

Ramanova spektra českých bankovek

Marek Stöhr

Bakalářská práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek Stöhr**
Osobní číslo: **A15126**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Ramanova spektra českých bankovek**
Téma anglicky: **The Raman Spectra of Czech Banknotes**

Zásady pro vypracování:

1. Nastudujte potřebné informace o českých bankovkách a jejich ochranných prvcích.
2. Diskutujte rozdíly nových vzorů bankovek oproti starším vzorům.
3. Nastudujte a uveďte aktuální statistické údaje o padělání českých bankovek, porovnejte nejčastější metody padělání českých a zahraničních bankovek.
4. Seznamte se s Ramanovou spektroskopií.
5. Pojednejte o forenzních aplikačních možnostech využití Ramanovy spektroskopie pro zkoumání bankovek.
6. Provedte systematickou experimentální analýzu českých bankovek, soustředte se na použité inkousty a papír.
7. Zhodnoťte získaná spektrální data a komentujte dosažené výsledky.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. CHALMERS, John M., Howell G. EDWARDS a Michael D. HARGREAVES. Infrared and Raman spectroscopy in forensic science. 1st pub. Chichester, West Sussex, UK: Wiley, 2012, xxviii, 618 s., [34] s. obr. příl. ISBN 978-0-470-74906-7.
2. HOLLAS, J. Modern spectroscopy. 4th ed. Chichester: Wiley, c2004, xxiii, 452 s. ISBN 0-470-84416-7.
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. Česká národní banka. [Online]. 2017. Dostupné z: <http://www.cnb.cz/cs/index.html>
5. 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.
6. GUEDES, Alexandra, et al. Raman microspectroscopy of genuine and fake euro banknotes. Spectroscopy Letters, 2013, vol. 46, pp. 569-576. ISSN: 1532-2289.

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Hana Vašková, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

12. prosince 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

24. května 2018

Ve Zlíně dne 12. prosince 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřená na Ramanovou spektroskopii a její využití pro zkoumání vybraných prvků českých bankovek. V práci jsou popsány české bankovky, jejich zpracování, ochranné prvky, změny jejich prvků a seznamuje s principy Ramanovy spektroskopie.

Součástí práce je experimentální analýza českých bankovek všech nominálních hodnot na vybraných bodech zahrnující použité inkousty a papír. I přes veřejnou nedostupnost informací o přesném složení inkoustů je možno pomocí Ramanovy spektroskopie ukázat shody a rozdíly jednotlivých použitých materiálů. Ramanova spektroskopie se jeví vhodnou metodou pro hodnocení materiálů použitých na českých bankovkách, která může nalézt využití např. pro hodnocení pravosti českých bankovek.

Klíčová slova: Ramanova spektroskopie, české bankovky, ochranné prvky, inkousty, identifikace

ABSTRACT

The bachelor's thesis is focused on Raman spectroscopy and its application for examination of chosen features of Czech banknotes. The work describes Czech banknotes as a whole, the way they look, their security features, mentions how they were developed over time and introduces principles of Raman spectroscopy.

Part of the thesis is an experimental analysis of Czech banknotes of all nominal values on selected points which encompass inks and paper. It's possible to use Raman spectroscopy to show similarities and differences of each used materials despite lack of information about exact composition of inks. Raman spectroscopy appears as a useful method for evaluation of materials used in Czech banknotes which can find its use in evaluation of authenticity of Czech banknotes.

Keywords: Raman spectroscopy, Czech banknotes, security features, inks, identification

Rád bych tímto poděkoval paní Mgr. Haně Vaškové, Ph.D. za její ochotu, vynaložený čas a cenné rady při konzultacích ohledně tvorby této práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu a pomoc během doby mého studia.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ČESKÉ BANKOVKY	12
1.1 ZPRACOVÁNÍ.....	12
1.2 DRUHY ČESKÝCH BANKOVEK.....	12
1.2.1 Bankovka s nominální hodnotou 100 Kč.....	12
1.2.2 Bankovka s nominální hodnotou 200 Kč.....	13
1.2.3 Bankovka s nominální hodnotou 500 Kč.....	14
1.2.4 Bankovka s nominální hodnotou 1 000 Kč.....	15
1.2.5 Bankovka s nominální hodnotou 2 000 Kč.....	15
1.2.6 Bankovka s nominální hodnotou 5 000 Kč.....	16
2 OCHRANNÉ PRVKY	17
2.1 VODOZNAK.....	17
2.2 OKÉNKOVÝ PROUŽEK S MIKROTEXTEM.....	18
2.3 BAREVNÁ VLÁKNA.....	18
2.4 SOUTISKOVÁ ZNAČKA.....	19
2.5 SKRYTÝ OBRAZEC.....	19
2.6 PROMĚNLIVÁ BARVA.....	20
2.7 MIKROTEXT.....	20
2.8 IRIDISCENTNÍ PRUH.....	21
2.9 PAPIR.....	22
3 VÝVOJ VZORŮ BANKOVEK	23
3.1 100 Kč BANKOVKA.....	23
3.1.1 Vzor 1993.....	23
3.1.2 Vzor 1995.....	23
3.1.3 Vzor 1997.....	24
3.2 200 Kč BANKOVKA.....	24
3.2.1 Vzor 1993.....	24
3.2.2 Vzor 1996.....	25
3.2.3 Vzor 1998.....	25
3.3 500 Kč BANKOVKA.....	26
3.3.1 Vzor 1993.....	26
3.3.2 Vzor 1995.....	26
3.3.3 Vzor 1997.....	26
3.3.4 Vzor 2009.....	27
3.4 1 000 Kč BANKOVKA.....	27
3.4.1 Vzor 1993.....	27
3.4.2 Vzor 1996.....	28
3.4.3 Vzor 2009.....	28

3.5	2 000 Kč BANKOVKA	29
3.5.1	Vzor 1996.....	29
3.5.2	Vzor 1999.....	29
3.5.3	Vzor 2007.....	30
3.6	5 000 Kč BANKOVKA	30
3.6.1	Vzor 1993.....	30
3.6.2	Vzor 1996.....	31
3.6.3	Vzor 2009.....	31
4	STATISTIKA A METODY PADĚLÁNÍ ČESKÝCH BANKOVEK.....	33
4.1	PADĚLEK	33
4.2	STATISTIKA PADĚLÁNÍ	34
4.2.1	Počet zadržených padělků podle měny	34
4.2.2	Počet zadržených českých padělků v milionech korun.....	34
4.2.3	Počet padělků podle způsobu zadržení	35
4.3	METODY PADĚLÁNÍ BANKOVEK	36
4.3.1	Přepsání hodnoty	37
4.3.2	Slepení několika částí bankovek	37
4.3.3	Tisk na inkoustové tiskárně.....	38
4.3.4	Použití barevné kopírky	38
4.3.5	Ofsetový tisk	38
5	RAMANOVA SPEKTROSKOPIE.....	40
5.1	PRINCIP RAMANOVY SPEKTROSKOPIE	40
5.2	RAMANOVA SPEKTRA	41
5.3	FORENZNÍ VYUŽITÍ RAMANOVY SPEKTROSKOPIE	42
5.3.1	Farmaceutické produkty.....	42
5.3.2	Výbušniny	42
5.3.3	Vlákna	42
5.3.4	Padělané dokumenty	43
II	PRAKTICKÁ ČÁST	44
6	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	45
7	INSTRUMENTACE A VOLBA VZORKŮ.....	46
7.1	SPEKTROMETR.....	46
7.2	WiRE 3.2	47
7.3	ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH SPEKTER	47
7.4	VZORKY	48
7.4.1	Bankovky v hodnotě 100 Kč.....	48
7.4.2	Bankovky v hodnotě 200 Kč.....	48
7.4.3	Bankovky v hodnotě 500 Kč.....	49
7.4.4	Bankovky v hodnotě 1 000 Kč.....	49
7.4.5	Bankovky v hodnotě 2 000 Kč.....	49
7.4.6	Bankovky v hodnotě 5 000 Kč.....	49
8	MĚŘENÍ VYBRANÝCH VZORKŮ.....	50

8.1	PRVKY Z BANKOVEK STEJNÝCH NOMINÁLNÍCH HODNOT	50
8.1.1	Tentýž bod na různých exemplářích stejné nominální hodnoty.....	50
8.1.2	Rozdíly jednotlivých barev a papíru	51
8.2	VIZUÁLNĚ PODOBNÉ BODY BANKOVEK ODLIŠNÝCH NOMINÁLNÍCH HODNOT	60
8.3	POSOUZENÍ PAPÍRŮ RŮZNÝCH NOMINÁLNÍCH HODNOT	61
9	POSOUZENÍ VÝSLEDKŮ A METODY	62
	ZÁVĚR	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	64
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	69
	SEZNAM OBRÁZKŮ	70

ÚVOD

Bankovky a mince už několik staletí fungují jako platidlo a ve většině světa zcela nahradily směnný obchod a jiné formy nákupu a prodeje zboží a služeb. I přesto, že měny států světa už nejsou kryté zlatem, jsou bankovky společně s mincemi nejrozšířenější metodou zprostředkování finančních transakcí.

S příchodem bankovek však nastal problém s ověřováním pravosti, protože oproti zlatu a jiným drahým kovům se jedná o lidský výrobek, u kterého je hrozba, že bude napodoben nepovolanými osobami.

Česká národní banka jakožto orgán, který zajišťuje vytváření bankovek, jejich ochranných prvků a zajišťuje celkový dohled nad platidly v oběhu má tedy za úkol vytvořit takový systém ochranných prvků, jenž by dokázal co nejlépe zamezit jakémukoliv nelegálnímu napodobování platidel, které by znamenalo signifikantní posun ve věrohodnosti takového padělků. Ochranné prvky a technologie se stále vyvíjejí a nacházejí se nové způsoby zabezpečení platidel. Avšak s tím se ruku v ruce pojí narůstající kvalifikovanost padělatelů a zvyšující se složitost vyráběných falsifikátů a profesionalita padělatelů. Potřeba analyzovat a přesně prokázat věrohodnost vzorků je tedy stálá a rychlost a přesnost analytických metod je více než žádoucí.

Je moderní metoda sloužící pro studium a identifikaci materiálů. Poskytuje charakteristické informace o měřeném materiálu na molekulární úrovni. Oproti jiným druhům spektroskopie má řadu výhod, kterými se stává efektivním a rychlým prostředkem analýzy mnohých prvků bankovek. Je neinvazivní, nedestruktivní, poměrně rychlá a při správně zvoleném postupu a technickém vybavení vykazuje velmi přesné výsledky. Vzhledem k těmto výhodám má potenciál uplatnění v mnoha vědeckých a průmyslových oborech.

Cílem této bakalářské práce je studium použitelnosti Ramanovy spektroskopie pro měření českých bankovek s důrazem na rozlišení charakteristických materiálů (inkoustů, papíru) použitých na jednotlivých bankovkách a zhodnocení, zda by se metoda dala uplatnit jako alternativní či dodatečná metoda pro získání bližších informací o jednotlivých prvcích českých bankovek.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ČESKÉ BANKOVKY

Pod pojmem české bankovky rozumíme soubor papírových výtisků představující měnu České republiky, který slouží k provádění platebních transakcí.

Dohled nad vydáváním a celkovým spravováním bankovek zajišťuje Česká národní banka podle zákona č. 6/1993 Sb. Podle tohoto zákona má jedinečné právo nakládat s bankovkami z hlediska jejich tisku, řízení oběhu, ničení opotřebovaných či znehodnocených kusů a jejich výměny, technické realizace ochrany proti padělání atd. [1]

1.1 Zpracování

Bankovky disponují řadou motivů, které jsou pro všechny nominální hodnoty stejné. Každá bankovka sestává z lící a rubové strany. Nejdůležitějšími prvky lící strany z hlediska obecné identifikace jsou kromě numerického označení hodnoty dané verze taktéž slovní vyjádření hodnoty, rok vzoru bankovky a emisní ústav. Rubové straně pak dominuje zejména státní znak České republiky, značení série bankovky včetně pořadového čísla. Rub je ještě doplněn názvem tiskárny a jménem autora vizuálního provedení a jmény rytců. Výhradním autorem obou stran veškerých platných verzí je akademický malíř a grafik Oldřich Kulhánek. Papír, na který je tisknuto, je buď z bavlny, nebo ze sloučeniny bavlny a lnu. [5]

1.2 Druhy českých bankovek

K 1. 1. 2018 je v oběhu v České republice 6 nominálních hodnot bankovek. A to konkrétně s hodnotou 100 Kč, 200 Kč, 500 Kč, 1 000 Kč, 2 000 Kč, a 5 000 Kč. Původně existovaly ještě dvacetikorunové a padesátikorunové verze, ale ty byly zrušeny k 31. 8. 2008 a 1. 4. 2011 respektive. Pojďme si nyní představit všechny verze popsány v kapitolách 1.2.1 – 1.2.6

1.2.1 Bankovka s nominální hodnotou 100 Kč

Jedná se o čtvrtou nejrozšířenější bankovku v oběhu. Její líc vyobrazuje Karla IV., krále českých zemí a císaře Svaté říše římské ze 14. století, dále motivy typické pro gotické stavby a na spodní části pak obě strany pražského groše. Rubové straně dominuje pečeť Karlovy univerzity doplněné o stylizované písmeno „K“ ze zakládající listiny Univerzity Karlovy. Stranu doplňují další gotické prvky, zejména vitráže oken, které jsou lehce pří-

tomny i na straně lícové. Bankovka má 3 verze. Vzor 1993 v oběhu od 30. 6. 1993 do 31. 1. 2007 (již neplatný), vzor 1995 v oběhu od 21. 6. 1995 a vzor 1997 v oběhu od 15. 10. 1997. Rozměr je pro všechny vzory totožný: 140x69 mm se šířkou kuponu (nepotisknuté místo pod číslovkou nominální hodnoty) 36 mm. [3]



Obr. 1: Bankovka s nominální hodnotou 100 Kč.

[2]

1.2.2 Bankovka s nominální hodnotou 200 Kč

Třetí nejrozšířenější hodnota dle četnosti výskytu v oběhu. Lícní strana vyobrazuje Jana Amose Komenského, nejslavnějšího českého pedagoga, spolu s otevřenou knihou a půdorysem místa, kde je pohřben – Naarden. Rub zobrazuje spojené ruce dospělého a dítěte na popředí a knihu Orbis Pictus zasazenou mezi květy na pozadí. Bankovka má 3 vzory: Vzor 1993 platný od 8. 2. 1993 do 31. 1. 2007, vzor v oběhu od 14. 8. 1996 a vzor 1998 v oběhu od 6. 1. 1999. Rozměr je 146 x 96 mm se šířkou kuponu 39 mm. [3]



Obr. 2: Bankovka s nominální hodnotou 200 Kč. [2]

1.2.3 Bankovka s nominální hodnotou 500 Kč

Jedná se o druhou nejméně rozšířenou bankovku v oběhu. Lící strana zobrazuje na popředí portrét Boženy Němcové, slavné české spisovatelky. Portrét je na pozadí doplněn rozvítým květem růže. Rub obsahuje vyobrazení dívky s květy a bodláčím ve vlasech. Celkem byly vytvořeny 4 vzory. Již neplatný vzor 1993 v oběhu od 21. 7. 1993 do 31. 1. 2007, vzor 1995 od 27. 12. 1995, vzor 1997 od 18. 3. 1998 a vzor 2009 od 1. 4. 2009. Velikost bankovky je 152 x 69 mm se šířkou kuponu 41 mm. [2, 3]



Obr. 3: Bankovka s nominální hodnotou 500 Kč. [2]

1.2.4 Bankovka s nominální hodnotou 1 000 Kč

Bankovka s největší četností výskytu v oběhu. Její lícní strana vyobrazuje českého historika Františka Palackého. Líc dále doplňuje motiv stromu s kořeny s listem papíru. Rubovou stranu tvoří kroměřížský zámek s orlicí, která symbolizuje Moravu a Slezsko. Bankovka s touto hodnotou má celkem 3 vzory. Již neplatný vzor 1993, který byl v oběhu od 12. 5. 1993 do 30. 6. 2001, vzor 1996 v oběhu od 6. 12. 1996 a poměrně nový vzor 2008 v oběhu od 1. 4. 2008. Rozměr se taktéž zvětšil oproti nižším hodnotám na 158 x 74 mm se šířkou kuponu 42 mm. [2, 3]



Obr. 4: Bankovka s nominální hodnotou 1 000 Kč. [2]

1.2.5 Bankovka s nominální hodnotou 2 000 Kč

Druhá nejrozšířenější bankovka v oběhu sdílí svůj základní barevný motiv se stokorunovou bankovkou. Její líc je sestaven z portrétu české operní pěvkyně Emy Destinové, vavřínové ratolesti a lyry. Rub pokračuje v hudebním stylu ve formě violoncella, houslí a hlavy Múzy Euterpé. Na hlavě má rovněž vavřínové ratolesti, které přesahují za velké „D“ obklopující celou stranu. Její nejstarší vzor je z roku 1996, který je v oběhu od 1. 10. 1996. Vzor 1999 je platný od 1. 12. 1999 a nejnovější vzor 2007 doplnil oběh dne 2. 7. 2007. Bankovka má rozměr 164 x 74 mm se šířkou kuponu 43 mm.



Obr. 5: Bankovka s nominální hodnotou
2 000 Kč. [2]

1.2.6 Bankovka s nominální hodnotou 5 000 Kč

Bankovka nejméně rozšířená a zároveň s největší hodnotou. Její lící strana nese portrét Tomáše Garriguea Masaryka, prvního prezidenta Československa. Na pozadí jsou dále zobrazeny lístky a plody lípy a celou délkou líce prostupuje červenobílá stuha. Na rubu je znázorněno prolnutí několika významných pražských barokních a gotických staveb. Nad nimi jsou vyobrazeny gotické znaky Prahy a Čech a na spodu jsou mimo jiné náhrobky židovského hřbitova. První vzor byl vyhotoven již v roce 1993 i přesto, že se tehdy jednalo o velmi vysokou částku. Tento vzor je již neplatný a v oběhu figuroval od 15. 12. 1993 do 30. 6. 2001. Vzor 1999 je v oběhu od 8. 9. 1999 a nejnovější vzor 2009 od 11. 2. 2009. Jedná se proporcčně o největší bankovku s velikostí 170 x 74 mm a šířkou kuponu 44 mm.



Obr. 6: Bankovka s nominální hodnotou
5 000 Kč. [2]

2 OCHRANNÉ PRVKY

Ochrana před paděláním je jednou ze stěžejních úkolů při návrhu jakékoliv bankovky. Motivací je výrazně znesnadnit případné nelegální duplikování a znehodnocování měny. Mnoho prvků je navrhováno tak, aby se jejich pozměnění dalo odhalit pouhým okem a případná odlišnost či absence jedné z částí byla snadno zpozorovatelná běžnou osobou jako například pokladní v obchodě.

České bankovky mají celou řadu různých ochranných elementů, jejichž počet se liší v závislosti na nominální hodnotě a vzoru. Nižší hodnoty a starší vzory mají zpravidla menší počet ochranných prvků. To znamená, že nejnovější vzor 5 000 korunové bankovky disponuje nejvíce prvky různých druhů a provedení, aby se výrazně snížila pravděpodobnost, že se podaří dostatečně věrně napodobit všechny jeho části. Mezi ochranné prvky českých bankovek Česká národní banka řadí zejména:

- vodoznak,
- okénkový proužek s mikrotextem,
- barevná vlákna,
- soutisková značka,
- skrytý obrazec,
- proměnlivá barva,
- mikrotext,
- iridiscentní pruh. [4]

2.1 Vodoznak

Je obrazec, který se na bankovce projeví při vystavení intenzivnímu osvětlení. Obsahuje širokou škálu odstínů mezi nejtmaší a nejsvětlejší částí. Jedná se o alternativní vyobrazení postavy dominující na lící straně, které se nachází na nepotištěné levé straně pod číslicí hodnoty. Zároveň je vodoznak doplněn o světlé zobrazení nominální hodnoty dané bankovky a u novějších vzorů je ke světlé číslici připojen také znak unikátní pro danou hodnotu. Podobizna má navíc opačnou orientaci v lící a rubové straně. [4]



Obr. 7: Vodoznak 5 000 Kč bankovky z obou stran.[4]

2.2 Okénkový proužek s mikrotextem

Přerušovaný pás 3 mm šířky z pokovené hmoty, který přechází přes celou šíři bankovky zhruba u poloviny její délky. V prostředí s běžným osvětlením lze pozorovat 4 stejně dlouhé pásy, avšak při silnějším nasvícení jde pruh vidět jako souvislá, nepřerušovaná čára přes celou šíři bankovky. Proužek nese šrafovaný negativní mikrotext se zkratkou České národní banky (ČNB) a číselné vyjádření hodnoty dané bankovky. V závislosti na úhlu pohledu lze také pozorovat změnu barvy, která se pro různé nominální hodnoty liší. [4]



Obr. 8: Okénkový proužek 2 000 Kč bankovky. [6]

2.3 Barevná vlákna

Jedná se o nepravidelně vyhlížející drobné 6 mm čáry oranžové barvy, které lze zpozorovat na celé ploše lící i rubové strany. [6] Jejich vzor umístění není pevně daný, a proto je jed-

notlivé kusy mají natisknuté na různých místech. Pod UV světlem vykazují luminiscenční vlastnosti.



Obr. 9: Barevná vlákna na bílé části bankovky. [7]

2.4 Soutisková značka

Značka je umístěna v kruhu vedle horní číslovky hodnoty. Ten obsahuje různé tvary obrazců, které jsou jinak uspořádány na liché a rubové straně. Pod silnějším světlem však při pohledu do kruhu tyto znaky splynou a představují dvojici písmen Č a R, jakožto iniciál názvu státu Česká republika.



Obr. 10: Soutisková značka vzoru 1 000 Kč bankovky z roku 1996. [8]

2.5 Skrytý obrazec

Skrytý obrazec se nachází na pravé dolní lící části bankovky, zpravidla na, nebo nad levým ramenem vyobrazené osobnosti a znázorňuje nominální hodnotu bankovky. Při kolmém pohledu je obtížně zpozorovatelným pouhým okem, avšak při natočení bankovky vodorovným směrem ke zdroji světla se stane snadno viditelným. Znak rovněž disponuje

dvojitou světlostí, tedy pokud se na obrazec podíváme z delší strany, jeví se pozitivně (tmavě). Naopak při pohledu z kratší strany je negativní (světlý). [9]



Obr. 11: Skrytý obrazec 5 000 Kč bankovky. Upraveno z [4]

2.6 Proměnlivá barva

Tento ochranný prvek můžeme nalézt nad lícním textem označujícím nominální hodnotu bankovky. Každá hodnota bankovky 500 korun českých a výše má svůj stylizovaný znak, na kterém můžeme pozorovat změnu barvy v závislosti na úhlu dopadajícího světla díky zvláštní tiskové barvě. Při kolmém pohledu působí zlatě, pod úhlem naopak zeleně. [6]



Obr. 12: Proměnlivá barva na 500 Kč bankovce. Upraveno z [9]

2.7 Mikrotext

Mikrotextem rozumíme velmi malý text jednak číslovek i slovního vyjádření hodnoty. Můžeme jej nalézt ve výplni číslovky v horním rohu bankovky v podobě slov a v pruhu základní barvy na pravé části lící strany v podobě číslovky. Na rubové straně se mikrotext objevuje rovněž na pruhu základní barvy, ale v podobě slovního vyjádření hodnoty. Různé

nominální hodnoty pak obsahují různě umístěné mikrotexty na lících stranách vně, nebo poblíž slovního vyjádření hodnoty a od 1 000 Kč a výš je text tisknut jak z plochy, tak z hloubky. [6]



Obr. 13: Dvě oblasti mikrotextu 1 000 Kč bankovky.

Upraveno z [10]

2.8 Iridiscentní pruh

Iridiscentní pruh se nachází na pravé straně lící strany, zpravidla u levé strany obličeje vyobrazené osobnosti a je široký zhruba 20 mm. Tímto ochranným prvkem disponují pouze bankovky začínající od 1 000 korunové hodnoty a výše. Pruh je tvořen ze dvou odlišně barevných částí. Levá část je pro všechny bankovky stejná a je zlatá. Pravá část se barevně liší v závislosti na nominální hodnotě a sestává z vlnek, ve kterých je vepsána hodnota dané nominální hodnoty. Při kolmém pohledu za normálních světelných podmínek působí pruh téměř průsvitným dojmem, zatímco po výrazném osvětlení dává najevo své barevné vlastnosti. Číslovky na zvlněné části rovněž mění světlost v závislosti na úhlu pozorování. [4]



Obr. 14: Iridiscentní pruh 1 000Kč bankovky. [10]

2.9 Papír

Samotný papír je také velmi těžko napodobitelným elementem a přispívá k dodatečné ochraně. Bývá vyroben buď z bavlněných vláken, nebo sloučením lnu a bavlny. Oproti běžně používanému kancelářskému papíru se vyznačuje nadstandardní fyzickou pevností, lehkým nažloutlým zbarvením a zvýšenou odolností proti kapalinám. Papír na bankovkách vyšších nominálních hodnot může při optimálním zacházení v dobrém stavu vydržet roky. [5, 11]

3 VÝVOJ VZORŮ BANKOVEK

Potřebě vývoje a zdokonalování se nevyhnou ani české bankovky, a proto i Česká národní banka tuto možnost pravidelně využívá a snaží se udržovat zabezpečení na co nejvyšší úrovni. Za krátkou dobu existence samostatné České republiky bylo vydáno hned několik vzorů každé nominální hodnoty, které se drobně upravovaly a jejichž ochranné prvky vyvíjely či měnily. V těchto vzorech dokonce figurují i různé série. Nejstarší vzory byly již s výjimkou dvoutisícové bankovky staženy z oběhu, avšak v praxi se nemusíme setkat pouze s nejnovějšími vzory, některé postarší byly ponechány v oběhu i přes jejich současnou horší kvalitu z hlediska ochranných prvků. Na druhou stranu je v nich natolik malý rozdíl oproti nejnovějším, že je není třeba rušit. Ve všech případech byly mezi vzory zachovány základní parametry a celkové provedení. V následujících kapitolách se podíváme, jak se měnily bankovky s jednotlivými vzory.

3.1 100 Kč bankovka

31. 3. 2011 se oficiálně stala bankovkou s nejnižší hodnotou, poté co ČNB ukončila platnost padesátikorunové hodnoty. ČNB stanovila k 31. 12. 2017 počet kusů na 62 milionů, což je zhruba 13,5 % z celkového počtu bankovek v oběhu. [12]

3.1.1 Vzor 1993

Jedná se o neplatný vzor, který byl po necelých 2 letech nahrazen vzorem 1995. Zřejmou odlišností je letopočet na lící straně a odlišné provedení soutiskové značky, která nenesla písmena Č a R ale C a S. Na rubové straně je nejvíce viditelná absence grafického symbolu v podobě velkého písmena „K“ u vodoznaku na bílé ploše. Tyto vzory byly ještě tisknuty v anglické tiskárně Thomas De La Rue, zatímco novější již v pražské STC. [13,14]

3.1.2 Vzor 1995

Stále platný vzor, který změnil letopočet na lící straně a přidal zmíněný grafický symbol na rubovou stranu. Rovněž se drobně upravila celková barevnost bankovky. [13,14]



Obr. 15: Vzor 1995 stokorunové bankovky. [2]

3.1.3 Vzor 1997

Dosud nejaktuálnější podobou stokorunové bankovky. Oproti vzoru 1995 se na soutiskové značce objevila písmena Č a R, lehce se také změnila velikost grafického symbolu na rubové straně. Přibyla také barevná vlákna s modrou a žlutou luminiscencí, modrozelená luminiscenční barva půlící označení hodnoty a na pravé straně líce. Jakožto jedna z nejmenších bankovek co se týče hodnoty, se ale za dobu existence samostatné České republiky nijak výrazně nezměnila.

3.2 200 Kč bankovka

Podobně jako u stokorunové bankovky i dvoustekorunová se mezi verzemi příliš nezměnila. Se stokorunovou verzí také sdílí téměř totožné kusové zastoupení v oběhu s 62,4 miliony, které znamená stejný podíl 13,5 %. Jedná se tedy o 3. nejrozšířenější bankovku. [12]

3.2.1 Vzor 1993

Vzor, který je známý také tím, že byl na omezený počet kusů na okénkový proužek chybně vytisknut nápis „Republique de Zaire“, který byl určen pro bankovky dnes již neexistující republiky ze střední Afriky. Bankovka tehdy ještě měla odlišný podpis představitele emisní banky, letopočet na líci byl jiný a podobně jako u stokoruny chyběl na rubu grafický symbol. Barevná vlákna rovněž nebyla natisknuta. Dále se lišila soutisková značka a na okén-

kovém proužku, který byl užší než novější vzory, byl mikrotextem vepsán text „200Kčs“, což bylo změněno na konci období, kdy se tiskly. [13, 15, 16]



Obr. 16: Vzor 1993 dvousetkorunové bankovky.

[2]

3.2.2 Vzor 1996

Po příkladu stokoruny a pětisetkoruny se i zde přidal grafický symbol na rubovou stranu, tentokrát symbol otevřené knihy, který figuruje i jako hlavní motiv lícové i rubové strany. Lícní strana také opět změnila letopočet.

3.2.3 Vzor 1998

Až tato verze přišla se soutiskovou značkou symbolizující Českou republiku. Podpis guvernéra ČNB je rovněž jiný a přibyla u něj zkratka „v z.“. Letopočet je rovněž odlišný, přibyla také barevná vlákna, žlutá luminiscence na číslovce označující hodnotu a pravé straně lícové části na hmatových značkách, jméně vyobrazené osobnosti a jméně rytce. Tento vzor je zatím nejaktuálnějším provedením a spolu se stokorunovou bankovkou se vyhnul výraznějším změnám.

3.3 500 Kč bankovka

Tato bankovka prošla nejvíce verzemi ze všech, měla řadu drobných změn a dočkala se přidání nápadných nových ochranných prvků. Co do objemu kusů v oběhu se jedná o druhou nejméně zastoupenou s 42 miliony, což dělá zhruba 9,2 %. [12]

3.3.1 Vzor 1993

Tato neplatná verze byla tisknuta ještě v anglické tiskárně Thomas De La Rue a jako podobné vzory 1993 i zde zcela chybí grafický symbol na rubové straně, soutisková značka uvádí „CS“, letopočet je odlišný a tisknutý z hloubky. Podpisu chybí značka „v z.“, guvernér je jiný (Tošovský) a je tisknut z hloubky. [9]

3.3.2 Vzor 1995

Tento vzor v podstatě jen získal grafický symbol v připodobňující růži v pravém dolního rohu rubové strany a samozřejmě změnil letopočet na straně lící. Okénkový proužek se rovněž mírně posunul. [9]

3.3.3 Vzor 1997

Tento vzor se těšil z celé řady změn. Soutisková značka změnila písmena na Č a R, přibyla modrá a žlutá luminiscence v nových vláknech (modrá jsou běžně neviditelná) a zelená luminiscence v oblasti čísla nominální hodnoty, jména osoby a pole se jménem rytece. [9]



Obr. 17: Pětisetkorunová bankovka vzor 1997. [2]

3.3.4 Vzor 2009

Vzor 2009 prošel největším množstvím změn ze všech verzí. Na kuponové části byly přidány drobné žluté kroužky, luminiscenční prvky se značně rozrostly a to o novou oranžovou barvu, která pokrývá spodní polovinu hodnotového čísla, veškerý text v prostřední části vyjma letopočtu, který je nyní tisknut z plochy (stejně jako podpis guvernéra), a hmatové značky v pravém horním rohu lící strany. Zelená luminiscence je nyní nově patrná na ornamentech ve tvaru srdce v levém spodním a pravém horním rohu obou stran. Nad slovním označením hodnoty uprostřed lící strany byla přidána proměnlivá barva, která byla umělecky zakomponována do hlavního motivu a představuje okvětní lístky růže. Vodoznak na kuponu byl rovněž vylepšen svislým vyobrazením květiny a číslem 500. Okénkový proužek je nyní podstatně širší a pod ostrým úhlem pohledu mění barvu. [9, 17, 18, 19]



Obr. 18: Pětisetkorunová bankovka vzoru 2009 pod UV světlem. [20]

3.4 1 000 Kč bankovka

Nejrozšířenější bankovka má v oběhu 144,8 milionu kusů s 31,4 % zastoupením. Její velké množství je z velké části způsobeno plošným zavedením bankomatů, neboť jsou z nich nejčastěji vybírány. [5, 12]

3.4.1 Vzor 1993

V již neplatném vzoru absentuje celá řada prvků. Na rubové straně chybí grafický symbol, lící strana neobsahuje proměnlivou barvu, soutisková značka leží blíže hlavnímu motivu a má ještě písmena C a S. Pravá strana líce je zcela bez iridiscenčního pruhu a barevná vlák-

na nejsou přítomna. Samozřejmostí je odlišný podpis guvernéra a letopočet. [10, 13, 19, 20, 21]

3.4.2 Vzor 1996

Vzor 1996 je i přes své značné odlišnosti oproti novějšímu vzoru v oběhu stále přítomen. Grafický symbol byl přidán na rub a je stylizován do podoby stromu a velkého písmena „P“. Dále přibyl iridiscentní pruh, avšak v této verzi je zcela rovný. Tento vzor už rovněž obsahuje proměnlivou barvu ve formě lipového listu a viditelná i neviditelná vlákna s modrou a žlutou luminiscenční barvou, zatímco hlavní luminiscenční barvu lze nalézt na vodorovné polovině číslovky hodnoty, hmatové značce a pravé oblasti lící strany. Soutisková značka byla přesunuta blíže kuponu a již zahrnuje písmena Č a R. [10, 17]



Obr. 19: Vzor 1996 1 000 Kč bankovky. [2]

3.4.3 Vzor 2009

Mezi vzorem 1996 a 2009 je 13 let a tudíž se změnila řada prvků a detailů. Iridiscentní pruh již není rovný ale zvlněný, u vodoznaku přibyla svíslá číslovka označující hodnotu a malý znak lipového listu. Nad nimi si lze také všimnout nově přidaných několika malých žlutých kroužků. Luminiscenční barvy jsou nyní žluté a modré na číslovce kuponu a v oblasti vyobrazené osoby, a zelené ve zvláštním provedení lipových listů v levém dolním a pravém horním rohu. Obdobně jako u 500 Kč bankovky i zde se okénkový proužek změ-

nil a je nyní širší a pod úhlem mění barvu. Drobné rozdíly jsou i v barvě a metodě tisku u letopočtu a podpisu guvernéra. [10, 17, 19, 20, 21]



Obr. 20: Vzor 2009 1 000 Kč bankovky pod UV světlem. [20]

3.5 2 000 Kč bankovka

Tato nominální hodnota je „nejmladší“, poprvé byla uvedena až v roce 1996 a možná díky tomu momentálně nedisponuje žádnými neplatnými vzory. V oběhu je k 31. 12. 2017 celkem 118,3 milionů kusů, což činí 25,7 % všech bankovek. [6, 12, 15, 17, 23]

3.5.1 Vzor 1996

Největším rozdílem oproti novějším verzím je absence iridiscentního proužku na lící straně. Míň očividný rozdíl tkví také ve viditelných barevných vláknech, která chybí a přítomna jsou pouze neviditelná s modrou luminiscencí. Soutisková značka má rovněž písmena C a S jako obdobné vzory z let 1993-1996.

3.5.2 Vzor 1999

V tomto vzoru byl přidán iridiscentní pruh, avšak má rovný tvar a obsahuje pouze jednu barvu, zatímco nová barva přibyla u vláken, která jsou nyní i viditelná a mají žlutou luminiscenci. Soutisková značka byla po příkladu ostatních vzorů předělána a obsahuje dvojici písmen „ČR“. Drobným změnou je tisk letopočtu z plochy namísto z hloubky. Figuruje zde pouze jedna luminiscenční barva a to zelená, která je umístěna na polovinu číslovky na kuponu a malé oblasti na pravé straně líce.

3.5.3 Vzor 2007

Společně s ostatními vzory vydanými v období 2007-2009 se i zde objevily nové luminescenční barvy (konkrétně oranžová a světle zelená). Vodoznak byl doplněn o hodnotu bankovky a malý symbol a okénkový proužek je nyní širší, pod úhlem mění barvu a obsahuje mírně odlišný text. Iridiscentní proužek změnil na pravé straně tvar a skládá se z modré a zlatavé části.



Obr. 21: 2 000 Kč bankovka vzoru 2007 pod UV světlem. [20]

3.6 5 000 Kč bankovka

Nejvyšší hodnota českých bankovek prošla za 16 let celou řadou změn, a momentálně obsahuje všechny ochranné prvky, které byly českou národní bankou představeny. Zároveň je nejvzácnější bankovkou s pouhými 31,1 miliony kusů v oběhu, což znamená 6,8 % podíl. [12]

3.6.1 Vzor 1993

Jedná se o první vzor mezi českými bankovkami, který disponoval proměnlivou barvou, avšak s jiným zbarvením, než u novějších vzorů. Opět zde chyběl iridiscentní pruh a soustisková značka měla zastaralý text „CS“. Letopočet ležel níže a grafický symbol na rubové straně zcela chyběl. Bankovka navíc úplně postrádala barevná vlákna. [13, 17, 22]



Obr. 22: Vzor 1993 5 000 Kč bankovky. [2]

3.6.2 Vzor 1996

U této verze se změnila pozice letopočtu, přidal se jednobarevný obdélníkový iridiscentní pruh a grafický symbol v podobě listu. Proměnlivé barvy fialové a zlatavé vystřídal dvojice oranžové a žluté. Přidala se barevná vlákna, a také soutisková značka se po vzoru ostatních hodnot nahradila dvojicí písmen „ČR“. [22]

3.6.3 Vzor 2009

Dosud nejaktuálnější vzor pětitisícové bankovky oplývá množstvím různorodých prvků a detailů. Nejvýraznější a nejsnáze zaznamatelný přírůstek představují malé žluté kroužky po celé oblasti lícové strany a rozšíření okénkového proužku, který se stal vícebarevný a byl k němu dodán text „ČNB“. Dále se iridiscentní pruh tvarově změnil na pravé straně na vlnky vystupující do listových znaků a rozdělil se na zlatou a fialovou složku. Barvy přibýly také u luminiscenční části a to konkrétně modrá u číselného a slovního označení hodnoty a světle zelená ve znacích na levém dolním a pravém horním rohu bankovky. K vodoznaku přibyla svisle položená hodnota bankovky a malý symbol orlice. [4, 17]



Obr. 23. Vzor 2009 5 000 Kč bankovky pod UV světlem. [20]

4 STATISTIKA A METODY PADĚLÁNÍ ČESKÝCH BANKOVEK

Od samotného počátku platebních prostředků vždy figurovala snaha je napodobit takovým způsobem, aby laické veřejnosti připadaly jako pravé. Důvod takovýchto pokusů byl prostý, šlo o zisk. S vývojem platidel šel ruku v ruce také vývoj metod padělání. I přes poměrně kvalitní a propracovaný systém ochranných prvků a různorodých detailů se pravděpodobně nikdy nepodaří zcela zabránit nelegálnímu padělání a upravování bankovek. Nutno však dodat, že se ochranné prvky zásadním způsobem podílejí na limitování efektivity a snižování četnosti padělání.

4.1 Padělek

Padělání bankovek je řešeno v zákoně č. 40/2009 Sb. trestního zákoníku v §233 o padělání a pozměnění peněz. Konkrétně odstavec (1) zní: „Kdo sobě nebo jinému opatří nebo přechovává padělané nebo pozměněné peníze nebo prvky peněz sloužící k ochraně proti jejich padělání, bude potrestán odnětím svobody na jeden rok až pět let.“ A odstavec (2): „Kdo padělá nebo pozmění peníze v úmyslu udat je jako pravé nebo platné anebo jako peníze vyšší hodnoty, nebo kdo padělané nebo pozměněné peníze udá jako pravé nebo platné anebo jako peníze vyšší hodnoty, bude potrestán odnětím svobody na tři léta až osm let.“ Je nutno uvést, že ČNB rozlišuje ještě termín „pozměněná bankovka“, což je bankovka, která je upravená tak, aby podávala dojem, že disponují větší hodnotou, než ve skutečnosti mají. Toho je většinou docíleno úpravou prvků, které signalizují nominální hodnotu bankovky. [25,26]

Samotná ČNB posuzuje kvalitativní úroveň padělků do 5 skupin podle jejich nebezpečnosti:

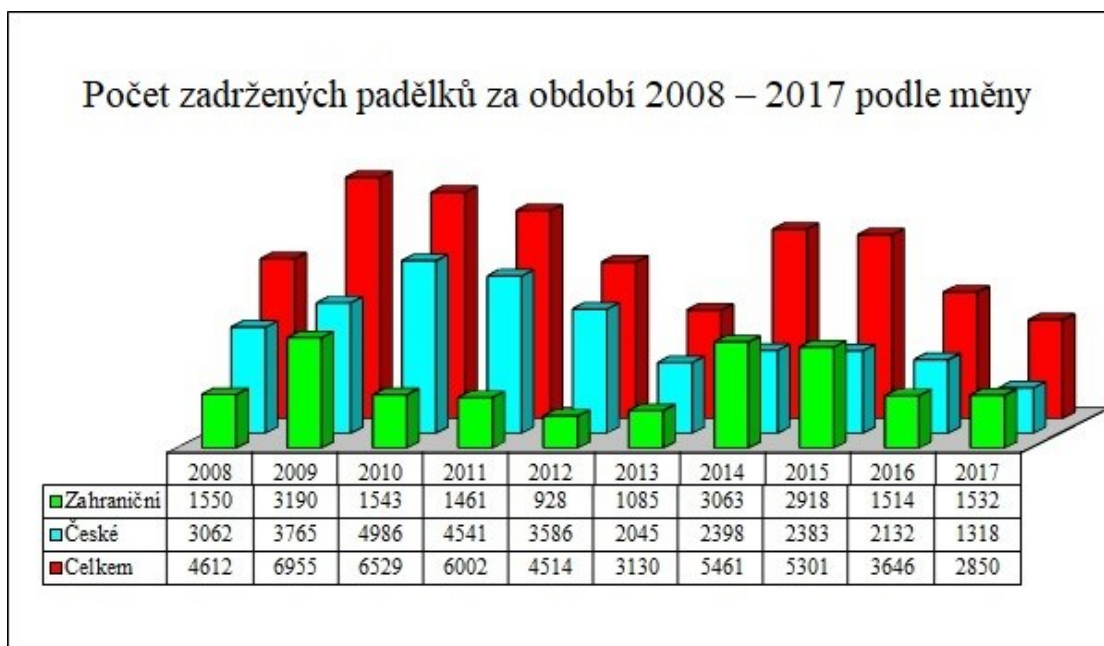
- neumělý,
- méně zdařilý,
- zdařilý,
- nebezpečný,
- velmi nebezpečný. [24]

4.2 Statistika padělání

Především ČNB a Policie ČR vedou důkladné statistiky o padělání a pozměnění bankovek. Díky tomu se může veřejnost dozvědět o meziročních trendech, nebo třeba o výskytu padělků z hlediska oblasti ČR.

4.2.1 Počet zadržených padělků podle měny

ČNB vede záznamy o padělcích, které se dostanou pod její kontrolu. A to nejen o českých bankovkách ale i o zahraničních, čímž bývají nejčastěji eura, kterými se platí ve státech Evropské unie a americké dolary nativní pro Spojené státy americké. Za období 2008 – 2017 ČNB zaznamenala celkem 49 000 padělků, z toho 30 216 bankovek českých a 18 784 zahraničních. Platnost ke dni 31. 1. 2018. [27]

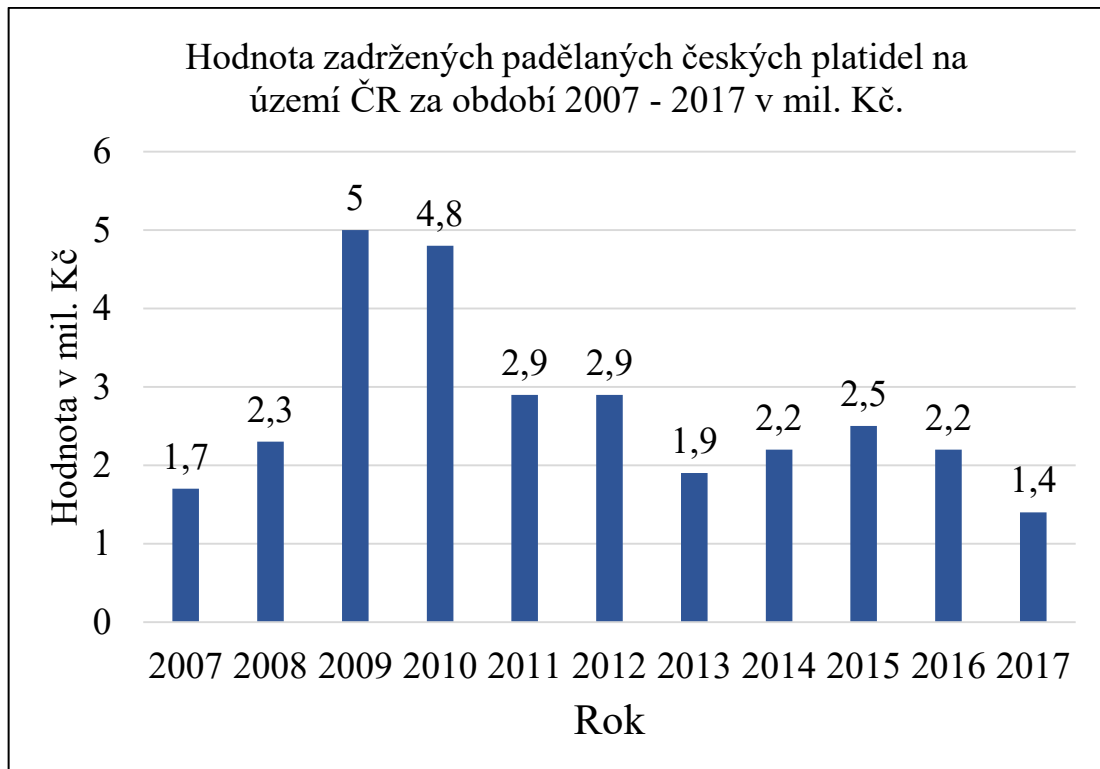


Obr. 24: Počet zadržených padělků na území ČR za období 2008 – 2017 podle měny.

[27]

4.2.2 Počet zadržených českých padělků v milionech korun

I přes drobné výchyly lze poznamenat, že tato data korelují s počtem kusů zadržených bankovek z předcházejícího grafu. A to i přesto, že v nekonzistentních zprávách ČNB se nominální hodnota nejčastěji padělané hodnoty rok od roku často měnila.

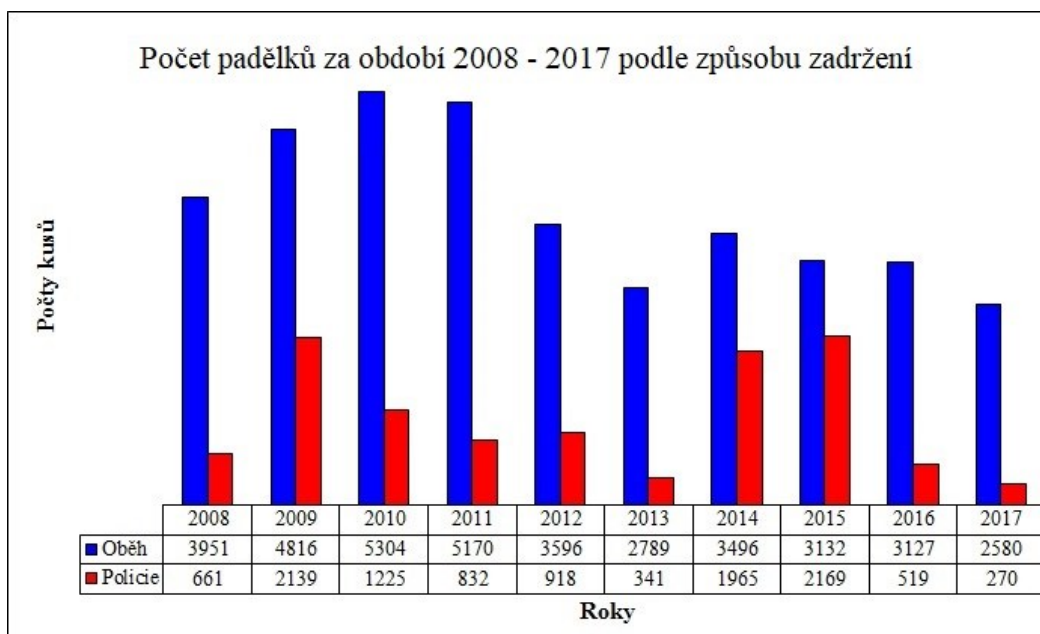


Obr. 25: Hodnota zadržovaných českých platidel na území ČR za období 2007 – 2017.

[29]

4.2.3 Počet padělků podle způsobu zadržení

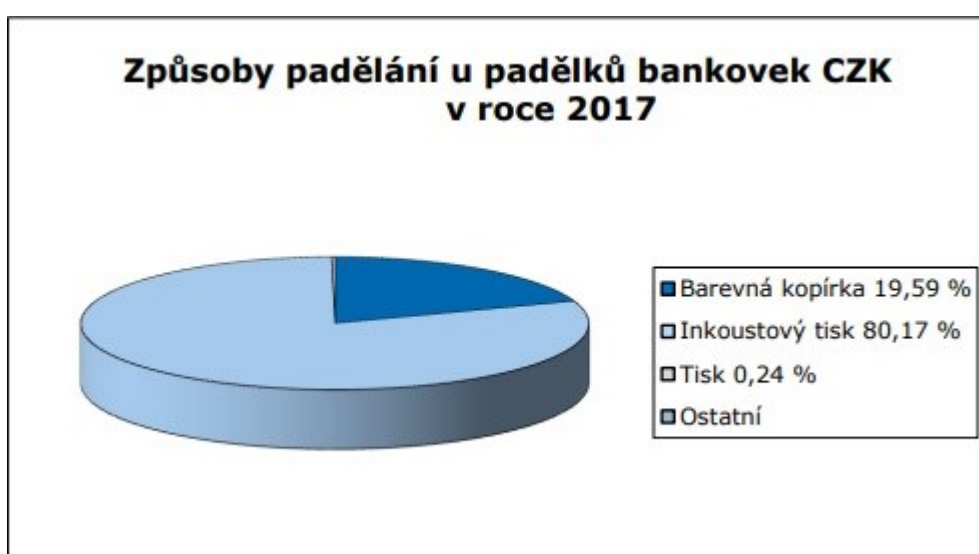
Graf na obr. 26 ukazuje, že na naprostou většinu všech padělaných a pozměněných bankovek za období 2008 - 2017 se přijde až v samotném oběhu. Policie však tuto roli zastává také. Její zastoupení fluktuuje mezi 10,4 % v roce 2013 až 69,3 % v roce 2015. [28]



Obr. 26: Počet padělků za období 2008 – 2017 podle způsobu zadržení. [28]

4.3 Metody padělání bankovek

V České republice je nalezen velmi nebezpečný padělek jen vzácně. To však neznamená, že je hrozba, která z těchto falzifikátů plyne, zanedbatelná. Existuje celá řada metod, jakými se padělatelé snažili a stále snaží vyrobit co nejhodnovnější napodobeninu originálu. Kvalita padělků se samozřejmě odvíjí od pachatelovi dostupných technických prostředků a vybavení. Obr. 27 zobrazuje nejčastější způsoby padělání českých bankovek.



Obr. 27: Nejčastější způsoby padělání českých bankovek v roce 2017. [30]

Situace je pozoruhodně zcela opačná u padělání eurových bankovek. Zde převažuje tisk z plochy (ofset). Statistické výsledky jsou uvedeny v Obr. 28.



Obr. 28: Nejčastější způsoby padělání eurových bankovek v roce 2017. [30]

4.3.1 Přepsání hodnoty

Zcela nejprimitivnější metodou, která se řadí mezi tzv. pozměňování bankovek, je obyčejné přepsání hodnoty na hodnotu vyšší. V praxi jsou takto upraveny jednotky procento z celkového počtu padělaných bankovek. Zároveň je tato metoda velmi snadno odhalitelná i naprostým laikem. [29]

4.3.2 Spleení několika částí bankovek

Takto upravené bankovky mají většinou pozměněnou velikost a některé jejich části mohou i zcela chybět. Pokud se na ně člověk dobře zadívá, může je snadno odhalit a to se může jednat i o naprostého laika. V praxi se však stává, že i velmi špatně padělané bankovky oklamou například prodavače. Na Obr. 29 jsou šipkou vyznačené nejzjevnější odlišnosti oproti pravé bankovce. [26]



Obr. 29: Splená pozměněná bankovka tisícikoruny. [26]

4.3.3 Tisk na inkoustové tiskárně

Tento způsob výroby padělků je v České republice stále nejrozšířenější, ale pouze pro bankovky české měny. Důvodem pro popularitu této metody může být relativní levnost a dostupnost technických prostředků a snadná obsluha tiskáren. Jejich kvalita závisí na použité technice a většinou se takto vyrobené kusy řadí do méně zdařilé kategorie (4. stupeň). Pro produkci eurových bankovek tady metoda používá naopak minoritně, v rámci jednotek procent. [30]

4.3.4 Použití barevné kopírky

Barevné kopírování je na druhém místě nejčastějších metod falšování českých bankovek. Nabytí barevné kopírky je finančně náročnější a její použití nemusí zaručit výborný výsledek. Tato metoda digitálního tisku je naprosto mizivě zastoupena v padělání eurových bankovek, kde obsazuje třetí místo s 1,3% za rok 2017. [30]

4.3.5 Ofsetový tisk

Ofsetový tisk je druh litografické metody, kde se tiskařská barva nejdříve nanáší na několik tzv. ofsetových válců a až poté na samotný materiál. Využívá se zde chemických vlastností míst, na které se roztírá barva a která zůstávají nepotisknutá. Plochy, na které se nanese mastná barva, jsou hydrofobní, netisknoucí plochy naopak hydrofilní. Po navlhčení forem se vlhčící roztok zachytí pouze na hydrofilních místech a nanesená barva ulpí na nenavlhčených částech. Tlakem se pak tiskne na výslednou plochu. Tato metoda dosahuje poměrně obstojných výsledků, avšak je relativně finančně náročná pro jednotlivce a nevýhodou je,

že se médium, na které se tiskne, dostane do kontaktu s vodou, která může negativně ovlivnit vlastnosti papíru. [31,32]

Jedná se o nejčastější metodu padělání eurových bankovek, avšak zastoupení ve výrobě padělků českých bankovek je mizivé. [30]

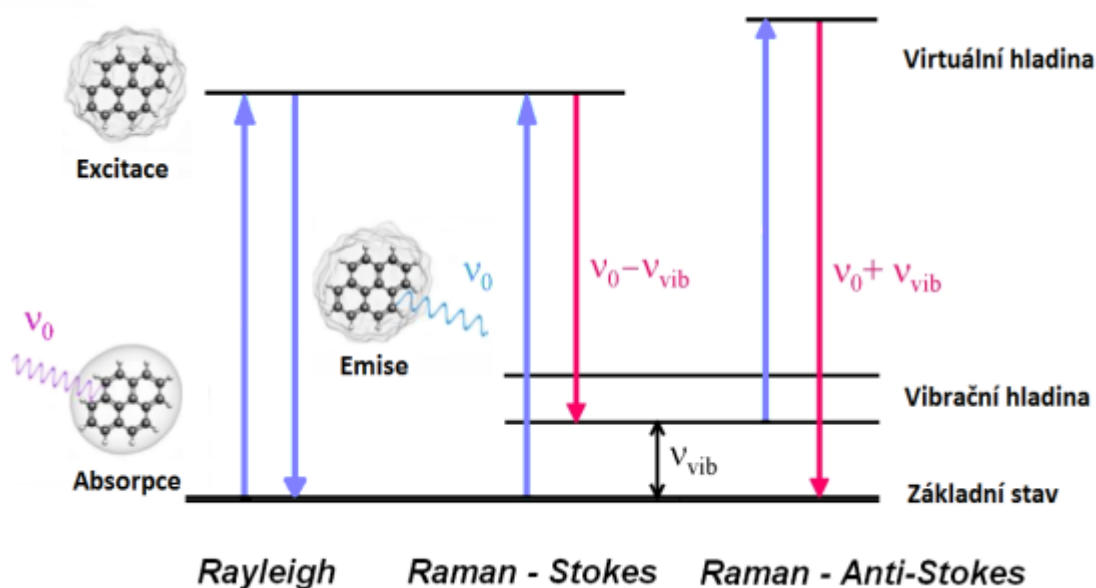
5 RAMANOVA SPEKTROSKOPIE

Jedná se o jednu z neinvazivních analytických metod moderní spektroskopie. Je pojmenována po průkopníkovi této metody, indickém fyziku Chandrasekhara Venkata Ramanovi. Ten v roce 1928 objevil specifické vlastnosti rozptylu světla, který dnes nazýváme Ramanův jev. Za tento objev rovněž obdržel v roce 1930 Nobelovu cenu za fyziku. Dalšími spektroskopickými metodami jsou např. terahertzová, infračervená, fluorescenční, ultrafialová, mikrovlnná, či luminiscenční. [33]

5.1 Princip Ramanovy spektroskopie

Spektroskopie se obecně zabývá vzájemným působením elektromagnetického záření a hmoty, na kterou dopadá. Ramanova spektroskopie je typem vibrační spektroskopie využívající tzv. Ramanův jev či Ramanův rozptyl. Při této metodě se zkoumaná látka, která může být pevná, kapalná i plynná, osvětluje monochromatickým světlem, tak aby rozptylovala světlo. Většina tohoto světla je rozptýlena se stejnou vlnovou délkou čemuž se říká elastic- ký, nebo Rayleighův rozptyl. Určitá část záření je absorbována a velmi malý podíl (v řá- dech 10^{-5} procent) ozařujícího světla se však rozptýlí s odlišnou vlnovou délkou (energií), což závisí na vzájemných působeních monochromatického světla a vibrujících molekul dané látky. Takto vzniká obraz, který je jednoznačný a specifický pro každou látku. Vý- sledkem užití této metody jsou Ramanova spektra. [38, 39]

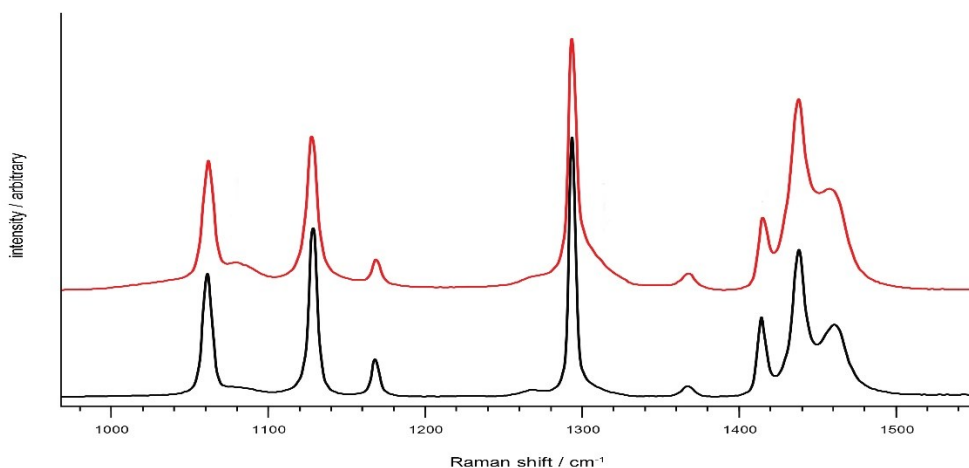
Obr. 30 demonstruje interakci mezi fotonem a materiálem. Z takového působení mohou vzniknout tři možné výsledky. Zprvė může být světlo rozptýleno Rayleighovým rozpty- lem a pro Ramanovu spektroskopii tato interakce není významná. Zadruhé může mít emi- tovaný foton nižší energii než foton, který byl absorbovaný. To vytváří tzv. Stokes Rama- nův rozptyl. Zatřetí může mít emitovaný foton vyšší energii, než absorbovaný foton, což je uvedeno jako Anti-Stokes Ramanův rozptyl. ν_0 vyjadřuje frekvenci budícího záření a ν_{vib} je vibrační frekvence. [33,34,35]



Obr. 30: Základní rozdíl mezi Rayleighovým a Ramanovým rozptylem. [33]

5.2 Ramanova spektra

Jak už bylo řečeno, výsledky aplikování této metody jsou patrné na Ramanových spektrech. Jedná se o závislost intenzity Ramanova signálu na Ramanově posunu, což je rozdíl mezi naměřeným vlnovým číslem (počtem vlnových délek) a vlnami laseru přístroje. Intenzita signálu se vyjadřuje v tzv. arbitrary units [a. u.] a jedná se vlastně o relativní jednotku, která akorát podává informaci o počtu, nebo množství. Ramanův posun se obvykle udává v převrácených jednotkách délky, nejčastěji [cm^{-1}]. Na Obr. 31 lze vidět jak dva různé vzorky polyetylénu mají téměř identická spektra, neboť mají stejné materiálové vlastnosti.



Obr. 31: Ramanova spektra dvou vzorků polyetylénu. [36]

5.3 Forenzní využití Ramanovy spektroskopie

Technologie Ramanovy spektroskopie udělala zejména na přelomu tisíciletí podstatný krok vpřed. Jestliže vezmeme v potaz fakt, že se tímto postupem dá analyzovat celá řada materiálů a látek a že výsledky z ní jsou velmi konzistentní a prokazatelné, pak by mohla mít zásadní význam ve forenzních vědách. Hlavními výhodami této metody jsou zejména:

- Nedestruktivnost – Analýza Ramanovou spektroskopií nezanechává žádné stopy na testovaných vzorcích.
- Citlivost – Látka může mít velmi malé rozměry i v řádech 10^{-6} m.
- Bezkontaktnost – Měřicí soustava je zcela oddělena od měřeného vzorku, tudíž nemůže dojít k nechtěnému pozměnění testovaného materiálu.
- Rychlost a jednoduchost – Vzorek není potřeba složitě ošetřovat, nebo připravovat před začátkem měření a samotná analýza probíhá relativně rychle. [33]

5.3.1 Farmaceutické produkty

Léčiva a drogy mají zřetelné a jednoznačné identifikátory, které jsou dobře viditelné při analýze Ramanovou spektroskopií. Navíc díky přenosným Ramanovým spektrometrům je dnes možné provádět analýzu přímo v terénu, aby se zajistilo, že vzorek nebude v žádném případě kontaminován při převozu, nebo během manipulace s ním. [37]

5.3.2 Výbušniny

Jak už bylo zmíněno, bezkontaktnost je jednou z vlastností tohoto druhu analýzy a je jedním z klíčových faktorů ovlivňující atraktivnost Ramanovy spektroskopie na analýzu výbušnin. Opět zde lze využít přenosných spektrometrů. [37]

5.3.3 Vlákna

Textilní vlákna se velice snadno dostanou na místa, se kterými pachatel nepočítal. Velmi častými trestnými činy, při kterém se takto přenášejí vlákna, jsou znásilnění či vraždy. I přesto, že se často využívá spíše infračervená spektroskopie, Ramanova spektroskopie nevyžaduje složité očišťování vzorků před samotnou analýzou a může být tedy použita k doplnění informací získaných ze světelné mikroskopie a IR spektroskopie.[37]

5.3.4 Padělané dokumenty

Silnou stránkou této metody ve forezních vědách představuje ověřování pravosti dokumentů a listin. Analýzou vzorků inkoustů se dají rozlišit nejmenší detaily, neboť se dané inkousty skládají z řady pigmentů, ředidel, pryskyřic a jiných přísad, které všechny zanechávají jedinečný otisk v Ramanových spektrech. [38]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Před samotným měřením a analýzou je nezbytné si stanovit základní cíle, ke kterým bude praktická část sledovat.

1. Provedení experimentální analýzy
 - a) Seznámení s technickými prostředky pro měření
 - b) Vhodné nastavení přístrojů
 - c) Výběr vzorků
 - d) Dokumentování parametrů měření
2. Zpracování naměřených dat
3. Předvedení naměřených dat
 - a) Vytvořit zobrazení spekter
 - b) Porovnání hlavních inkoustů
 - c) Porovnání papíru
4. Vyhodnocení naměřených dat
5. Vyhodnocení využitelnost metody v praxi

7 INSTRUMENTACE A VOLBA VZORKŮ

Pro provedení jakékoliv analýzy pomocí Ramanovy spektroskopie je zapotřebí kvalitního technického vybavení. V první řadě si je třeba stanovit, čím a jak se bude měřit. Tato kapitola bude sloužit pro seznámení s technickými prostředky analýzy a měření a pro představení konkrétních subjektů měření.

7.1 Spektrometr

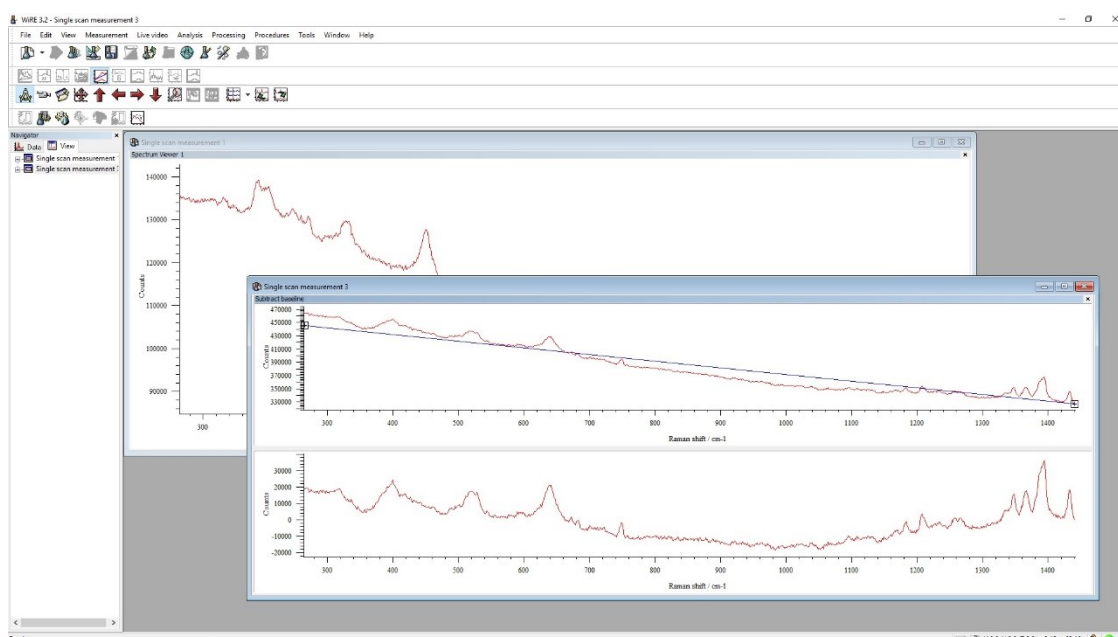
Spektrometr je neodmyslitelnou součástí jakékoliv spektroskopie, Ramanovy nevyjímaje. Měření byla provedena na přístroji inVia Basis, od britské společnosti Renishaw, která se zabývá především metrologií a spektroskopií. Jedná se o velice schopný spektrometr určený především pro výzkumná pracoviště. Je opatřen dvojicí zdrojů monochromatického světla – laserů. Prvním z nich je argonový iontový laser pracující na vlnové délce 514 nm, tudíž produkuje zelené světlo. Druhý je infračervený diodový laser, generující záření o vlnové délce 785 nm, který byl použitý v našem měření. Spektrometr je doplněn o konfokální mikroskop, který přináší výhody optické mikroskopie a automatizovaný stolek usnadňující manipulaci se vzorky.



Obr. 32: Spektrometr Renishaw inVia Basis. [40]

7.2 WiRE 3.2

WiRE (Windows-based Raman Environment) 3.2 je proprietární software od společnosti Renishaw, sloužící jako softwarová podpora pro měření spektrometrem. Umožňuje kompletní kontrolu nad měřicím přístrojem, což zahrnuje například výběr laseru, nastavení jeho výkonu. Nastavení samotného měření může obsahovat kroky jako doba jedné iterace, celková doba měření, spektrální rozsah. Po samotném měření je WiRE schopen prezentovat naměřená data a dále s nimi pracovat a upravovat, což bude ukázáno dále v textu práce.



Obr. 33: Ukázka prostředí WiRE 3.2.

7.3 Zpracování naměřených spekter

Po extenzivním měření je třeba data zanalyzovat a s pomocí programu WiRE, který disponuje mnohými funkcemi, které jsou schopny analyzovat a upravovat spektra do požadované podoby a vhodně je připravit pro prezentování. Zde je stručný popis některých z nich:

- Peak pick – je nástrojem rychlé analýzy, která zobrazí informace o pících v celém znázorněném spektru. U každého píku se objeví číslice korespondující s hodnotou Ramanova posuvu.
- Data Arithmetic – Umožňuje pracovat se spektry pomocí aritmetických operací. Zprostředkovává základní operace mezi dvěma spektry jako je sčítání, odčítání, násobení, či dělení, ale umí na spektrum aplikovat i logaritmus, umocnění, nebo převrácení hodnoty.

- Subtract baseline – Jelikož se v určitém spektru může objevit luminiscenční pozadí, může se vyobrazená základna vyrovnat použitím lineární či polynomické funkce.
- Smooth – Tuto funkci lze použít na drobnou korekci dat v případě šumu.
- Truncate – Funkce vybere jenom omezenou část dat z naměřeného rozsahu, ostatní zahodí. Užitečné pokud chceme zdůraznit určitou sekci, nebo jsou ostatní data irrelevantní.
- Zap data – Jedná se v podstatě o opak funkce truncate. Dovoluje vybrat určitou sekci a vystříhnout z ní veškeré píky. Aplikací funkce Zap data zbude pouze lineární základna propojující oba konce zapu.

Tento program má samozřejmě mnohem více funkcí. Disponuje například algoritmem odstraňující kosmického záření, nebo redukci fluorescence na pozadí. Pro účely bakalářské práce stačilo použití výše uvedených funkcí. [47]

7.4 Vzorky

Před samotným měřením je důležité si důkladně promyslet, jaké vzorky budou měřeny. Jak bylo uvedeno v kapitole 3., české bankovky mají různé vzory a dokonce i série. Proto je při této analýze důležité si zvolit takové, které budou pro měření nejlepší a povedou k nejprůkaznějším výsledkům. V této experimentální analýze bylo důležité zahrnout co největší spektrum různých vzorů, nominálních hodnot a sérií. V následujících odstavcích je proveden výčet všech dostupných nominálních hodnot, vzorů a sérií, které byly dostupné v době uskutečnění měření.

7.4.1 Bankovky v hodnotě 100 Kč

Všechny vybrané stokorunové bankovky byly vzoru 1997. Díky její relativní dostupnosti bylo možno naměřit celkem 3 kusy lišící se sériemi. Zahrnuté série byly:

- F60 – Mírně opotřebená
- H04 – Mírně opotřebená.
- H55 – Poměrně zachovalá.

7.4.2 Bankovky v hodnotě 200 Kč

Dvěstěkoruna je rovněž poměrně dobře dostupná, avšak dostupný byl pouze vzor 2009. Naměřeny byly taktéž 3 série:

- E92 – Nejstarší kus, výrazně opotřebený, s nažloutlým kuponem.
- F07 – Středně opotřebená.
- G24 – Mírně opotřebená.

7.4.3 Bankovky v hodnotě 500 Kč

Tato nominální hodnota se dá srovnávat s vyššími hodnotami, co se týče ochranných prvků a proběhla na ní celá řada měření. Měření bylo realizované na vzoru 2009 a to konkrétně na dvou sériích.

- E49 – Mírně pokrčená, dobrý stav.
- F11 – Pokrčená, mírně opotřebená.

7.4.4 Bankovky v hodnotě 1 000 Kč

U tisícikorun byly opatřené dva vzory, 1996 a 2008. Rozdíly mezi těmito vzory bude možné analyzovat při měření stejných bodů bankovek. Celkem naměřeny tři kusy:

- 1996 E28 – Středně opotřebená.
- 2008 I22 – Mírně opotřebená.
- 2008 I73 – Mírně opotřebená.

7.4.5 Bankovky v hodnotě 2 000 Kč

Použity byly 2 vzory, přesněji 1999 a 2007. Měření proběhla na dvou kusech:

- 1999 B18 – Značně opotřebená.
- 2007 C27 – Mírně opotřebená.

7.4.6 Bankovky v hodnotě 5 000 Kč

Pětitisícikorunová bankovka byla naměřena ve třech kusech. Vzor všech exemplářů byl 1999, ze kterých jsou zastoupeny dvě série B. Bankovky disponují různým stupněm opotřebenosti:

- B06 – Nejstarší a středně opotřebený kus, nažloutlý kupon.
- B404 – Mírně opotřebená, drobné nečistoty, špinavé okraje.
- B407 – Mírně opotřebená.

8 MĚŘENÍ VYBRANÝCH VZORKŮ

Během celého měření byl použitý diodový laser z blízké infračervené oblasti s vlnovou délkou 785 nm. Pro jednotlivá měření bylo třeba zjistit vhodnou kombinaci měřicích parametrů, tj. výkonu laseru, aby se měřené místo nespálilo. Veškerá měření proběhla v rozsahu $275 - 1440 \text{ cm}^{-1}$ a $715 - 1800 \text{ cm}^{-1}$. V této kapitole budou předvedeny a prodiskutovány vybrané ukázky z měření.

8.1 Prvky z bankovek stejných nominálních hodnot

Píky v odlišných materiálech mají odlišnou distribuci podél osy s Ramanovým posunem. Tak lze identifikovat shodné/odlišené materiály. V této podkapitole bude proto představena analýza inkoustů a papírů totožných nominálních hodnot a ukáže se, jestli jsou naměřená data mezi jednotlivými kusy konzistentní a jak moc se ve spektrech liší jednotlivé barvy inkoustů mezi různými hodnotami bankovek.

Jelikož informace o chemických parametrech a složení inkoustů použitých na bankovkách nejsou veřejně dostupné, odlišností materiálu lze posuzovat pouze na základě experimentálního měření.

8.1.1 Tentýž bod na různých exemplářích stejné nominální hodnoty

Toto měření orientované na jedinou „hlavní“ barvu dané bankovky, konkrétně modrou u pětitisícové hodnoty na pruhu základní barvy na líci.

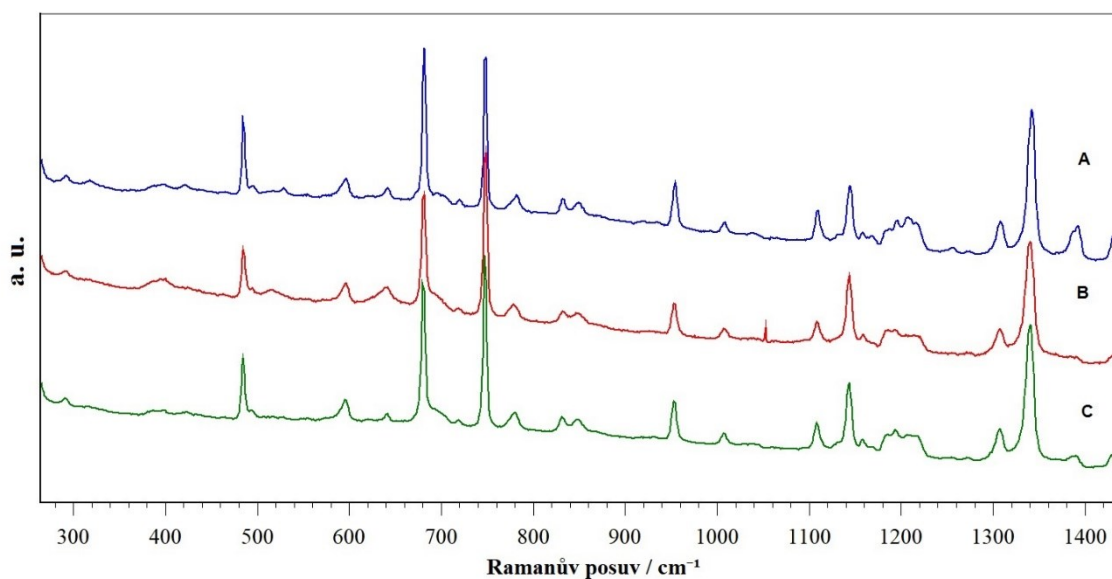


Obr. 34: Identifikace měřeného místa na 5 000 Kč bankovce.

Upraveno z [41]

Důkladná měření pruhů základní barvy přinesla tato tři spektra:

- **A** – 5 000 Kč série B06. Doba kroku 1s; 30 akumulací; Výkon laseru 10 %; 50 x objektiv (V dalších kapitolách budou takové parametry označené 1- 30- 10- 50).
- **B** – 5 000 Kč série B40 7. Doba kroku 1s; 30 akumulací; Výkon laseru 10 %; 50 x objektiv (V dalších kapitolách budou takové parametry označené 1- 30- 10- 50).
- **C** – 5 000 Kč série B40 4. Doba kroku 1s; 40 akumulací; Výkon laseru 10 %; 50 x objektiv (V dalších kapitolách budou takové parametry označené 1- 40- 10- 50).



Obr. 35: Spektra modrého inkoustu na pruhu základní barvy 5 000 Kč bankovek.

Jak je z grafu patrné, všechny tři body mají téměř totožná spektra a shodují se ve všech hlavních vrcholcích, nejvíc viditelných kolem 700 cm⁻¹ a 1350 cm⁻¹. Jediná drobná odchylka je patrná u spektra **B** zhruba na 1050 cm⁻¹, což ale může být způsobeno náhodným zašuměním, neboť se jinak jedná o bankovku v nejlepším stavu z použitých vzorků.

Srovnatelných výsledků bylo dosaženo u všech měřených nominálních hodnot, proto v práci nejsou uvedeny.

8.1.2 Rozdíly jednotlivých barev a papíru

V této podkapitole si ukážeme, jak se liší spektra různých barev a papíru se stejnou nominální hodnotou.

8.1.2.1 Bankovky v hodnotě 100 Kč

U stokorunové bankovky byly měřeny tři základní barvy a papír. Byly proměřeny obě strany bankovky, avšak porovnání je provedeno ze spekter lícové strany. Z inkoustů byl měřen zelený, růžový a žlutý. Použit byl vzorek série F60.

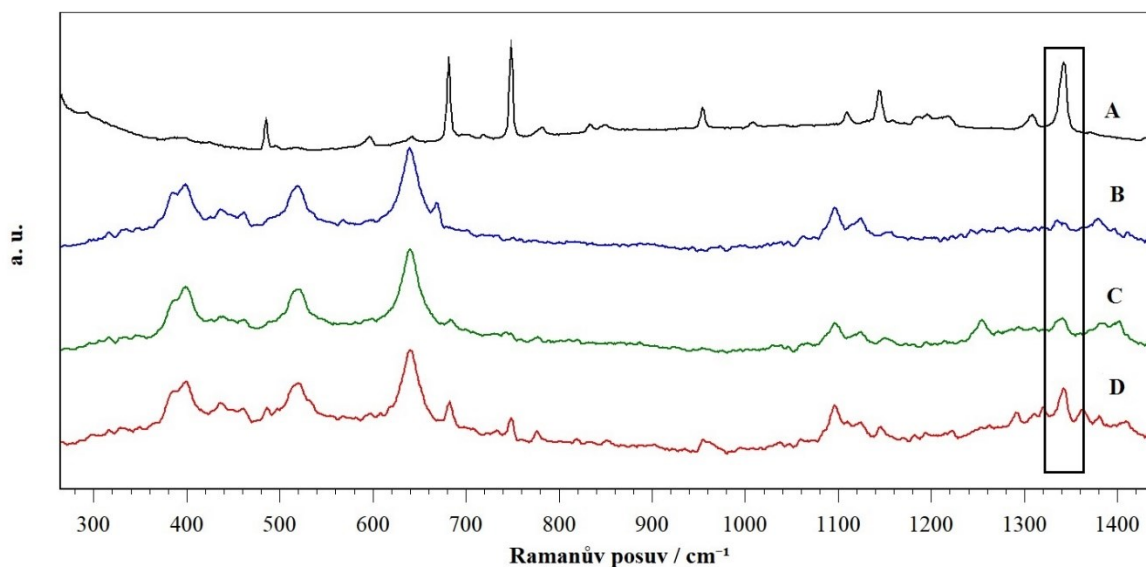


Obr. 36: Identifikace měřených míst na 100 Kč bankovce.

Upraveno z [42]

Na obr. 37 jsou představena naměřená spektra a nad ním vysvětlivky s parametry měření:

- **A** – Zelený inkoust pruhu: 2- 10- 10- 50.
- **B** – Papír: 2- 9- 10- 50.
- **C** – Žlutý inkoust: 2- 10- 10- 50.
- **D** – Růžový inkoust: 2- 10- 10- 50.



Obr. 37: Spektra hlavních barev 100 Kč a papíru.

Z grafu lze vyčíst, že všechny tři inkousty mají společné píky kolem zvýrazněného bodu 1350 cm^{-1} , zatímco hodnota u papíru je zde potlačena. Rovněž je zřejmý vliv papíru (B) do spekter žlutého (C) a růžového (D) inkoustu. Spektrum zeleného inkoustu má větší intenzitu a ostré píky, zejména oblast kolem 700 cm^{-1} , 750 cm^{-1} a 1350 cm^{-1} . Žlutý inkoust se od papíru a růžového inkoustu liší převážně píkem kolem 1250 cm^{-1} . Lze jen usuzovat, jakou roli v tom hrají podobné pigmenty či příměsi, neboť podrobné informace o složení inkoustů jednotlivých barev nejsou veřejně dostupné.

8.1.2.2 Bankovky v hodnotě 200 Kč

U dvoustekorunové hodnoty nás budou zajímat hlavně oranžová a zelená barva společně s nepotisknutým bavlněným papírem. Použit byl nejkvalitnější vzorek ze série G24.

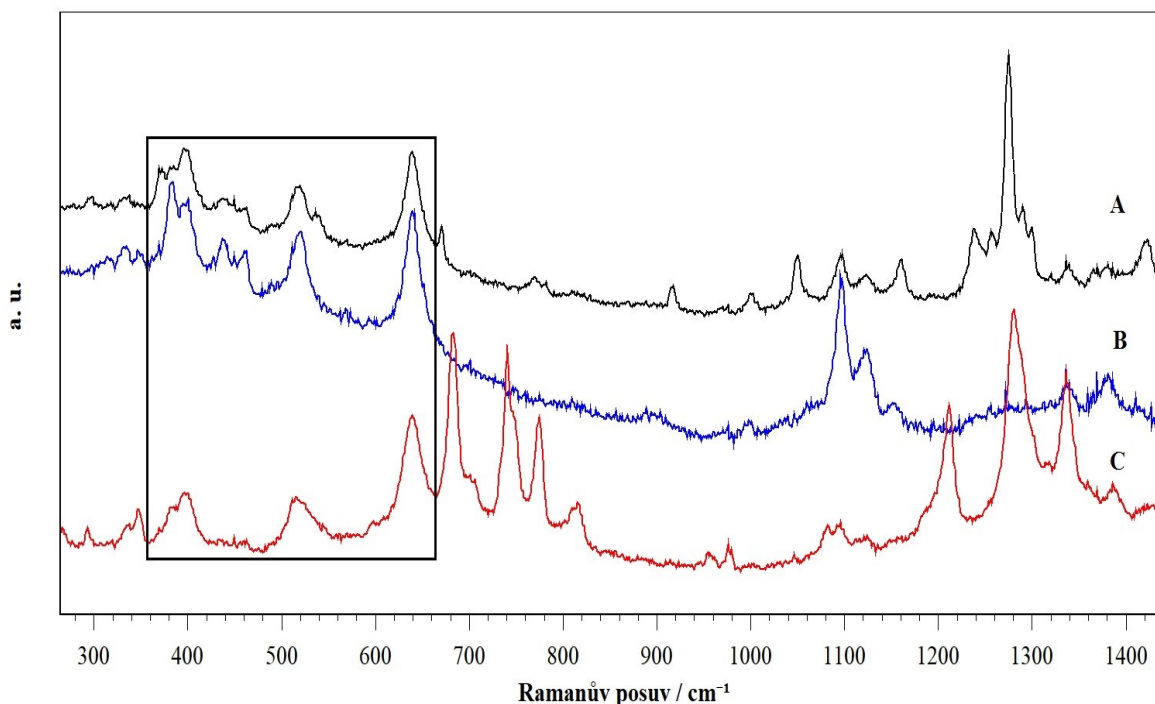


Obr. 38: Identifikace měřených míst na 200 Kč bankovce.

Upraveno z [43]

Na obr. 39 jsou výsledná spektra a nad ním vysvětlivky s parametry měření:

- **A** – Základní oranžový inkoust: 1- 30- 10- 50
- **B** – Papír: 1- 30- 10- 50.
- **C** – Zelený inkoust: 1- 30- 10- 50.



Obr. 39: Spektra hlavních barev 200 Kč a papíru.

Oblast okolo 1300 cm⁻¹ je opět doménou inkoustů, zatímco 1200 cm⁻¹ a okolí 750 cm⁻¹ je specifické pro zelený inkoust. Vyznačená oblast opět tvoří charakteristické píky a pro všechny vzorky je zde patrný vliv papíru. Rovněž v oblasti 1100 cm⁻¹ je patrná velká intenzita spek

8.1.2.3 Bankovky v hodnotě 500 Kč

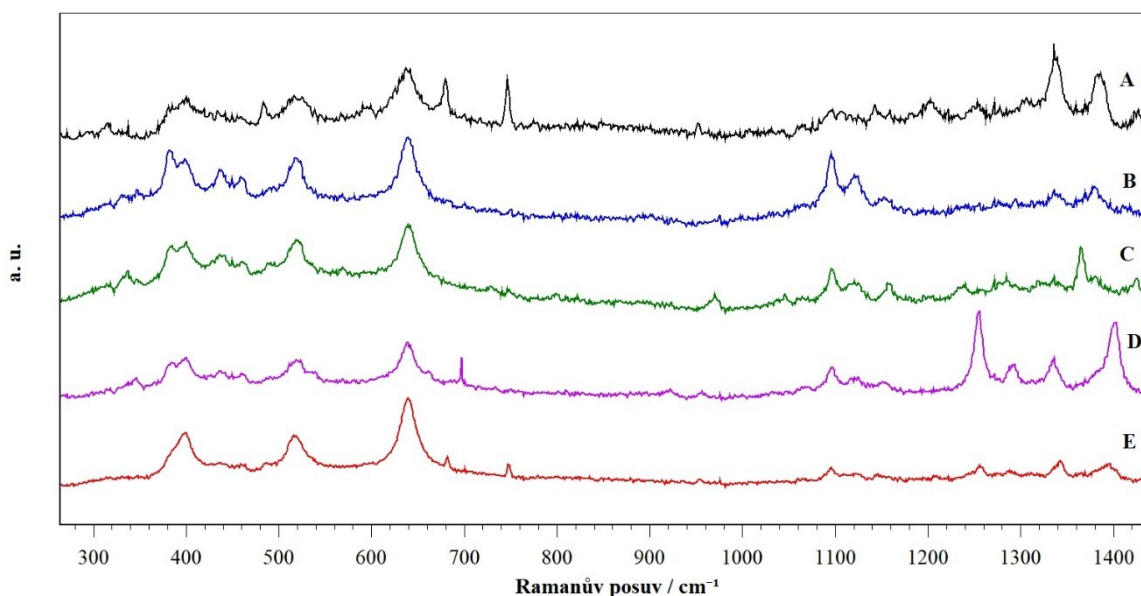
Pětisetkorunová bankovka disponuje detailnějším zpracováním, než nižší hodnoty a přímo oplývá barvami. Navíc se u této hodnoty poprvé setkáváme s proměnlivou barvou, u které se ukázalo, že ve spektrech vykazuje velmi vysoké hladiny šumu, z tohoto důvodu se je pro měření nepraktická. Pro měření jsme si vybrali šedivou barvu z pásu, růžovou, žlutou ze žlutých kroužků na kuponu a světle hnědou, která je rozprostřena po okrajích. Opět měříme i samotný papír. Vzorkem je tentokrát starší série E49 kvůli lepšímu celkovému stavu kusu.



Obr. 40: Identifikace měřených míst na 500 Kč bankovce. Upraveno z [44]

Pětice výsledných spekter dopadla takto:

- **A** – Tmavě šedý inkoust z pruhu: 1- 30- 10- 50.
- **B** – Papír: 1- 45- 10- 50.
- **C** – Růžový inkoust: 1- 30- 10- 50.
- **D** – Žlutý inkoust z kroužků: 1- 30- 10- 50.
- **E** – Světle hnědý inkoust z vlnkového vzoru na okrajích bankovky: 1- 40- 10- 50.



Obr. 41: Spektra vybraných barev 500 Kč a papíru.

U píků na levé straně se v podstatě opakuje situace z předešlých grafů. Zatím se velmi nepravidelně projevují píky těsně kolem 750 cm^{-1} a zdá se, že na 1100 cm^{-1} se v intenzitě liší pík u každého místa, ale konzistentně nejintenzivnější je u spektra papíru.

8.1.2.4 Bankovky v hodnotě 1 000 Kč

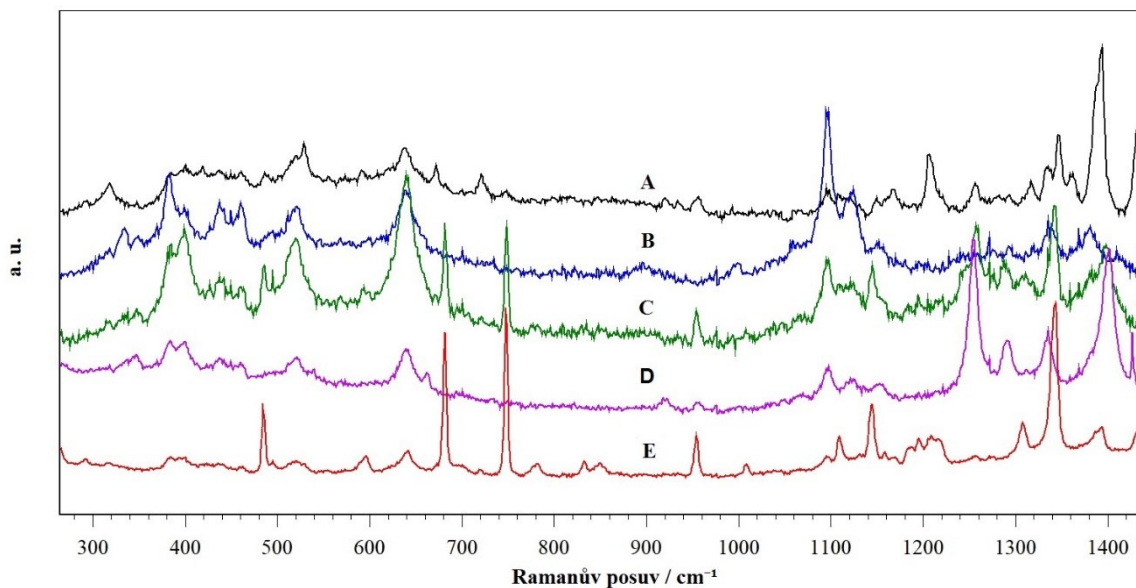
U této hodnoty jsou nejvíce zajímavé především hlavní fialová barva, modrá doplňková barva na různých místech, zlatavá ve středu a žluté kroužky společně s papírem na kuponu. Po krátkém testování se prokázal jako nejvhodnější vzor I22, neboť vykazoval nejlepší výsledky z hlediska hladin šumu.



Obr. 42: Identifikace měřených míst na 1 000 Kč bankovce. Upraveno z [45]

Na Obr. 43 jsou ukázaná výsledná spektra z naměřených míst a výše parametry a vysvětlivky:

- **A** – Fialový inkoust z pruhu: 1- 30- 10- 50.
- **B** – Papír: 1- 30- 10- 50.
- **C** – Zlatavý inkoust: 1- 30- 10- 50.
- **D** – Žlutý inkoust z kroužků: 1- 30- 10- 50.
- **E** – Světle modrý inkoust z vlnkového vzoru na různých částech bankovky: 1- 30- 10- 50.



Obr. 43: Spektra vybraných barev 1 000 Kč a papíru.

Zde nastává podobná situace na levé straně spektra, kde se opakuje takřka stejný průběh z předcházejících spekter, s tím rozdílem, že zlatavý a světle modrý inkoust má zde podobné píky. Zlatavý a žlutý inkoust nesou podobné parametry, ale ne natolik, aby se daly prohlásit za totožné.

8.1.2.5 Bankovky v hodnotě 2 000 Kč

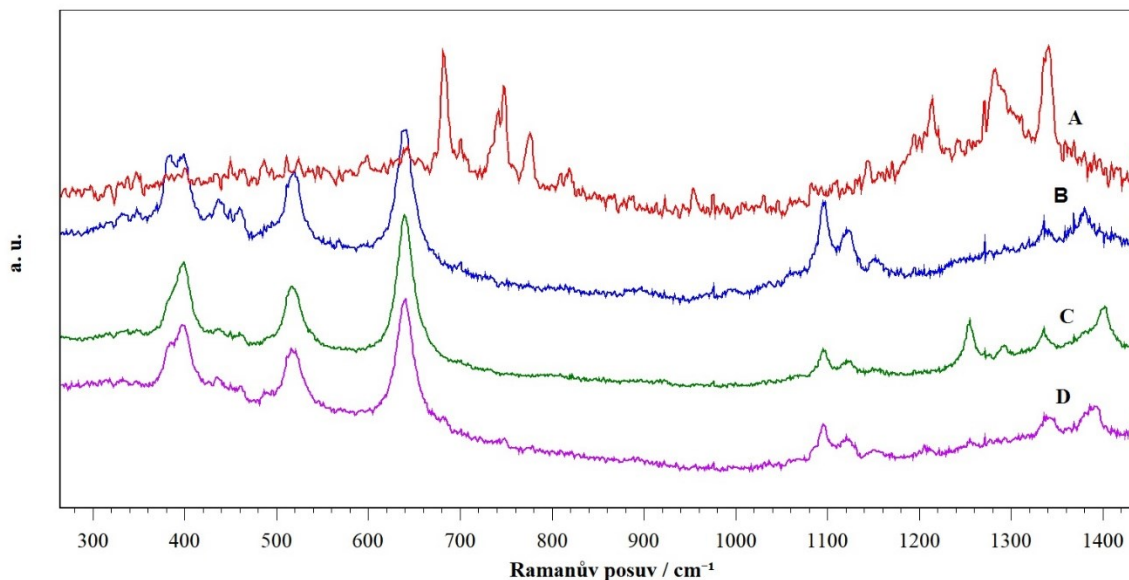
Tato hodnota má výrazné množství tmavě zeleného inkoustu po celé ploše. Jediná podstatná doplňující barva je v tomto případě růzovofialová. Bankovka opět disponuje žlutými kroužky, které budou také představeny. Dostupný byl jediný kus vzoru 2007 série C27.



Obr. 44: Identifikace měřených míst na 2 000 Kč bankovce. Upraveno z [46]

Celkem budou prezentována čtyři spektra s vysvětlivkou a parametry:

- **A** – Tmavě zelený inkoust z pruhu: 1- 30- 5- 50.
- **B** – Papír: 1- 30- 10- 50.
- **C** – Žlutý inkoust z kroužků: 1- 30- 10- 50.
- **D** – Růžovofialový inkoust: 1- 30- 10- 50.



Obr. 45: Spektra vybraných barev 2 000 Kč bankovky a papíru.

U tmavě zelené barvy jsou tři výrazné píky okolo 700 cm^{-1} . Je evidentní, že vliv papíru je výraznější na žlutý a růžovofialový inkoust. Na tmavě zeleném se však papír neprojevuje. Zároveň můžeme pozorovat, že žlutý inkoust má kromě píky na 1250 cm^{-1} v podstatě totožná spektra s růžovofialovým inkoustem.

8.1.2.6 Bankovky v hodnotě 5 000 Kč

U této nominální hodnoty byly měřeny pouze starší vzory 1999. V tomto případě bude opět změřena základní barva barevného pruhu, dále doplňující barvy růžové, šedé a modré společně s papírem. I přes jejich pokročilý věk měly všechny tyto vzorky kvalitní spektra. Pro toto porovnání byl vybrán kus ze série B40 4.

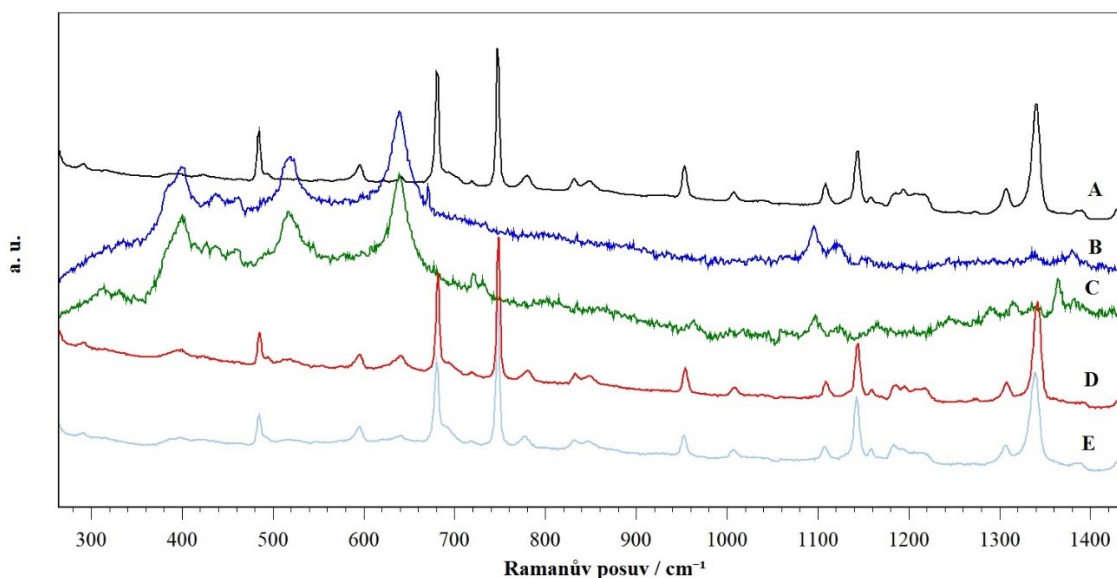


Obr. 46: Identifikace měřených míst na 5 000 Kč bankovce.

Upraveno z [48]

Výsledná spektra s vysvětlivkami a parametry:

- **A** – Tmavě modrý inkoust z pruhu: 1- 40- 10- 50.
- **B** – Papír: 1- 30- 10- 50.
- **C** – Růžový inkoust: 1- 30- 10- 50.
- **D** – Světle šedý inkoust: 1- 30- 10- 50.
- **E** – Světle modrý inkoust: 1- 30- 10- 50.



Obr. 47: Spektra vybraných barev 5 000 Kč a papíru.

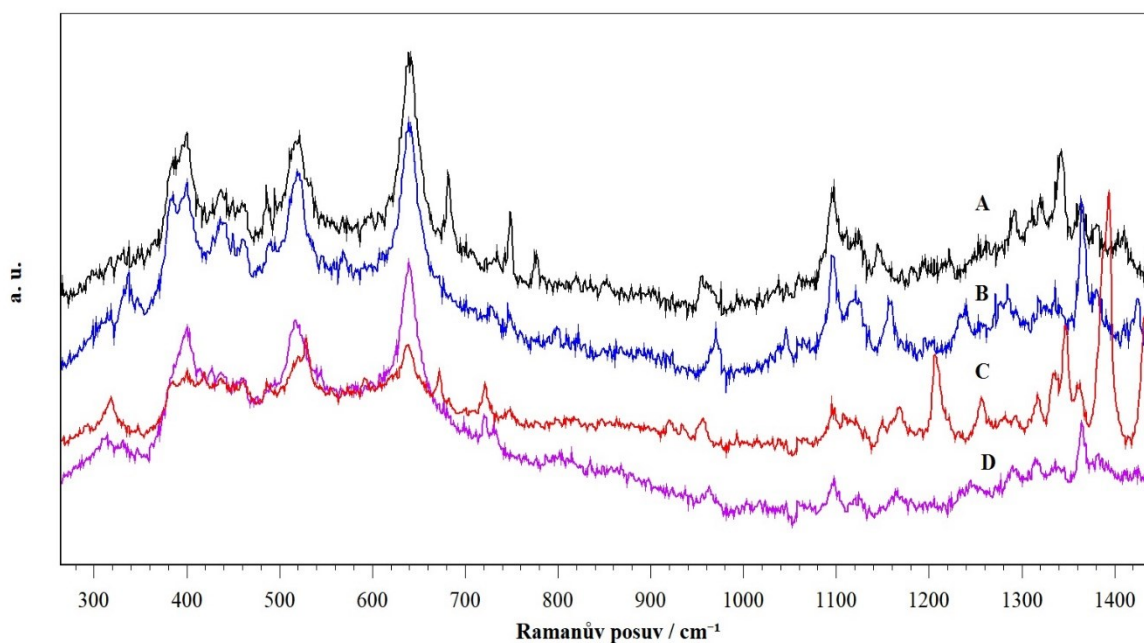
Na první pohled lze vidět, že tmavě modrá, světle modrá i světle šedá mají velmi podobná spektra i přesto, že se jedná o vizuálně odlišné barvy. Lze tedy rozumně usuzovat, že u těchto inkoustů nemají barevné složky inkoustů výraznější vliv na výsledná spektra. Na

růžovém inkoustu se naopak podstatně projevují spektra papíru. Dále můžeme pozorovat, že si papír udržuje stále stejné vlastnosti spektra prozatím ve všech porovnáních.

8.2 Vizuálně podobné body bankovek odlišných nominálních hodnot

Na základě naměření spekter jednotlivých barevných inkoustů u všech bankovek, které jej obsahují, lze provést porovnání složení inkoustů použitých na bankovkách různých nominálních hodnot, které jsou ovšem vizuálně podobné. Tímto měřením by mělo jít odhalit, do jaké míry mají podobně vzhlízející barvy stejné chemické vlastnosti. K tomuto pokusu využijeme růžové barvy, které lze najít na stokoruně, pětisetkoruně, a pětitisícikoruně. Do seznamu prvků zahrneme i pruh základní barvy tisícikoruny, abychom porovnali případné odlišnosti, nebo podobnosti.

- **A** – Růžová barva 100 Kč, vzor 1997, série F60: 2- 30- 10- 50.
- **B** – Růžová barva 500 Kč, vzor 2009, série E49: 1- 30- 10- 50.
- **C** – Růžovofialová barva 1 000 Kč, vzor 2008, série I22: 1- 30- 10- 50.
- **D** – Růžová barva 5 000 Kč, vzor 1999, série B40 4 : 1- 30- 10- 50.



Obr. 48: Spektra růžových barev napříč nominálními hodnotami.

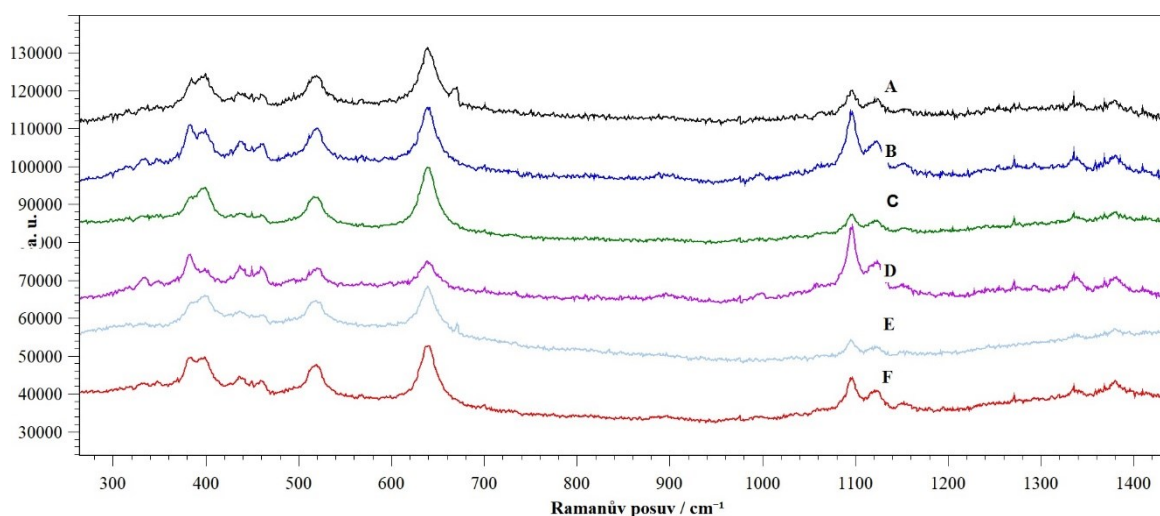
Ze spekter na Obr. 48 je patrné, že tyto inkousty mají řadu podobností. Největší rozdíly plynou z růžovofialového inkoustu na tisícikoruně, který byl do této skupiny zařazen, aby demonstroval své odlišnosti. Na hodnotě vlnočtu 1200 cm⁻¹ a ještě intenzivněji kolem 1400

cm^{-1} má zmíněná barva významné píky. Na druhé straně ostatní barvy se liší v detailech. Konkrétní rozdíly chemických vlastností však touto metodou neodhalíme.

8.3 Posouzení papírů různých nominálních hodnot

Vzhledem k tomu, že všechny inkousty obsažené na bankovkách jsou do jisté míry ovlivněny papírem, je logické posoudit spektra i samotného papíru ve specifickém měření. K tomuto pokusu byly vybrány bankovky v nejlepším možném stavu, aby se eliminovalo působení nečistot na kvalitu měření. Měření proběhlo na všech nominálních hodnotách bankovek.

- **A** – Papír nominální hodnoty 100 Kč, série F60: 2- 9- 10- 50.
- **B** – Papír nominální hodnoty 200 Kč, série G24: 1- 30- 10- 50.
- **C** – Papír nominální hodnoty 500 Kč, série E49: 1- 45- 10- 50.
- **D** – Papír nominální hodnoty 1 000 Kč, série I22: 1- 30- 10- 50.
- **E** – Papír nominální hodnoty 5 000 Kč, série B40 4: 1- 30- 10- 50.
- **F** – Papír nominální hodnoty 2 000 Kč, série C27: 1- 30- 10- 50.



Obr. 49: Spektra papíru všech nominálních hodnot bankovek.

Na Obr. 49 jsou jasně patrné píky kolem 400 cm^{-1} , 640 cm^{-1} a 1100 cm^{-1} u všech naměřených nominálních hodnot. Jednotlivé hodnoty se liší zejména intenzitou píků. Možným vysvětlením může být různá úroveň čistoty jednotlivých kusů, neboť použitá 100 Kč bankovka subjektivně působila nejopotřebenějším dojmem, zatímco 1 000 Kč bankovka měla téměř bezvadný povrch.

9 POSOUZENÍ VÝSLEDKŮ A METODY

Při měření se podařilo prokázat skutečné rozdíly i shodu mnohých inkoustů a papíru českých bankovek. Ve většině případů byla data naměřena bez většího šumu a dala se dobře použít pro vyhodnocení. Výsledky měření závisí zejména na zvolených vzorcích a oblasti měření vzhledem k barevnosti a možnému překryvu barev. Některé vzorky mohou být zašpiněné, mastné či jinak poškozené, což negativně ovlivňuje kvalitu získaných dat. Dále jsou některá místa pro tuto metodu daleko vhodnější než jiná. Například bylo prováděno měření proměnlivých barev a luminiscenčních bodů, ale ramanovská odezva byla slabá. Rovněž snaha o aritmetické oddělení naměřených dat papíru nevykazovala dobré výsledky a muselo by se pravděpodobně upravit nastavení měření. Důležitým zjištěním bylo, že každý inkoust není stejnou měrou ovlivněn papírem a ve výsledných spektrech se papír projevuje s různou intenzitou. U některých inkoustů není nezbytně nutné se snažit odečíst inkousty silně ovlivněné papírem od spekter papíru, neboť by výsledek nepřinesl mnoho nových poznatků. Spektra, která se nejméně měnila mezi jednotlivými kapitolami, jsou žlutý inkoust kroužků na kuponu a papír. V podkapitole 7.1.2 bylo navíc zjištěno, že spektra inkoustů barev figurujících na pruhu základní barvy nejsou tak výrazně ovlivněna papírem, jako inkousty jiných oblastí bankovky. To může být způsobeno vyšší koncentrací inkoustu v měřeném bodu než u ostatních inkoustů. Doplnkové barvy bankovek měla spektra více podobných papíru, zvláště pak v oblasti 1100 cm^{-1} a 650 cm^{-1} .

Ramanova spektroskopie se prokázala jako cenný nástroj pro podobné analýzy. Je rychlá, bezkontaktní a nezanechává na bankovkách žádné stopy. Ideální pro rychlou klasifikaci jednotlivých inkoustů a papírů. Metoda podává kvalitní výsledky, pokud jsou vzorky bez větších nečistot a přístroj je vhodně nastaven.

Vhodným rozšířením tohoto výzkumu by mohlo být naměření zbylých sekundárních barev všech nominálních hodnot bankovek a zkompletování celé databáze prvků. Navíc by se dalo podrobně analyzovat rozdíly mezi všemi vzory českých bankovek, které pro měření nebyly dostupné. Nakonec také návrh vhodného způsobu separování více složek z jednoho měřeného bodu pomocí, některé z dostupných funkcí by mohlo přinést pozitivní výsledky. Dalším možným způsobem vylepšení analýzy by mohla být kombinace s jinou metodou, například mikroskopií.

ZÁVĚR

V této práci byly vysvětleny základní pojmy nutné k pochopení probírané problematiky a to zejména ochranných prvků bankovek a Ramanovy spektroskopie. Práce představila české bankovky z hlediska jejich zpracování a opatření ochrannými prvky. Popsala jednotlivé vzory a vysvětlila rozdíly a návaznosti.

Byla popsána spektra všech inkoustů bankovek všech nominálních hodnot a vysvětleny jejich rozdíly. Dále se práce zabývala diskuzí ohledně výsledků a navrhla možná zlepšení a rozšíření experimentu.

Experimentální měření ukázala, že Ramanova spektroskopie je vhodnou metodou pro stanovení a popis materiálových rozdílů látek. V tomto experimentu se také projevíly výhody této metody jako je bezkontaktnost, rychlost a nenáročnost na přípravu. Vzorky nevyžadovaly žádnou speciální přípravu a jejich měření bylo nedestruktivní, proto je možno bankovky po měření vrátit do oběhu. Ramanova spektroskopie je jednou z mnoha metod, kterými se dá studovat látka. Její přínos spočívá také v možnosti kombinace s jinými metodami, jako mikroskopie, nebo IR spektroskopie, což přináší pro analýzy větší míru přesnosti a komplexnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Bankovky a mince. Česká národní banka [online]. Praha: Česká národní banka, 2007, 13. 11. 2007 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/platidla/>
- [2] Bankovky České národní banky. *Česká numismatická společnost Louny* [online]. Praha, 2016 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://cnslouny.unas.cz/e-ga/g-p-cz1994.htm>
- [3] Bankovky a mince. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka, 2011 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: http://www.cnb.cz/miranda2/export/sites/www.cnb.cz/cs/o_cnb/publikace/download/brozura_DL_bankovky_mince.pdf
- [4] Ochranné prvky 5000 Kč. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/ochranne_prvky/ochranne_prvky_5000.html
- [5] MORAVEC, Martin. Rozhovor dnes. *Mladá fronta dnes*. MAFRA, 2013, 14. 2. 2013, 23.
- [6] Ochranné prvky 2000 Kč. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/ochranne_prvky/ochranne_prvky_2000.html
- [7] DOLEŽAL, Ivan. Ochranné prvky českých bankovek. *Svět tisku* [online]. Úvaly [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=3693&buxus_svettisku=
- [8] Bankovka 1000 Kč. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/bankovky/ukonceniplatnosti/ukonceniplatnosti_1000_vzor93.html
- [9] Ochranné prvky 500 Kč. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/ochranne_prvky/ochranne_prvky_500.html
- [10] Ochranné prvky 1000 Kč. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/ochranne_prvky/ochranne_prvky_1000.html

- [11] Ochranné prvky na bankovkách. *Papírová platidla* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.papirovaplatidla.cz/informace/ochranne-prvky#1.papir>
- [12] Struktura peněz v oběhu. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/platidla/obeh/struktura/>
- [13] Ukončení platnosti a výměna bankovek vzoru 1993. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/bankovky/ukonceni_platnosti/ukonceni_bankovek_vzor_1993.html
- [14] 100 Kč. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/bankovky/100_kc.html
- [15] České bankovky. Pro studenty [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://pro.studenty.sweb.cz/bankovky.html>
- [16] 200 Kč. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/bankovky/200_kc.html
- [17] SMRČKOVÁ, Radka. *Vývoj ochranných prvků bankovek v ČR...* České Budějovice, 2011. Bakalářská práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH, Ekonomická fakulta. Vedoucí práce Ing. Liběna Kantnerová, Ph.D.
- [18] 500 Kč. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/bankovky/500_kc.html
- [19] Ochranné prvky. Pro studenty [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: http://pro.studenty.sweb.cz/ochranne_prvky.html
- [20] České bankovky. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: http://www.cnb.cz/cs/platidla/bankovky/animace/CNB_Bankovky_v01.swf
- [21] 1000 Kč. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/bankovky/1000_kc.html

- [22] Bankovka 5000 Kč. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/bankovky/ukoncenici_platnosti/ukonceni_5000_vzor93.html
- [23] 2000 Kč. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/bankovky/2000_kc.html
- [24] Padělání bankovek v České republice. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/verejnost/pro_media/clanky_rozhovory/media_2008/cl_08_080226.html
- [25] Padělek je levnější poznat... Měšec.cz [online]. 2009, 6. 4. 2009 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.mesec.cz/clanky/padelek-je-levnejsi-poznat-predem/>
- [26] Výskyt pozměněných bankovek. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: http://www.cnb.cz/cs/platidla/padelky/pad_pozm_bankovy.html
- [27] Počty zadržovaných padělků... *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka, 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/padelky/pad_celkem.html
- [28] Padělaná a pozměněná platidla... *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka, 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/platidla/padelky/pad_zad_pol.html
- [29] Tiskové zprávy ČNB. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: http://www.cnb.cz/cs/verejnost/pro_media/tiskove_zpravy_cnb/2018/filter.jsp
- [30] BENDA, Vojtěch. Padělané a pozměněné bankovky a mince. *Česká národní banka* [online]. Praha: Česká národní banka, 2018, 5. 3. 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/miranda2/export/sites/www.cnb.cz/cs/verejnost/pro_media/konference_projevy/vystoupeni_projevy/download/benda_20180305_tk_padelky_2017.pdf
- [31] Metoda tisku z plochy. *Elektronická učebnice* [online]. Olomouc [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1788>

- [32] KAŠPÁRKOVÁ, Lenka. *Tisk z plochy; offset* [online]. In.: Opava, 2011, s. 1-4 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: http://www.sspu-opava.cz/UserFiles/File/_sablony/Technologie_grafiky_IV/VY_32_INOVACE_B-05-14.pdf
- [33] *Bezpečnostní technologie, systémy a management*. Zlín: Radim Bačuvčík – VeR BuM, 2015, 314 - 321. ISBN 978-808-7500-354.
- [34] Raman Spectroscopy - A Tutorial. *Kaiser Optical Systems, inc.* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: http://www.kosi.com/na_en/products/raman-spectroscopy/raman-technical-resources/raman-tutorial.php
- [35] DENDISOVÁ, Marcela, Pavel ŽVÁTORA a Pavel MATĚJKA. Ramanova spektrometrie. 2005.
- [36] Raman spectra. *Renishaw* [online]. Renishaw [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.renishaw.com/en/raman-spectra-explained--25807>
- [37] M. CHALMERS, HOWELL G. M. EDWARDS a MICHAEL D. HARGREAVES. *Infrared and Raman spectroscopy in forensic science*. Chichester, West Sussex, UK: Wiley, 2012. ISBN 9780470749067.
- [38] Raman spectroscopy. *The Forensics Library* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://aboutforensics.co.uk/raman-spectroscopy/>
- [39] 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.
- [40] A Raman to probe the Earth. *Kansas State University* [online]. Manhattan, 2016, Fall 2016 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://enewsletters.k-state.edu/geology/a-raman-to-scope-the-earth/>
- [41] 5 000 CZK note 2009. *Wikimedia Commons* [online]. San Francisco, 2015, 14 January 2015 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:5_000_czk_note_2009.jpg
- [42] 100 Kč. *Wikimedia.org* [online]. San Francisco [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/it/a/a2/100_Kč_fronte.jpg

- [43] 200 Kč. *Uncyclopedia.wikia.com* [online]. 2009, May 24, 2009 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: http://uncyclopedia.wikia.com/wiki/File:200_Kč.jpg
- [44] Motůčko klub. *Motůčko* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.motucko.cz/motucko-klub>
- [45] NEJEDLÁ, Lidmila. Tisícové pokušení. *I60* [online]. 2015, 21. 5. 2015 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.i60.cz/clanek/detail/11872/tisicove-pokuseni>
- [46] Chybotisk 2000,-Kč... *Sběratel.com* [online]. 2014, 16. 3. 2014 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.sberatel.com/diskuse/sberatel/chybotisk-2000-kc-cena-19872>
- [47] Raman software: analysis. *Renishaw* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.renishaw.com/en/raman-software-analysis--25909>
- [48] JEDEK, Petr. Notes 5000CZK. *Levné knihy* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.levneknihy.cz/notes-5000czk/123425>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČNB Česká národní banka

IR Infrared (Infračervený)

STC Státní tiskárna cenin

UV Ultra violet (ultrafialový)

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Bankovka s nominální hodnotou 100 Kč. [2]</i>	13
<i>Obr. 2: Bankovka s nominální hodnotou 200 Kč. [2]</i>	14
<i>Obr. 3: Bankovka s nominální hodnotou 500 Kč. [2]</i>	14
<i>Obr. 4: Bankovka s nominální hodnotou 1 000 Kč. [2]</i>	15
<i>Obr. 5: Bankovka s nominální hodnotou 2 000 Kč. [2]</i>	16
<i>Obr. 6: Bankovka s nominální hodnotou 5 000 Kč. [2]</i>	16
<i>Obr. 7: Vodoznak 5 000 Kč bankovky z obou stran. [4]</i>	18
<i>Obr. 8: Okénkový proužek 2 000 Kč bankovky. [6]</i>	18
<i>Obr. 9: Barevná vlákna na bílé části bankovky. [7]</i>	19
<i>Obr. 10: Soutisková značka vzoru 1 000 Kč bankovky z roku 1996. [8]</i>	19
<i>Obr. 11: Skrytý obrazec 5 000 Kč bankovky. Upraveno z [4]</i>	20
<i>Obr. 12: Proměnlivá barva na 500 Kč bankovce. Upraveno z [9]</i>	20
<i>Obr. 13: Dvě oblasti mikrotextu 1 000 Kč bankovky. Upraveno z [10]</i>	21
<i>Obr. 14: Iridiscentní pruh 1 000 Kč bankovky. [10]</i>	22
<i>Obr. 15: Vzor 1995 stokorunové bankovky. [2]</i>	24
<i>Obr. 16: Vzor 1993 dvousetkorunové bankovky. [2]</i>	25
<i>Obr. 17: Pětisetkorunová bankovka vzor 1997. [2]</i>	26
<i>Obr. 18: Pětisetkorunová bankovka vzoru 2009 pod UV světlem. [20]</i>	27
<i>Obr. 19: Vzor 1996 1 000 Kč bankovky. [2]</i>	28
<i>Obr. 20: Vzor 2009 1 000 Kč bankovky pod UV světlem. [20]</i>	29
<i>Obr. 21: 2 000 Kč bankovka vzoru 2007 pod UV světlem. [20]</i>	30
<i>Obr. 22: Vzor 1993 5 000 Kč bankovky. [2]</i>	31
<i>Obr. 23: Vzor 2009 5 000 Kč bankovky pod UV světlem. [20]</i>	32
<i>Obr. 24: Počet zadržených padělků na území ČR za období 2008 – 2017 podle měny. [27]</i>	34
<i>Obr. 25: Hodnota zadržených českých platidel na území ČR za období 2007 – 2017. [29]</i>	35
<i>Obr. 26: Počet padělků za období 2008 – 2017 podle způsobu zadržení. [28]</i>	36
<i>Obr. 27: Nejčastější způsoby padělání českých bankovek v roce 2017. [30]</i>	36
<i>Obr. 28: Nejčastější způsoby padělání eurových bankovek v roce 2017. [30]</i>	37
<i>Obr. 29: Splená pozměněná bankovka tisícikoruny. [26]</i>	38
<i>Obr. 30: Základní rozdíl mezi Rayleighovým a Ramanovým rozptylem. [33]</i>	41

<i>Obr. 31: Ramanova spektra dvou vzorků polyetylénu. [36]</i>	41
<i>Obr. 32: Spektrometr Renishaw inVia Basis. [40]</i>	46
<i>Obr. 33: Ukázka prostředí WiRE 3.2.</i>	47
<i>Obr. 34: Identifikace měřeného místa na 5 000 Kč bankovce. Upraveno z [41]</i>	50
<i>Obr. 35: Spektra modrého inkoustu na pruhu základní barvy 5 000 Kč bankovek.</i>	51
<i>Obr. 36: Identifikace měřených míst na 100 Kč bankovce. Upraveno z [42]</i>	52
<i>Obr. 37: Spektra hlavních barev 100 Kč a papíru.</i>	52
<i>Obr. 38: Identifikace měřených míst na 200 Kč bankovce. Upraveno z [43]</i>	53
<i>Obr. 39: Spektra hlavních barev 200 Kč a papíru.</i>	54
<i>Obr. 40: Identifikace měřených míst na 500 Kč bankovce. Upraveno z [44]</i>	55
<i>Obr. 41: Spektra vybraných barev 500 Kč a papíru</i>	55
<i>Obr. 42: Identifikace měřených míst na 1 000 Kč bankovce. Upraveno z [45]</i>	56
<i>Obr. 43: Spektra vybraných barev 1 000 Kč a papíru</i>	57
<i>Obr. 44: Identifikace měřených míst na 2 000 Kč bankovce. Upraveno z [46]</i>	57
<i>Obr. 45: Spektra vybraných barev 2 000 Kč bankovky a papíru.</i>	58
<i>Obr. 46: Identifikace měřených míst na 5 000 Kč bankovce. Upraveno z [48]</i>	59
<i>Obr. 47: Spektra vybraných barev 5 000 Kč a papíru</i>	59
<i>Obr. 48: Spektra růžových barev napříč nominálními hodnotami.</i>	60
<i>Obr. 49: Spektra papíru všech nominálních hodnot bankovek.</i>	61