



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra aplikované fyziky a techniky

Bakalářská práce

**Technické aspekty měření na
IR spektrofotometru Buck 500**

Vypracoval: Radim Stehlík

Vedoucí práce: Mgr. Pavel Černý

České Budějovice, 2017

Abstrakt

Tato práce se zabývá IR spektrofotometrií a technickými aspekty IR spektrofotometru Buck 500.

První kapitola teoretické části je věnována textiliím na bázi přírodních vláken. V této kapitole je zpracován přehled týkající se bavlny, která je měřena v experimentální části. V druhé kapitole je popsán princip IR spektrofotometrie. Jsou zde vysvětleny základní pojmy typu transmitance, absorbance, vlnová délka, vlnčet apod. Další kapitola teoretické části je zaměřena na popis základních součástí IR spektrofotometru Buck 500. V teoretické části jsou vysvětleny metody pro analýzu pevných látek (KBr, ATR).

V experimentální části je ucelený přehled týkající se zapojení a provozování přístroje, konektivity s výpočetní technikou. Je zde popsán postup získávání spekter programem GRAMS/AI. Další kapitola je věnována měřeným spektrům na IR spektrofotometru Buck 500. V práci je popsán postup výroby KBr tablet. Poslední kapitola pojednává o vyhodnocování a interpretaci jednotlivých spekter na základě výskytů píků s ohledem na oblast vlnočtu. V závěru práce je interpretován rozdíl spekter mezi modifikovanou a nemodifikovanou bavlnou.

Klíčová slova:

Buck 500, bavlna, modifikovaná bavlna, IR spektrofotometr, KBr, GRAMS/AI.

Abstract

The work deals with IR spectrophotometry and technical aspects of IR spectrophotometer Buck 500.

The first chapter of the theoretical part is dedicated to textiles produced from natural fibres. The chapter carries out a survey concerning cotton measured further in the experimental part. The second chapter describes IR spectrophotometry principle. It brings the basic terminology, for instance transmittance, absorbance, wavelength, wave-speed, etc. The next chapter of the theoretical part is focused on the description of basic components of IR spectrophotometer Buck 500. The theoretical part further explains the methods used for analysis of solid agents (KBr, ATR).

The experimental part provides a comprehensive overview on how to install, operate and maintain the instrument as well as its compatibility with IT technology. It further describes the process of gaining spectra using GRAMS/AS programmes. The next chapter describes the spectra measurement methods on IR spectrophotometer Buck 500. The work mentions the process of KBr tablets production. The last chapter deals with the evaluation and interpretation of individual spectra based on the number of peaks with respect to wave-speed. The final part points out the difference between modified and non-modified cotton.

Key words:

Buck 500, cotton, modified cotton, IR spectrophotometer, GRAMS/AI.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu § 47 b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 28. 4. 2017

(Stehlík Radim)

Poděkování:

Rád bych touto formou poděkoval panu Mgr. Pavlu Černému za jeho vstřícný přístup a odbornou pomoc v průběhu vedení bakalářské práce.

Obsah

Úvod	7
1 Cíle práce	8
2 Teoretická část	9
2.1 Materiály na bázi přírodních vláken	9
2.1.1 Bavlina	9
2.2 IR spektrofotometrie	12
2.2.1 IR spektrofotometrie pro analýzu pevných látek	15
2.2.1.1 Metoda KBr	16
2.2.2 IR spektrofotometr Buck 500	17
3 Experimentální část	22
3.1 Technické aspekty spektrofotometru Buck 500	22
3.1.1 Zapojení a provozování přístroje	22
3.1.2 Konektivita s výpočetní technikou	22
3.1.3 Popis uživatelského prostředí programu GRAMS/AI	24
3.1.4 Export spekter do PC	26
3.1.5 Zpracování spekter v PC	28
3.2 Vyhodnocení chemického složení měřených látek	29
3.2.1 IR spektrum vzduchu	29
3.2.2 IR spektrum kontrolní PS fólie	31
3.2.3 IR spektra ošetřené a neošetřené bavlny	32
Pedagogický a výzkumný přínos práce.....	37
Závěr	38
Literatura	39

Úvod

V současné době je nezbytné analyzovat chemické složení látek v mnoha odvětvích lidské činnosti. Patří sem zejména chemie, materiálový výzkum, zdravotnictví, potravinářství, zemědělství a mnoho dalších odvětví. V těchto odvětvích jsou ne zřídka kladeny vysoké nároky na chemické složení a koncentraci použitých látek. Konkrétní produkt pro dané odvětví prochází celou řadou kontrolních testů a měření, které prokazují jeho způsobilost být využíván pro činnost, ke které byl navrhnut. Tyto testy doprovázejí budoucí výrobek již od začátku vývoje až po závěrečné kontrolní fáze, bez kterých by nemohl výrobek opustit výrobní, popřípadě výzkumné prostředí.

K analýze přítomnosti či množství chemické látky slouží celá řada různých metod (elektroanalytické, separační, optické, radiochemické, termické). Tyto metody se dále dělí do různých kategorií, podle konkrétních způsobů provádění daných měření.

Základním principem optických metod je interakce elektromagnetického záření se zkoumaným vzorkem. V počátku se název optické metody vztahoval jen na oblast viditelného světla. Dnes pod tyto metody patří celé spektrum využívající elektromagnetických vln, od gama (γ) záření až po radiové vlny [1].

Do optické metody spadá luminiscenční analýza, ultrafialová a viditelná spektrometrie, Ramanova spektrometrie, infračervená spektrometrie, interferometrie, atomová absorpční spektrometrie a další [2].

Tato práce je zaměřena na infračervenou spektrofotometrii a její technické aspekty. Vzhledem k tomu, že velkou výhodou této metody je možnost analyzovat vzorky ve všech skupenských stavech včetně pevných vzorků, je metoda v některých případech dobře využitelná i v materiálovém výzkumu prováděném na pracovišti.

1 Cíle práce

- Seznámit se s problematikou a nastudovat související literaturu ohledně infračervené spektrofotometrie.
- Přinést nezbytné množství informací týkající se zkoumaných látek v experimentální části práce.
- Přinést ucelený přehled informací týkající se infračervené spektrofotometrie, jejího principu a využití v rozsahu odpovídající rozsahu bakalářské práce, a to včetně popisu použití IR spektrofotometrie pro analýzu pevných látek metodou KBr.
- Seznámit čtenáře s infračerveným spektrofotometrem Buck 500 (dostupným na pracovišti KZT ZF JU) a technickými aspekty jeho používání včetně:
 - nezbytných informací o hardwaru zařízení Buck 500,
 - popisu konektivity mezi zařízením a osobním počítačem,
 - popisu softwarového uživatelského prostředí dodaného k zařízení,
 - popisu provedení měření včetně patřičného nastavení softwaru a hardwaru,
 - popisu častých závad a jejich odstraňování.
- Uvést infračervený spektrofotometr Buck 500 do provozu, ověřit jeho funkčnost a správnost nastavení.
- Naměřit spektrum pozadí (vzduchu) a testovací polystyrenové fólie a získaná spektra porovnat s podklady dodanými výrobcem.
- Naměřit spektra známé a neznámé látky v souladu s požadavky výzkumu prováděného na pracovišti KAFT PF JU, a to včetně vyhodnocení spekter a interpretace jednotlivých píků na základě dostupné literatury.

2 Teoretická část

2.1 Materiály na bázi přírodních vláken

V mnoha rozvojových zemích představuje pěstování textilních rostlin (na bázi celulózy) přínos pro národní hospodářství. Získávání vláken z různých druhů rostlin je řazeno na první místo hned vedle materiálů živočišného původu zejména pro jejich vlastnosti v oblasti kvality, kterou nelze snadno dosáhnout u vláken umělých.

Textilní rostliny jsou rozdělovány do čtyř základních skupin podle původu vlákna. Bavlník a kapok patří do rostlin, které poskytují vlákno ze svých semen. Konopí, len a další rostliny poskytují vlákna ze svých stonků. Agave, juka a další rostliny poskytují vlákna z listu. Jako poslední kategorií jsou rostliny, u kterých jsou vlákna získávána z jejich plodů, mezi tyto rostliny patří například kokosová palma nebo lufa [3].

Hodnocení kvality vláken rostlin je provedeno na základě jejich charakteristik. Mezi tyto charakteristiky patří jemnost (tloušťka vláken), délka, pevnost a specifická hmotnost (izolační schopnost vlákna). Dalšími charakteristikami používanými pro hodnocení jsou také barva, čistota, lesk, hřejivost, tvárnost a v neposlední řadě také jejich vodivost [3].

2.1.1 Bavlna

Bavlna je přírodní chemicky téměř čistá celulóza převážně bílé, nažloutlé nebo šedé barvy, která se získává ze semen rostliny *Gossypium*, jejíž český název je znám jako bavlník. Některé speciální druhy mohou mít i odstíny barvy zelené, ale i hnědé. Vyskytuje se ve formě jednobuněčných krátkých vláken o tloušťce 45 μm dlouhých 10–50 mm. Tvarem připomíná zploštělou stužku s mírně zesílenými kraji zkroucenými do šroubovice. Kompletní chemické složení zralých bavlněných vláken se nachází v tabulce 1 [4, 5, 6].

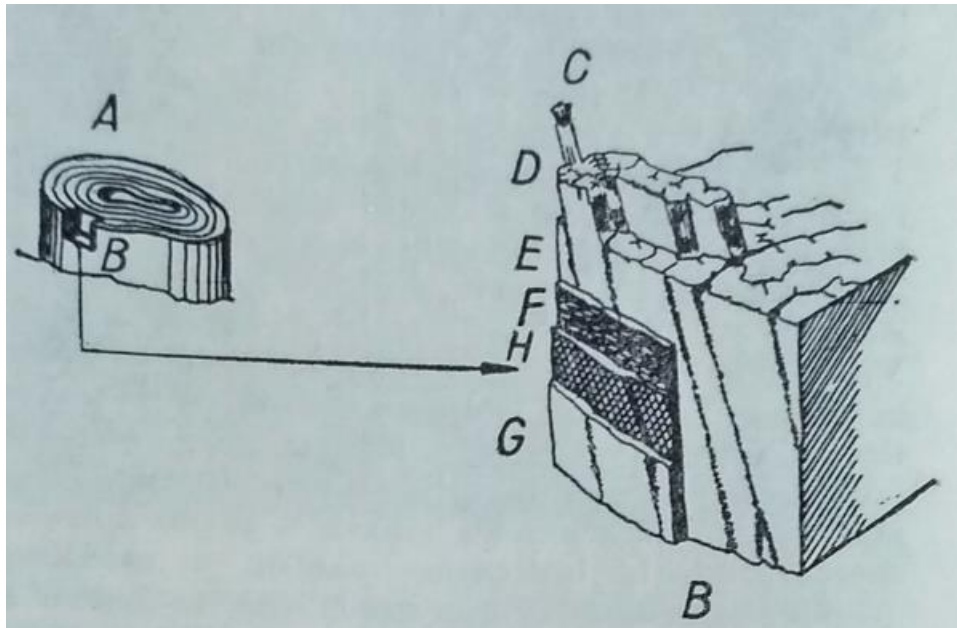
	Množství (%)
Celulóza	94
Bílkoviny	1,3
Popeloviny	1,2
Pektiny	0,9
Organické kyseliny	0,8
Vosk	0,6
Cukry	0,3
Ostatní látky	0,9

Tabulka 1: Chemické složení zralých bavlněných vláken [4].

Bavlna je nejrozšířenější pěstovaná plodina na Zemi v tropických a subtropických oblastech. Nepostradatelná je pro využití v textilním průmyslu. Poznatky o jejím využití sahají do doby 2500 let př.n.l. v Číně a Indii, byla také pěstována domorodci v Americe. Mimo textilní průmysl je hojně využívána ve formě příze na oplétání a oprádání kabelů a vodičů nebo ve formě pásy při výrobě transformátorů, točivých strojů a dalších přístrojů využívaných v elektrotechnice. Pro své tepelné a akustické izolační vlastnosti se také hojně využívá jako materiál pro stavební účely. Ročně se vyprodukuje kolem 20 tun bavlny [6].

Pevnost bavlny je 26,5 až 44 mN/Dtex, tato pevnost může být za mokra až o 10 % vyšší. Její tažnost za sucha je 6-10 %, za mokra 7-11 %, navlhavost činí 7 %, nasákavost 24–27 % při 95% relativní vlhkosti.

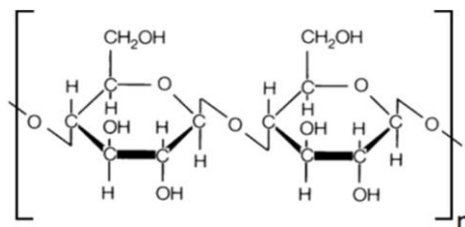
Třídění bavlny je stanoveno na základě 3 kritérií. Prvním kritériem je délka vláken nazývaným jako stapl. Bavlna kratší 25 mm je označována jako krátkostaplová, s délkou v rozmezí 25–35 mm je středněstaplová a délka vláken nad 35 mm se označuje jako dlouhostaplová. V druhém kritériu se zohledňuje její barva, čistota, lesk a stupeň poškození. Jako třetím kritériem je určení charakteru daných vláken, mezi které patří jemnost, pevnost, stejnoměrnost staplu a vláčnost [5].



Obrázek 1. Struktura bavlněného vlákna [5].

- A. bavlněné vlákno
- B. výřez stěny bavlněného vlákna
- C. jednotlivé fibrily
- D. svazek fibril
- E. sekundární stěna bavlněného vlákna
- F. vrstvička vosku a pektinu
- G. venkovní vrstva fibril primární stěny
- H. vnitřní stěna fibril primární stěny

Celulóza je nejrozšířenější přírodní látka polymerního typu (biopolymer) složená z kyslíku (49,39 %), uhlíku (44,44 %) a vodíku (6,17 %). Zápis chemického vzorce celulózy je $(C_6H_{10}O_5)_n$. Její strukturální vzorec je vyobrazen na obrázku 8 [7].



Obrázek 2: Strukturální vzorec celulózy [8].

Roční vyprodukování celulózy se pohybuje okolo 1,5 miliardy tun. Hlavními zdroji celulózy jsou bavlna (obsahuje 90–99 %) a dřevo (obsahuje 40–50 %). Dalšími zdroji jsou len, konopí, juta obsahující přes 60 % celulózy. Do těchto rostlinných zdrojů patří také bambus, sláma, zelené řasy, kůra stromů a další [9].

Celulóza latinským názvem *cellula* (buňka) je hlavním stavebním materiálem rostlinných buněčných stěn. Buněčné stěny rostlin obsahují mimo jiné hemicelulózu, pektin nebo lignin [7].

Buněčná stěna se dá považovat za kompozitní systém, ve kterém je celulóza formou tzv. mikrofibril vyztužujícím prvkem pevným na tah, který je uložen v matici tvořené již zmiňovanou hemicelózou, pektinem a ligninem. Pevnost celulózy tvořených mikrofibril se udává až 5 GPa a modul pružnosti může dosáhnout hodnot 70 GPa. Proto jsou vlastnosti celulóзовých vláken velice perspektivní jako materiál využívaný v různých typech kompozitních materiálů [7].

Při působení vyšších teplot na celulózu dochází k její tepelné degradaci, jelikož není tavitelná ani termoplastická. Její rozklad probíhá při teplotách převyšující 180 °C, teplota tání ne nachází v rozmezí 260–270 °C [10].

Celulózu lze uplatnit v nejrůznějších oblastech lidské činnosti. V medicíně se s ní můžeme setkat v podobě hemostatických prostředků ve formě vstřebatelných želatino-vých houbiček pro účinné a rychlé stavění krvácení nebo jako obvazové materiály. Často je využívána ve formě tkaných i netkaných plošných textilií pro aplikaci desinfekčních prostředků a následném očištění pokožky před a po aplikaci injekčních stříkaček nebo infuzí. Její uplatnění můžeme najít také v potravinářském a papírenském průmyslu [11].

2.2 IR spektrofotometrie

IR spektrofotometrie je jednou z optických metod, která slouží k analýze a vyhodnocování vzorku, například přítomnost nebo zjišťování množství určité látky v kapalném, plynném nebo pevném skupenství. Tato metoda spadá pod metody nedestruktivní. Základem je měření elektromagnetického záření v infračervené oblasti, které je pohlcováno (absorbováno) vzorkem [12, 13, 14].

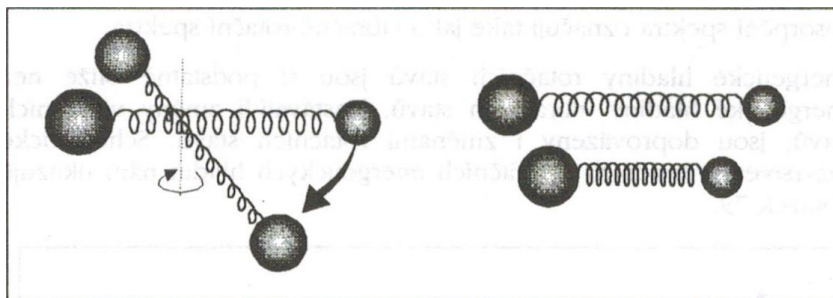
Vlnová délka (λ) infračerveného záření se pohybuje v rozsahu 0,78–1000 μm odpovídající vlnočtu (σ) 12800-10 cm^{-1} . Tuto infračervenou oblast lze rozdělit na blízkou, střední a dalekou [15].

Infračervená oblast	zkratka	λ (μm)	σ (cm^{-1})
Blízká (near infrared)	(NIR)	0,78–2,5	12800–4000
Střední (mid infrared)	(MIR)	2,5–25	4000–200
Daleká (far infrared)	(FIR)	25–1000	200–10

Tabulka 2: Přehled spektrálních oblastí infračerveného záření [15].

Infračervené záření má nižší energii a vyšší vlnovou délku než záření viditelné a ultrafialové. Jeho energie sice nestačí na změny elektronových stavů, avšak dokáže způsobit změny ve stavech vibračních a rotačních u jednotlivých molekul, které se projeví v grafu pro jednotlivé vlnočty. Proto jsou absorpční infračervená spektra nazývána jako spektra vibračně-rotací.

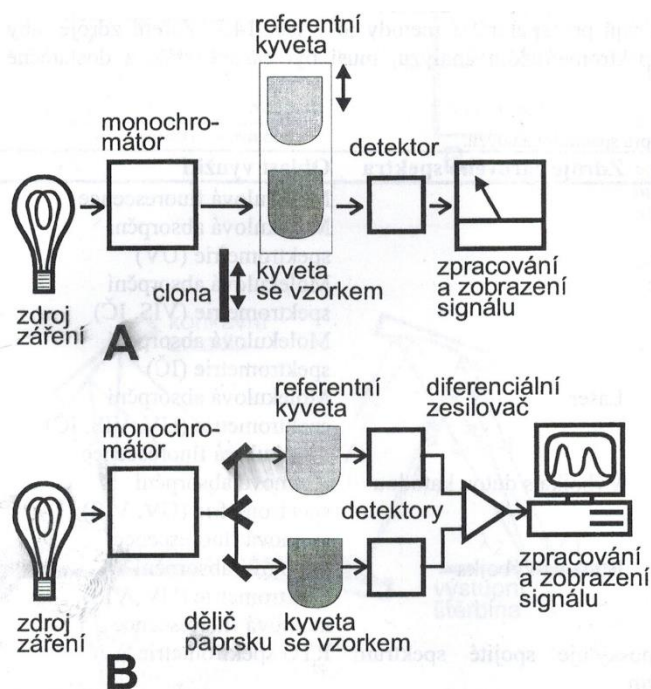
Tento stav probíhá v závislosti na proměnách dipólového momentu molekul. Koncovým grafickým zobrazením je infračervené spektrum, které představuje funkční závislosti energie vyjadřující se v procentech transmittance (T), případně jednotkami absorbance (A) na vlnové délce dopadajícího záření [2, 16].



Obrázek 3: Rotace a vibrace dvouatomové molekuly [2].

Transmittanci lze definovat jako poměr intenzity záření po průchodu měřeným vzorkem k záření vystupujícího z přístroje. **Absorbanci** lze definovat jako dekadický logaritmus $1/T$. Absorbanci určuje Lambert-Beerův zákon. Je to veličina, pro kterou je charakteristické pohlcení elektromagnetického záření v látce. Absorpce je závislá na tloušťce vrstvy měřeného vzorku, ve kterém dochází k oslabení záření [2, 16, 17].

Mezi základní součásti IR spektrofotometru patří zdroj záření, prostor pro umístění vzorku, disperzní soustava, detektor prošlého záření a v neposlední řadě vyhodnocovací/zobrazovací zařízení. Tyto součásti jsou uspořádány v přístrojích podle typu spektrofotometru. IR spektrofotometry můžeme rozdělit na jednopaprskové a dvoupraprskové [18].



Obrázek 4: Schéma absorpčního spektrofotometru jednopaprskového a dvoupraprskového [18].

- **Zdroj záření** je část přístroje, která emituje primární záření vzorkem absorbovaného. Užívá se svítilen s dutou katodou, plynových výbojek, výbojek bez elektrody, plamenů, jako světelného zdroje, žárovek s wolframovým vláknem, laserů a dalších zdrojů na základě oblasti využití.
- **Kyvety** jsou laboratorní pomůcky sloužící k měření studovaných látek.
- **Monochromátory** umožňují rozložení záření pomocí disperzních (rozkladových) hranolů a mřížek podle vlnových délek. Jednotlivé vlnové délky posléze dopadají na detektory záření.
- **Detektory záření** slouží k převodu energií záření v takovou formu energie, která je posléze měřitelná jednodušším způsobem. Nejčastěji je využíváno převodu na energii elektrickou pomocí termoelektrických a fotoelektrických článků.

- **Vyhodnocovacím a zobrazovacím zařízením** je vestavěný, popřípadě externí počítač se speciálním softwarem. Do tohoto zařízení putují elektrické signály po úpravě a zesílení moderními přístroji [18, 19, 20].

2.2.1 IR spektrofotometrie pro analýzu pevných látek

Při měření IR spekter je důležité dbát na vhodný výběr daného rozpouštědla a na materiál, který je potřebný k výrobě kyvet. Jedním ze základních požadavků je, aby kyvety a rozpouštědla v žádném případě neobsahovaly infračervené záření. Rozpouštědla musí být především netečná k optickému materiálu kyvety a současně interní k měřeným látkám. K měření kapalného a plynného stavu nám slouží kyvety rozebíratelné. V těchto kyvetách jsou hlavní součástí vstupní a výstupní okénka vyrobená nejčastěji z chloridu sodného (NaCl) nebo bromidu draselného (KBr) [21, 22].

Pro kapalně vzorky nerozpustné v tradičních rozpouštědlech (CS_2 , CCl_4 , CHCl_3), lze využít měření velmi malého množství látky mezi dvěma NaCl nebo KBr okénky, pro plynné vzorky lze využít kyvet s dvěma bočními kohoutky napojenými na plyn [2, 23].

Pevné vzorky rozpustné v tradičních rozpouštědlech mohou být měřeny v kyvetách určených pro vzorky kapalně. Lze využít také rozpouštědla, které rozpustí vzorek a poté se vypaří. Zůstane tedy jen tenký film vzorku připravený pro analýzu. Jednou z dalších variant je nujolová technika, která spočívá v homogenizaci práškového vzorku s malým množstvím parafinového oleje. Tato suspenze ve formě tenké vrstvy je posléze měřena mezi dvěma KBr nebo NaCl okénky. Tato technika není vhodná pro kvantitativní analýzu, jelikož je velice obtížné dosáhnout stejné tloušťky měřeného vzorku [24].

Jednou z dalších metod měření pevných vzorků je metoda ATR (Attenuated total reflection). Základem této techniky je princip násobného úplného odrazu na fázovém rozhraní měřeného vzorku a krystalu, který je vyrobený z materiálu o vysokém indexu lomu. Podmínkou je dokonalý kontakt vzorku s krystalem pro dostatečný průnik záření do vzorku. Tato metoda je vhodná především pro měření vzorků, které silně absorbují infračervené záření. Její nespornou výhodou je minimální příprava vzorku. Je vhodná pro

měření laminátů, povlaků, plastů, gum, pevných látek, které mohou být rozmělněny na prášek. Pořizovací cena tohoto komponentu je ale velice drahá [25, 26].



Obrázek 5: ATR hranol PLC-11M pro IR spektrofotometr Buck 500 [27].

Další metodou hojně využívanou v oblasti infračervené spektrofotometrie pro zkoumání pevných látek je metoda KBr. Experimentální část této práce je zaměřena pouze na tuto metodu.

2.2.1.1 Metoda KBr

Metoda KBr je nejčastěji používanou metodou pro měření vzorků v pevném skupenství. Měřený vzorek v malém množství pohybujícím se mezi 1-10 mg se rozmělní a promíchá s bromidem draselným v poměru 1:100. Pro rozdrcení lze využít malého vibračního mlýnku, popřípadě třecí misky s tlučkem. Posléze se z homogenní směsi vylisuje tableta o tloušťce 1 až 2 mm. Není proto už nutno využívat kyvety, důvodem je možnost vzorek umístit přímo do dráhy procházejícího paprsku spolu s lisovací aparaturou. Při průchodu IR záření dochází jen k malé ztrátě intenzity záření, které je zapříčiněno odrazem. Samotná manipulace s tabletou musí být opatrná, jelikož tablety vylisované za

příměsi KBr jsou křehké. Větší náraz by je mohl mechanicky poškodit a tím zkreslit výsledná měření [2, 28].

Bromid draselný je nehořlavá látka pevného skupenství, v podobě bílého prášku bez zápachu. Teplota jeho tání je 730 °C, bodem varu prochází při teplotě nad 1435 °C. Hodnota pH (50 g/l) při 20 °C se pohybuje v rozmezí 5,5–8,5. Hustota při 20 °C je 2,75g/cm³ a rozpustnost ve vodě při totožné teplotě je 540 g/l.

Při manipulaci s bromidem draselným je nutné užívat ochranné pomůcky (rukavice, ochranné brýle, ochranný oděv, obličejový štít). Tato chemická sloučenina dráždí kůži, způsobuje také vážné podráždění očí, popřípadě může způsobit podráždění dýchacích cest, proto je při práci nutné zamezit vdechování prachových částic, dýmu, plynů, par, aerosolů. Skladovat tuto látku je vhodné na dobře větraném místě a po použití obal těsně uzavřít z důvodu hygroskopických vlastností této látky, která pohlcuje vodu nebo vlhkost ze vzduchu [29].

2.2.2 IR spektrofotometr Buck 500

Buck 500 je zkonstruován jako jednopaprskový mikroprocesorem osazený poměrový záznamový spektrofotometr. Díky těmto komponentům zajišťuje snadnou obsluhu a nižší náklady na údržbu.

Princip:	Dvoupaprsková výkonnost přes jednovláknovou optiku s korekcí pozadí za pomoci mikropočítače. Délkový rozsah vlny: 4000-600 cm^{-1} .
Optika:	Čtyřpolohový interferenční filtr: 4000, 3060, 1980 a 980 cm^{-1} . Typ poměru clony F-5, monochromátor 0,5 m vybavený ohybovou mřížkou 75 čar/mm popuštěnou při 4 μm , přerušování předvzorkování - 23,6 přerušení/s.
Rychlost snímání: Štěrbínový program:	Snímání v rozsahu 4000-600 cm^{-1} . Proměnný plynule.
Výstup pro záznamník:	Analogově sériovým kabelem typu RS - 232 pro PC.
Detektor:	1 mm x 2 mm DLATGS. Citlivost: 2 V/mW s oknem KRS-5.
Zdroj: Prostor vzorku:	Příkon 36 W při teplotě 1025 °C. Ve tvaru čtverce 15 cm s výškou optické osy nad dnem přihrádky pro vzorek: 7,7 cm. Zaostření po levé ruce.
Rozlišení:	Přesahuje 6 cm^{-1} v rozsahu 4000-600 cm^{-1} .
Rozměry:	výška = 19,05 cm, hloubka = 31,8, šířka = 66,04 cm
Hmotnost:	22,68 kg
Napájení:	napětí = 120/240 Vac, frekvence = 50/60 Hz, výkon 150 W
Paměťová činnost:	Po výběru rychlosti snímání je nutné ponechat prostor pro snímání pozadí v oblasti vlnočtu 4000-600 cm^{-1} . Po uložení do paměti je děleno automaticky s každou následnou analýzou vzorku. Pozadí se dá zaktualizovat podle potřeby. Měřené vzorky lze analyzovat v sériovém sledu.

Tabulka 3: Technické údaje Buck 500 [30].

Části IR spektrofotometru Buck 500:



Obrázek 6: Přední část IR spektrofotometru Buck 500.

1. Displej:
 - a. Indikace: vlnočet, absorpce nebo propustnost, typ snímání, délka doby snímání, odpověď a zisk (s)
 - b. Ovládací prvky: Zvýšení/snížení vlnočtu, doba a typ snímání, propustnost/absorpce, Zvýšení/snížení zisku, snímání – pauza, odpověď
2. Kryt nad vzorkem: Zabraňuje přímému slunečnímu záření a tím předchází zkreslení výsledného měření
3. Vrechní kryt měřicí soustavy



Obrázek 7: Prostor pro vložení držáku s analyzovaným vzorkem.

1. Prostor pro průchod IR záření
2. Vodicí lišty na zasunutí pomocných držáku květ a pro ATR aparaturu



Obrázek 8: Boční a pravá zadní strana IR spektrofotometru Buck 500.

1. Vypnutí/zapnutí zdroje
2. Napájecí kabel
3. Pasivní chlazení přístroje
4. Aktivní chlazení přístroje

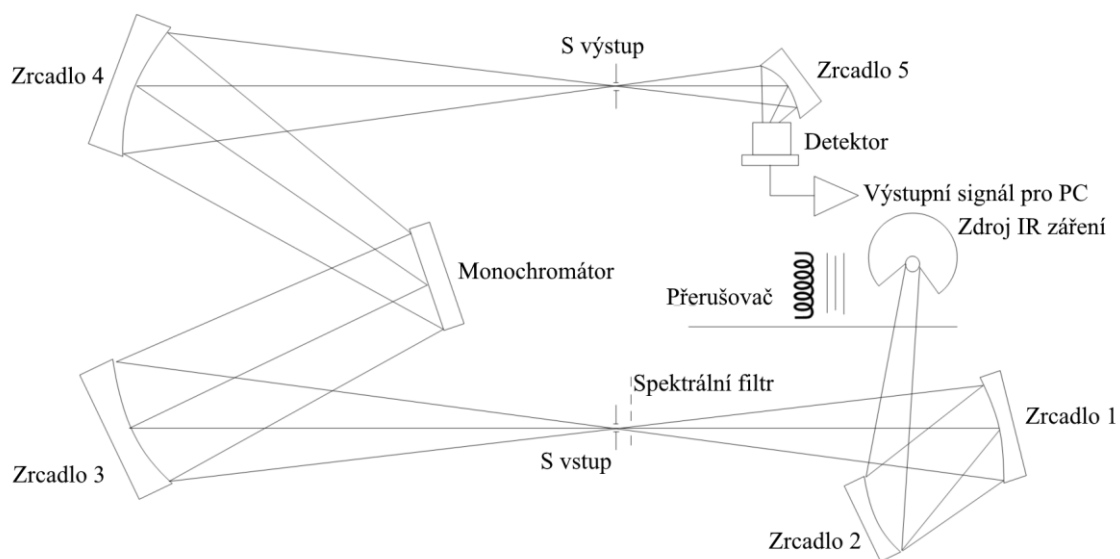


Obrázek 9: Levá zadní strana IR spektrofotometru Buck 500.

1. Kabel určený pro přenos dat (RS - 232) do PC
2. USB port 7.3 mm x 8.5 mm, pro přenos dat do PC



Obrázek 10: Pohled vnitřního uspořádání IR spektrofotometru Buck 500.



Obrázek 11: Schéma optiky IR spektrofotometru Buck 500 [30].

3 Experimentální část

3.1 Technické aspekty spektrofotometru Buck 500

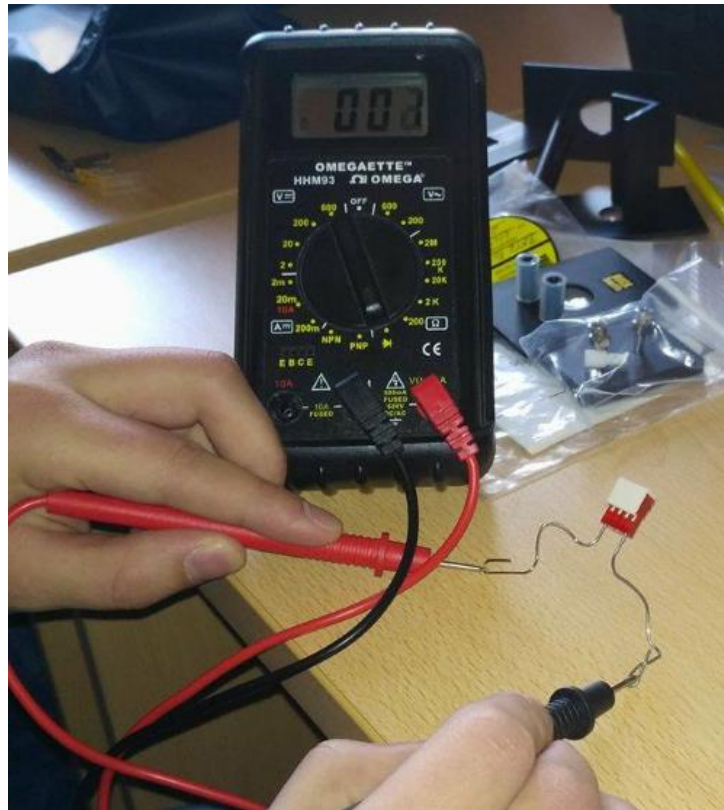
3.1.1 Zapojení a provozování přístroje

IR spektrofotometr Buck 500 musí být umístěn na rovném podkladu, na kterém nedochází k výskytům vibrací a mimo dosah vysokofrekvenční energie, ideálně v místnosti s pokojovou teplotou.

Před zavedením napájecího kabelu je třeba se ujistit, zda není síťový vypínač na pravé zadní straně v poloze zapnuto. Po kontrole a zapojení napájecího kabelu do IR spektrofotometru je třeba přepnout vypínač do polohy zapnuto a následně přístroj nechat běžet minimálně po dobu třiceti minut volně. V případě, že přístroj bude využíván okamžitě po zapnutí, nedojde zde k potřebné kalibraci. Současně nejsou některé vnitřní komponenty zahřáté na provozní teplotu a může nastat chybné měření a následné vyhodnocení.

3.1.2 Konektivita s výpočetní technikou

Konektivita přístroje s notebookem je zajištěna pomocí USB sériového portu nacházejícího se na levé zadní straně přístroje. Při ověření konektivity byla detekována závada v oblasti jumperu, který je instalován uvnitř přístroje na základní desce. Při ověření funkce jumperu za pomoci měřicího přístroje nebyla zjištěna závada. Hlavní příčina tohoto problému se nachází v samotném upevnění jumperu pomocí dvou pinů, které nejsou správně připájeny k základní desce.



Obrázek 12: Ověření funkčnosti jumperu.



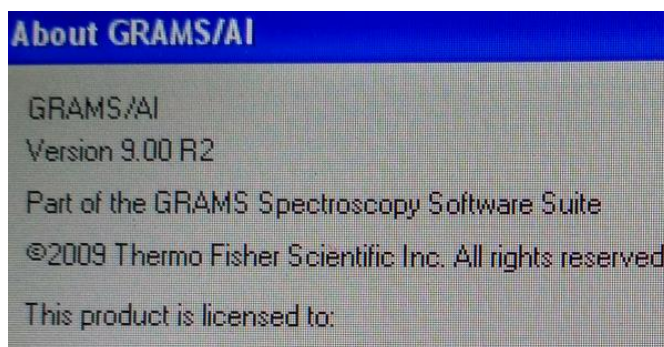
Obrázek 13: Upevnění jumperu na základní desce.

Při následném řešení tohoto problému byl zjištěn adekvátní postup pro správný chod této součástky. Po vypnutí zařízení a odpojení napájecího kabelu je nutné jumper celý vysunout a poté zpětně zasunout na dané piny. Následně je mírně povysunut. Tímto krokem se obnoví kontakt mezi piny a základní deskou. Poté je přístroj znovuveden do činnosti s následným ověřením jeho konektivity. Nejadekvátnějším řešením je demontáž základní desky a znovuobnovení komunikace formou fixace pinů a plošného spoje pomocí pájky. Tento krok má značné úskalí v podobě komplikované demontáže desky. Proto je operativní řešení vyhodnoceno jako dostačující pro chod přístroje.

K dispozici je také USB port. Tento druh připojení se nepodařilo zprovoznit. Příčinou může být špatné nastavení na přístroji, přednastavení sériového portu v programu výpočetní techniky, již zmiňovaný špatný kontakt jumperu se základní deskou, může se jednat o příplatkovou věc, která není nainstalována pro popisovaný typ přístroje. Z těchto důvodů se USB typ spojení nepoužívá.

3.1.3 Popis uživatelského prostředí programu GRAMS/AI

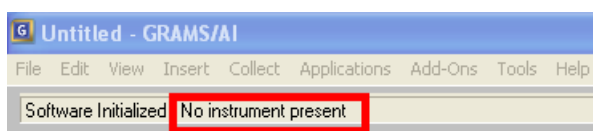
Pro získání spekter z IR spektrofotometru prodejce dodává balíček programů (EZScan, Buck 500 software, GRAMS/AI). Tato práce pojednává pouze o programu GRAMS/AI. Uvedený program se osvědčil při generování spekter z přístroje.



Obrázek 14: Základní informace programu GRAMS/AI.

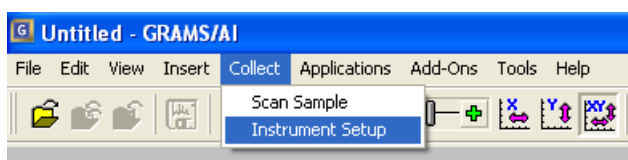
Samotné spuštění s následným měřením spekter pomocí ovládacího panelu na přístroji se nepodařilo zprovoznit. Proto je využíváno programu ve výpočetní technice. V této kapitole bude popsán způsob exportu spekter z IR spektrofotometru do PC pomocí programu GRAMS/AI.

Po zapojení přístroje a zajištění konektivity s výpočetní technikou následuje zapnutí programu GRAMS/AI. V případě hlášení: No instrument present je nutné vyhledat příčinu, proč se měřicí přístroj nepřipojil k výpočetní technice. Chybou může být vypnutý přístroj, špatné zasunutí datového portu do zdířky Buck 500 nebo počítače, špatný kontakt pinu. V tomto případě je nutné závadu vyhledat a následným zapnutím programu ověřit její opravu.



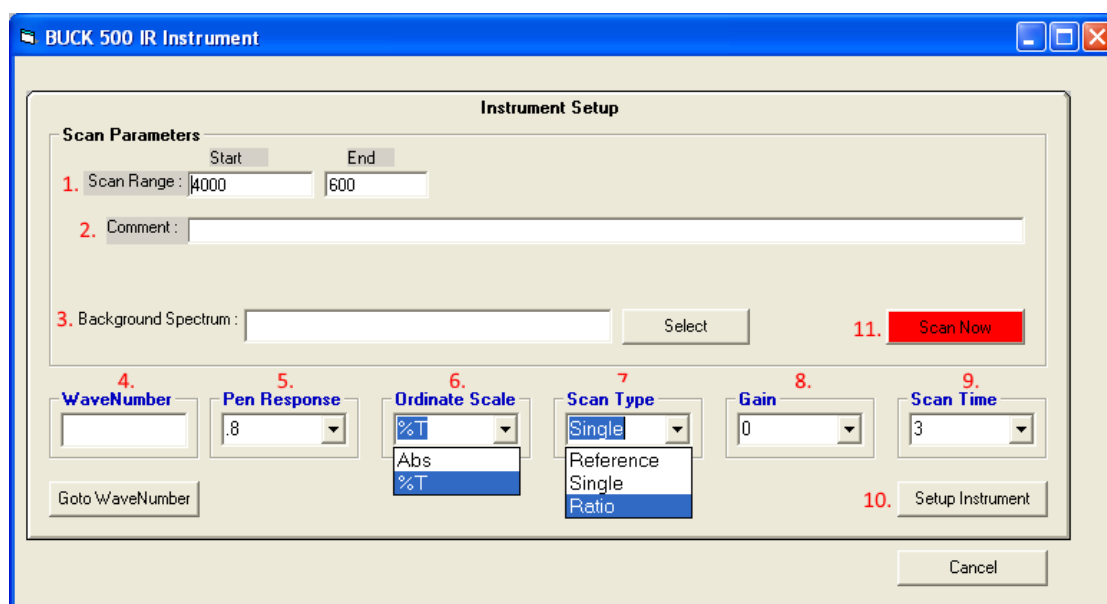
Obrázek 14: hlášení konektivity přístroje s PC.

Po spuštění programu a kontrole konektivity přejdeme na dialogové okno collect → instrument setup. Tímto krokem je zpřístupněna tabulka pro nastavení hodnot měření.



Obrázek 15: Otevření tabulky pro nastavení měření.

Po otevření tabulky je nutné vyplnit všechny položky podle aktuální potřeby.



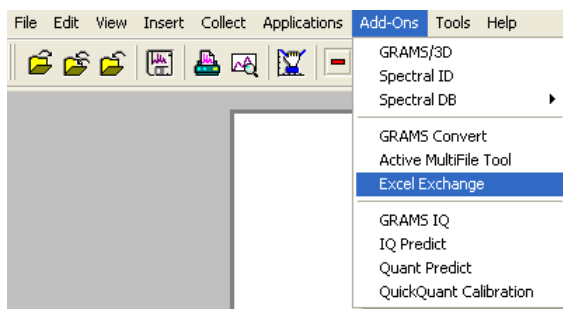
Obrázek 16: Nastavení hodnot měření.

1. **Scan Range** – Slouží k nastavení souřadnic osy x pro rozsah snímání v rozmezí 4000–600 cm^{-1} . Většina IR spektrofotometrů umí měřit oblast do 400 cm^{-1} . Buck 500 je limitován do hodnoty 600, která postačí pro měření chemického složení látek v této práci.
2. **Comment** – Slouží k zadání libovolné poznámky o délce max. 129 znaků. Následné zobrazení této poznámky je umožněno otevřením dialogového okna File → Trace Information.
3. **Background spectrum** – V této kolonce lze vybrat námi naměřené pozadí, které je vybráno ze složky předchozího uložení.
4. **Wave number** – Nastavení aktuální pozice vlnočtu. Při nastavení tohoto údaje a potvrzení kliknutím na GoTo Wavenumber dojde k posunutí monochromátoru na zapsaný vlnočet. Tento krok nebyl při pořizování spekter zapotřebí.
5. **Pen response** – Tato hodnota určující odezvu pisátka liniového zapisovače nebyla nikdy adekvátně použita v měření. Byla ponechána hodnota 8.
6. **Ordinate scane** – Vybráním jednoho z údajů určíme následné měření ve formě absorbance (Abs) / transmittance (%T).
7. **Scan type** – Slouží pro zadání možnosti přidání pozadí. Ratio způsobí odečtení pozadí. Single vytvoří graf bez započítání pozadí.
8. **Gain** – Slouží k určení nastavení zesílení pro detektor během sběru dat. Při nastavení této položky došlo k zamrznutí programu, proto nebyla využívána.
9. **Scan Time** – V této kolonce lze nastavit rychlost měření daného spektra. Při nastavení hodnot od 3 do 24 minut nebylo při následné kontrole grafů zpozorováno výrazných změn v jejich kvalitě. Proto byl využíván časový interval tří minut.
10. **Setup Instrument** – Slouží k nastavení přístroje na aktuálně zadané parametry
11. **Scan Now** – Po stisknutí tohoto tlačítka je zahájeno měření látky podle instrukcí vložených do textových oken v předchozích bodech 1-10 [30].

3.1.4 Export spekter do PC

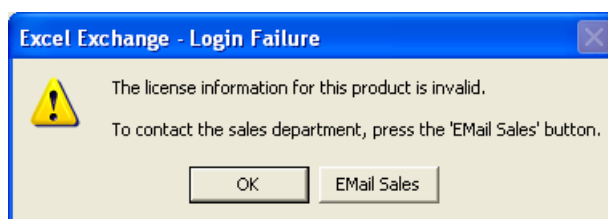
Export spekter je nezbytnou součástí pro práci s grafy mimo prostředí laboratoře. Program Grams/AI je limitován licenční podmínkou pro používání pouze na nainstalovaném počítači, tudíž není možné otevřít výsledná spektra mimo prostředí laboratoře.

Řešením tohoto problému může být export naměřených dat ve formě souborů Microsoft Excel. Poté lze hodnoty opětovně transformovat do grafické podoby na jiném počítači s následnou další manipulací. Obrázky pod odstavcem s popisky názorně ukazují postup pro úspěšný export dat. V první fázi je otevřeno dialogové okno Add-Ons → Excel Exchange.



Obrázek 17: První fáze pro export dat.

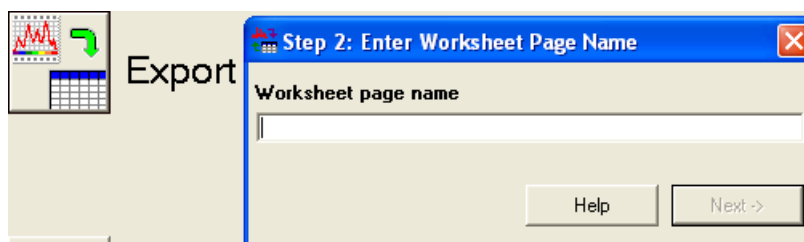
Po rozkliknutí dialogového okna program hlásí chybu s prošlou licenci.



Obrázek 18: Hlášení o prošlé licenci.

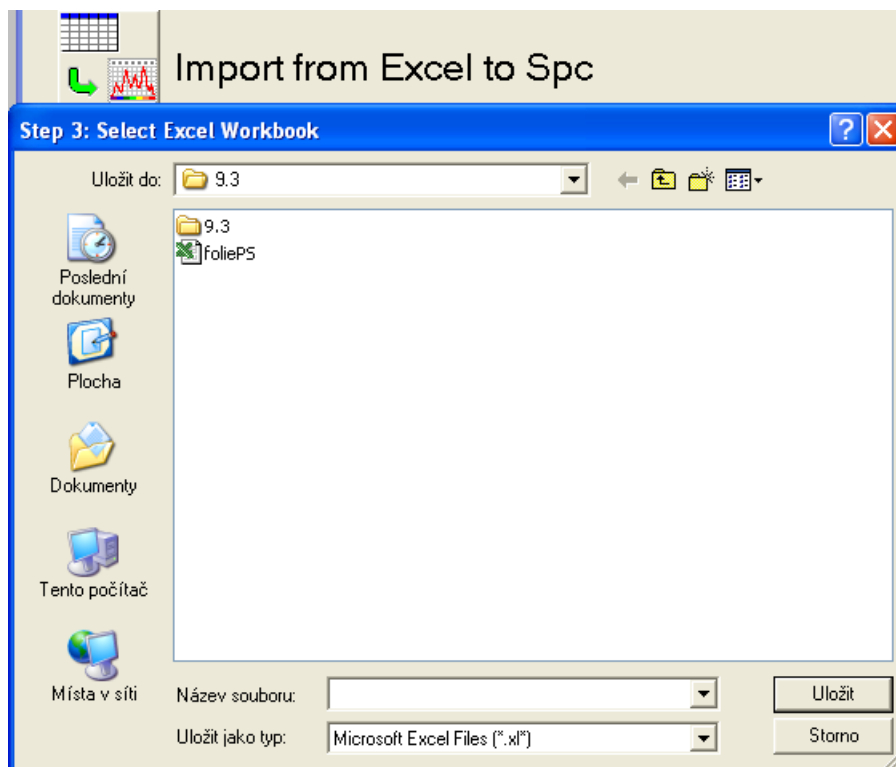
Přestože se zobrazí dialogové okno Excel Exchange – Login Failure, je možné provést export dat. Následujícím krokem je tedy ignorování okna, přičemž je nutné nekliknout na žádnou z nabídnutých oken (OK, Email Sales).

Následně je vybrána možnost Export From Spc to Excel. Dojde k otevření dialogového okna, ve kterém je následně zadán název stránky pracovního spektra.



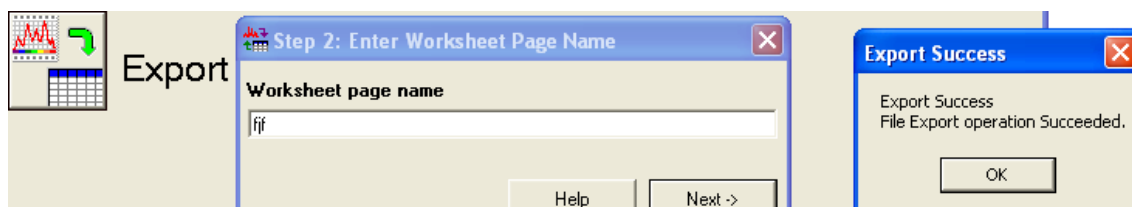
Obrázek 19: Okno pro vyplnění názvu pracovního spektra.

Po stisknutí tlačítka next dojde k otevření dalšího okna pro uložení námi požadovaných dat formou souboru Excel. V nabídce: Název souboru jsou vypsány informace týkající se složky, ve které je soubor uložen. V horní části okna pod názvem Uložit do lze vybrat místo uložení složky s daty. Po vyplnění názvu následuje kliknutí na políčko Uložit.



Obrázek 20: Okno k vyplnění názvu složky pro uložená data.

Po odsouhlasení uložení dojde k zobrazení posledního okna s informací potvrzující úspěšný export dat.



Obrázek 21: Potvrzení úspěšného exportu dat.

Tímto krokem je celá fáze exportu ukončena. Následně je možné pracovat s exportovanými daty v uživatelském prostředí Microsoft Excel.

3.1.5 Zpracování spekter v PC

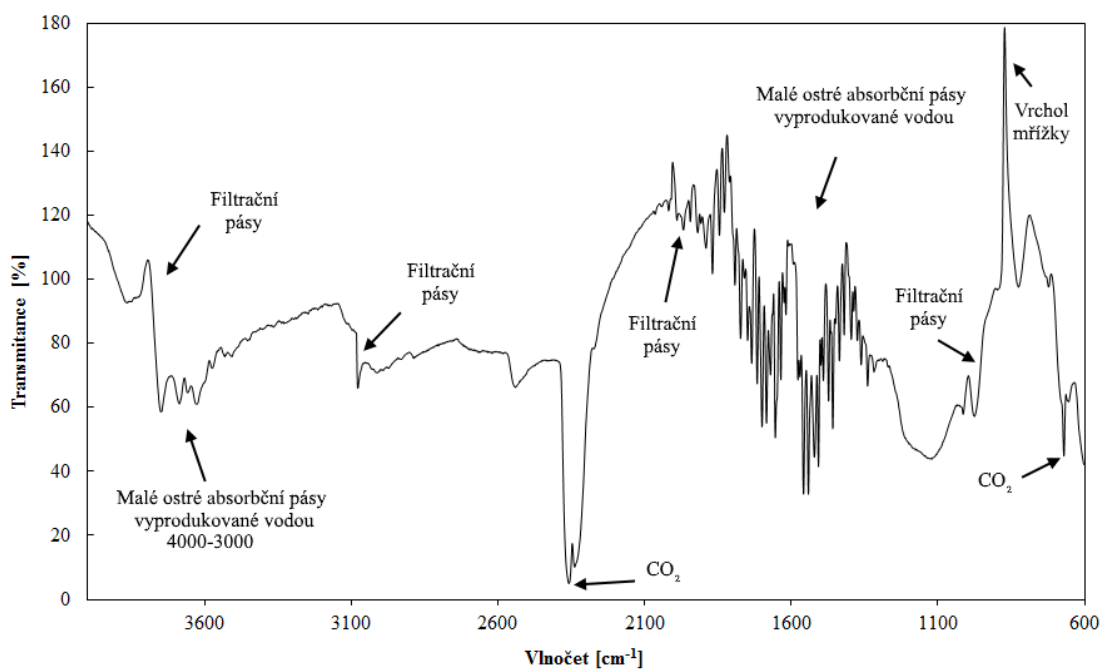
Samotné zpracování dat do formy výsledného grafu v programu Microsoft Excel má své specifické znaky. Při generování grafů bylo na pracovišti KZT ZF JU vytvořeno několik zásadních pravidel pro adekvátně čitelný graf vytvořený z exportovaných dat. Tyto zásady jsou uvedeny v bodech.

1. Vlnočet je vyznačen na ose x.
2. Transmittance nebo absorbance je vyznačena na ose y.
3. Souřadnice osy y je nutné nastavit v převráceném pořadí. Průtnutí os x a y je v hodnotě maximální např. 4000 cm^{-1} a postupně vlnočet klesá k hranici 600 cm^{-1} .
4. Pro přehlednost je výhodné užít typ spojnicového grafu s vyhlazenými spoji.

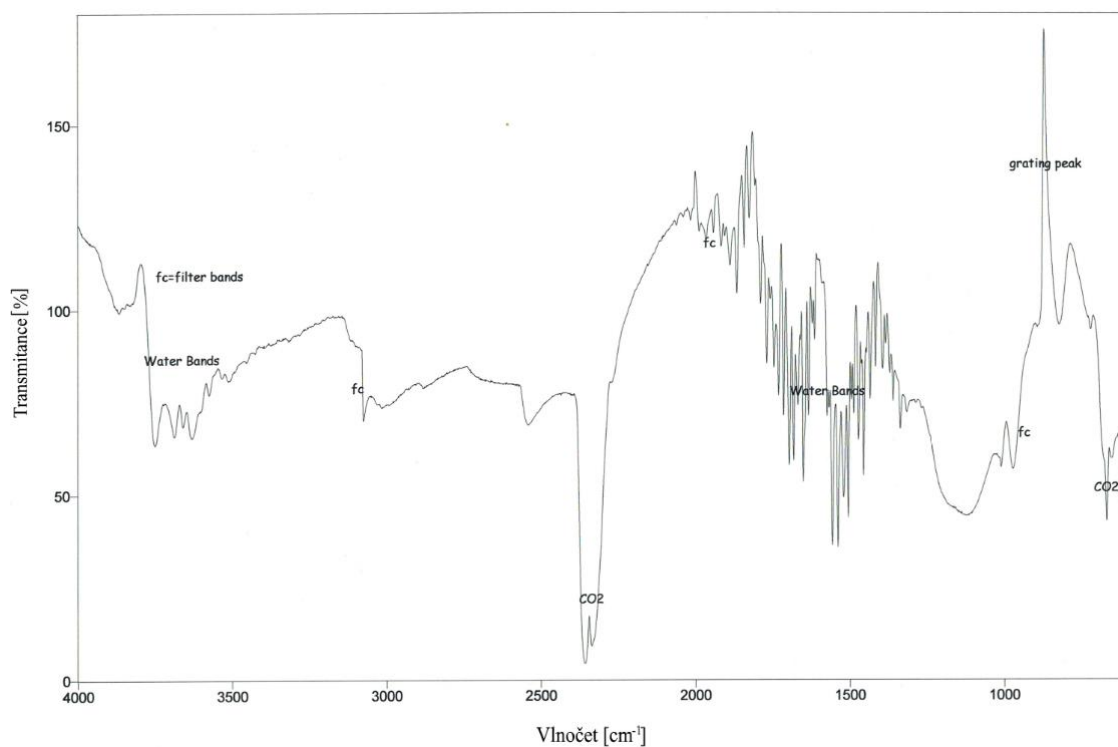
3.2 Vyhodnocení chemického složení měřených látek

3.2.1 IR spektrum vzduchu

Infračervené spektrum vzduchu bylo naměřeno pro jeho následné využití v podobě odečtu pozadí při měření kontrolní PS folie, bavlny a její modifikované podoby. Výhodou při kontrole správnosti naměřeného spektra bylo již zhotovené spektrum dodáno výrobcem.



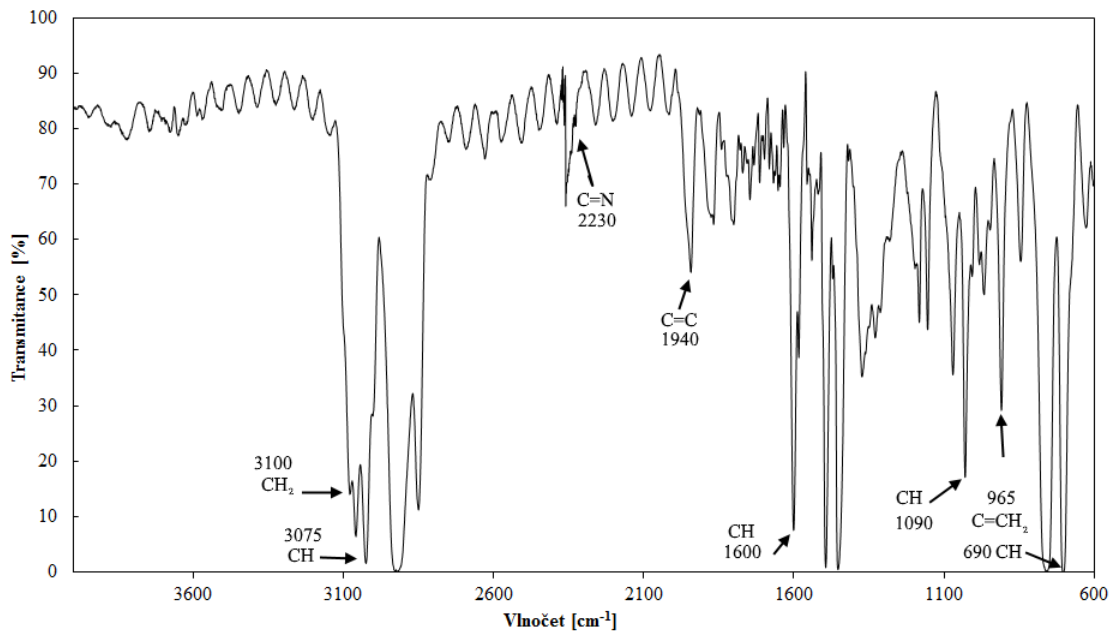
Graf 1: Naměřené IR spektrum vzduchu.



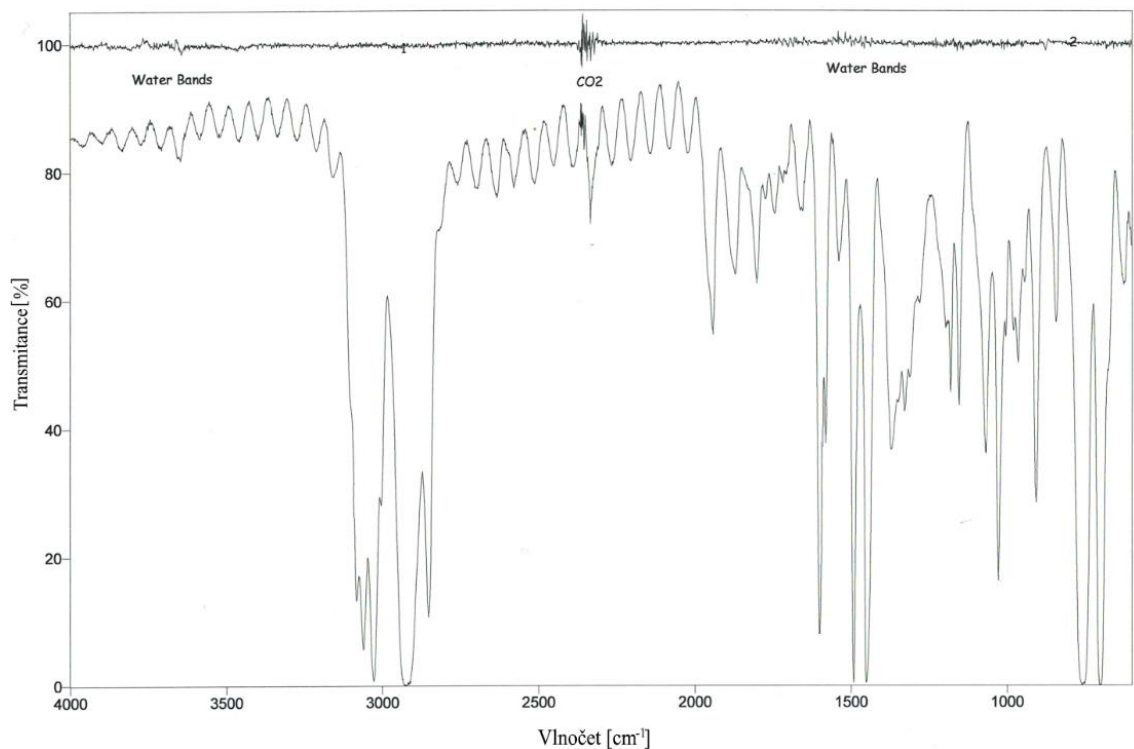
Graf 2: IR spektrum vzduch dodané výrobcem [30].

Naměřené IR spektrum vzduchu má předpokládaný tvar a celkové rozložení píků. Nejvýraznější pík se nachází na vlnočtu 2400 cm^{-1} , který odpovídá oxidu uhličitému CO_2 . V rozmezí $4000\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ a $1800\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ jsou vidět malé ostré absorpční pásy vyprodukované vodou. Další výrazné píky v oblasti 3780 , 3050 , 1974 a 986 cm^{-1} jsou znázorněním filtračních pásů. Jako poslední detekovaný pík v oblasti vlnočtu 800 cm^{-1} je zobrazen vrcholek mřížky [31].

3.2.2 IR spektrum kontrolní PS fólie



Graf 3: Naměřené IR spektrum polystyrénové fólie.



Graf 4: Kontrolní spektrum PS fólie dodané výrobcem [30].

Ověření kvality měření (kalibrace přístroje) na IR spektrofotometru Buck 500 pomocí polystyrénové fólie proběhlo úspěšně. Píky i celkový tvar měřené fólie odpoví-

dá grafu dodanému výrobcem. Nejvýraznějšími píky dosahujícími maximálních hodnot jsou na vlnočtech 690 cm^{-1} odpovídá skupině CH, 965 cm^{-1} pravděpodobně odpovídá skupině C=CH₂. Další pík, který dosahuje téměř maxima je zobrazen na vlnočtu 3075 cm^{-1} odpovídající vazbám C-H. Po jeho levé straně se nachází pík o vlnočtu 3100 cm^{-1} , který odpovídá skupině CH₂. Na vlnočtu 2230 cm^{-1} se nachází pík, který by měl odpovídat vazbám C=N. Další poměrně vysoké píky se nacházejí na vlnočtech 1600 a 1090 cm^{-1} , tyto vlnočty by měli odpovídat skupině CH. Na vlnočtu 1940 cm^{-1} můžeme zaznamenat skupinu C=C.

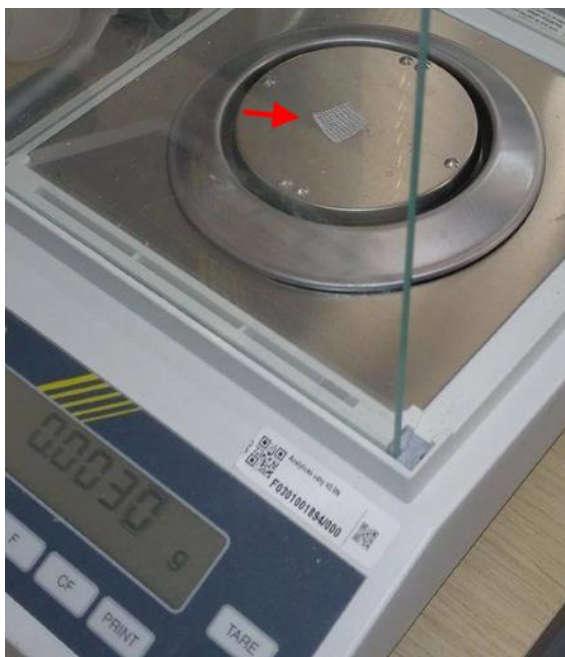


Obrázek 22: Kontrolní PS fólie.

3.2.3 IR spektra ošetřené a neošetřené bavlny

Před samotným měřením IR spekter bavlny a její modifikované varianty bylo nutné připravit homogenní směs složenou z bavlny a bromidu draselného v poměru 1:70. Tato homogenní směs poté sloužila k výrobě tablet, které byly posléze využity k analýze a komparaci těchto dvou druhů tkanin.

Obrázek 23 zobrazuje vážení bavlny ve skleněné Petriho misce, které je potřebné pro určení správného poměru s bromidem draselným. Bavlna o hmotnosti 3 mg byla získána ze zdravotnické gázy. Pote se k bavlně přidal bromid draselný v již zmiňovaném poměru.



Obrázek 23: Vážení gázy.

K rozvláknění bavlny a smíchání s KBr byla použita Petriho miska spolu s využitím nůžek, jelikož bavlněná vlákna se nepodařilo rozmělnit v hmoždíři. Obrázek 23 zobrazuje rozvlákněnou a připravenou bavlnu pro promísení s KBr a následným vylisováním do podoby průsvitných tablet.



Obrázek 24: Rozvlákněná bavlna.

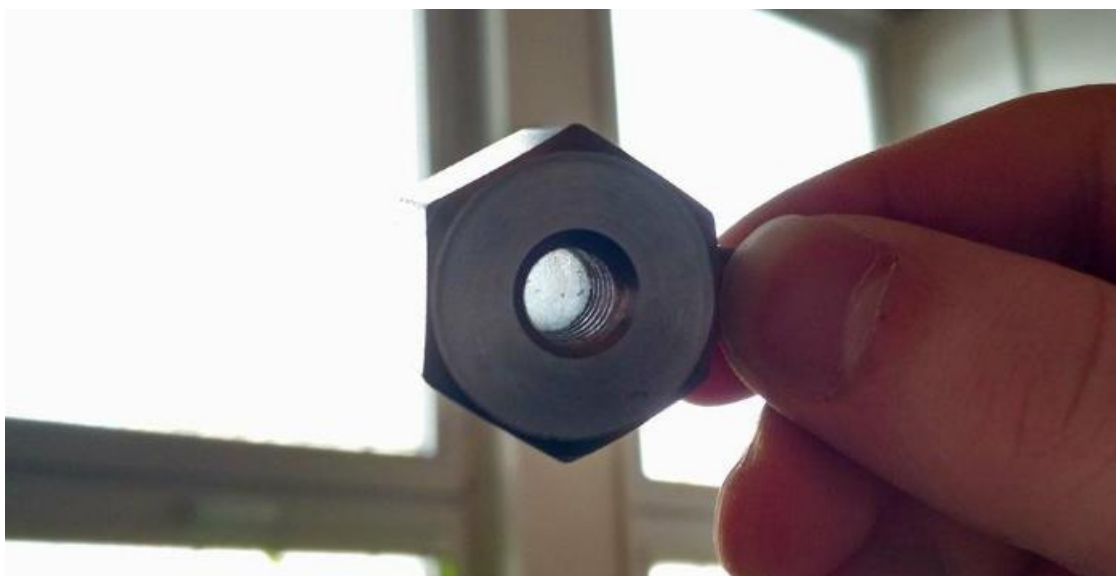
K vylisování tablety bylo využito vybavení umožňující okamžité měření po vylisování. Před samotným použitím je nutné se ujistit, jestli je dutina lisu především v prostorách šroubovice čistá. Nežádoucí částice v tabletě způsobí zkreslení výsledného grafu.

Při lisování je nutné naplnit lisovací zařízení v minimálním potřebném množství. Nesmí dojít k vylisování příliš široké tablety. Tento fakt může při následném měření

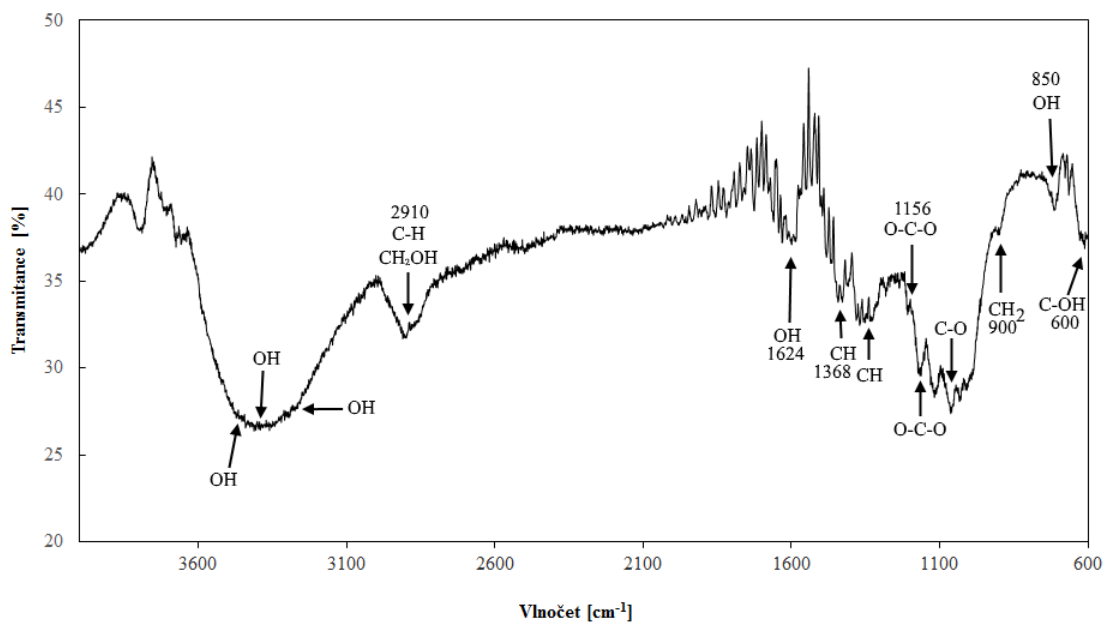
zapříčinit neprůchodnost IR záření tabletou a tím neúspěšné provedení testu. Při menším množství prášku může dojít k vytvoření prasklin v tabletě. V tomto případě hrozí průchod IR záření bez detekce měřené látky. Jako poslední kritérium při výrobě tablet je snaha o nanesení prášku ve stejném poměru po celé ploše dna lisu. Obrázky 25 a 26 zobrazují lisovací nástroje a vyrobenou tabletu.



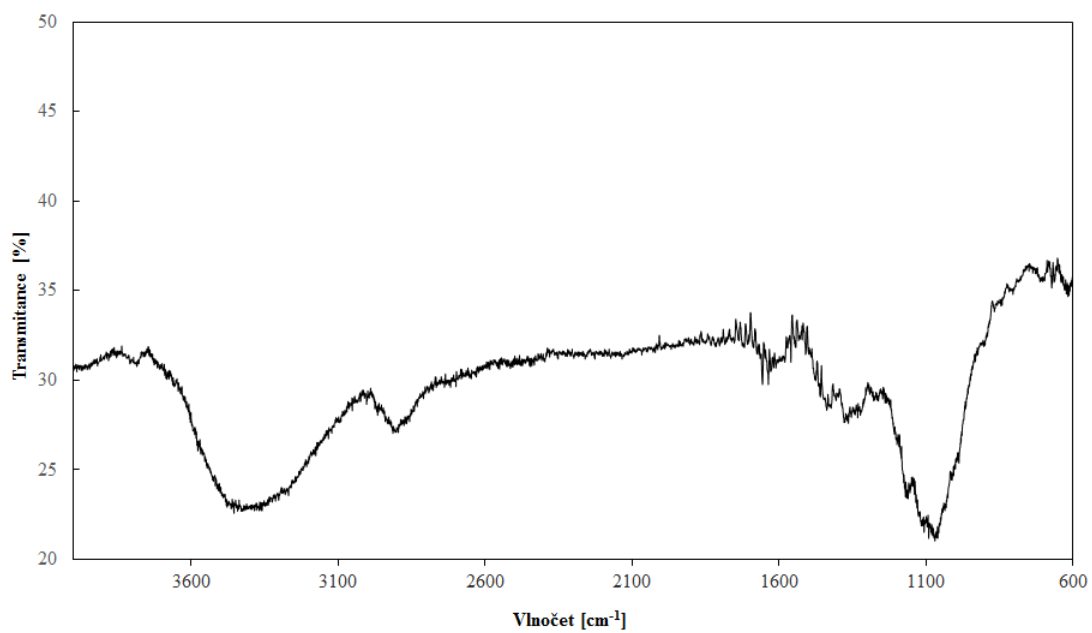
Obrázek 25: Nástroje potřebné k výrobě tablet.



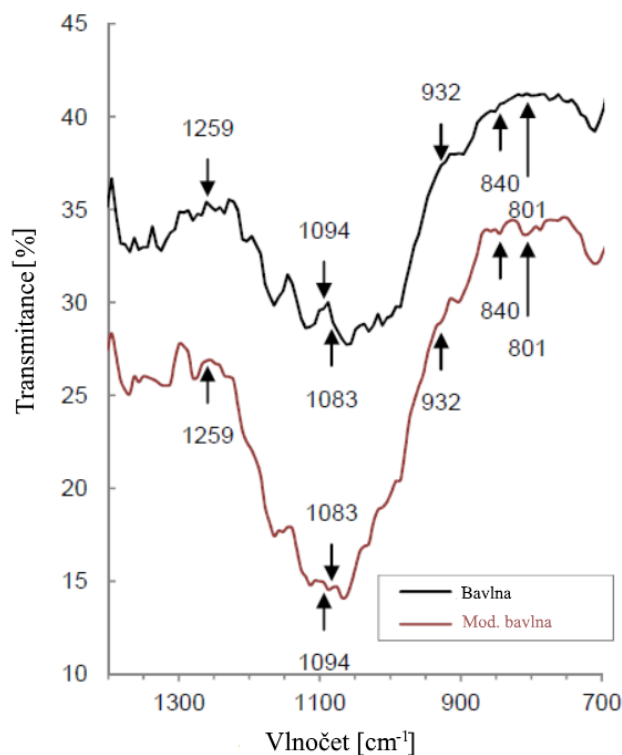
Obrázek 26: Ukázka správně vyrobené tablety.



Graf 5: IR spektrum bavlny.



Graf 6: IR spektrum plazmově modifikované bavlny.



Graf 7: Porovnání IR spekter nemodifikované a modifikované bavlny pro rozsah 1400–700 cm⁻¹ [33].

Infračervené spektrum nemodifikované bavlny v grafu 5 má při porovnání s odbornou literaturou souhlasné rozložení píků a totožný tvar. Největší pík je možné pozorovat v oblasti rozmezí vlnočtů 3600-3200 cm⁻¹ odpovídající funkční skupině OH. Jeden s dalších výrazných píků má své maximum na vlnočtu 2910 cm⁻¹, tento pík koresponduje pravděpodobně s vazbou uhlíku C-H. V některé literatuře je uveden jako shodný se skupinou CH₂OH. Další výrazný pík je možné pozorovat na vlnočtu přibližně 1624 cm⁻¹, který odpovídá OH skupině nacházející se v absorbované vodě. Mezi méně výrazné píky ležící v oblasti nazývané „fingerprint region“ patří pík s vlnočtem 900 cm⁻¹ odpovídající skupině CH₂, pík na vlnočtu 1156 cm⁻¹ odpovídá skupině C-O-C a jako poslední do této kategorie spadá pík s vlnočtem 1368 cm⁻¹, který odpovídá skupině CH. Jako poslední oblast s vlnočty mezi 850 cm⁻¹ a 600 cm⁻¹ leží dva méně výrazné píky, které odpovídají skupině OH a C-OH.

Graf 7 slouží ke grafickému znázornění rozdílů IR spekter modifikované bavlny s vysokou hydrofobicitou a čisté bavlny z oblasti vlnočtů v rozmezí 1400-700 cm⁻¹.

Změny v tvaru pozorované na vlnočtu 801 cm^{-1} jsou způsobeny systematickou vibrací Si-O-Si. Vlnočet 840 cm^{-1} představuje vibrační kmitání skupiny CH_3 spolu při -Si- (CH_3)_x ($x < 2$). Na vlnočtu 932 cm^{-1} lze pozorovat málo výraznou změnu tvaru, za který pravděpodobně může Si-OH. Vlnočtu v rozmezí $950\text{--}110\text{ cm}^{-1}$ je přiřazen charakteristickým píkům bavlny. Prostředí s vlnočtem 1083 cm^{-1} je naopak přiřazováno píkům pro modifikovanou bavlnu, tento vlnočet pravděpodobně odpovídá Si-O-Si. V oblasti vlnočtu 1259 cm^{-1} se nachází nevýrazná změna, která pravděpodobně zobrazuje skupinu CH_3 . Jedná se o indikaci úspěšného vstřebání křemíku do bavlněného povrchu. Výše zmíněné změny tvaru pro určité vlnočty naznačují reakci štěpení siloxanem [33].

Pedagogický a výzkumný přínos práce

- Vzhledem k náročnosti obsluhy zařízení a interpretace získaných spekter a ruku v ruce vzhledem k ceně zařízení není IR spektrofotometr běžnou výbavou ZŠ a SŠ. Proto práce na IR SFM je zejména záležitostí vysokých škol a výzkumných institucí. Zapojení IR SFM do výuky na nižších stupních škol je tudíž málo pravděpodobné.
- Na pracovišti KZT ZF JU a KAFT PF JU je IR spektrofotometrie velmi dobře použitelná zejména ve výzkumu prováděném na obou pracovištích. Výzkum je zaměřen na oblast plazmových úprav v oblasti materiálového inženýrství a úpravy zemědělských plodin. V obou případech se jedná zejména o výzkum týkající se organických látek, které je s velkou úspěšností možné chemicky analyzovat právě pomocí IR spektrofotometrie.
- Dále je možné využít IR spektrofotometr jako doplňující prvek ve výuce předmětu Materiály a technologie I vyučovaném na pracovišti KAFT PF JU.

Závěr

- Byla získána a nastudována literatura týkající se IR spektrofotometrie, jejího principu a použití včetně interpretace získaných spekter.
- IR spektrofotometr Buck 500 byl úspěšně znovu uveden do provozu.
- Byly zjištěny problémy s konektivitou zařízení a bylo navrženo řešení těchto problémů.
- Byl uveden detailní popis hardwaru IR spektrofotometru Buck 500.
- Softwarové prostředí nastavení IR spektrofotometru Buck 500, spuštění měření, export získaných spekter do PC a jejich zpracování bylo v rámci této práce detailně popsáno pro další uživatele tohoto zařízení.
- Funkčnost a správné nastavení Spektrofotometru Buck 500 bylo ověřeno naměřením pozadí (vzduchu) a polystyrenové transparentní folie, jejichž spektra byla vyhodnocena a porovnána s předlohou dodanou výrobcem.
- Byla naměřena spektra bavlny a její plazmově ošetřené varianty v rámci výzkumu prováděného na pracovišti. Získaná spektra byla vyhodnocena s pomocí odborné literatury a budou použita v rámci odborné publikace.

Literatura

- [1] DRBAL, Karel a Martin KRÍŽEK. *Analytická chemie: učebnice základů instrumentálních analytických metod*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1999. ISBN 80-704-0352-7.
- [2] KLOUDA, Pavel. *Moderní analytické metody: učebnice základů instrumentálních analytických metod*. Ostrava: P. Klouda, 1996. ISBN 80-902-1550-5.
- [3] GRÉGR, Vratislav. *Cvičení z rostlinné výroby*. Praha: VŠZ (Praha), 1987.
- [4] *Technický slovník naučný*. Praha: Encyklopedický dům, 2001. ISBN 80-860-4416-5.
- [5] *Technický naučný slovník: I. díl A - D*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1981.
- [6] *Naučný slovník zemědělský*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1966.
- [7] KROISOVÁ, Dora. *Biodegradovatelné polymery - úvod do problematiky*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-468-9.
- [8] Cellulose. In: BLOCK D, Chloe Van. *MyOrganicChemistry* [online]. 2010 [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <https://myorganicchemistry.wikispaces.com/Cellulose>
- [9] DHAWAN, Abhishek. *Synthesis of block copolymers from cellulose nanoparticles via atom transfer radical polymerization*[online]. Raleigh, North Carolina, 2007 [cit. 2017-3-22]. Dostupné z: <http://repository.lib.ncsu.edu/ir/bitstream/1840.16/576/1/etd.pdf>
- [10] NOVOTNÝ, Vladimír. *Chemie dřeva a pomocné papírenské přípravky pro 2.ročník SPŠ papírenských*. Praha, 1974.
- [11] ŠVACHOVÁ, Veronika. *Modifikace celulózy pro medicínální účely*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně.
- [12] VEJRAŽKA, Martin. *Optické metody používané v biochemii* [online]. In: . Praha, 2008, s. 3 [cit. 2017-04-22]. ISSN 1803-6619. Dostupné z: <http://portal.lf1.cuni.cz/clanek-820-opticke-metody-pouzivane-v-biochemii>
- [13] KRÍŽEK, Martin a Eva JÍROVCOVÁ. *Cvičení z anorganické a analytické chemie*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2010. ISBN 978-80-7394-222-9.
- [14] VONDRÁK, Dalibor a Jaroslav VULTERIN. *Analytická chemie*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.
- [15] ŠULCOVÁ, Petra a Ludvík BENEŠ. *Experimentální metody v anorganické technologii*. Vyd. 2. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008. ISBN 978-80-7395-058-3.
- [16] SMITH, Brian C. *Fundamentals of Fourier transform infrared spectroscopy*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2011. ISBN 978-1-4200-6929-7.

- [17] NAVRÁTIL, Leoš. *Medicínská biofyzika*. Praha: Grada, 2005. ISBN 978-80-247-1152-2.
- [18] OPEKAR, František. *Základní analytická chemie pro studenty: pro studenty, pro něž analytická chemie není hlavním studijním oborem*. Praha: Karolinum, 2002. ISBN 978-80-246-0553-1.
- [19] WELZ, Bernhard. *Atomic absorption spectroscopy*. Weinheim: Verlag Chemie, 1976. ISBN 3-527-25680-6.
- [20] HORÁK, Milan a Dušan PAPOUŠEK. *Infračervená spektra a struktura molekul (použití vibrační spektroskopie při určování struktury molekul)*. Praha: Academia, 1976.
- [21] KŘÍŽEK, Martin a Jan ŠÍMA. *Analytická chemie*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2015. ISBN 978-80-7394-486-5.
- [22] KOVÁČ, Štefan a Ján LEŠKO. *Spektrálne metódy v organickej chémii*. Bratislava: Alfa, 1980.
- [23] ČŮTA, František. *Instrumentální analýza*. Praha: SNTL, 1986.
- [24] *Infračervená spektroskopie* [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/lms/Zverze/Infrared.htm>
- [25] LAMBERT, Joseph B. *Organic structural spectroscopy*. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1998. ISBN 0-13-258690-8.
- [26] *FTIR Sample Techniques: Attenuated Total Reflection (ATR)* [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.com/cz/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/molecular-spectroscopy-information/ftir-information/ftir-sample-handling-techniques/ftir-sample-handling-techniques-attenuated-total-reflection-atr.html>
- [27] *PLC-11M Single Reflection Prism Cell* [online]. In: . [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <https://buck-scientific-norwalk.myshopify.com/products/plc-11m-single-reflection-prism-cell?variant=30396340867>
- [28] POSPÍŠIL, Milan. *Instrumentální metody výzkumu a analýzy I*. Vyd. 2. V Praze: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-2922-0.
- [29] *Bezpečnostní list* [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/bromid%20draseln%C3%BD.pdf>
- [30] *Installation and Instruction Manual M530: Scanning Infra-Red Spectrophotometer* [online]. U.S.A., 2010 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <https://www.environmental-expert.com/downloads/buck-scientific-m530-scanning-infra-red-spectrophotometer-manual-384923>

- [31] *Infrared Spectral Quality* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.chromacademy.com/lms/sco534/01-infrared-spectral-quality.html?fChanne>
- [32] *Synthesis and Characterization of Grafted Polystyrene with Acrylonitrile using Gamma-Irradiation* [online]. 2010 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://scialert.net/fulltext/?doi=jas.2010.139.144>
- [33] ČERNÝ, Pavel, Petr BARTOŠ, Tomáš TOPKA a Petr ŠPATENKA. *The potential of Gliding Arc plasma discharge in the hydrophobization of cotton fabric*. České Budějovice. (submitted)