RIswitch®.

5.5.1 HORIZON®

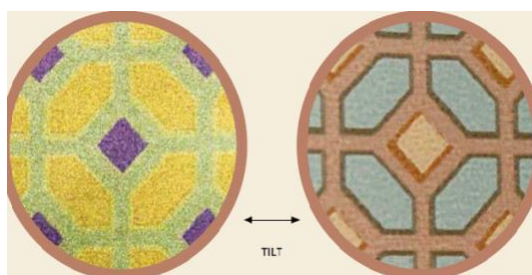
Je velice pokročilá lentikulární tisková metoda umožňující ultra tenké 12 mikronové čočky dodávat dynamické, okem detekovatelné změny a rozdíly v kontrastu. Prvek může být široký až 20 mm, což z něj činí největší dostupný bezpečnostní prvek. Jeho velikost umožňuje velké a zjevné obrázky vykreslované pomocí pohybů bankovky. Tento prvek je obtížné padělat, vyžaduje vysokou odbornou znalost, technické vybavení i tloušťku tiskové čočky. Vyznačuje se vysokou mechanickou pevností díky tenké fólii, která je použita. [28]



Obr.25. HORIZON® [28]

5.5.2 AURORA®

Je pojmenovaná po zářivých barevných změnách pozorovaných v atmosféře v polárních oblastech. Používá inkousty specifických barevných kombinací vedoucích k vytvoření zajímavých barevných návrhů. Tyto prvky jsou velice obtížně padělatelné i za pomoci nejpokročilejších digitálních tiskových strojů. Skládá se z několika barevných párů navrhovaných společně, které nabízejí pokročilé barevné efekty při naklápění bankovky např. změnu dvou odlišných barev na jiné. [28]



Obr.26. AURORA® [28]

5.5.3 G-Switch®

Je funkce založena na změně barvy při naklonění bankovky. V konkrétní oblasti dojde ke změně z jedné barvy na jinou. Vytváří se již během procesu výroby substrátu. Změna barvy je snadno identifikovatelná i pro laickou veřejnost. Tento efekt lze sledovat buď v průhledných nebo polovičních oknech. Také jej nelze padělat pomocí digitálního tisku, což zvyšuje zabezpečení. [28]



Obr.27. G-Switch® [28]

5.5.4 IRIsSwitch®

Nabízí perleťový lesk a používá se v širokých barevných pásmech nebo v obrázcích. Je viditelný z různých úhlů a při pohledu na bankovku se mění textura bankovky ze skrytých barev na viditelné. Disponuje buď modrým, nebo zlatým tiskem, který lze při designování bankovky navrhnout v mnoha různých formátech. [28]



Obr.28. IRIsSwitch® [28]

6 AUSTRALSKÉ DOLARY

První australské polymerové bankovky byly vyrobeny v minulém století, i když australská měna existovala již mnohem dříve. Například domorodý obchod byl založen na směně a výměně. Kolonisté zpočátku používali jiné provizorní měny, jako byl například rum. Objev zlata roku 1851 vedl k výrobě vlastních australských zlatých mincí a urychlil rozvoj bankovníctví. Komerční banky vydávaly své vlastní bankovky kryté zlatem, ačkoli lidé byli často ostražití, a to zejména poté, co mnoho bank v roce 1893 zbankrotovalo. Queenslandská státní pokladna také vydávala vlastní bankovky zákonného platidla a zakázala soukromým bankám ve státě vydávat vlastní bankovky. Přidělení odpovědnosti za vydávání bankovek státní pokladnou rozhodl australský zákon o bankovkách z roku 1910. Soukromé banky byly nadále odrazovány zákonem o dani z bankovek, taktéž z roku 1910, který ukládal daň ze všech vydaných bankovek ve výši 10 % ročně. [32]

První tiskárna na výrobu nových bankovek byla umístěna poblíž přístaviště na západní straně Flinders Street v Melbourne. Vůbec první úspěšnou tiskárnu na výrobu bankovek vynalezl v roce 1912 Angličan Thomas Samuel Harrison, který měl bohaté znalosti a zkušenosti v oblasti bezpečnostního tisku. Celý rok získával a zřizoval výrobní zařízení na produkci bankovek, a tak v roce 1913 byla vytištěna první australská bankovka. [32]

Od roku 1913, kdy byly vytištěny první australské bankovky, bylo vydáno sedm kompletů týkajících se změn z nenulové nominální hodnoty po desítkovou. Tato změna se projevila i se změnou tisku, kdy místo tisku na papír byl použit polymer. První řada polymerových australských bankovek byla vydána v letech 1992 až 1996. Austrálie se stala první zemí na světě, kde tisk probíhal na polymerový substrát. Aktuální nominální hodnota bankovek se skládá z 5 \$, 10 \$, 20 \$, 50 \$ a 100 \$. Aby se zajistilo, že australská bankovka zůstane v bezpečí proti padělání i v budoucnu, jsou bankovky upgradovány tak, aby obsahovaly nové inovativní bezpečnostní prvky. První nominální hodnota v nové sérii bankovek byla 5 \$ bankovka. [32]

6.1 Nová generace australských dolarů

Nová generace bankovek obsahuje stejné klíčové designové aspekty jako je barva, velikost či vyobrazené osobnosti. Tyto rysy byly zachovány pro snadnější rozpoznávání jednotlivých bankovek. Obsahují také speciální funkci napomáhající především nevidomým lidem zjistit, o jakou nominální hodnotu bankovky se jedná. [33]

Hlavní funkcí Reserve bank of Australia je udržovat důvěru veřejnosti v bezpečnosti australských dolarů. Austrálie má jednu z nejbezpečnějších a nejzabezpečenějších měn na světě a mnoho let úspěšně bojuje s padělateli těchto bankovek. Aby stále byly bankovky bezpečné, Rezervní banka v Austrálii zkoumá technologie na výrobu padělků. Výsledky těchto prací vyvrcholily projektem na zvýšení bezpečnosti australských bankovek a vydání nové generace bankovek. [33]

První nominální hodnota v nové sérii byla 5 \$ bankovka, která byla vydána 1. září 2016. Bankovka nominální hodnoty 10 \$ byla vydána do oběhu 20. září 2017, po ní následovala bankovka v hodnotě 50 \$ dne 18. října 2018. Jako poslední do oběhu byla vydána 20 \$ bankovka, a to dne 9. října 2019. [33]

Nová generace bankovek obsahuje stejný bezpečnostní prvek pro všechny typy nominálních hodnot bankovek, a to právě okno rozprostírající se na bankovce od vrchu k její spodní části. Uspořádání prvků uvedených v tomto okně bude shodné napříč každou nominální hodnotu nové řady bankovek. Tyto prvky jsou ohraničeny specifickým proutím, v němž se nachází různé druhy ptáků a portrétů reprezentující každou bankovku. To znamená, že každá nominální hodnota v nové sérii bankovek bude vyobrazovat jiný druh australského ptáka. [33], [34]

V další podkapitole bude znázorněn výčet ochranných prvků z nové série bankovek. Bude zde zahrnuta pouze bankovka nové série v nominální hodnotě 10 \$. Zbylé bankovky a popis jednotlivých ochranných prvků budou zahrnuty v jednotlivých přílohách.

Výčet ochranných prvků bude pro tyto bankovky:

- 10 dolarů viz. kapitola 6.2,
- 5 dolarů viz. Příloha č.1,
- 20 dolarů viz. Příloha č.2,
- 50 dolarů viz. Příloha č.3.

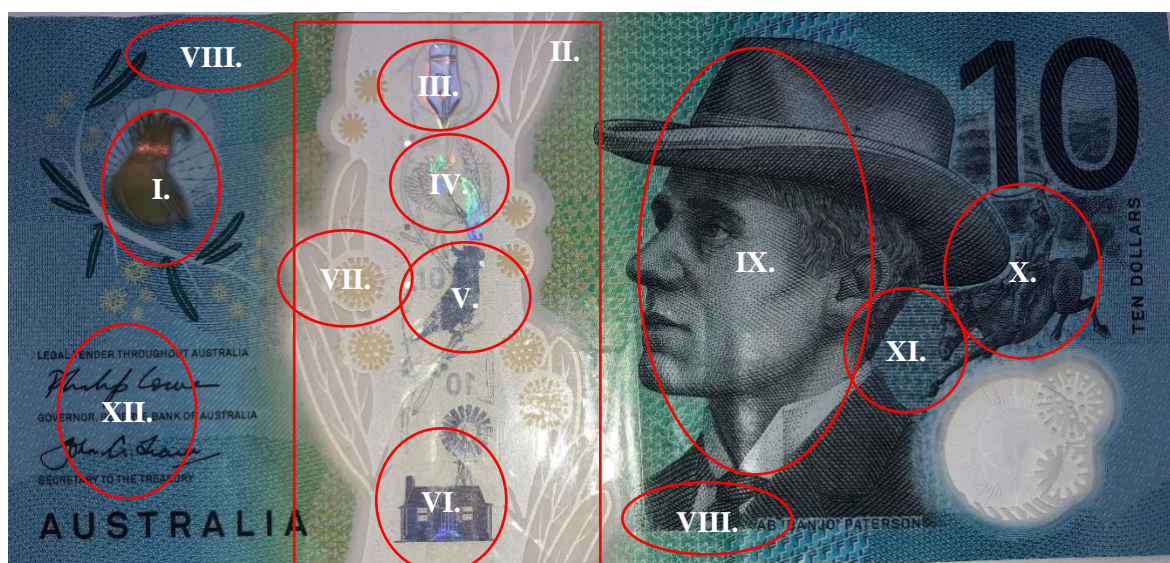
6.2 Bankovka 10 \$

Dne 19. září 2017 vstupuje do oběhu druhá australská bankovka z generace nových bankovek v nominální hodnotě deset dolarů. Její velikost je 65 mm na šířku a 137 mm na délku. Tato bankovka poskytuje řadu dalších bezpečnostních prvků oproti starší, pětidolarové bankovce, čímž se zvyšuje odolnost vůči padělání. Na rubu i líci bankovky jsou

znázorněny významné spisovatelské osobnosti. Na straně líce je vyobrazena spisovatelka Mary Gilmore s chatou, která odkazuje na australský život, o němž je psáno v její poezii. Na rubu je zobrazen portrét spisovatele Andrewa Bartona „Banjo“ Patersona a jeho jezdce na koni, který je odkazem na dobu, v níž psal. Bankovka tedy také zahrnuje prvky jejich spisovatelských děl. [35], [36], [37]

Součástí této bankovky jsou i inovativní bezpečnostní prvky. K těmto novým bezpečnostním prvkům patří především okno se shora dolů obsahující více interaktivních prvků, jako je papoušek kakadu s kolísavým barevným efektem, fluorescenční inkoust a vyvýšený tisk. Všechny bankovky v nové sérii obsahují také speciální hmatovou funkci pro nevidomé. U této bankovky jsou vyvýšené dva hmatové prvky znázorňující desetidolarovou nominální hodnotu. Tato bankovka je první v této sérii s podpisem guvernéra Philipa Loweho. [35], [37], [38]

6.2.1 Ochranné prvky líce



Obr.29. 10 \$ ochranné prvky líce [Archiv autora]

- I. **Efekt pohyblivých barev (bezpečnostní prvek)** – Tento prvek je stejný jako u pětidolarové bankovky, jejím nakloněním získáme zobrazení měnicích se barev. Efekt postupného zbarvení je viditelný z obou stran.
- II. **Středové okno se shora dolů (bezpečnostní prvek)** – V okně se nachází řada bezpečnostních prvků, které jsou do bankovky plynule integrovány a jsou ohraničeny proutím.

- III. **Hrot pera** (*designový prvek*) – Hrot pera lze vidět ve třech rozměrech s barevným rámečkem. Tento prvek navrhli díky své práci spisovatelé Gilmore a Paterson.
- IV. **Létající Kakadu** (*bezpečnostní prvek*) – Nakloněním bankovky uvidíme, jak Kakadu pohybuje svými křídly měnícími svoji barvu.
- V. **Kakadu žlutoččelatý** (*designový prvek*) – Pomocí tohoto prvku je interpretován druh velkého papouška z čeledi kakaduoovitých.
- VI. **Obracející se hodnota 10 uvnitř usedlosti** (*bezpečnostní prvek*) – Při naklonění bankovky spatříme měnící se směr čísla 10 uvnitř usedlosti.
- VII. **Ostružinové proutí** (*designový prvek*)
- VIII. **Hmatový funkční prvek** (*designový prvek*) – Tak jako u pětidolarové bankovky se na bankovce nachází dva vyvýšené „hrbolky“ zvyšující odolnost vůči padělání. Především slouží lidem zrakově postiženým ke snadné identifikaci konkrétní nominální hodnoty bankovky.
- IX. **Portrét spisovatele A. B. „Banjo“ Patersona** (*designový prvek*) – Portrét vznikl na základě návratu Petersona z Búrské války v roce 1900.
- X. **Jezdec** (*designový prvek*) – Jedná se o designérskou interpretaci jezdce z doby Patersonovy tvorby.
- XI. **Mikrotisk/mikropísmo** (*bezpečnostní prvek*) – Na více místech bankovky je vytištěno mikropísmo s jasně definovaným textem. Obsahuje výňatky textu z Petersonova díla *The Man from Snowy River*.
- XII. **Fluorescenční znak** (*bezpečnostní prvek*) – Pokud bankovku ozáříme UV zářením, objeví se skrytý Kakadu a větev proutí. [37], [38]



Obr.30. Fluorescenční znak [38]

6.2.2 Ochranné prvky rubu



Obr.31. 10 \$ ochranné prvky rubu [Archiv autora]

- I. Hrot pera (bezpečnostní prvek)** – V malém průhledném okně je viditelný hrot pera.
- II. Chata (designový prvek)** – Tento prvek poukazuje na život v australské zalesněné oblasti. Tuto oblast lze chápat jako suchou půdu, většinou bez trávy, s hustými dřevinami keřů. Tento život je popsán i v Gilmorově poezii. Obraz chaty je převzat z fotografie pořízené z 18. století.
- III. Ofsetový tisk v pozadí (bezpečnostní prvek)** – Na každé straně bankovky jsou vyobrazeny vícebarevné vzory jemných čar.
- IV. Portrét spisovatelky Mary Gilmore (designový prvek)** – Tento portrét vznikl na základě pořízené fotografie, když jí bylo 20 let.
- V. 3D hrot pera (bezpečnostní prvek)** – Nakloněním bankovky získáme trojrozměrný hrot pera s barevným rámečkem.
- VI. Pestře barevný Kakadu (bezpečnostní prvek)** – Nakloněním bankovky získáme viditelně měnící se barvy korunky Kakadu, která se nachází na jeho hlavě.
- VII. Usedlost/statek (designový prvek)** – Tento typ statku se objevuje v dílech Gilmora a Patersona.
- VIII. Efekt pohyblivých barev (bezpečnostní prvek)** – Nakloněním bankovky získáme rolující se barevný efekt, který je viditelný na obou stranách bankovky.

- IX. Portrét spisovatelky Mary Gilmore u svého stolu** (*designový prvek*) – Tento portrét je získaný z fotografie (1952). Pocházela z portrétní sbírky Herald and Weekly times limited (vydavatelství novin).
- X. Hlubkový tisk** (*bezpečnostní prvek*) – Obsahuje výraznou texturu vyvýšeného tmavého tisku. Tento vyvýšený tisk lze cítit přejetím prstu přes portrét číslice.
- XI. Mikrotisk/mikropísmo** (*bezpečnostní prvek*) – Na více místech bankovky je definované tištěné mikropísmo. Toto písmo obsahuje výňatky z básně „Žádný nepřítel neshromažďuje naši sklizeň“ od Mary Gilmore.
- XII. Fluorescenční znak** (*bezpečnostní prvek*) – Ozářením bankovky pomocí UV světla získáme skrytý bezpečnostní prvek ve formě sériového čísla bankovky a jejího roku tisku. [38], [37]



Obr.32. Fluorescenční znak [37]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 HLAVNÍ CÍLE PRÁCE

V této kapitole jsou popsány jednotlivé cíle v rámci vlastního měření bankovek.

Cílem bakalářské práce bylo provést experimentální analýzu u vybraných polymerových bankovek zaměřující se na jednotlivé bezpečnostní prvky a materiály použité pro výrobu bankovek.

Získaná jednotlivá spektrální data vhodně zpracovat a zhodnotit pomocí měření na Ramanovu spektrometru. Další podkapitoly ukazují na naplnění těchto cílů. Současně jsou dosažené výsledky komentovány pod těmito daty.

Pro toto zkoumání bylo nutné vybrat vhodné bankovky na měření.

Cílem bylo naměření Ramanových spekter ochranných prvků, barevných inkoustů a materiálu polypropylenu.

V neposlední řadě také nutnost zjistit, zda Ramanova spektroskopie je vhodná pro studium polymerových bankovek, či nikoliv.

8 SPEKTROMETR NA FAKULTĚ APLIKOVANÉ INFORMATIKY

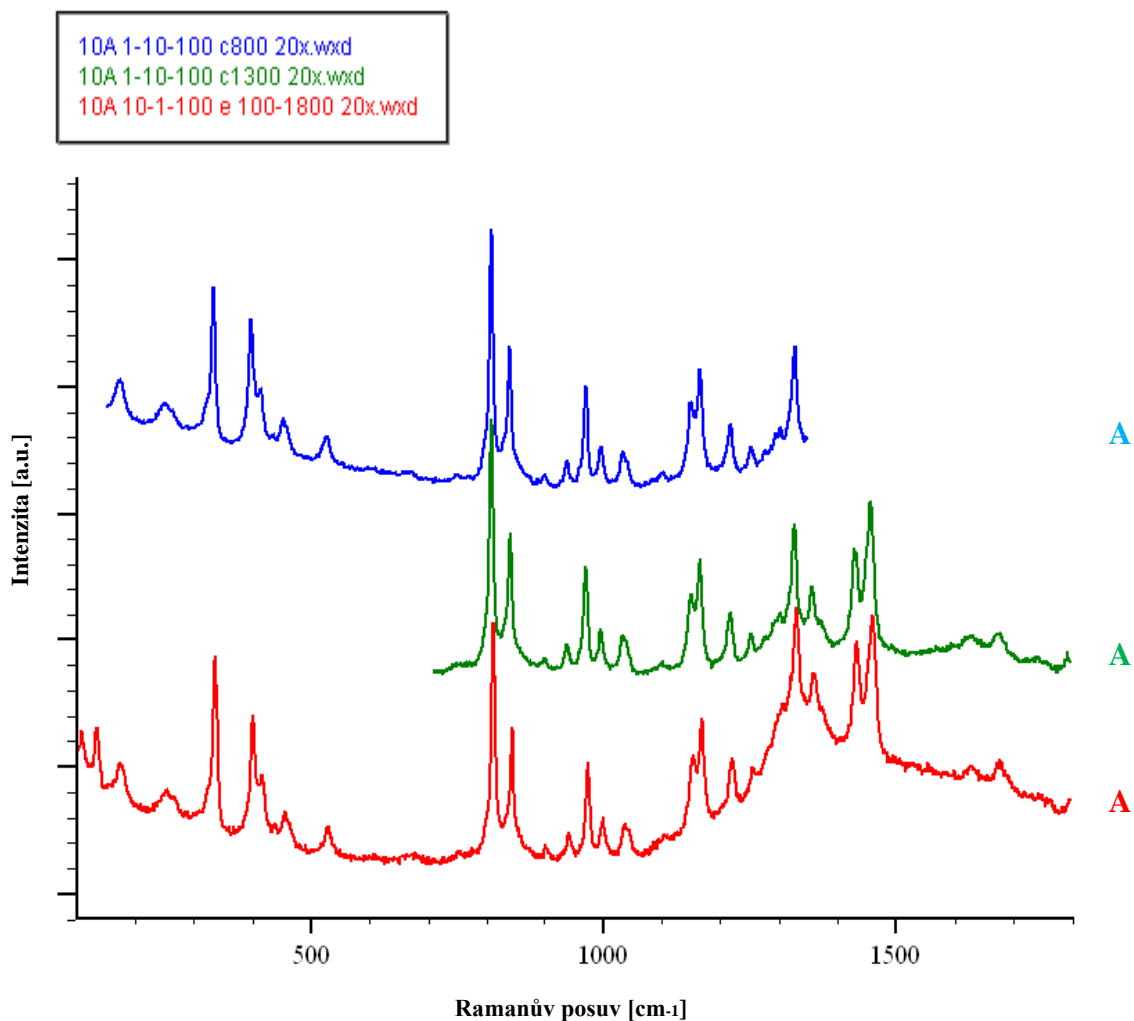
Pro měření všech Ramanových spekter byl využit spektrometr inVia Basis od firmy Renishaw, umístěný v laboratoři na Fakultě aplikované informatiky. Tento typ přístroje využívá dva druhy laserů. Jedním z nich je argonový laser s vlnovou délkou 514 nm (oblast viditelného světla). Jeho maximální výkon je 20 mW. Dalším druhem laseru využívaný u tohoto typu je diodový. Právě tento byl využit k měření jednotlivých spekter jako vhodnější volba pro tento typ získání Ramanových spekter. Disponuje 785 nm vlnovou délkou (blízké infračervené oblasti s maximálním výstupním výkonem 300 mW. Vyznačuje se také velice přesnou optikou. Spektrometr dále obsahuje filtr sloužící k eliminaci excitačních vlnových délek laserů (514 nm, 785 nm). Je vybaven optickými mřížkami s 1800 l/nm (VIS) a 1200 l/nm (NIR).

Detektor CCD je chlazený termoelektricky s rozlišením (1024x256 pixelů). Součástí spektrometru je i konfokální mikroskop Leica, včetně videokamery pro snímání a přenesení obrazu do počítače. Mikroskop je tvořen i řadou objektivů umožňující 5x, 20x a 50x násobné zvětšení vzorku. Je umístěný na motorickém stolku s mikroskopickým posuvem v osách X, Y, Z s ovladatelným joystickem. Jednotlivé parametry měření lze definovat na počítači pomocí softwaru WiRE 3.2. Slouží také pro snadnou a přehlednou analýzu s naměřenými daty. Data můžeme uložit z počítače na USB disk pomocí USB portu.

8.1 Parametry měření

Měření probíhalo na Ramanově mikroskopu od výrobce Renishaw, konkrétně na modelu inVia. Různé materiály vyžadují různou kombinaci měřících parametrů pro získání optimálního spektra (se zřetelnými píky a co nejmenším šumem). Měření byla prováděna statickým (static) skenováním v rozsahu Ramanova posuvu 100 cm^{-1} až 1800 cm^{-1} . Při statickém měření byl používán rozsah Ramanova posuvu se středem 800 cm^{-1} a 1300 cm^{-1} . V rámci rozšířeného skenování se využíval Ramanův posuv od 100 cm^{-1} do 1800 cm^{-1} . Tyto rozsahy jsou znázorněny na Obr.33. Definuje se středem spektrálního rozsahu a rozsah naměřeného spektra je dán vlastnostmi použité optické mřížky. Tento druh skenování se prováděl rychleji než rozšířený, avšak zahrnoval pouze omezený rozsah spekter. Proto byla potřeba tato spektra změřit i pomocí rozšířeného (extended) skenování v rozsahu Ramanova posuvu 100 cm^{-1} až 1800 cm^{-1} , kdy se definuje přímo rozsah, který může být větší než u měření statického. Použitím vyššího výkonu laseru lze při měření snížit šum, je ale třeba

dávat pozor, aby vysoká intenzita laseru nebyla natolik vysoká a lokálně nenarušila bankovky.



Obr.33. Ramanova spektra statického a rozšířeného skenování [Archiv autora]

Obrázek vyznačuje Ramanovo spektrum, které se identifikuje rozdílem Ramanova posuvu na horizontální ose a intenzitou na vertikální. Z vodorovné osy můžeme číst informace o molekulárních vibracích a ze svislé osy můžeme číst sílu aktivity.

Dle legendy vyplývá, že měření probíhalo na stejném místě bodu **A**, se třemi různými měřícími parametry. Pro jednoduchost a přehlednost jsou spektra vyznačena třemi různými barvami. Barva **modrá** znázorňuje statické měření se zvětšením objektivu 20x, expoziční dobou 1 s, 10 akumulacemi a výkonem laseru 100 % ve středu 800 cm⁻¹. Pro barvu **zelenou** bylo použito stejné měření jako u modré, ale se středem 1300 cm⁻¹. Poslední měření je ukázáno na spektru barvy **červené**, které probíhalo pomocí rozšířeného skenování za použití

objektivu 20x, expoziční dobou 10 sekund, 1 akumulací a výkonem laseru 100 % v rozsahu od 100 cm^{-1} do 1800 cm^{-1} .

Dle naměřených spekter vyplývá, že při statickém měření ve středech 800 cm^{-1} nebo 1300 cm^{-1} , byla zachycena pouze část spekter. Pro zobrazení rozšířeného spektra v rozsahu 100 cm^{-1} až 1800 cm^{-1} je tedy vhodnější použití rozšířeného skenování nabízející plnohodnotné spektrum měřené části bankovky.

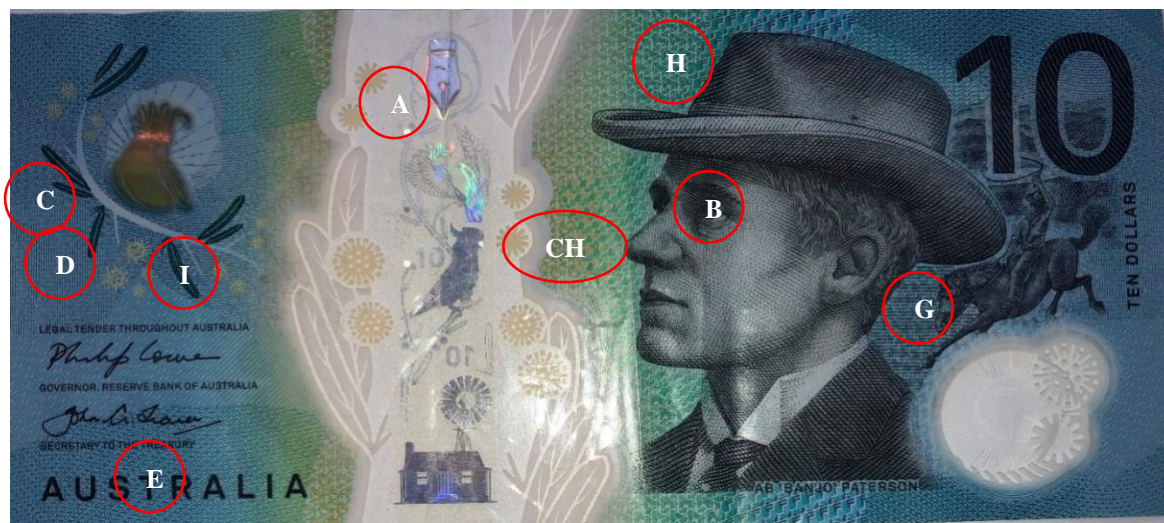
9 MĚŘENÍ BANKOVEK

Pro měření byly vybrány australské dolary v nominálních hodnotách 5, 10, 20, 50 dolarů. Každá bankovka má vyznačená místa, která sloužila pro měření, ať už statického či rozšířeného skenování, přičemž získaná spektra jsou součástí všech nominálních hodnot.

Ve všech uvedených grafech této kapitoly byla k jednotlivým spektrům přičtena konstanta, aby se křivky nepřekrývaly a byly dobře viditelné nad sebou. Vzhledem k tomu, že se jednalo pouze o konstantu, byla na svislé ose ponechána intenzita v jednotkách a.u. Díky tomu bylo dosaženo přehlednosti grafů bez ztráty relevantní informace, která je vyčítána z osy x (Ramanův posuv).

9.1 Bankovka 10 \$

Na Obr.34 jsou vyznačené jednotlivé části bankovky, které byly měřeny pro získání Ramanových spekter znázorněných na Obr.35. Po skenování celého povrchu bankovky byly vybrány referenční body, vzhledem k výskytu charakteristických spekter právě v těchto bodech. Jedná se o následující body:



Obr.34. 10 \$ - *líc* [Archiv autora]

- A – průhledné středové okno se shora dolů s bezpečnostními prvky,
- B – oko představitele,
- C – světle modrá barva,
- D – tmavě modrá barva,

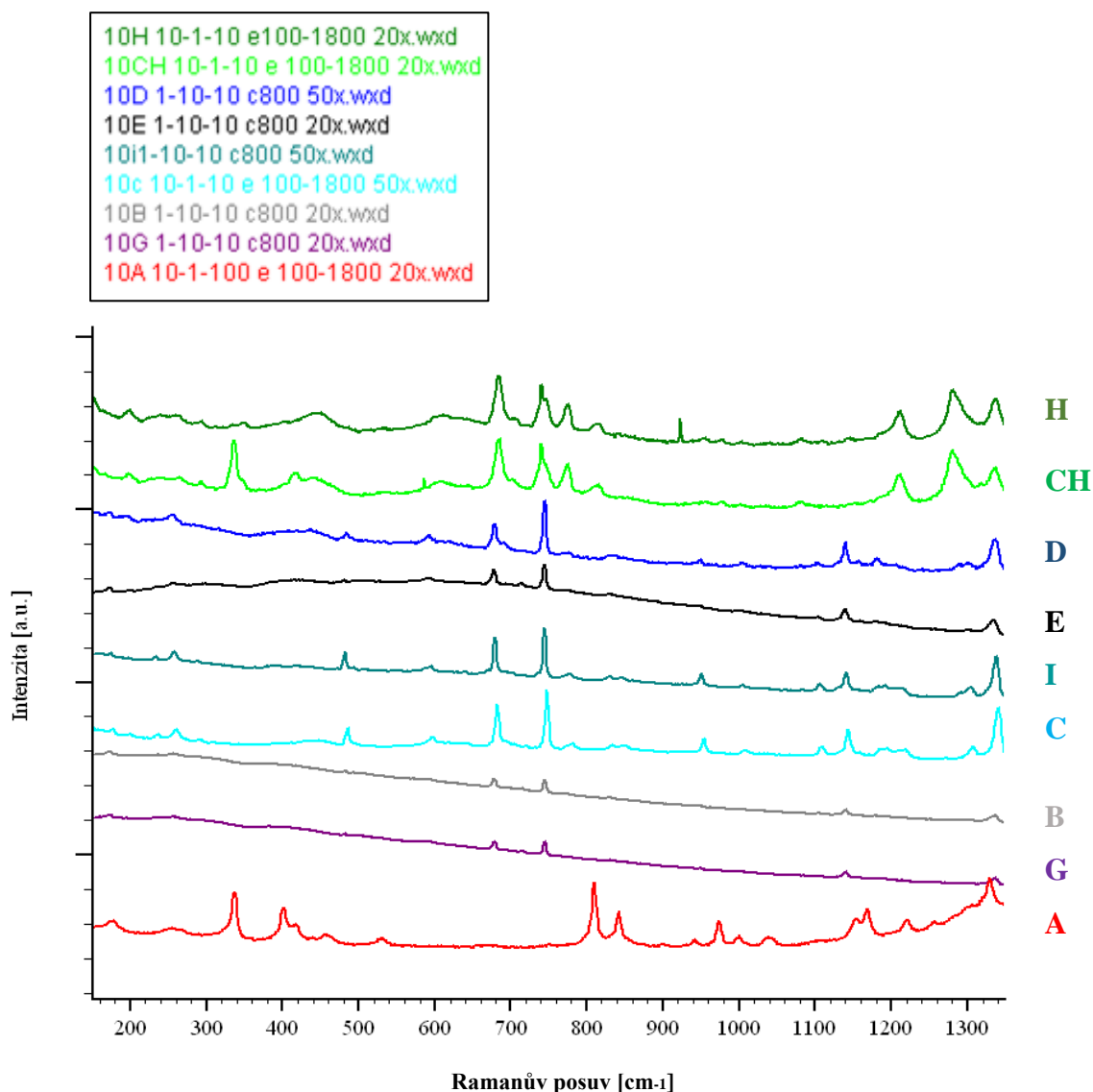
E – písmeno T v názvu AUSTRALIA,

G – mikropísmo (černá barva),

H – tmavě zelená barva,

CH – světle zelená barva,

I – tmavě zelené lístky.



Obr.35. Ramanova spektra líce 10\$ [Archiv autora]

Body **H**, **CH** byly měřeny pomocí rozšířeného skenování za použití objektivu se zvětšením 20x s expoziční dobou 10 sekund, jež byla předefinována jako nejnižší možná časová hranice, 1 akumulací, s výkonem laseru 10 %, v rozsahu 100 cm⁻¹ až 1800 cm⁻¹. U bodu **C**

došlo pouze ke změně objektivu na 50x a u bodu **A** byl použit 100 % výkon laseru. Body **D**, **I** byly měřeny pomocí statického skenování za použití objektivu zvětšeného 50x s expoziční dobou 1 sekunda, 10 akumulacemi, s výkonem laseru 10 % ve středu 800 cm⁻¹. Body **E**, **B**, **G** byly měřeny se stejnými parametry, pouze za použití objektivu zvětšeného 20x.

Ramanova spektra jsou vyjádřena body **D**, **E**, **I**, **C** se znatelnými rozdíly. Tyto vybrané body se při pohledu na bankovce jeví jako tmavě modrá (**D**), tmavě zelená – lístky (**I**), světle modrá (**C**), u (**E**) nelze poznat barvu z obrázku, což naznačuje, že světlá, respektive tmavá barva je dána spíše distribucí čar ve vzoru na dané oblasti bankovky. Stejným spektrem se projevuje i tmavě zelená barva (**H**), u níž výsledkem zřejmě není jen spektrální odezva barevného pigmentu, ale i jiné složky použitého inkoustu, který je výraznější než samotný pigment. U ostatních bankovek jsou získaná spektra této barvy totožná pro všechny nominální bankovky viz. Obr.49.

Body **H** i **CH** se na bankovce jeví v barvě tmavě a světle zelené. Spektra jsou si podobná a naznačují velmi podobné složení. Porovnání se spektrem viditelné na bankovce tmavě zelené barvy – lístky (**I**) vyjadřují znatelné rozdíly ve složení.

U bodů **B**, **G**, se při pohledu na bankovku jeví jako odstín černé barvy. Jejich spektra vypadají podobně, avšak se zde projevuje mírná luminiscence. Vystupují jen nejintenzivnější píky, které jsou na stejných vlnočtech (hodnotách osy x), jako u spekter **D**, **E**, **I**, **C**. Z toho vyplývá, že modré, zelené i černé body se projevují stejným výsledným spektrem. Toto zjištění vede k tomu, že se ve spektru nejspíš neprojevuje konkrétní barva, ale objevují se i prvky materiálového složení, či jiných pigmentů. Jasně odlišnou distribuci píků ve spektru získáváme u polypropylenového substrátu **A**. Tento materiál potvrzuje i porovnání se spektrální knihovnou dostupnou u přístroje inVia. Spektrum z knihovny je uvedeno na Obr.43.

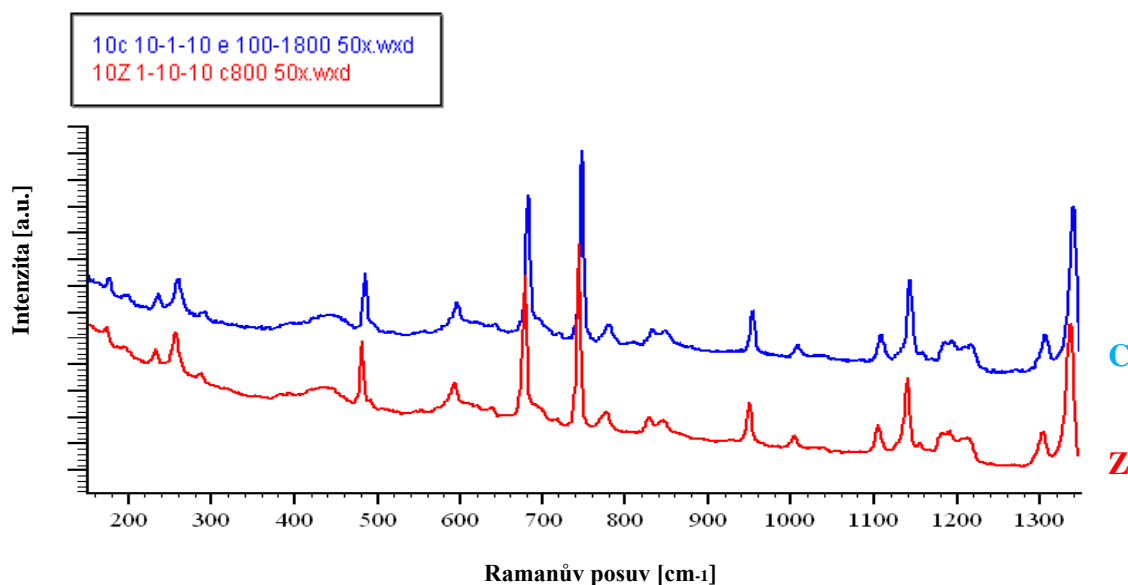
9.1.1 Porovnání spekter rubu a líce 10 \$

Na Obr.36 je vyznačená část bankovky, která byla měřena pro získání Ramanových spekter, znázorněných na Obr.37. Jedná se o následující:



Obr.36. 10 \$ - rub [Archiv autora]

Z – Světle modrá barva



Obr.37. Ramanova spektra rubu a líce [Archiv autora]

Pro měření tohoto typu spekter byla použita bankovka ze strany líce a rubu v nominální hodnotě 10 \$. Byla porovnávána světle modrá barva na obou stranách. Na straně líce se jednalo o bod C viz. Obr.34 a na rubu bod Z viz. Obr.36. Cílem tohoto měření bylo porovnat

spektra odpovídající oblastem se stejnou barevností na obou stranách bankovky a zjistit, zda se shodují a není tedy třeba dále měřit obě strany u každé z nominálních hodnot.

Bod **C** byl měřen rozšířeným skenováním za použití objektivu zvětšeného 50x s expoziční dobou 10 sekund, 1 akumulací s výkonem laseru 10 % v rozsahu od 100 cm⁻¹ do 1800 cm⁻¹. U bodu **Z** bylo použito statické měření se zvětšením objektivu 50x, expoziční dobou 1 sekunda, 10 akumulacemi a výkonem laseru 10 % ve středu 800 cm⁻¹.

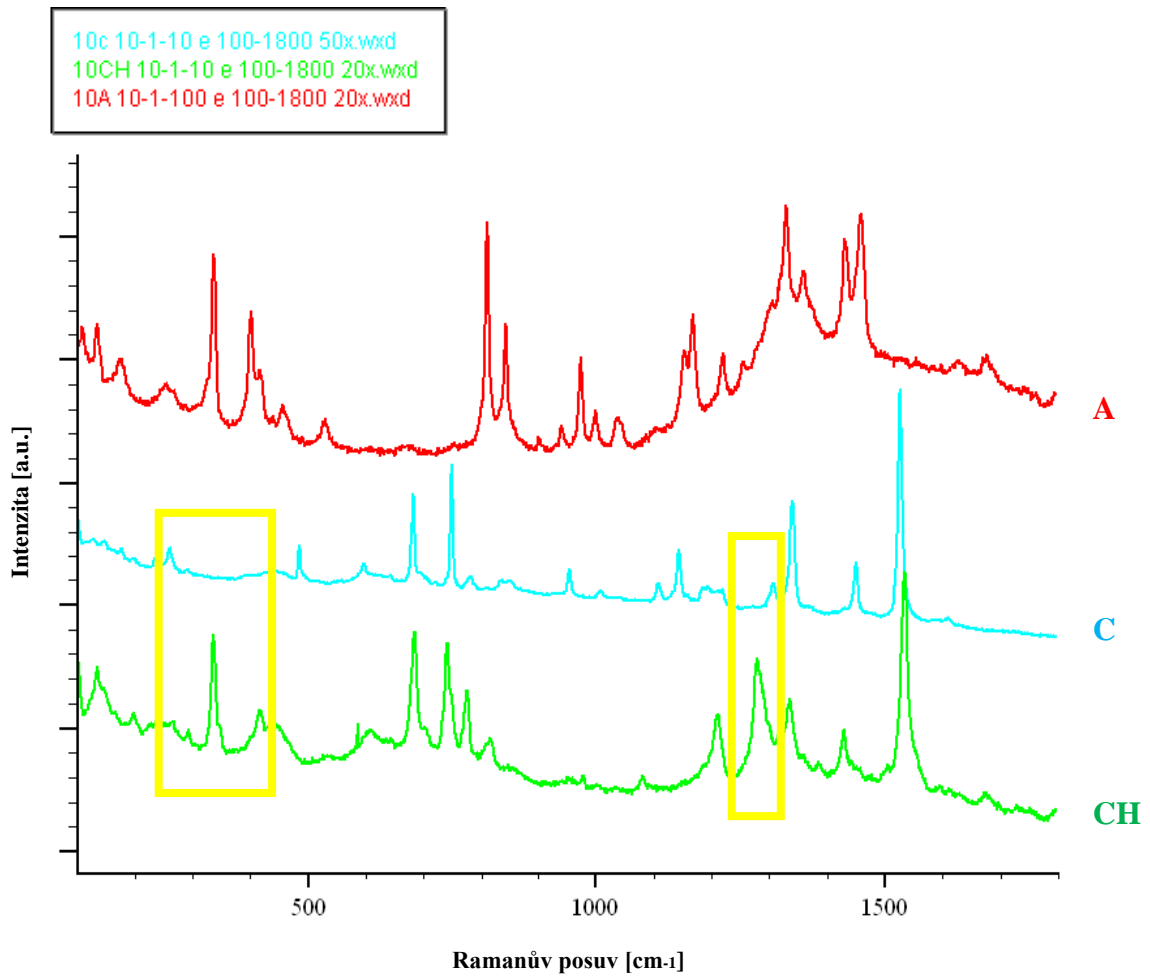
Ramanova spektra jsou znázorněna na Obr.37 vyjadřující totožné Ramanovy vrcholy i jejich intenzitu. Toto srovnání vypovídá o stejném inkoustu použitého jak na rubu, tak líci, tudíž pro další měření a porovnání spekter byly použity bankovky lícových stran.

9.1.2 Porovnání spekter různých barev a polypropylenového substrátu

Měření spekter viz. Obr.38 probíhalo na bankovce 10 \$ strany líce. Jednotlivé body jsou znázorněny na Obr.34. Byla porovnáována tři místa bankovky: **A**, **C**, **CH**. U bodu **A** bylo měřeno středové ochranné okénko (polypropylenový substrát). Bod **C** vyjadřuje světle modrou barvu a u posledního bodu **CH** byla analyzována světle zelená barva.

Na všechna tři měření bylo použito rozšířené měření v rozsahu od 100 cm⁻¹ do 1800 cm⁻¹. Na bod **A** byl aplikován objektiv se zvětšením 20x, expoziční dobou 10 sekund, 1 akumulací a výkonem laseru 100 %. U bodu **CH** byl uplatněn objektiv se zvětšením 20x, expoziční dobou 10 sekund, 1 akumulací a výkonem laseru 10 %. Poslední bod **C** má stejné parametry jako bod **CH**, pouze byl použit rozdílný objektiv se zvětšením 50x.

Na první pohled jsou naměřená spektra bodu **C** a **CH** totožná, ale můžeme si povšimnout, že u bodu **CH** se objevují vrcholy (píky), které nejsou totožné s bodem **C**. Tato odchylka je vyznačena ve žlutém rámečku a ukazuje na odlišnosti vrcholů v naměřených Ramanových spektrech. Současně jsou použity i jiné barevné inkousty na stejné bankovce. Bod **A** vyjadřuje měření středového okna (polypropylenového substrátu). Jednotlivé vrcholy vypovídají o možnosti shody s polypropylenovým substrátem.



Obr.38. Porovnání výběru barev a polypropylenového substrátu [Archiv autora]

9.2 Bankovka 20 \$

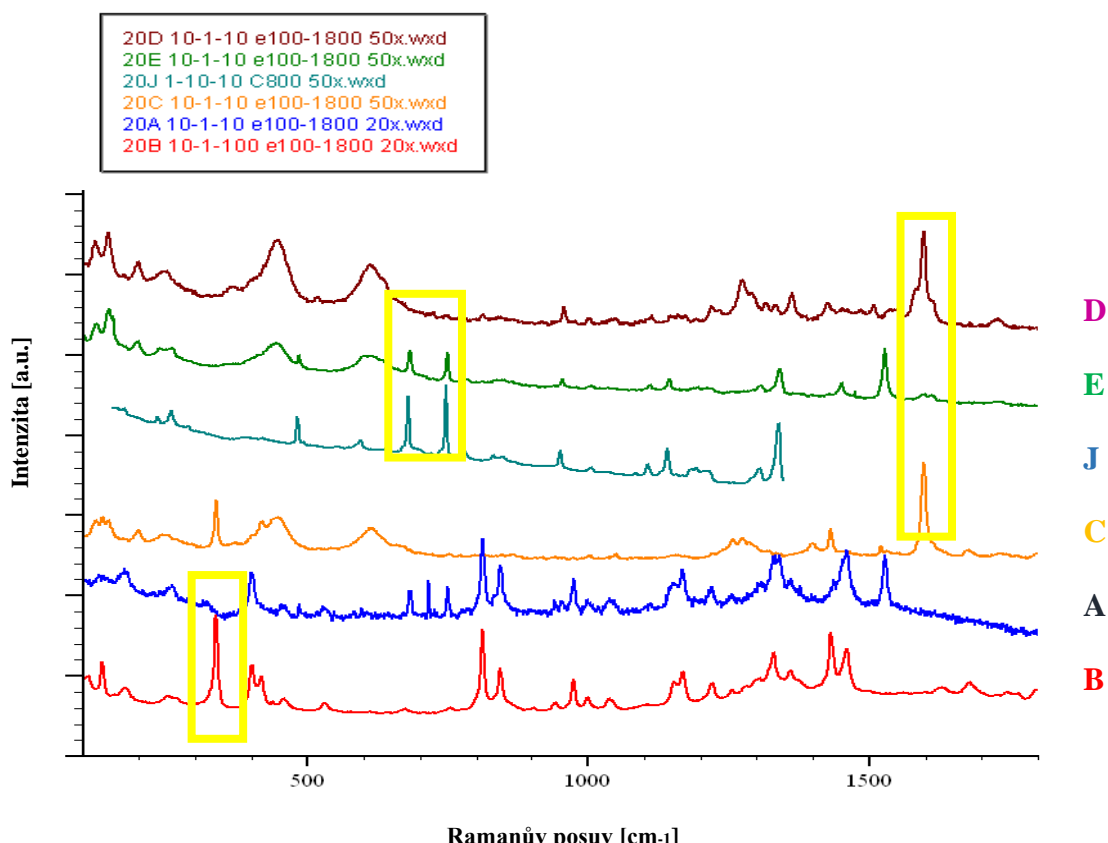
Je druhou bankovkou, které bylo věnováno nejvíce pozornosti. Jednotlivé měřené body této nominální hodnoty jsou znázorněny na Obr.39. Jedná se o následující body:



Obr.39. 20 \$ - líc [Archiv autora]

- **A** – efekt pohyblivých barev (bezpečnostní prvek),
- **B** – průhledné středové okénko se shora dolů s bezpečnostními prvky,
- **C** – světle žlutá barva,
- **D** – tmavě červená,
- **E** – tmavě zelená,
- **G** – znak T ve slově australia,
- **H** – kompas (bezpečnostní prvek),
- **J** – zelené lístky u ptáčka (bezpečnostní prvek).

Všechny body byly měřeny rozšířeným měřením v rozmezí od 100 cm^{-1} do 1800 cm^{-1} , přičemž u bodu **J** bylo použito měření statické ve středu 800 cm^{-1} . Měření bodů **D**, **E**, **C** probíhalo pomocí objektivu se zvětšením 50x, expoziční dobou 10 sekund, 1 akumulací a výkonem laseru 10 %. Na další místa **A**, **B** byl použit objektiv se zvětšením 20x, expoziční dobou 10 sekund, 1 akumulací, a výkonem laseru 10 % a 100 %. Poslední místo **J** se měřilo objektivem se zvětšením 50x, expoziční dobou 1 sekunda, 10 akumulacemi a výkonem laseru 10 %.



Obr.40. Ramanova spektra líce 20 \$ [Archiv autora]

Většina naměřených spekter má rozdílné Ramanovy vrcholy i jejich intenzitu. Vybrané body na bankovce se jeví jako tmavě zelená barva (A) a materiál polypropylen (B). Mají některé píky stejné, což dle analyzovaného místa na bankovce může obsahovat polypropylen. I přesto, že se může zdát jako tmavě zelená barva na bankovce, dle získaného spektra porovnaného s Obr.46 je shodný pro materiály polypropylen. Zakreslené žluté obdélníky u jednotlivých bodů ukazují na rozdílnost Ramanových vrcholů i jejich intenzit. U bodu B vidíme vrchol se značnou intenzitou, kterou naopak postrádá bod A. Tento rozdíl může značit, že byl použit jiný druh barevného inkoustu či rozdílné složení. Spektra bodů D, C mají poměrně stejné vrcholy i srovnatelnou intenzitu, pouze některé se liší v rozsahu Ramanova posuvu. Část spektra je zatížena slabší luminiscencí. S těmito body jsou shodné i vrcholy bodu J, jež jsou intenzivnější. Můžeme vidět pouze část spektra z důvodu statického měření v centru 800 cm^{-1} . Některé píky jsou tedy shodné, což ukazuje na shodu použitého inkoustu či materiálu. Můžeme ale vidět i řadu píků vykazujících odlišnost v podobě použitého jiného typu inkoustu, které jsou znázorněny opět žlutým rámečkem. Poslední bod C je zatížen částečnou luminiscencí, avšak podle jednotlivých vrcholů můžeme říci, že toto spektrum je téměř totožné s bodem D, tudíž lze říci, že byl použit obdobný typ inkoustu.

9.2.1 20 \$ bankovka – porovnání nové a staré série

Cílem tohoto porovnání bylo zjistit, zda nová série bankovek australských dolarů bude mít totožná spektra s bankovkou ze staré série. K tomuto byla použita 20 \$ bankovka. U obou typů byla analyzována tmavě červená barva pro zkoumání použitých inkoustů. Pro

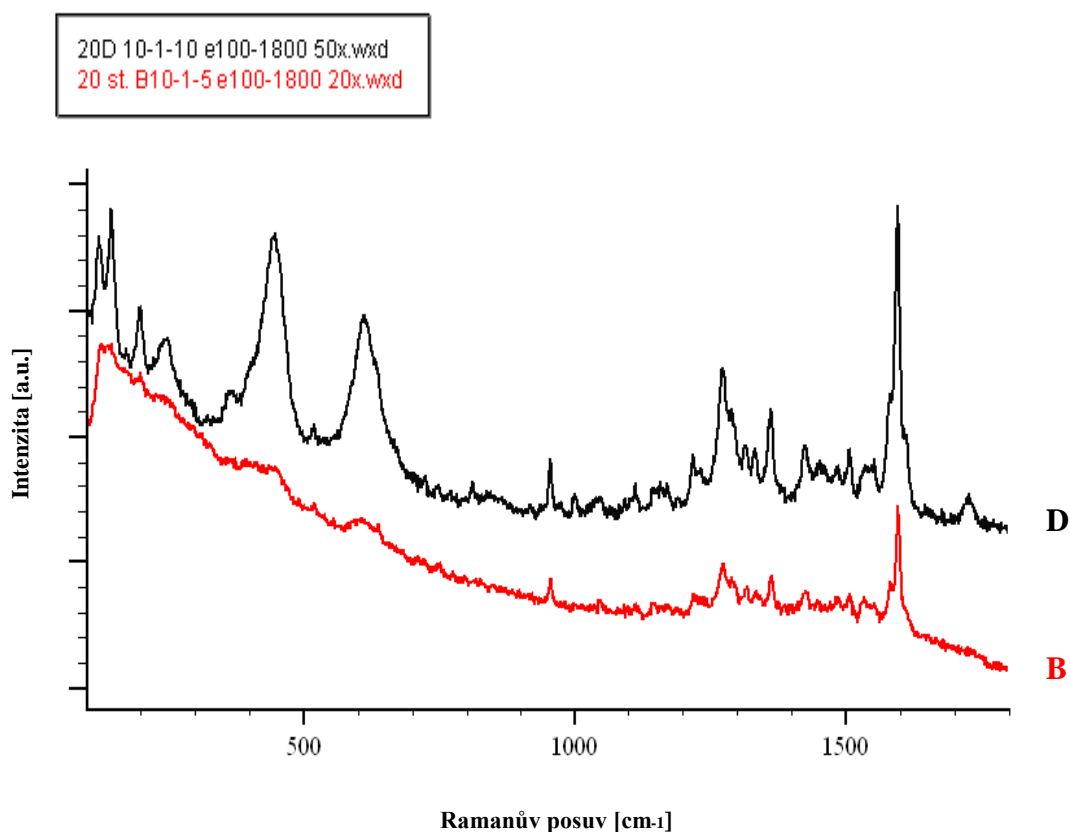


Obr.41. 20 \$ líc – stará série [Archiv autora]

komparaci byl použit bod **D** viz. Obr.39 a jako druhý bod **B**, který byl měřen na staré sérii. Výčet jednotlivých měřených bodů je znázorněn na Obr.41.

- **A** – jasné okénko s kompasem (bezpečnostní prvek),
- **B** – tmavě červená barva.

Pro srovnání nové bankovky oproti staré byly vybrány změřené body **D** na nové a **B** na staré. Na oba bylo použito měření v rozmezí od 100 cm^{-1} do 1800 cm^{-1} . Na bod **D** se použil objektiv se zvětšením 50x, expoziční dobou 10 sekund, 1 akumulací a výkonem laseru 10 %. Oproti tomu bod **B** objektivem se zvětšením 20x, expoziční dobu 10 sekund, 1 akumulací a výkonem laseru pouhých 5 %. Naměřená spektra jsou znázorněna na Obr.42.



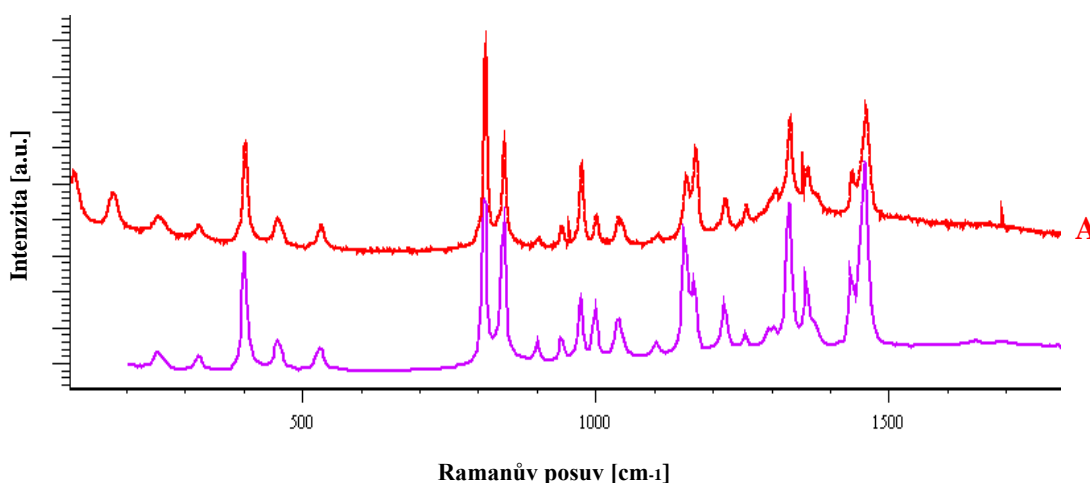
Obr.42. Spektra výběru tmavě červené barvy stará vs nová [Archiv autora]

Spektrum v bodě **B** je zatíženo luminiscencí, čemuž odpovídala i nutnost snížit výkon laseru na 5 % oproti měření na bankovce z nové série. Přesto u obou naměřených spekter můžeme pozorovat řadu shodných vrcholů i rozložení jejich intenzit. Ze získaných dat lze usuzovat, že složení použitého červeného inkoustu je téměř shodné.

9.2.2 20 \$ bankovka ze staré série – porovnání s databází knihovny

Vzhledem k dostupnosti databáze spekter, která je součástí softwaru Wire, byla některá spektra podrobena komparaci. U inkoustů se jedná o směsi, tudíž vyhodnocení shody není jednoznačné. Jinak je tomu ale u materiálu polypropylenového substrátu. Porovnání naměřeného spektra s databází Ramanových spekter můžeme vidět na Obr.43.

Fialové spektrum je získané z databáze Ramanových knihoven. V rámci tohoto srovnání bylo zjištěno, že jednotlivé vrcholy i intenzita je shodná se spektrem získaného právě z této databáze knihovny ukazující na polypropylen (isostatic), čímž dosahujeme potvrzení daného použitého materiálu i správnosti měření.



| Visible | Hit | Quality | Library | Spectrum Info |
|-------------------------------------|-----|----------|-------------|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | 0.787257 | polymer.lib | Polypropylene, isotactic [PP] (Density: 0.902 kg/dm3) |
| <input type="checkbox"/> | 2 | 0.67238 | polymer.lib | Poly(propylene-co-1-butene) [P/B] (Crystal. random copolymer, 14 wt.% 1-butene) |
| <input type="checkbox"/> | 3 | 0.658467 | polymer.lib | Polypropylene, isotactic [PP] (Density: 0.90 kg/dm3) |
| <input type="checkbox"/> | 4 | 0.650505 | polymer.lib | Poly(propylene-co-1-butene) [P/B] (Crystal. random copolymer, 8 wt.% 1-butene) |
| <input type="checkbox"/> | 5 | 0.608725 | polymer.lib | Poly(propylene-co-ethylene) [E/P] (isotactic random, cont. 5-15% ethylene) |
| <input type="checkbox"/> | 6 | 0.575639 | polymer.lib | Poly(propylene-co-ethylene) [E/P] (Amorphous copolymer) |
| <input type="checkbox"/> | 7 | 0.416749 | polymer.lib | Poly(4-methyl-1-pentene) [PMP] (High molecular weight, crystalline, isotactic) |
| <input type="checkbox"/> | 8 | 0.415501 | polymer.lib | Poly(4-methyl-1-pentene) [PMP] |
| <input type="checkbox"/> | 9 | 0.40611 | polymer.lib | Poly(4-methyl-1-pentene) [PMP] (Medium molecular weight, isotactic) |
| <input type="checkbox"/> | 10 | 0.400016 | polymer.lib | Poly(4-methyl-1-pentene) [PMP] (Low molecular weight, low density thermoplast) |
| <input type="checkbox"/> | 11 | 0.392007 | polymer.lib | Polypropylene, chlorinated [PP-C] (isotactic, 26% chlorine) |

Obr.43. Srovnání spektra s databází [Archiv autora]

9.3 Porovnání ochranného prvku 20 \$ a 50 \$

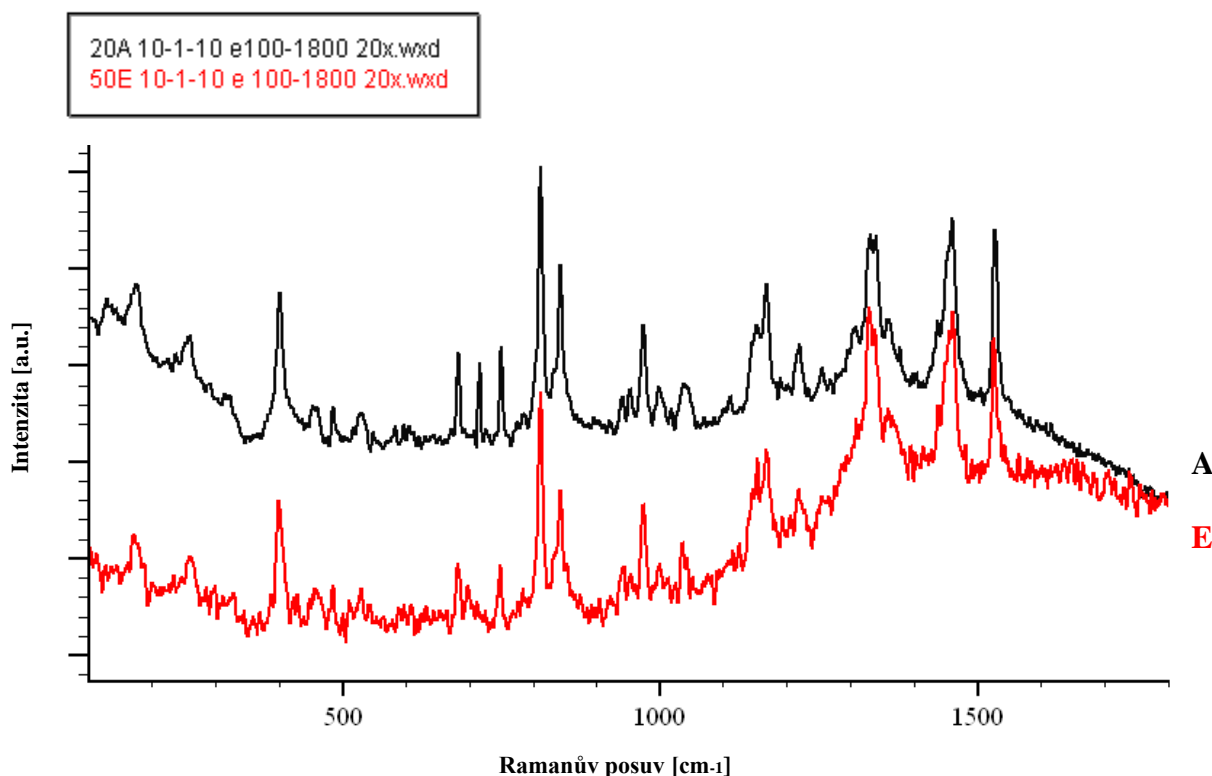
Na Obr.44 jsou znázorněny jednotlivé body, které byly změřeny v rámci této nominální hodnoty:



Obr.44. 50 \$ - líc [Archiv autora]

- A – zelené lístky u ptáčků (bezpečnostní prvek),
- B – tmavě zelená barva,
- C – znak T ve slově Australia,
- D – průhledné středové okno se shora dolů s bezpečnostními prvky,
- E – efekt pohyblivých barev (bezpečnostní prvek).

Srovnání se provádělo na měřených bodech dvacetidolarové a padesátidolarové bankovky. Pro srovnání byl využit bezpečnostní prvek v podobě zelených lístků u ptáčka na straně líce. Cílem bylo zjištění, zda tento bezpečnostní prvek má stejné složení jako u bankovek různých nominálních hodnot. Pro toto vyhodnocení se použil prvek **A** viz. Obr.39 a prvek **E** viz. Obr.44. Naměřená spektra jsou znázorněna na Obr.45.

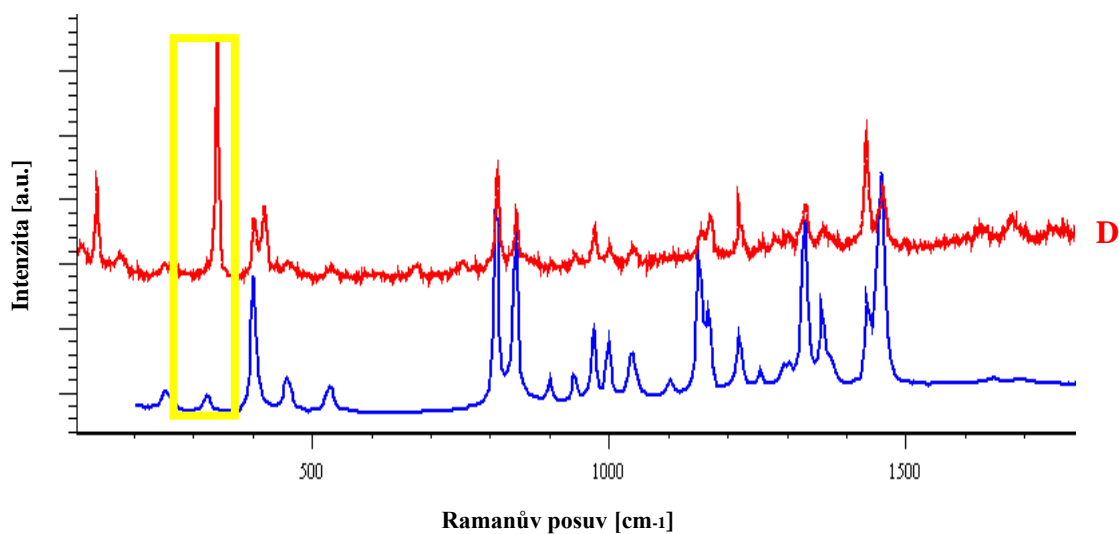


Obr.45. Spektra ochranného prvku 20 \$ a 50 \$ [Archiv autora]

Obě spektra byla měřena v rozmezí od 100 cm⁻¹ do 1800 cm⁻¹ za použití objektivu se zvětšením 20x, expoziční dobou 10 sekund, 1 akumulací a výkonem laseru 10 %. Ramanovy vrcholy i jejich intenzita je shodná. Tímto srovnáním bylo zjištěno, že bankovky různých nominálních hodnot mají shodnou distribuci píků ve spektru včetně jejich intenzit, což poukazuje na identické složení inkoustu.

9.4 50 \$ porovnání s databází knihovny

Účelem bylo zjistit a porovnat, zda měřený bod **D** (nová série) bude složením podobný jako (stará série) bankovek. Získané spektrum bylo porovnáno s databází knihovny Ramanova spektrometru. Výsledek je zobrazen na Obr.46.



| Visible | Hit | Quality | Library | Spectrum Info |
|-------------------------------------|-----|----------|-------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | 0.363122 | polymer.lib | Polypropylene, isotactic [PP] (Density: 0.902 kg/dm ³) |

Obr.46. Srovnání spektra s databází [Archiv autora]

Porovnání vede ke stejnému složení jako u staré 20 \$ bankovky. Nepatrně se zde promítla i míra luminiscence, také na spektru můžeme vidět Ramanovy vrcholy, které nejsou stejné, jako porovnávané spektrum databáze. Tato neshoda je označena žlutým obdélníkem. Může být dána tím, že databáze neobsahuje všechny možné varianty polymeru polypropylénu. Nicméně většina ostatních vrcholů je zde zastoupena i s obdobným rozložením intenzit vrcholů srovnávaného spektra. Materiál polypropylén tak potvrdit lze.

9.5 Bankovka 5 \$

Poslední měřenou bankovkou byla 5 \$ bankovka. Jednotlivé analyzované body jsou znázorněny na Obr.47.



Obr.47. 5 \$ - líc [Archiv autora]

Na bankovce byly měřeny jednotlivé zvýrazněné body v rámci vyznačené nominální hodnoty:

- **A** – zelené lístky u ptáčků (bezpečnostní prvek),
- **B** – světle modrá barva,
- **C** – znak T ve slově Australia,
- **D** – průhledné středové okno se shora dolů s bezpečnostními prvky.

9.6 Porovnání bankovek různých nominálních hodnot

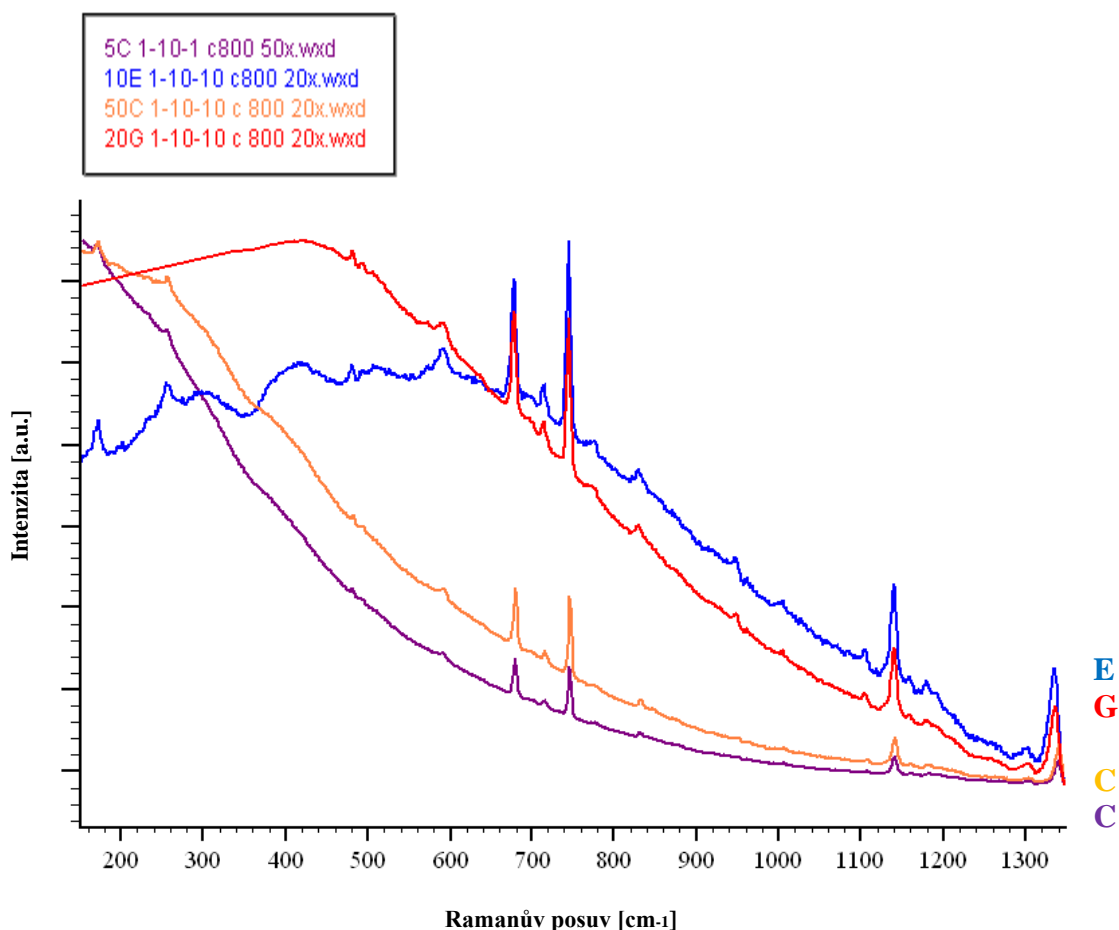
V této části budou porovnány jednotlivé druhy bankovek v rámci naměřených bodů, které budou znázorněny ve výsledných spektrech.

9.6.1 Porovnání písmene T

V této podkapitole jsme se zaměřili na měřené body písmena **T** ve slově Australia jednotlivých bankovek všech nominálních hodnot. Záměrem bylo zjistit, zda složení a typ použitých inkoustů je srovnatelný pro všechny typy bankovek. Ramanova spektra můžeme

vidět na Obr.48. Jednotlivé body byly měřeny na těchto bankovkách: **C** - Obr.47, **E** - Obr.34, **C** - Obr.44 a **G** - Obr.39.

Pro všechna tato spektra bylo použito statické měření ve středu 800 cm^{-1} s objektivem zvětšeným 20x, pouze u fialového bodu **C** s objektivem 50x. Expoziční doba činila 1 sekundu, 10 akumulací a výkon laseru 10 %, výjimkou opět fialového bodu **C**, u něhož byl výkon laseru 1 %. Ve všech Ramanových spektrech se projevuje nezanedbatelná luminiscence. Z viditelných vrcholů lze ovšem usuzovat na použití inkoustu stejného složení. Porovnání těchto spekter a jednotlivých intenzit Ramanových vrcholů přináší poznání, že pro všechny typy nominálních hodnot bankovek je použitý tentýž inkoust i složení.

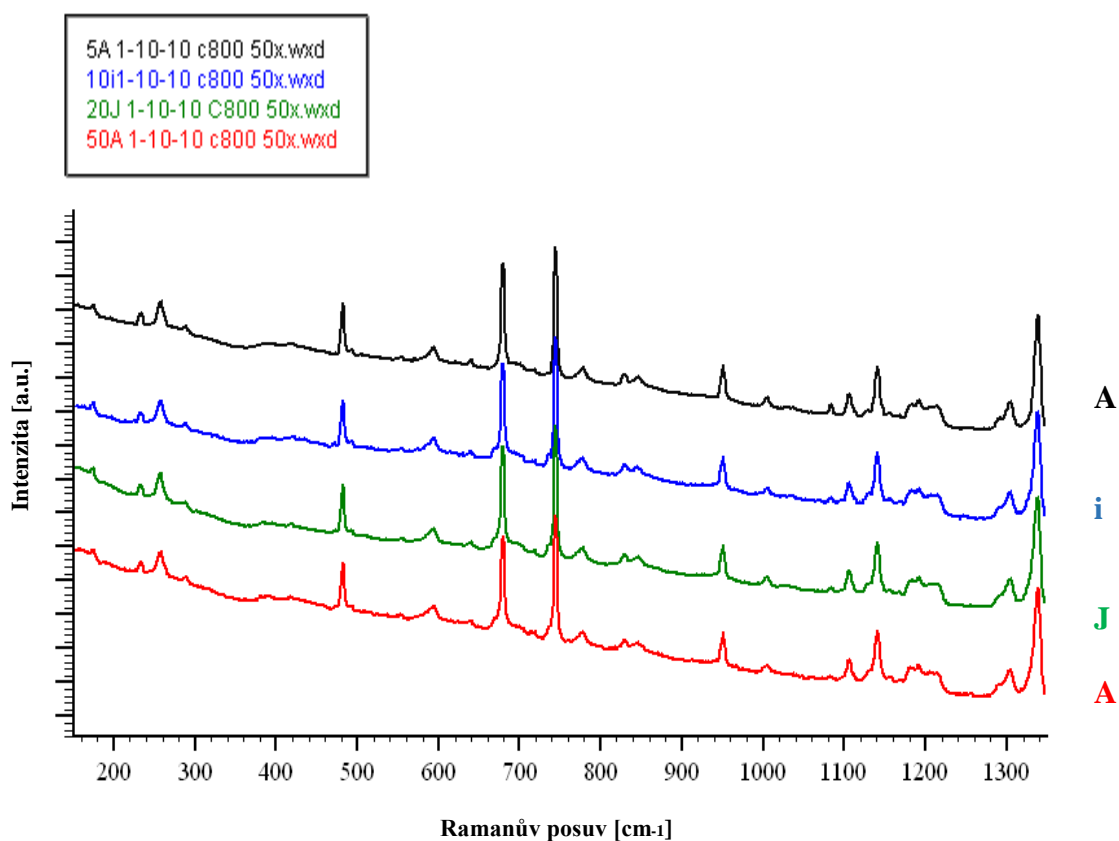


Obr.48. Srovnání spekter písmena T u všech bankovek [Archiv autora]

9.6.2 Porovnání zelených lístků

Studium bylo zaměřeno na zelené lístky všech bankovek nominálních hodnot. Opětovně účelem bylo zjistit, zda bankovky mají shodná složení či použité inkousty. Ramanova spektra jsou znázorněna na Obr.49. Jednotlivé měřené body na těchto bankovkách jsou: **A** - Obr.47, **i** - Obr.34, **J** - Obr.39, **A** - Obr.44.

Všechna Ramanova spektra byla měřena pomocí statického skenování se středem 800 cm^{-1} , objektivem se zvětšením 50x, expoziční dobou 1 sekunda, 10 akumulacemi a výkonem laseru 10 %. Spektra s jednotlivými vrcholy a intenzitou značí, že bankovky jsou, co se týče použitých inkoustů či složení, naprosto totožné.

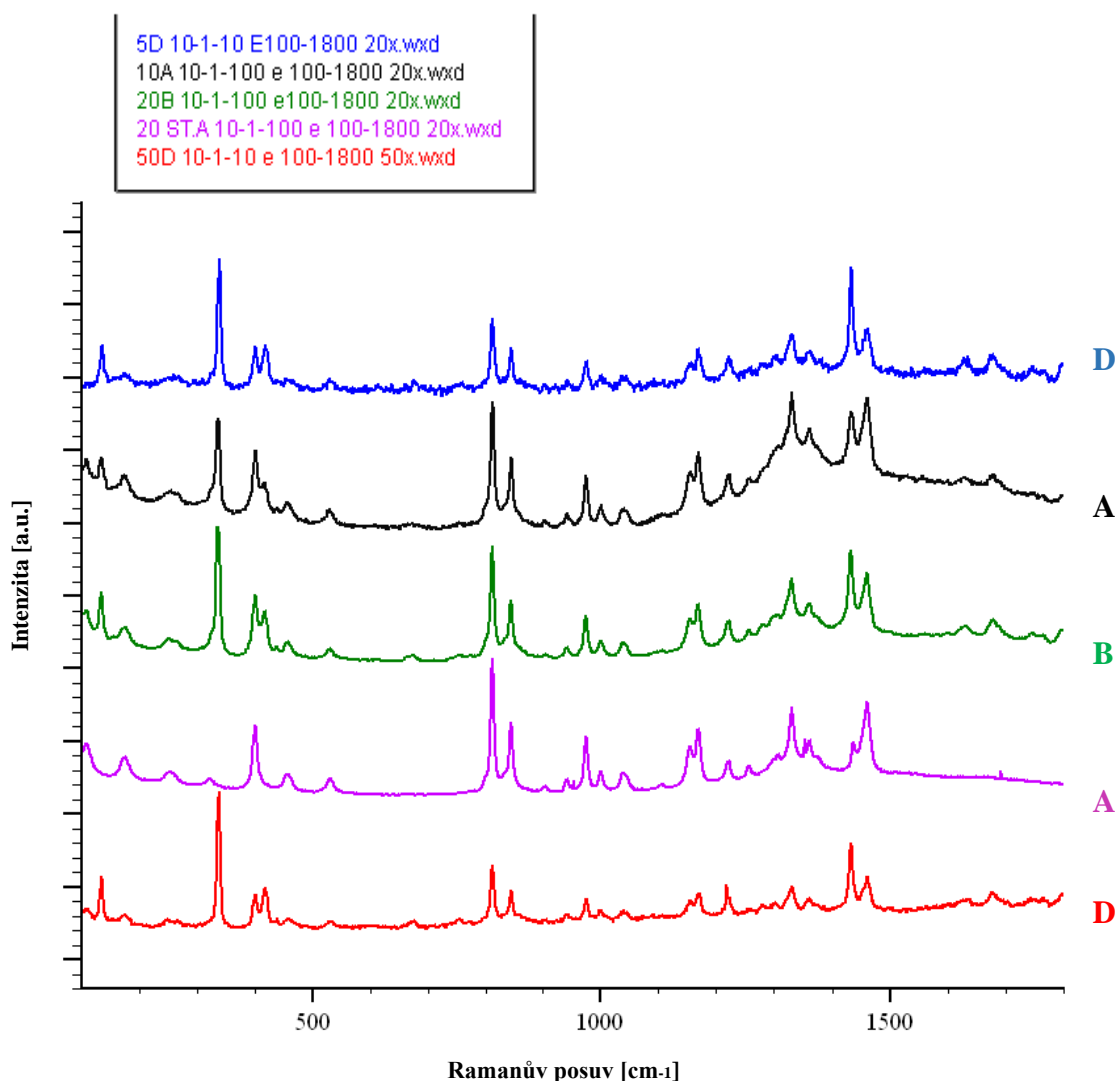


Obr.49 Srovnání spekter zelených lístků u ptáčků [Archiv autora]

9.6.3 Porovnání průhledných okének u všech bankovek

Třetí porovnání je zaměřeno na bezpečnostní prvek, kterým je průhledné středové okénko jednotlivých nominálních hodnot bankovek. Do tohoto rozboru byla přidána i 20 \$ ze staré série bankovek. Cílem bylo opětovně zjistit, zda složení i inkousty bankovek jsou totožné a porovnat, zda se od staré série nějak liší. Jednotlivá spektra jsou znázorněna na Obr.50.

Jednotlivé měřené body na těchto bankovkách jsou: **D** - Obr.44, **A** - Obr.41, **B** - Obr.39, **A** - Obr.34, **D** - Obr.47. Byla měřena pomocí statického skenování ve středu 800 cm^{-1} objektivem se zvětšením 50x, expoziční dobou 1 sekunda, 10 akumulací a výkonem laseru 10 %. Tak, jako u předešlé podkapitoly, jsou získaná spektra i jejich intenzita Ramanových vrcholů stejná. Stará série bankovek obsahuje totožná spektra jako nová. Z toho vyplývá, že použitý druh materiálu (polypropylen) je shodný, ať už pro starou sérii bankovek, či novou.

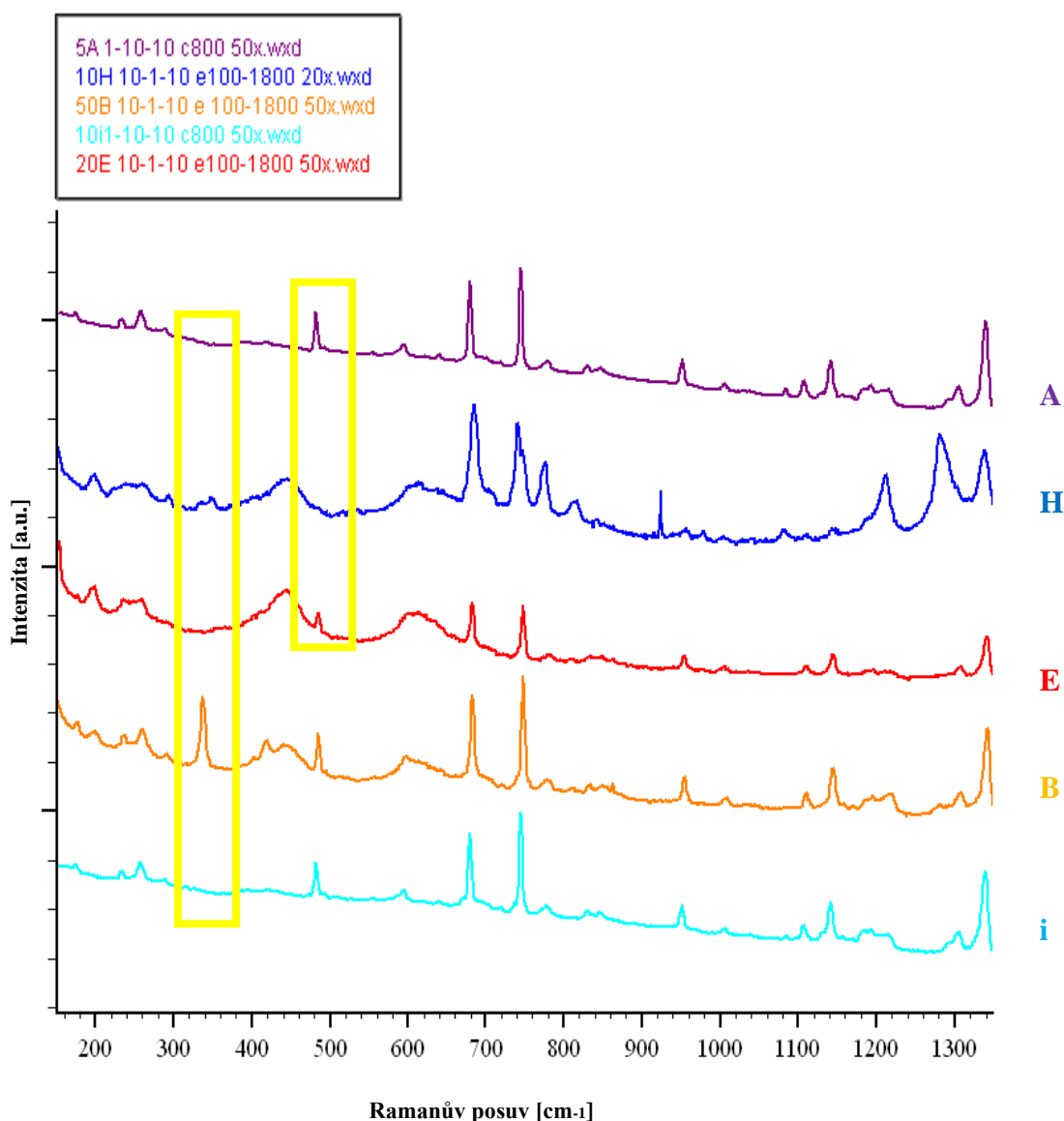


Obr.50. Srovnání spekter průhledného okénka [Archiv autora]

9.6.4 Porovnání zelených barev u všech bankovek

Rozbor byl zaměřen opět na všechny bankovky z nové série. Účelem bylo porovnat, zda byl použit stejný inkoust pro všechny. Získané spektrum je znázorněno na Obr.51. Jednotlivé měřené body jsou: **A** - Obr.47, **H, i** - Obr.34, **B** - Obr.44, **E** - Obr.39. Body **A, i** byly měřeny statickým skenováním ve středu 800 cm^{-1} s objektivem 50x, expoziční dobou 1 sekunda, 10

akumulací a výkonem laseru 10 %. Na ostatní body bylo použito rozšířené měření v rozsahu od 100 cm^{-1} do 1800 cm^{-1} s objektivem 50x, vyjma bodu **H** na který byl použit objektiv 20x, expoziční doba 10 sekund, 1 akumulace a výkon laseru 10 %. Jednotlivá spektra jsou v některých Ramanových posuvech stejná, zatímco některé naměřené body vykazují různé Ramanovy vrcholy a jejich intenzitu. Tyto neshodné vrcholy jsou znázorněny ve žlutém rámečku.



Obr.51. Srovnání spekter zelené barvy [Archiv autora]

10 ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

V rámci naměřených výsledků můžeme říci, že bankovka jedné nominální hodnoty má stejná spektra jak pro stranu rubu, tak i líce. Naopak rozdílná spektra jsme naměřili pro bankovku stejné nominální hodnoty, ale různých sérií. Staré bankovky vykazovaly vyšší luminiscenci, a jejich spektra byla v důsledku toho hůře čitelná. I přes tento negativní vliv na naměřené spektrum můžeme spatřit řady shodných vrcholů, včetně jejich rozložení i intenzit. Z těchto získaných dat lze usoudit, že složení použitého červeného inkoustu je téměř shodné. Dále jsme pozorovali vysokou podobnost s referenčními spektry z databáze (součást software Wire), která se používá například ve forenzních vědách. Porovnávaným materiálem se stal polypropylenový substrát a v rámci tohoto porovnání bylo zjištěno, že pozice jednotlivých vrcholů i jejich intenzita je shodná se spektrem získaného právě z databáze knihovny. U inkoustů se tato komparace neprováděla, protože většinou se jednalo o příměsi a směsi a zjistit shodu by nebylo jednoznačné.

Dále byly v práci srovnány bezpečnostní prvky a stejné oblasti na bankovkách různých nominálních hodnot. Jednalo se například o zelené lístky, průhledná středová okna, písmeno T ve slově „AUSTRALIA“. Naměřená spektra vypovídají o tom, že bankovky napříč nominálními hodnotami jsou pravděpodobně totožné, co se týče použitých inkoustů či složení. Nejvýrazněji byla podobnost pozorována zejména v oblasti zelených lístků.

Na základě výše uvedených poznatků se domnívám, že použití metody Ramanovy spektroskopie je vhodné pro studium bankovek.

Jestli je měření pomocí Ramanova spektrometru dostačující k odhalení padělaných bankovek a zda má určité nedostatky by bylo zajímavé dále rozvíjet měřením právě padělaných bankovek.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo využití Ramanovy spektroskopie pro studium polymerových bankovek. Pro tuto metodu měření byly využity australské dolary, a to jak z nové série, tak ze staré, konkrétně bankovka s nominální hodnotou 20 \$. Tento druh bankovek byl vybrán z důvodu specificky zajímavého designu, a tedy vysokého počtu ochranných prvků.

V teoretické části se čtenář dozvěděl o vědní disciplíně spektroskopie, počínaje jejím vznikem. Tato nedestruktivní metoda se zabývá vznikem a vlastnostmi spekter dané látky, které získáváme na základě ozáření materiálu pomocí laserového zdroje. Tím dojde ke vzniku rozptylu světla a nastane vibrace molekul materiálu. V praxi se s ní můžeme setkat zejména v oblasti forenzní – jako je odhalení padělaných bankovek.

Jelikož pro měření byly vybrány polymerové bankovky, bylo zapotřebí čtenáři vysvětlit v čem se liší od papírových. Proto bylo důležité začít s jejich historií a objasnit důvod vzniku. Vyrábí se z polypropylenového substrátu zhotoveného právě v Austrálii. Tento druh substrátu není komerčně dostupný a jeho výroba závisí na řadě technologických postupů a procesů, proto je i obtížně padělatelný. Mezi základní výhody tohoto druhu bankovek patří zejména delší životnost, odolnost a obtížnost pro výrobu falzifikátů, naopak hlavní nevýhoda je finanční výrobní náročnost.

Australské dolary vynikají svými ochrannými prvky, které jsou vyrobeny na základě polypropylenového substrátu GUARDIAN, mezi něž patří zejména okenní, designové, tajné, měnící se prvky a prvky s metalickými efekty. Jednotlivé ochranné prvky desetidolarové bankovky byly zařazeny v teoretické části z důvodu největšího počtu analyzovaných prvků. Rozbor ochranných prvků u bankovek ostatních nominálních hodnot jsou součástí jednotlivých příloh.

Praktická část byla věnována měření vybraných ochranných prvků a barevných inkoustů za pomoci Ramanova spektrometru. Získaná spektra byla mezi sebou porovnávána, přičemž některá z nich byla srovnána s databází knihovny, z čehož bylo patrné, že se jedná o stejný druh materiálového složení. Závěrem lze říci, že jak ochranné prvky bankovek, tak i jejich složení a barvy inkoustů jsou na všech nominálních hodnotách velice podobná, což jsme mohli vidět u některých případech Ramanových píků, kdy se jednalo o nepatrné odchylky.

Jedná se o velice komplexní měřicí metodu, která je využitelná pro nespočet odvětví, avšak pro laickou veřejnost není příliš známá. Využívá se například pro odhalení padělaných

bankovek, složení různých typů látek, jako jsou drogy či látky toxické. Z celkové analýzy vyplývá, že daná metoda funguje samostatně, nicméně ve spolupráci se zařízením produkujícím světelné UV paprsky by byla efektivnější při zkoumání ochranných prvků, které jsou viditelné pouze pod tímto typem záření.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NĚMCOVÁ, Irena, Ludmila ČERMÁKOVÁ a Petr RYCHLOVSKÝ. *Spektrometrické analytické metody I*. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 802460776X.
- [2] M. CHALMERS, John, Howell G. M. EDWARDS, a Michael D. HARGREAVES. *Infrared and Raman Spectroscopy in Forensic Science*. 9780470749067. United Kingdom: Wiley, 2012.
- [3] FERRARO, John R., Kazuo NAKAMOTO a Chris W. BROWN. *Introductory Raman spectroscopy*. 2nd ed. Boston: Academic Press, c2003. 434 s. ISBN 978-0-12-254105-6.
- [4] SCHRADER, Bernhard a D. BOUGEARD. *Infrared and Raman spectroscopy: methods and applications*. New York: VCH, c1995. 765 s. ISBN 35-272-6446-9.
- [5] COLTHUP, Norman B, Lawrence H DALY a Stephen E WIBERLEY. *Infrared and Raman spectroscopy in forensic science*. 3rd ed. San Diego: Academic Press, 1990. ISBN 0-12-182554-X.v
- [6] Tabulky – spektrum. In: *Aldebaran* [online]. [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: https://www.aldebaran.cz/tabulky/tb_spektrum.php
- [7] REICHL, Jaroslav. Elektromagnetické záření a jeho energie. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/539-spektra-latek>
- [8] STUŽKA, Václav. *Instrumentální metody chemické analýzy. IV, Vibrační spektroskopie organ. molekul*. Olomouc: Univerzita Palackého, 1976.
- [9] ČÁSLAVSKÝ, Josef, Jiří GEORG a Kamil ŠEVČÍK. *Příprava kurzů a učebních techtů v oboru vzorkování a chemické analýzy*. Český Tešín: Theta, 2014. ISBN 9788026070856.
- [10] BAKÁREK, V.; FRYŠOVÁ, I. *Optické metody v chemické analýze*. 3. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. 61 s. ISBN 978-80-244-1754-7.
- [11] Ramanova spektroskopie. Lao [online]. [cit. 2019-09-07]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/aplikace-79/mereni-spektralnich-charakteristik-98/ramanova-spektroskopie-216>

- [12] DENDISOVÁ, Marcela, Pavel ŽVÁTORA a Pavel MATĚJKA. Princip ramanovy spektroskopie. *Ramanova Spektroskopie* [online]. Ústav analytické chemie VŠCHT Praha [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/anl/lach2/RAMAN.pdf>
- [13] JANDERA, Pavel. Atomová a molekulová spektroskopie se zaměřením na stopovou analýzu kontaminantů. 3. vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2011. ISBN 9788073953928.
- [14] BAKÁREK, V.; FRYŠOVÁ, I. Optické metody v chemické analýze. 3. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. 61 s. ISBN 978-80-244-1754-7.
- [15] MATĚJKA, P. a kolektiv. Návodů pro laboratorní cvičení z analytické chemie III. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2002. 17 s. ISBN 80-7080-466-1.
- [16] MILATA, V. a kol. Aplikovaná molekulová spektroskopie 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislavě. 2008. 602 s. ISBN 978-80-227-2960-4
- [17] JODIO, A., DRESSENHAUS, M., SAITO, R., DRESSELHAUS, G. F., Raman Spectroscopy in Graphene Related Systems. 1st ed. Německo: Wiley-VCH. 2011. 354 s. ISBN 978-3-527-40811-5
- [18] Why are new banknotes made of polymer? Bank of England [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.bankofengland.co.uk/knowledgebank/why-are-new-banknotes-made-of-polymer>
- [19] RAHMAN, Rema. Who, What, Why: Why don't more countries use plastic banknotes?. In: BBC News [online]. 2011 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/magazine-15782723>
- [20] SOLOMON, David. Making Money. In: Australian Academy of Science [online]. [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://www.science.org.au/curious/everything-else/making-money>
- [21] History of banknotes. In: Reserve Bank of Australia [online]. [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/australias-banknotes/history/>
- [22] RESERVE BANK OF AUSTRALIA: Production. RBA Banknotes [online]. [cit. 2019-09-26]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/production-and-distribution/production/>

- [23] Guardian™. Why Guardian™ polymer [online]. 2018 [cit. 2019-09-26]. Dostupné z: <https://cclsecure.com/why-guardian/>
- [24] Guardian fact sheet: The basic of guardian®. In: Guardian™ [online]. [cit. 2019-09-26]. Dostupné z: https://cclsecure.com/uploads/pdfs/Guardian_Fact_Sheet_Sep13.pdf
- [25] 12 benefits of polymer banknotes. Lunaticg [online]. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://lunaticg.blogspot.com/2012/09/benefits-of-polymer-banknotes.html.html>
- [26] The Pros and Cons of Polymer Banknotes: Pros of Polymer Banknotes. Banknote world [online]. Banknote world, 2017 [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://www.banknoteworld.com/blog/the-pros-and-cons-of-polymer-banknotes/>
- [27] BISSON, James. The Disadvantages of Polymer Banknotes. Sapling [online]. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://www.sapling.com/6823803/disadvantages-polymer-banknotes>
- [28] SECURITY FEATURES: REFERENCE GUIDE. In: GUARDIAN [online]. 2013, 2013 [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://cclsecure.com/uploads/pdfs/Security-Features-Reference-Guide-EN---Final.pdf>
- [29] SAAD GOHER, Dr. Ahmed. Supermacy of polymer banknotes: A comparative study between paper and polymer banknotes [online]. In: . Riyadh: Naif arab university for security sciences, 2012, 2012 [cit. 2020-01-24]
- [30] VOIT, Petr. Viněta: Encyklopedie knihy v českém středověku a raném novověku. Encyklopedieknihy [online]. Praha, 2006 [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://www.encyklopedieknihy.cz/index.php/Vin%C4%9Bta>
- [31] Glossary of banknotes: Metallic effects. Security-web [online]. [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://www.security-web.nl/glossary-banknotes/#g1134>
- [32] Australia's banknotes: History of banknotes. *Reserve bank of Australia* [online]. 2012 [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/australias-banknotes/history/>
- [33] Australia's banknotes: Next generation banknote program. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/australias-banknotes/next-generation-banknotes-program/>

- [34] Banknote features: New 5 \$ banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-five>
- [35] Australia's banknotes. *Reserve Bank of Australia* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/australias-banknotes/banknotes-in-circulation/ten-dollar/>
- [36] *Next Generation of Banknotes: \$10 Enters General Circulation. Reserve Bank of Australia: In media Releases* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.rba.gov.au/media-releases/2017/mr-17-19.html>
- [37] Security features overview. *Reserve Bank of Australia: Counterfeit Detection* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/counterfeit-detection/security-features-overview/>
- [38] Banknote features: New 10 \$ banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-ten>
- [39] Banknote features: New 5 \$ banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-five>
- [40] Banknote features: New \$5 Banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-five-fluorescent-ink>
- [41] Banknote features: New 5 \$ Banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-five-flipped>
- [42] Banknote features: New 5 \$ Banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-five-flipped-fluorescent-ink>
- [43] Banknote features: New 20 \$ Banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-twenty>

- [44] Banknote features: New 20 \$ banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-twenty-flipped-fluorescent-ink>
- [45] Banknote features: New 20 \$ Banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-twenty-flipped>
- [46] Banknote features: New 20 \$ Banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-twenty-flipped-fluorescent-ink>
- [47] Banknote features: New 50 \$ Banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-fifty>
- [48] Banknote features: New 50 \$ Banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-fifty-fluorescent-ink>
- [49] Banknote features: New 50 \$ Banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-fifty-flipped>
- [50] Banknote features: New 50 \$ Banknote. *Reserve bank of Australia* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://banknotes.rba.gov.au/banknote-features/#-new-fifty-flipped-fluorescent-ink>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

RS Ramanova spektroskopie

Tzn. To znamená

nm nanometr

λ Vlnová délka

FTIR Fourierova transformační infračervená spektroskopie

IR Infračervené záření

BOPP Bi-axiálně orientovaný polypropylen

Viněta Z francouzštiny Vignette = nálepka

CCD Charge-coupled device (elektronická součástka pro snímání obrazu)

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obr.1. <i>Elektromagnetické spektrum</i> [6] | 14 |
| Obr.2. <i>Absorpční a emisní spektrum</i> [5] | 15 |
| Obr.3. <i>Princip FTIR spektrometru</i> [Archiv autora] | 17 |
| Obr.4. <i>Základní princip RS</i> [11] | 19 |
| Obr.5. <i>Energetické přechody a vznik Ramanova spektra</i> [13] | 20 |
| Obr.6. <i>Schéma Ramanova spektrometru</i> [1] | 21 |
| Obr.7. <i>Čtyři základní vrstvy substrátu</i> [Archiv autora] | 29 |
| Obr.8. <i>Země používající substrát Guardian®</i> [Archiv autora] | 29 |
| Obr.9. <i>Míra padělatelnosti bankovek</i> [Archiv autora] | 31 |
| Obr.10. <i>Průhledné okno</i> [28] | 32 |
| Obr.11. <i>Bezrámové okno</i> [28] | 33 |
| Obr.12. <i>Poloviční okno</i> [28] | 33 |
| Obr.13. <i>WinBoss® okno</i> [28] | 34 |
| Obr.14. <i>MultiCLR®</i> [28] | 35 |
| Obr.15. <i>Obrázky stínové</i> [28] | 35 |
| Obr.16. <i>Viněta</i> [28] | 36 |
| Obr.17. <i>DOMINO®</i> [28] | 36 |
| Obr.18. <i>MAGread®</i> [28] | 37 |
| Obr.19. <i>ECLIPSE®</i> [28] | 38 |
| Obr.20. <i>D-CODE™</i> [28] | 38 |
| Obr.21. <i>Mikropísmenová vlákna</i> [28] | 39 |
| Obr.22. <i>LATITUDE®</i> [28] | 40 |
| Obr.23. <i>Metalix®</i> [28] | 40 |
| Obr.24. <i>Flexibilní optické variabilní prvky</i> [28] | 41 |
| Obr.25. <i>HORIZON®</i> [28] | 42 |
| Obr.26. <i>AURORA®</i> [28] | 42 |
| Obr.27. <i>G-Switch®</i> [28] | 43 |
| Obr.28. <i>IRIswitch®</i> [28] | 43 |
| Obr.29. <i>10 \$ ochranné prvky líce</i> [Archiv autora] | 46 |
| Obr.30. <i>Fluorescenční znak</i> [38] | 47 |
| Obr.31. <i>10 \$ ochranné prvky rubu</i> [Archiv autora] | 48 |
| Obr.32. <i>Fluorescenční znak</i> [37] | 49 |
| Obr.33. <i>Ramanova spektra statického a rozšířeného skenování</i> [Archiv autora] | 53 |
| Obr.34. <i>10 \$ - líc</i> [Archiv autora] | 55 |

| | |
|--|----|
| Obr.35. Ramanova spektra líce 10\$ [Archiv autora]..... | 56 |
| Obr.36. 10 \$ - rub [Archiv autora]..... | 58 |
| Obr.37. Ramanova spektra rubu a líce [Archiv autora] | 58 |
| Obr.38. Porovnání výběru barev a polypropylenového substrátu [Archiv autora] | 60 |
| Obr.39. 20 \$ - líc [Archiv autora] | 60 |
| Obr.40. Ramanova spektra líce 20 \$ [Archiv autora]..... | 61 |
| Obr.41. 20 \$ líc – stará série [Archiv autora] | 62 |
| Obr.42. Spektra výběru tmavě červené barvy stará vs nová [Archiv autora]..... | 63 |
| Obr.43. Srovnání spektra s databází [Archiv autora]..... | 64 |
| Obr.44. 50 \$ - líc [Archiv autora] | 65 |
| Obr.45. Spektra ochranného prvku 20 \$ a 50 \$ [Archiv autora] | 66 |
| Obr.46. Srovnání spektra s databází [Archiv autora]..... | 67 |
| Obr.47. 5 \$ - líc [Archiv autora] | 68 |
| Obr.48. Srovnání spekter písmena T u všech bankovek [Archiv autora]..... | 69 |
| Obr.49 Srovnání spekter zelených lístků u ptáčků [Archiv autora] | 70 |
| Obr.50. Srovnání spekter průhledného okénka [Archiv autora]..... | 71 |
| Obr.51. Srovnání spekter zelené barvy [Archiv autora] | 72 |
| Obr.52. 5 \$ ochranné prvky líce [Archiv autora]..... | 86 |
| Obr.53. Fluorescenční znak [40]..... | 86 |
| Obr.54. 5 \$ ochranné prvky rubu [Archiv autora] | 86 |
| Obr.55. Fluorescenční prvek [42]..... | 86 |
| Obr.56. 20 \$ ochranné prvky líce [Archiv autora]..... | 86 |
| Obr.57. Fluorescenční prvek [44]..... | 86 |
| Obr.58. 20 \$ ochranné prvky rubu [Archiv autora] | 86 |
| Obr.59. Fluorescenční prvek [46]..... | 86 |
| Obr.60. 50 \$ ochranné prvky líce [Archiv autora]..... | 86 |
| Obr.61. Fluorescenční prvek [48]..... | 86 |
| Obr.62. 50 \$ ochranné prvky rubu [Archiv autora] | 86 |
| Obr.63. Fluorescenční prvek [50]..... | 86 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tab.1. <i>Porovnání polymerových vs papírových bankovek</i> [25], [26] | 31 |
|--|----|

SEZNAM PŘÍLOH

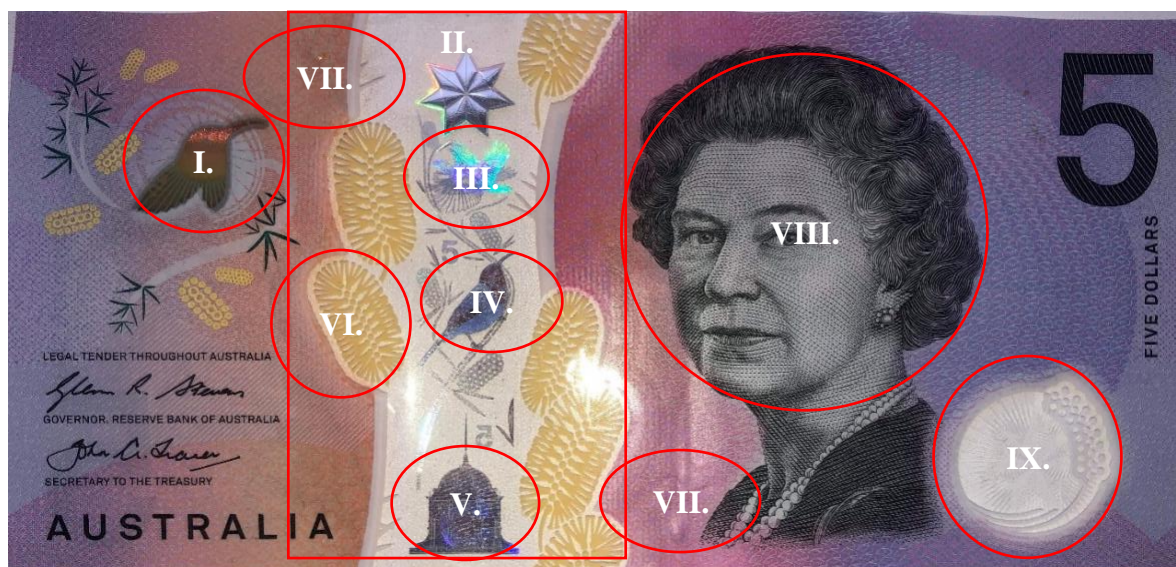
Příloha č.1: Bankovka 5 \$

Příloha č.2: Bankovka 20 \$

Příloha č.3: Bankovka 50 \$

PŘÍLOHA P I: OCHRANNÉ PRVKY BANKOVKY 5 \$

Ochranné prvky líce:



Obr.52. 5 \$ ochranné prvky líce [Archiv autora]

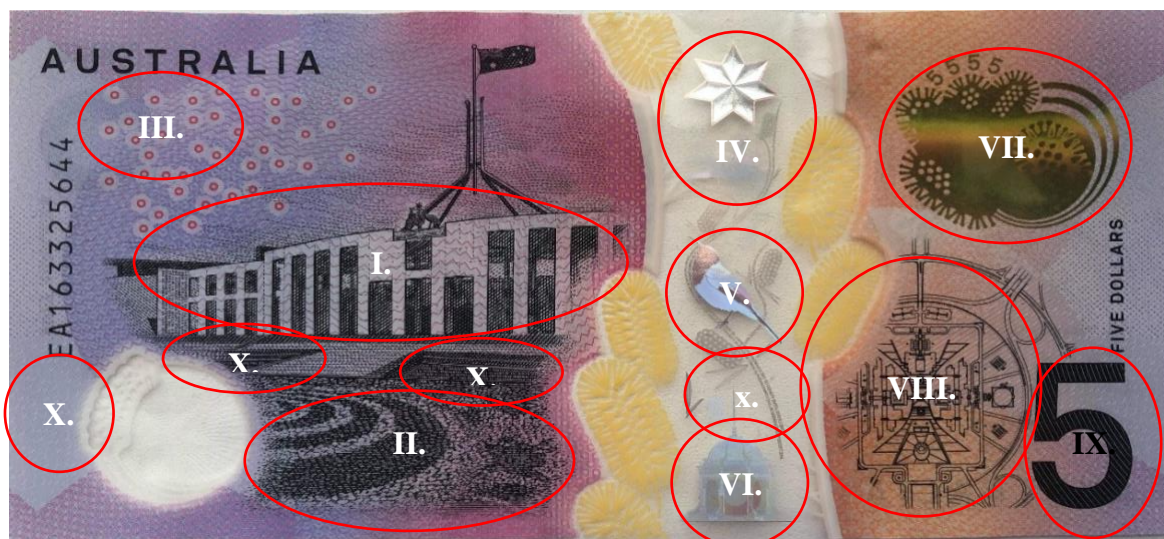
- I. Efekt pohyblivých barev** (*bezpečnostní prvek*) – Nakloněním bankovky se zobrazí kolébavý barevný efekt, viditelný na obou stranách bankovky.
- II. Středové okno** (*bezpečnostní prvek*) – Okno je do bankovky plynule integrováno. V okně ze směru „shora dolů“ se nachází několik bezpečnostních prvků. Bezpečnostní prvky tohoto okna jsou federativní hvězda, jehlozobka nebo australský pavilon, který mění své barvy při naklonění bankovky.
- III. Létající východní Spinebill – Jehlozobka** (*bezpečnostní prvek*) – Pomocí naklonění bankovky uvidíme, jak východní Spinebill pohybuje křídly a mění barvu.
- IV. Východní Spinebill – Jehlozobka** (*designový prvek*) – Vyjadřuje portrét Jehlozobky, jako design bankovky. Znárodnuje druh východního typu ptáka nacházejícího se v jihovýchodní Austrálii v lesních oblastech a také v městských zahradách Sydney a Melbourne.
- V. Australský federativní pavilon** (*bezpečnostní prvek*) – Nakloněním bankovky uvidíme změnu směru čísla dle nominální hodnoty bankovky. Buď je číslo 5 zobrazeno uvnitř budovy, nebo se střídavě objevuje zepředu, poté zmizí a objeví se zezadu.

- VI. Pichlavý Mojžíš (druh akácie) (*designový prvek*)**
- VII. Hmatový funkční prvek (*designový prvek*)** – Na líci se nachází celkem dvě vyvýšená místa (hrbolky) zvyšující odolnost vůči padělání, a především lidem se zrakovým postižením poskytují jednoduchou identifikovatelnost nominální hodnoty bankovky.
- VIII. Portrét jejího veličenstva královny Alžběty II. (*designový prvek*)**
- IX. Federační hvězda (*bezpečnostní prvek*)** – Nachází se v pravém dolním rohu. Je to sedmicípá hvězda společenství nebo federace. Šest bodů na hvězdě představuje původních šest států a sedmý bod představuje jakýkoliv stát Austrálie.
- X. Fluorescenční znak – inkoust (*bezpečnostní prvek*)** – V levém dolním rohu bankovky můžeme spatřit Jehlozubku, pokud použijeme UV záření. [39]



Obr.53. Fluorescenční znak [40]

Ochranné prvky rubu:



Obr.54. 5 \$ ochranné prvky rubu [Archiv autora]

- I. Nový parlamentní dům** (*designový prvek*) – Byl otevřen roku 1988 v hlavním městě Canberra královnou Alžbětou II.
- II. Mozaikové nádvoří** (*designový prvek*) – Jedná se o interpretaci jedné z několika různých architektonických fotografií Mozaikového nádvoří. Zakládá se na tečkované malbě v centrální poušti, jehož představitelem je Michael Nelson Jagamara a jeho dílo Possum and Wallaby dreaming.
- III. Ofsetový tisk v pozadí** – Na každé straně bankovky jsou zobrazeny jasné vícebarevné a vícesměnné jemné linie.
- IV. 3D federační hvězda** (*bezpečnostní prvek*) – Nakloněním bankovky uvidíme trojrozměrnou hvězdu v jasném a barevném okně.
- V. Barevná východní Jehlozobka – Spinebill** (*bezpečnostní prvek*) – Nakloněním bankovky uvidíme, jak se u Jehlozobky mění barvy.
- VI. Australský federativní pavilon** (*designový prvek*) – Pavilon byl místem oficiálního ceremoniálu, který znamenal vyhlášení australského společenství.
- VII. Efekt pohybujících se barev** (*bezpečnostní prvek*) – Při naklonění bankovky se zobrazí efekt pohybujících se barev. Na straně líce je ve tvaru ptáka.

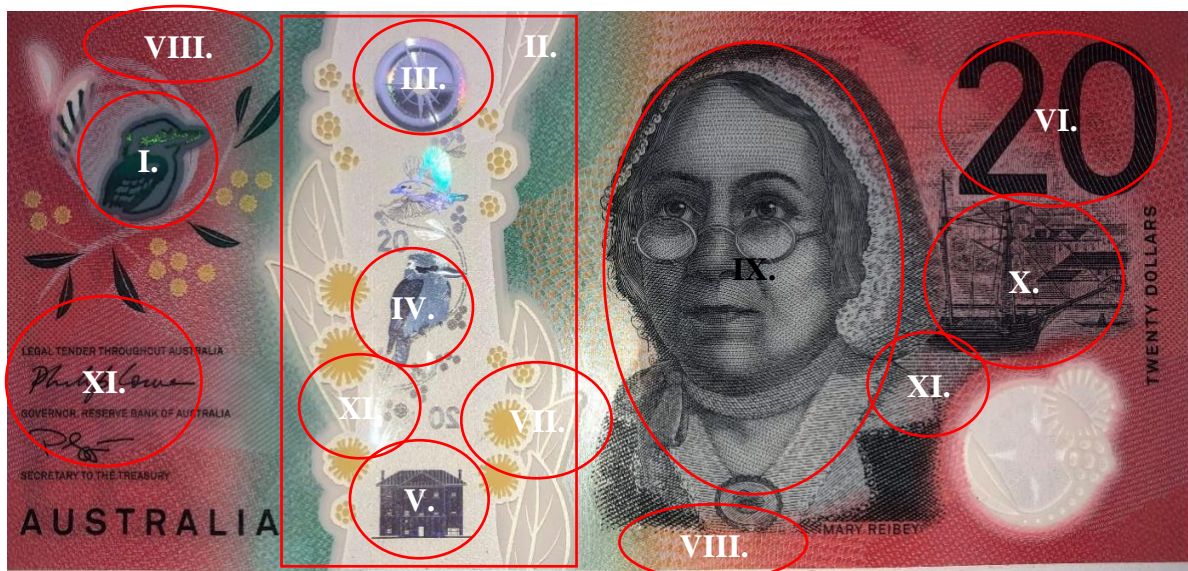
- VIII. Půdorys** (*designový prvek*) – Tento vizuální prvek znázorňuje půdorys budovy z leteckého pohledu. Je to budova parlamentu včetně poslanecké sněmovny a sportovních zařízení.
- IX. Hlubkový tisk** (*bezpečnostní prvek*) – Obsahuje výraznou texturu zvýšeného tmavého tisku. Mírně zvýšenou texturu lze pocíťovat přejetím prstu přes portrét číslice.
- X. Mikrotisk/mikropísmo** (*bezpečnostní prvek*) – Na více místech bankovky je definovaný drobný, ale jasně daný text. Text obsahuje vybrané řádky z australské ústavy.
- XI. Fluorescenční znak – inkoust** (*bezpečnostní prvek*) – Pokud budeme bankovku pozorovat pomocí UV záření, uvidíme její sériové číslo a rok tisku. [43]



Obr.55. *Fluorescenční prvek* [42]

PŘÍLOHA PII: OCHRANNÉ PRVKY BANKOVKY 20 \$

Ochranné prvky líce:



Obr.56. 20 \$ ochranné prvky líce [Archiv autora]

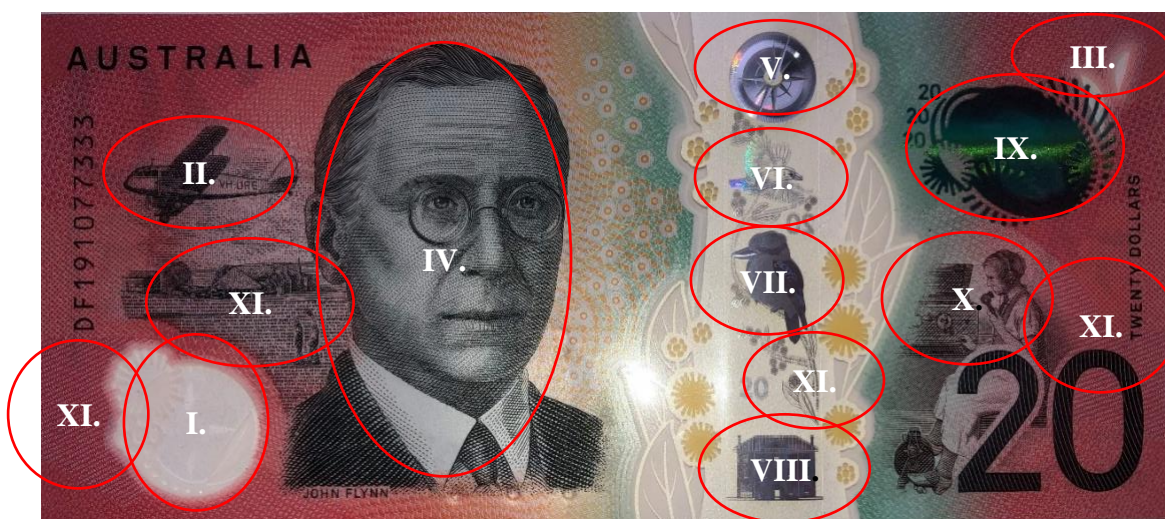
- I. Efekt pohyblivých barev (bezpečnostní prvek)** – Nakloněním bankovky získáme rolující se barevný efekt, který lze vidět na obou stranách bankovky.
- II. Jasné středové okno se shora dolů (bezpečnostní prvek)** – Tento prvek je do bankovky plynule integrován, nachází se v něm několik ochranných prvků ohraničených malým stromem pocházející z jihovýchodní Austrálie.
- III. 3D kompas (bezpečnostní prvek)** – Nakloněním bankovky se zobrazí trojrozměrný kompas s barevnou linkou.
- IV. Barevný ledňáček (bezpečnostní prvek)** – Nakloněním bankovky uvidíme, jak se ledňáčkovi mění jeho barva peří a zobáku.
- V. Budova Mary Reibeyové (designový prvek)** – Tento prvek zachycuje budovu v Macquarie Place (park v Sydney), kde Mary Reibey žila a odkud řídila své obchodní aktivity.
- VI. Hlubkový tisk (bezpečnostní prvek)** – Obsahuje texturu vyvýšeného tmavého tisku. Lze detekovat přejetím prstem po číslici, díky tomu ucítíme vyvýšený tisk.
- VII. Acacia buxifolia (designový prvek)** – Je to druh keře vyskytující se ve východní Austrálii.

- VIII. Hmatový funkční prvek** (*designový prvek*) – Na okrajích bankovky se nacházejí tři vyvýšené „hrbolky“ v rámci lepší bezpečnosti. Primárně slouží jako hmatová funkce pro nevidomé k určení nominální hodnoty bankovky.
- IX. Portrét podnikatelky Mary Reibeyové** (*designový prvek*) – Na tomto prvku je znázorněna úspěšná podnikatelka Mary Reibey.
- X. Zátoka (přístav) v Sydney** (*designový prvek*) – Tento obrázek znázorňuje přístav v Sydney z roku 1800. Jsou zde vyobrazeny lodě, které vlastnila Mary Reibey.
- XI. Mikrotisk/mikropísmo** (*bezpečnostní prvek*) – Na několika místech bankovky je definovaný drobný jasný text. Text zachycuje jména lodí, které vlastnila Mary Reiby. Další text je zobrazen na barevném pozadí, který ukrývá název nominální hodnoty bankovky „twenty dollars“.
- XII. Fluorescenční znak** (*bezpečnostní prvek*) – Znázorňuje akácii (keř) a větev na kterém stojí ledňáček. Tento obrázek je viditelný pod UV světlem. [43]



Obr.57. Fluorescenční prvek [44]

Ochranné prvky rubu:



Obr.58. 20 \$ ochranné prvky rubu [Archiv autora]

- I.** **Kompas** (*bezpečnostní prvek*) – Kompas se nachází v malém jasném okně.
- II.** **Dračí letadlo** (*designový prvek*) – Tento prvek znázorňuje letadlo Dragon z roku 1948.
- III.** **Ofsetový tisk v pozadí** (*bezpečnostní prvek*) – Na každé straně bankovky jsou definované vícebarevné vzory jemných čar.
- IV.** **Portrét ministra Johna Flynnna** (*designový prvek*) – Tato fotografie znázorňuje Johna Flynnna.
- V.** **3D kompas** (*designový prvek*) – Zde je kompas představen jako navigace, odkazující se na práci Reibey a Flynnna v námořní a letecké službě.
- VI.** **Létající ledňáček** (*bezpečnostní prvek*) – Nakloněním bankovky uvidíme, jak ledňáček hýbe svými křídly a mění se jejich barva.
- VII.** **Usmívající se ledňáček** (*designový prvek*) – Představuje druh ptáka.
- VIII.** **Obracející se hodnota 20 uvnitř budovy** (*bezpečnostní prvek*) – Nakloněním bankovky uvidíme, jak se uvnitř budovy obrací číslo 20.
- IX.** **Efekt pohyblivých barev** (*bezpečnostní prvek*) – Nakloněním bankovky získáme rolující se barevný efekt, který je viditelný na obou stranách bankovky.
- X.** **Překladač informací** (*designový prvek*) – Na tomto prvku je znázorněn překladač informací, který je poháněn pomocí pedálu a slouží pro překlad

informací. Byl vynalezen Alfredem Traegerem. Byl poprvé použit leteckou lékařskou službou v odlehlých oblastech, především pro zlepšení komunikace.

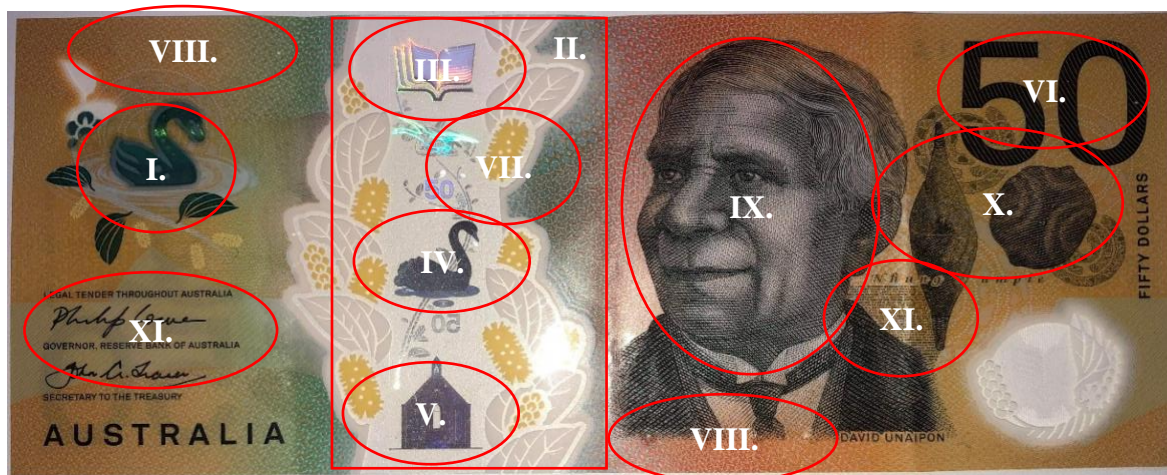
- XI. Mikrotisk/mikropísmo** (*bezpečnostní prvek*) – Na několika místech bankovky je definovaný text. Text zahrnuje pasáže z knihy ministra Johna Flynna a dále je na barevném pozadí potištěn nápis „Twenty dollars“.
- XII. Fluorescenční znak** (*bezpečnostní prvek*) – Pomocí UV světla uvidíme sériové číslo a rok tisku bankovky. [45]



Obr.59. *Fluorescenční prvek* [46]

PŘÍLOHA PIII: OCHRANNÉ PRVKY BANKOVKY 50 \$

Ochranné prvky líce:



Obr.60. 50 \$ ochranné prvky líce [Archiv autora]

- I. Efekt pohyblivých barev (bezpečnostní prvek)** – Nakloněním bankovky získáme rolující se barevný efekt na obou stranách bankovky.
- II. Středové okno se shora dolů (bezpečnostní prvek)** – Obsahuje řadu bezpečnostních prvků ohraničených keřem akátovníkem.
- III. 3D kniha (bezpečnostní prvek)** – Nakloněním bankovky získáme trojrozměrnou otevřenou knihu s barevnými linkami.
- IV. Barevná černá labuť (bezpečnostní prvek)** – Nakloněním bankovky získáme měnící se barvy peří labutě a vlnek vody.
- V. Raukkan kostel (designový prvek)**
- VI. Hlubkový tisk (bezpečnostní prvek)** – Obsahuje texturu vyvýšeného tmavého tisku. Přejetím prstem po čísle 50 ucítíme vystupující tisk.
- VII. Akátovník (designový prvek)** – Druh keře
- VIII. Hmatový funkční prvek (designový prvek)** – Na okrajích bankovky se nacházejí 4 vyvýšené hrbolky v rámci své bezpečnostní funkce. Slouží k určení správné nominální hodnoty pro nevidomé.
- IX. Portrét spisovatele a vynálezce Davida Unaipona (designový prvek)**

- X. Ngarrindjeri Shields and Miwi** (*designový prvek*) – Tento prvek vyobrazuje štít Ngarrindjeriho z 50. let 20. století.
- XI. Mikrotisk/mikropísmo** (*bezpečnostní prvek*) – Bankovka je potištěna jasně definovaným textem. Obsahuje výňatky z legendárních příběhu australských domorodců a také nápis „fifty dollars“.
- XII. Fluorescenční znak** (*bezpečnostní prvek*) – Pod UV světlem spatříme černou labuť a akátovník. [47]



Obr.61. *Fluorescenční prvek* [48]

Ochranné prvky rubu:



Obr.62. 50 \$ ochranné prvky rubu [Archiv autora]

- I. Kniha** (*bezpečnostní prvek*) – V malém jasném okně se nachází otevřená kniha.
- II. Pamětní nemocnice krále Edwarda** (*designový prvek*) – Edith Cowanová přispěla k založení této nemocnice.
- III. Ofsetový tisk v pozadí** (*bezpečnostní prvek*) – Na každé straně bankovky se objevují jasně definované barevné vzory jemných čar.
- IV. Portrét Edith Cowanové** (*designový prvek*) – Tato fotografie byla pořízena roku 1929.
- V. Létající černá labuť** (*bezpečnostní prvek*) – Nakloněním bankovky uvidíme, jak černá labuť pohybuje svými křídly a mění barvu.
- VI. Černá labuť** (*designový prvek*) – znázorňuje druh ptáka.
- VII. Obracející se hodnota 50** (*bezpečnostní prvek*) – Nakloněním bankovky uvidíme, jak se v kostele mění hodnota 50.
- VIII. Efekt pohyblivých barev** (*bezpečnostní prvek*) – Nakloněním bankovky získáme rolující se barevný efekt, který je viditelný na obou stranách bankovky.
- IX. Plán sedadel v parlamentu** (*designový prvek*) – Vyjadřuje vstup ženy do parlamentu.

- X. Mikropísmu/mikrotisk** (*bezpečnostní prvek*) – Na několika místech bankovky je jasně definovaný text. Obsahuje výňatky z prvního projevu Edith Cowanové a také nápis „fifty dollars“.
- XI. Fluorescenční znak** (*bezpečnostní prvek*) – Pod UV světlem uvidíme číslo a rok tisku bankovky. [49]



Obr.63. *Fluorescenční prvek* [50]