

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Sorbenty těžkých kovů z odpadních vod na bázi principů zelené chemie

Autor: **Markéta JANKOVÁ**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Petr DUCHEK, CSc.**

Akademický rok 2019/20

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Markéta JANKOVÁ**
Osobní číslo: **S16B0058P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie**
Téma práce: **Sorbenty těžkých kovů z odpadních vod na bázi principů „zelené chemie“**
Zadávající katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

Zásady pro vypracování

1. Literární rešerše
 - a) Problematika odpadů z konzumace kávy a čaje z pohledu zelené chemie.
 - b) Možnosti využití těchto materiálů jako biosorbentů a zdrojů uhlíku.
2. Praktická část
 - a) Pokus o přípravu uhlíkového materiálu vysokoteplotní karbonizací a aktivací odpadu z konzumace čaje dle pokynů vedoucího BP.
 - b) Základní charakterizace povrchové morfologie připravených vzorků.
3. Zhodnocení výsledků, diskuse, využitelnost v praxi.
4. Závěr.

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran**
Rozsah grafických prací: **fotodokumentace, obrázky**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

MALAKAHMAD A, TAN S., YAVARI S.: *Valorization of Wasted Black Tea as a Low-Cost Adsorbent for Nickel and Zinc Removal from Aqueous Solution*. Journal of Chemistry, 2016, 2-8, Article ID 5680983.

HAMMUD K. K. et al. : *International Journal of Research in Pharmacy and Chemistry* 6(2), 220-229 (2016).

TEE T.W., KHAN A. R. M.: *Removal of lead, cadmium and zinc by waste tea leaves*. Environmental Technology Letters 9, 1223-1232, 1988.

WEISS Z., SIMHA-MARTYNKOVÁ G., ŠUSTAI O.: *Nanostruktura uhlíkatých materiálů*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005, str. 120 – 126.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Petr Duchek, CSc.**
Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Tomáš Křenek, Ph.D.**
Nové technologie – výzkumné centrum

Datum zadání bakalářské práce: **30. října 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Prof. Dr. Ing. Antonín Kříž, IWE
vedoucí katedry

Poděkování

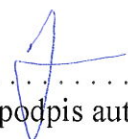
Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Petru Duchkovi, CSc. za podnětné rady a odbornou pomoc, kterou mi poskytoval při zpracovávání této práce a za čas, který mi věnoval. Mé poděkování patří též mé rodině a blízkým přátelům za pomoc a podporu během studia.

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne: 14.7.2020


.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Janková	Jméno Markéta		
STUDIJNÍ OBOR	Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. Duchek, CSc	Jméno Petr		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KMM			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Sorbenty těžkých kovů z odpadních vod na bázi principů „zelené chemie“			

FAKULTA	strojí	KATEDRA	KMM	ROK ODEVZD.	2020
----------------	--------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	57	TEXTOVÁ ČÁST	57	GRAFICKÁ ČÁST	-
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Tato práce se skládá ze dvou částí – literární rešerše a experimentální části. V literární rešerši je zkoumána problematika odpadů z konzumace čaje a kávy z pohledu zelené chemie a možnosti využití těchto materiálů jako biosorbentů a zdrojů uhlíku. V experimentální části proběhl pokus o přípravu uhlíkového materiálu vysokoteplotní karbonizací a aktivací opadu z konzumace čaje.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p style="text-align: center;">zelená chemie, sorbent, porézní uhlík, aktivační činidlo, čajové zbytky, karbonizace</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Janková	Name Markéta	
FIELD OF STUDY	Materials Engineering and Engineering Metallurgy		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Duchek, CSc.	Name Petr	
INSTITUTION	ZČU - FST - KMM		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Heavy metal sorbents from wastewater based on principles of green chemistry		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Material Science and Technology	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	57	TEXT PART	57	GRAPHICAL PART	-
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis consist of two parts – literary research and experimental part. The literature research examines the issue of waste from the consumption of tea and coffee from the perspective of green chemistry and the possibility of using these materials as biosorbents and carbon sources. In the experimental part, an attempt was made to prepare carbon material by high-temperature carbonization and activation of tea waste.
KEY WORDS	green chemistry, sorbent, porous carbon, activating agent, tea waste, carbonization

Obsah

Úvod.....	2
1. Zelená chemie	4
1.1. Principy zelené chemie.....	4
1.2. Materiály používané v zelené chemii	5
2. Káva a čaj a jejich složení.....	5
3. Sorbenty	7
3.1. Adsorpce.....	7
3.2. Absorpce.....	7
3.3. Biosorbenty	8
3.3.1. Čajové lístky jako biosorbent.....	8
4. Uhlík a jeho modifikace.....	8
4.1. Diamant	8
4.2. Grafit.....	9
4.3. Chaoit	9
4.4. Lonsdaleit	9
4.5. Fullereny.....	10
4.6. Uhlíkové nanotrubičky	10
4.7. Grafen.....	10
4.8. Graphyn a graphdiyn	11
4.9. Lesklý uhlík	11
4.10. Amorfni uhlík.....	12
4.11. Aktivni uhlí.....	13
5. Znečištění vodních útvarů	13
5.1. Průmyslové odpadní vody	14
6. Těžké kovy	14
6.1. Těžké kovy obecně	14
6.2. Zinek	15
6.3. Měď	16
6.4. Nikl.....	17
6.5. Kadmium	18
7. Možnosti odstraňování těžkých kovů z odpadních vod	19
8. Použité chemikálie, technika a experimentální metody	19
7.1. Použité chemikálie.....	19
7.2. Použitá laboratorní a analytická technika	19
7.3. Použité experimentální metody.....	21
9. Materiál	24
10. Termická analýza	24

11. Aktivace čajových lístků.....	26
12. Karbonizace čajových lístků.....	27
13. Analýza karbonizovaných vzorků	27
14. SEM.....	30
15. Porovnání kávy a čaje	34
16. Vyhodnocení experimentální části.....	34
17. Závěr	36
Použitá literatura.....	37

Seznam příloh

Termická analýza černého čaje	Příloha č.1
Termická analýza zeleného čaje	Příloha č.2
EDX analýza	Příloha č.3
Infračervená spektra	Příloha č.4
Ramanovo spektrum černého čaje.....	Příloha č.5
Ramanovo spektrum zeleného čaje	Příloha č.6

Úvod

Tato práce se bude zabývat možností přípravy sorbentů těžkých kovů z odpadních látek z konzumace kávy a čaje. Stále se zvyšující množství produkovaného odpadu je celosvětovým problémem. Trendem se tak stává snaha o opakované využívání materiálu a produkce co nejmenšího množství balastních látek. Dále se vlivem lidské činnosti (například průmyslem nebo těžbou) do životního prostředí dostávají nežádoucí látky, například těžké kovy. Ty jsou nebezpečné pro rostliny a živočichy, včetně lidí. Kávová sedlina a použité čajové lístky patří mezi materiály, které se ve většině případů nijak dále nevyužívají, přestože by díky svému složení mohly mít široké uplatnění. V této práci bude zkoumána jejich schopnost sorpce. Pokud bude tato schopnost prokázána, v praxi by tyto materiály mohly být využity například při čištění průmyslových odpadních vod.

1. Zelená chemie

1.1. Principy zelené chemie

V roce 2016 bylo na území Evropské unie vyprodukováno přes 2,5 miliardy tun odpadu. Z tohoto množství je pouze 53,3 % nadále využíváno, nejčastěji recyklací. (1) Předpokládá se, že množství produkovaného odpadu bude každým rokem stoupat, do 30 let by se tak celosvětová produkce mohla dostat až na 3,4 miliardy tun ročně. (2) Odpadové hospodářství se tak stává důležitým tématem, kterým se zabývají mnohé obory. Jedním z nich je i zelená chemie.

Zelená chemie bývá také označována jako chemie udržitelného vývoje. Jedná se o zavádění principů, které redukuje nebo eliminuje používání či generování látek nebezpečných pro životní prostředí i lidské zdraví. Oblastí jejího zájmu je celý životní cyklus výrobku, včetně jeho návrhu a likvidace. Zelená chemie se opírá o 12 základních principů:

- Předcházení vzniku odpadu – navrhovat procesy tak, aby vznikalo minimální množství (ideálně nulové) odpadu, a to včetně odpadů v plynné formě, které se pak deštěm dostávají do vodních toků.
- Použití co nejefektivnějších reakcí – tzv. atomová ekonomie – výsledný produkt by měl obsahovat co největší množství produktu vstupujícího do reakce, mělo by vznikat minimální množství balastních (tzn. odpadních) produktů.
- Použití méně riskantních chemických syntéz – syntézy by měly využívat a produkovat pouze látky, které nejsou toxické pro člověka ani pro životní prostředí. Procesy by také měly být upraveny tak, aby bylo dosaženo stejného výsledku, ale s minimálním rizikem.
- Navrhování bezpečnějších chemikálií – přednostně používat přírodní zdroje (zejména kvůli jejich snadné odbouratelnosti), zároveň však musíme brát ohled na jejich efektivitu.
- Použití bezpečnějších rozpouštědel a reakčních podmínek – v ideálním případě bychom se měli vyhnout použití rozpouštědel, separačních činidel nebo podobných chemikálií. Organická rozpouštědla jsou totiž ve většině případů hořlavá, toxická nebo jinak nebezpečná pro životní prostředí. Pokud je jejich použití nezbytné, měli bychom vybrat co nejméně riziková.
- Efektivní využívání energií – snažit se minimalizovat množství použité elektrické energie. Nejefektivnějším způsobem, jak toho dosáhnout je provádět chemické reakce za pokojové teploty a normálního tlaku.
- Použití obnovitelných surovin – zdroji takovýchto surovin mohou být například zemědělské produkty nebo odpady z jiných procesů. Tento bod také zahrnuje použití obnovitelných zdrojů pro výrobu energie, jako je například sluneční energie, vítr nebo biomasa.
- Omezení vzniku derivátů – deriváty pro svůj vznik potřebují další činidla a dochází tak k produkci většího množství odpadu. Důležité je to hlavně pro chemický průmysl, kde vznikající deriváty jsou v mnoha případech nebezpečné pro člověka i životní prostředí.

- Zvyšování rychlosti reakcí za pomoci katalyzátorů – při použití katalyzátoru je potřebná aktivační energie nižší než v případě, kdy katalyzátor použit nebyl. Katalyzátory jsou také efektivní již při malém množství a mohou být použity opakovaně.
- Navrhování odbouratelných látek – chemikálie by se měly po provedení reakce rozkládat na neškodné látky a neměly by se hromadit v životním prostředí. Opět je tedy nejvhodnější použití přírodních zdrojů látek.
- Analýzy v reálném čase pro zjištění znečištění – provádět kontroly a pozorování v průběhu syntéz, aby bylo možno zamezit případnému vzniku nežádoucích vedlejších produktů a zabránit znečištění životního prostředí.
- Prevence nehod – navrhovat chemikálie i jejich skupenství tak, aby se minimalizovalo nebezpečí vzniku nehod, například požárům nebo explozím. (3) (4)

Dodržování těchto zásad pak pomáhá k výrobě bezpečnějších produktů, snížení množství toxických chemikálií vstupujících do potravního řetězce nebo omezení nárůstu globálního oteplování. Zelená chemie má přínos nejen ve vztahu k životnímu prostředí, přináší také ekonomické a sociální benefity, například vyšší výtěžky z chemických reakcí, potřebu menšího množství suroviny k získání stejného množství produktu nebo zvýšení zájmu spotřebitelů prostřednictvím štítku „Safer choice“ (Bezpečnější volba). (4) (5)

1.2. Materiály používané v zelené chemii

V mnoha případech je volba suroviny nejvýznamnějším faktorem dopadu chemického procesu na životní prostředí. Při výběru materiálu jsou zohledňována různá kritéria. Hodnotící proces materiálu by měl začít zhodnocením materiálu samotného, aby bylo ověřeno, že nemá žádné nevhodné vlastnosti. Dále se zohledňuje množství a typ vytvářeného odpadu při výrobě, výnosnost materiálu a jeho obnovitelnost. (6) Ve vztahu k materiálům se v zelené chemii uplatňují dva základní přístupy. Jedním z nich je odvození derivátu, který je lépe biologicky rozložitelný a méně škodlivý, od již existující sloučeniny. Druhým pak je nahrazování stávajících materiálů již známými materiály (převážně přírodními produkty), které jsou méně škodlivé. (7) Příkladem takového materiálu může být výroba biologicky rozložitelných polymerů ze škrobu jako náhražka plastů na bázi ropy. (8)

2. Káva a čaj a jejich složení

Jedním z materiálů, který odpovídá zásadám zelené chemie jsou odpadní látky z konzumace kávy a čaje. V roce 2018 dosáhla světová produkce čaje přes 5,8 milionů tun čaje, u kávy je to přes 10,2 milionů tun. (9) (10) Odpad z těchto produktů se z větší části nerecykluje, přestože obsahuje látky, které by mohly být dále využity. Možnosti uplatnění jsou široké, například výroba bionafty, použití jako hnojivo nebo jako surovina pro výrobu etanolu. (11)

Složení zeleného a černého čaje je v zásadě stejné, oba druhy obsahují převážně polyfenoly, bílkoviny, polysacharidy, celulózu, lignin, aminokyseliny, jednoduché uhlovodíky, kofein a tuky. (12) Fenoly jsou obecně kyslíkaté deriváty, jejichž funkční skupina obsahuje jednu nebo více hydroxylových skupin (-OH) připojených na uhlíkový atom, který je součástí aromatického kruhu. Nejjednodušší sloučeninou patřící do této skupiny je hydroxybenzen (=

fenol, benzenol, kyselina karbová), sumární vzorec C_6H_5OH . (13) (14) V čaji je z této skupiny nejvíce zastoupen epigallokatechin gallát – systematickým názvem [(2R,3R)-5,7-dihydroxy-2-(3,4,5-trihydroxyfenyl)-3,4-dihydro-2H-benzopyran-3-yl]-3,4,5-trihydroxybenzoát, sumární vzorec $C_{22}H_{18}O_{11}$. (15) (16) Dalšími skupinami látek, vyskytujících se v čaji, jsou bílkoviny a aminokyseliny, které také obsahují uhlík. Uhlík obsahuje také další látky v čaji (např. sacharid glukóza, kofein).

Uhlík je tedy nejzastoupenějším prvkem v čaji, tvoří téměř polovinu jeho hmotnosti. Čajové lístky obsahují také velké množství kyslíku (39,6 %), dále pak dusík a vápník. Vyskytuje se zde i stopové množství jiných látek, například fosforu nebo síry (viz Tabulka 2). (17)

Složka	Polyfenoly	Kofein	Aminokyseliny	Jednoduché uhlovodíky	Organické kyseliny	Polysacharidy	Bílkoviny
Obsah [hmotnostní procenta]	~30	3-4	~4	~4	~0,5	~13	~15
Složka	Popel	Celulóza	Lignin	Tuky	Pigmenty	Těkavé látky	
Obsah [hmotnostní procenta]	~5	~7	~6	~3	~0,5	0,01-0,02	

Tabulka 1 - Chemické složení čaje (15)

Prvek	Obsah [hmotnostní procenta]	Prvek	Obsah [ppm]
Uhlík	49,34	Fosfor	3802
Kyslík	39,6	Síra	3443
Dusík	7,89	Draslík	2829
Vápník	1,31	Křemík	2020
		Železo	1564
		Hliník	1405

Tabulka 2 - Prvkové složení čaje (17)

Káva obsahuje z větší části sacharidy, lipidy a lipofilní látky a bílkoviny. Dále se v ní vyskytují různé kyseliny (například kyselina chlorogenová), voda, kofein a ostatní látky. (15) Stejně jako čaj je i káva z téměř padesáti procent tvořena uhlíkem. Obsahuje také velké množství kyslíku a vodíku. (18)

Složka	Voda	Bílkoviny	Lipidy a lipofilní látky	Sacharidy	Popel	Kofein	Kyseliny	Vonné látky
Obsah [hmotnostní procenta]	3	9	13	30,3	4	1,2	4,82	0,1

Tabulka 3 - Chemické složení kávy (15)

Prvek	Obsah [hmotnostní procenta]
Uhlík	48,21
Kyslík	45,81
Vodík	5,61

Tabulka 4 - Prvkové složení kávy (18)

3. Sorbenty

Jako sorbent se označuje materiál, který je schopen shromažďovat molekuly sorpcí, probíhá tedy proces, při kterém jedna látka zadržuje látku druhou. Sorpce může probíhat adsorpcí nebo absorpcí. (19)

3.1. Adsorpce

Adsorpce je schopnost, kterou mají všechny pevné látky. Dá se definovat jako adheze (tzn. přilnavost) chemické látky na povrch jiné látky. Do tohoto povrchu však patří také vnitřní plochy, například póry. Vysoce porézní látky jsou tak skvělými adsorbenty. Existují dva základní druhy adsorpce – fyzikální a chemická. Fyzikální adsorpce funguje na základě slabých elektrostatických přitažlivých sil mezi molekulami (neboli Van der Waalových vazeb). K chemické adsorpci dochází obvykle při vyšších teplotách a často je k jejímu provedení potřeba aktivační energie. Adsorbenty lze také dělit na konvenční a nekonvenční. Mezi konvenční řadíme komerčně využívané adsorbenty (například aktivní uhlí), mezi nekonvenční pak ty, které jsou složeny z přirozeně se vyskytujících materiálů, jako jsou například bakterie, řasy a houby. Výhodou nekonvenčních adsorbentů je jejich nízkonákladovost. V případě, že se jedná i o odpadní materiál, je přínosem také použití materiálu, který by se jinak likvidoval. Takováto recyklace materiálu má pozitivní dopad jak z ekologického hlediska, tak i z hlediska ekonomického (likvidací by vznikaly pouze náklady). (20) (21) (22) (23)

V průmyslu je často využívaným adsorbentem aktivní uhlí. Používá se k odstraňování těkavých organických sloučenin, které vznikají během různých průmyslových procesů, jako je například povlakování nebo chemické zpracování. Adsorpce pomocí aktivního uhlí také nachází uplatnění při čištění podzemních vod nebo při odstraňování chloru z užitkové vody. (24) (25)

3.2. Absorpce

Při absorpci látka proniká až do vnitřku krystalů, bloků amorfních pevných látek nebo kapalin. Základním rozdílem mezi absorpcí a adsorpcí je tedy to, že při absorpci jsou molekuly látkou pohlceny, zatímco při adsorpci zůstávají na povrchu. U absorpce také rozlišujeme mezi fyzikální a chemickou. Fyzikální absorpce je nereaktivní proces, který závisí na fyzikálních vlastnostech látky jako je například rozpustnost, teplota a tlak. V případě chemické absorpce musí dojít k chemické reakci. Často je prováděna za vysokých teplot nebo tlaků. (21) (26) (27)

Absorpce také nachází využití v různých odvětvích průmyslu, například v chemickém (zachycení kyselých plynů – př. chlorovodík), potravinářském (eliminace produkovaných pachových látek) nebo při zachycování výparů během pokovování. Nejdůležitější aplikací je zachycování SO₂ v elektrárnách. (24)

3.3. Biosorbenty

Jako biosorbent můžeme označit biologickou látku, která má schopnost zadržovat molekuly látky jiné. Mezi nejčastěji využívané biosorbenty patří bakterie, houby a řasy. V poslední době se jako sorbenty těžkých kovů využívají i odpadní látky z potravinářského a zemědělského průmyslu, například skořápky z vajec, stonky ze slunečnic nebo již dříve zmiňované čajové lístky a káva. (28)

3.3.1. Čajové lístky jako biosorbent

Výhodou využití čajových lístků jako biosorbentu je jejich snadná dostupnost a nízké náklady. Z prvků obsažených v čajových lístcích a kávovém lógru je jako sorbent nejlépe využitelný uhlík. Je to zejména díky jeho pórovité struktuře. Pro zvýšení efektivity sorpce může surovina před použitím projít několika procesy. Prvním z nich je aktivace, která způsobí rozšíření pórů. Aktivace obecně označuje proces, který připravuje materiál na následující reakci. Jedná se o vratný děj, při kterém se chemický nebo fyzikální stav molekuly prakticky nemění. Výsledný stav však usnadňuje provedení specifické chemické reakce. Aktivace může být fyzikální či chemická, případně jejich kombinace. V případě čajových lístků se preferuje aktivace chemická. Jejimi výhodami jsou zejména jednoduchost provedení a nižší potřebná teplota. Jako aktivační činidla mohou být využívány hydroxidy (např. hydroxid draselný), kyseliny (například kyselina fosforečná nebo kyselina sírová) i jejich soli (uhličitan draselný nebo chlorid zinečnatý). Druhým procesem je odstranění neuhlíkatých částic neboli karbonizace. (29) (30) (31) (32)

4. Uhlík a jeho modifikace

Uhlík je šestým nejzastoupenějším prvkem ve vesmíru. V přírodě se vyskytuje jako součást velkého množství organických látek. (33) Při pokojové teplotě se nachází v pevném skupenství. Jeho vlastnosti se mění v závislosti na formě, ve které se vyskytuje. Mezi jeho alotropické modifikace patří diamant, grafit, chaoit (bílý uhlík), lonsdaleit, fullereny, uhlíkové nanotrubicce, grafen, graphyn, graphdiyn, lesklý uhlík, amorfni uhlík nebo aktivní uhlí. (34)

4.1. Diamant

Diamant má kubickou plošně centrovanou krystalovou mřížku, chemicky je inertní, nereaguje ani se silnými kyselinami a zásadami. Má vyšší hustotu než grafit, je proto možné vyrábět umělé diamanty z grafitu pomocí vysokého tlaku. Grafit se rozpustí v tavenině železa a za vysokého tlaku krystalizuje. Železo je rozpuštěno v kyselině a výsledným produktem je syntetický diamant. Tyto syntetické diamanty mají velikost od 0,05 do 0,5 mm a využívají se jako brusný materiál, v rezných plátcích nebo jako leštící prášky. Přírodní diamanty se těží v Jižní Africe, Brazílii, Rusku a Indii a využívají jako brusný materiál nebo v optice. Pro aplikace v optice jsou uplatňovány nejkvalitnější diamanty. Zhruba 80 % vytěžených diamantů je využito v průmyslu, kde se využívá jejich tvrdosti a tepelné vodivosti, a to zejména pro řezání a broušení. Další možnou aplikací diamantu je výroba PN přechodů v polovodičích. (34) (35) (36)

4.2. Grafit

Grafit má hexagonální mřížku, je složen ze šesti-uhlíkatých cyklů, které tvoří roviny. Tyto roviny jsou vzájemně spojené van der Waalsovými vazbami. Grafit je velmi měkký, štěpí se již nízkým tlakem a má nízkou hustotu. Na druhou stranu je odolný proti teplu (zhruba do 700 °C) a netečný při kontaktu s téměř jakýmkoli materiálem. Využívá se jako černý pigment, tuha do obyčejných tužek, pro vysokoteplotní aplikace, pro výrobu elektrod suchých článků, jako moderátor v atomových reaktorech nebo jako mazivo. (34) (37) (38)



Obrázek 1 – Diamant (39)



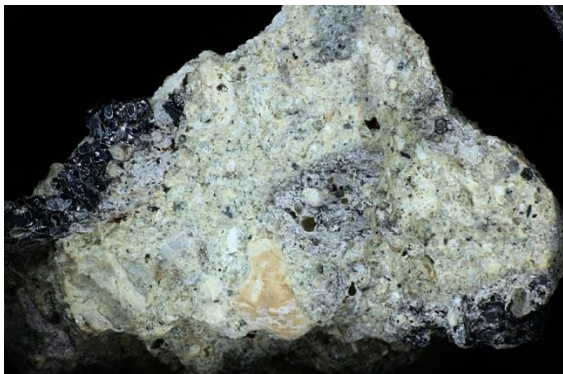
Obrázek 2 - Grafit (40)

4.3. Chaoit

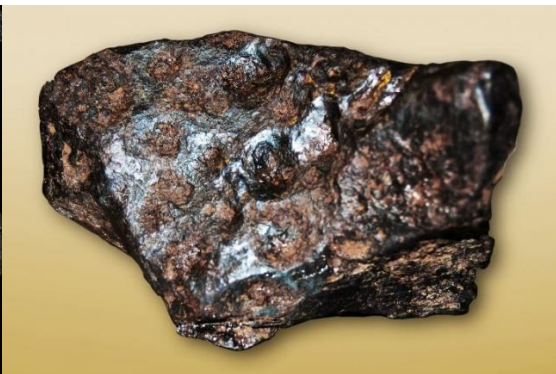
Chaoit (neboli bílý uhlík) byl poprvé nalezen v Bavorsku na konci 20. století. Je tvrdší než grafit, jeho barva je šedá až bílá. Vzniká při nárazech meteoritů, je možno ho připravit i uměle, a to sublimací grafitu. (34) (41) (42)

4.4. Lonsdaleit

Lonsdaleit (neboli hexagonální diamant) má hexagonální mřížku. V přírodě vzniká transformací grafitu při nárazech meteoritů. Jeho výroba je možná za vysokého tlaku a vysokých teplot. Podle některých studií by mohl mít lepší mechanické vlastnosti (například pevnost v tlaku a tvrdost) než kubický diamant. (34) (43)



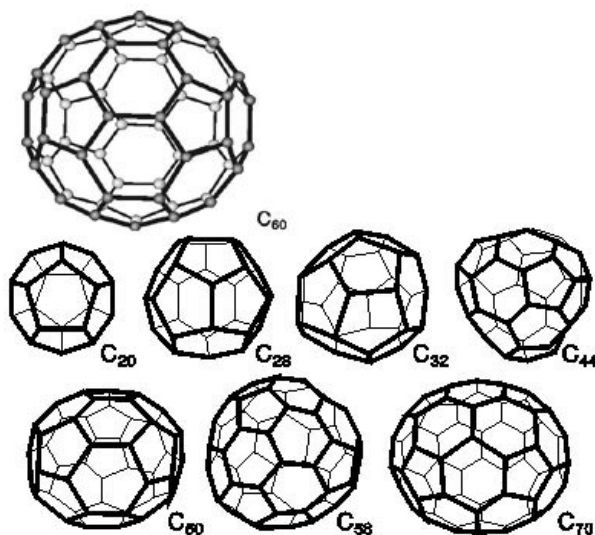
Obrázek 3 – Chaoit (44)



Obrázek 4 – Lonsdaleit (45)

4.5. Fullereny

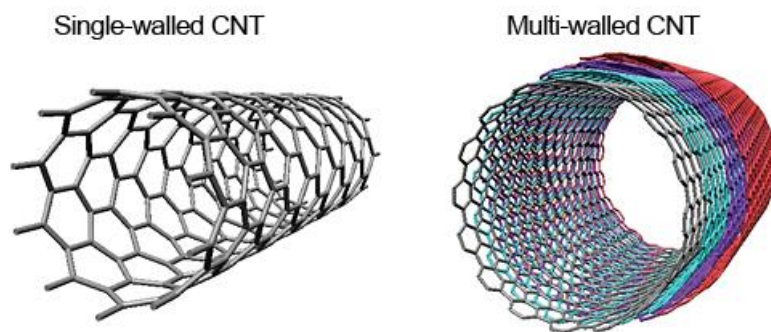
Fullereny jsou tvořené pětičlennými a šestičlennými uhlíkovými cykly, které jsou prostorově svinuty do uzavřeného tvaru – nejčastěji kulového nebo elipsoidního. Mohou být uspořádány i do tvaru trubic, pak tvoří tzv. uhlíkové nanotrubic. Do dutiny molekuly fullerenu lze uzavřít atomy, čímž můžeme ovlivňovat jejich vlastnosti. Fullereny jsou obecně díky své struktuře odolné vůči vnějším fyzikálním vlivům a mají tak uplatnění v mnoha oborech, například v mechanice, strojírenství, stavebnictví, elektronice nebo i medicíně. (34) (46) (47)



Obrázek 5 - Struktura fullerenů (34)

4.6. Uhlíkové nanotrubic

Uhlíkové nanotrubic patří mezi fullereny. Mají válcovou strukturu a mohou být jednovrstevné (SWCNT – „single-walled carbon nanotubes“) nebo vícevrstevné (MWCNT – „multi-walled carbon nanotubes“). Mezi molekulami jsou silné chemické vazby, navíc mají nanotrubic sklony vázat se k sobě navzájem pomocí van der Waalsových sil. Tento materiál tak má vysokou pevnost, nízkou hmotnost a je elektricky vodivý, což ho činí vhodným pro aplikaci v mnoha oborech, například v elektrotechnice, fotonice, nanomedicíně nebo biotechnologii. (34) (48)

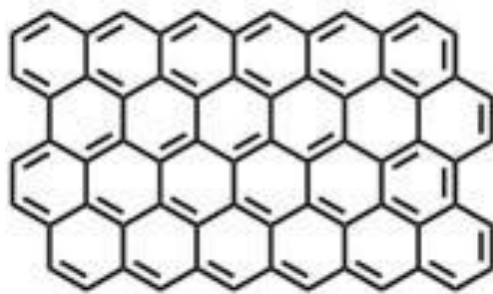


Obrázek 6 - Struktura jednovrstevné (vlevo) a vícevrstevné (vpravo) nanotrubic (49)

4.7. Grafen

Grafen má strukturu podobnou grafitu, je však tvořen pouze jednou vrstvou hexagonálně uspořádaných uhlíkových atomů. Je chemicky stabilní, dobře vede elektrický proud i teplo a

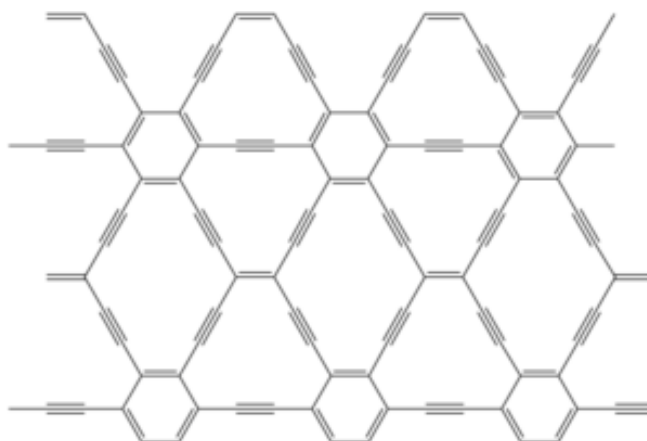
má vysokou pevnost a nízkou hmotnost. Mohl by tak být vhodným materiálem pro výrobu elektrických kabelů a elektrod. (50)



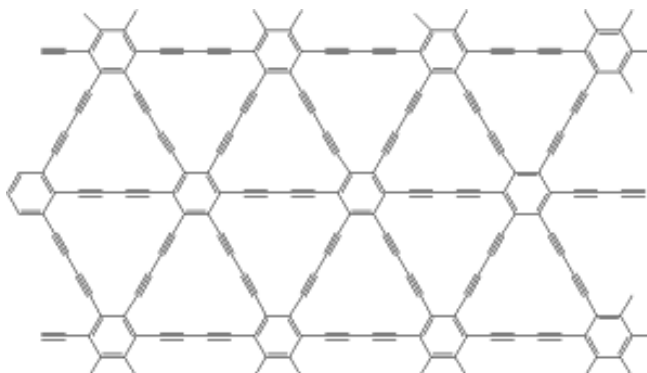
Obrázek 7 - Struktura grafenu (51)

4.8. Graphyn a graphdiyn

Strukturu graphynu tvoří monoatomická vrstva atomů uhlíku uspořádaných v krystalické mřížce. Graphdiyn má podobnou strukturu jako graphyn, obsahuje však dvě acetylenické vazby. Do budoucna by tyto materiály mohly být využívány například pro výrobu nanovláken, tranzistorů nebo vodičů. (52)



Obrázek 8 - Struktura graphynu (34)

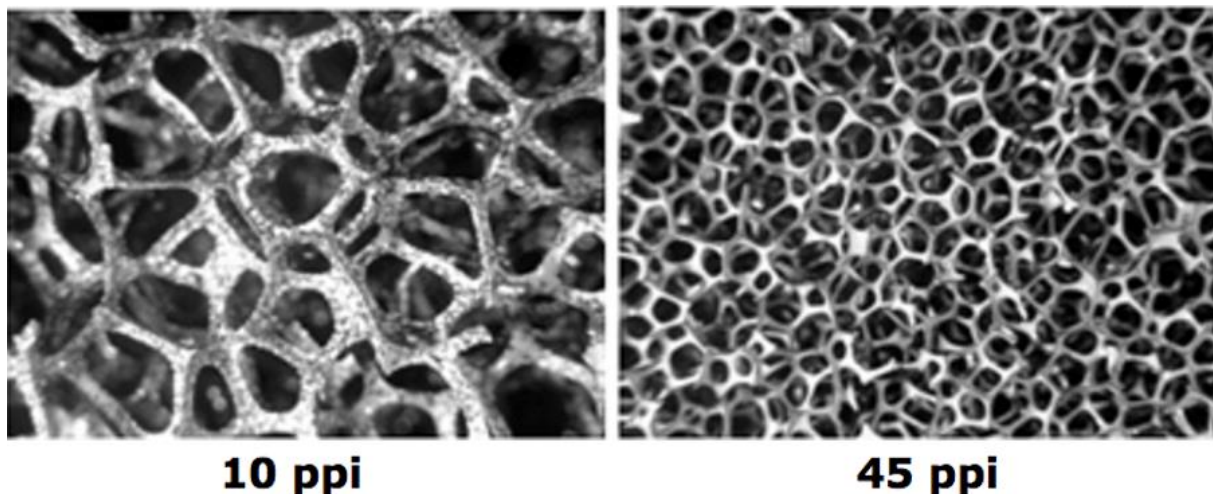


Obrázek 9 - Struktura graphdiynu (34)

4.9. Lesklý uhlík

Lesklý uhlík je tvořen spleť grafitických pásků, které se skládají z několika grafenových vrstev. Tuto strukturu lze brát jako přechodnou formu mezi tzv. amorfni formou uhlíku a grafitem.

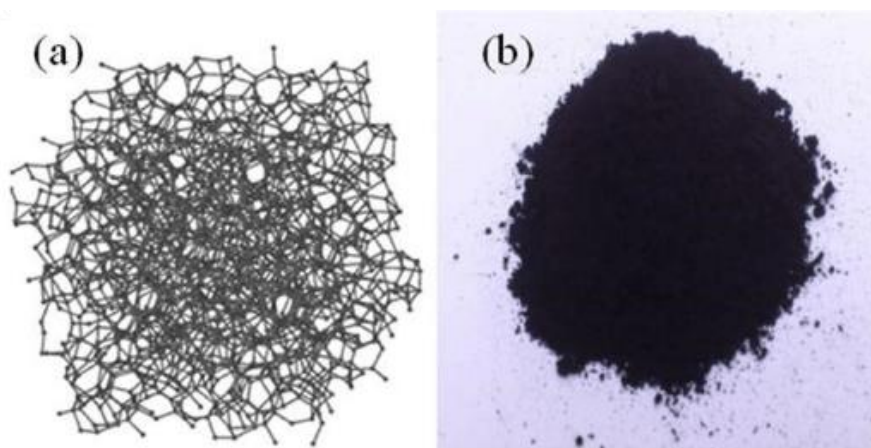
Materiál má vysokou poróznost, což lze odvodit z jeho nízké hustoty. Vlastnosti lesklého uhlíku úzce souvisí s jeho strukturou. Jelikož je jeho struktura uspořádána náhodně, jedná se o materiál s vysokou izotropií strukturních a fyzikálních vlastností. Výroba lesklého uhlíku se skládá ze dvou částí, a to z vytvarování pomocí prekurzorů a z karbonizace. Prekurzor označuje sloučeninu (výchozí látku), ze které chemickou přeměnou vzniká výsledný produkt. Karbonizace vytvarovaného výrobku probíhá pomalým ohřevem v redukční nebo inertní atmosféře. Během karbonizace dochází k hmotnostním a objemovým ztrátám, a to kvůli odstranění neuhlíkových součástí. Výsledný materiál je tak prakticky čistý uhlík. (53) (54) (55)



Obrázek 10 - Struktura lesklého uhlíku (56)

4.10. Amorfni uhlík

Jako amorfni obecně označujeme látky, které mají úplně neuspořádané polohy atomů, molekul či iontů. Atomy amorfniho uhlíku jsou paralelně uspořádány do amorfniých šestičlenných cyklů, které jsou promíchány s různými krystalickými grafitickými strukturami. Struktura je tvořena z atomů hybridizace sp^2 (vázané se 3 sousedními atomy) a sp^3 (vázané se 4 sousedními atomy). Jejich poměr se liší v závislosti na metodě a podmínkách vzniku, což má za důsledek různé vlastnosti materiálu. Hybridizace sp^2 se vyznačuje pórovitou strukturou a velkým povrchem. Nachází tak využití jako adsorbenty. Forma sp^3 má vysokou tvrdost a lze ji využít jako izolant, například v elektronice. (57) (58) (59)



Obrázek 11 - Nekrystalická struktura amorfniho uhlíku (a) a jeho makroskopický vzhled (b) (60)

4.11. Aktivní uhlí

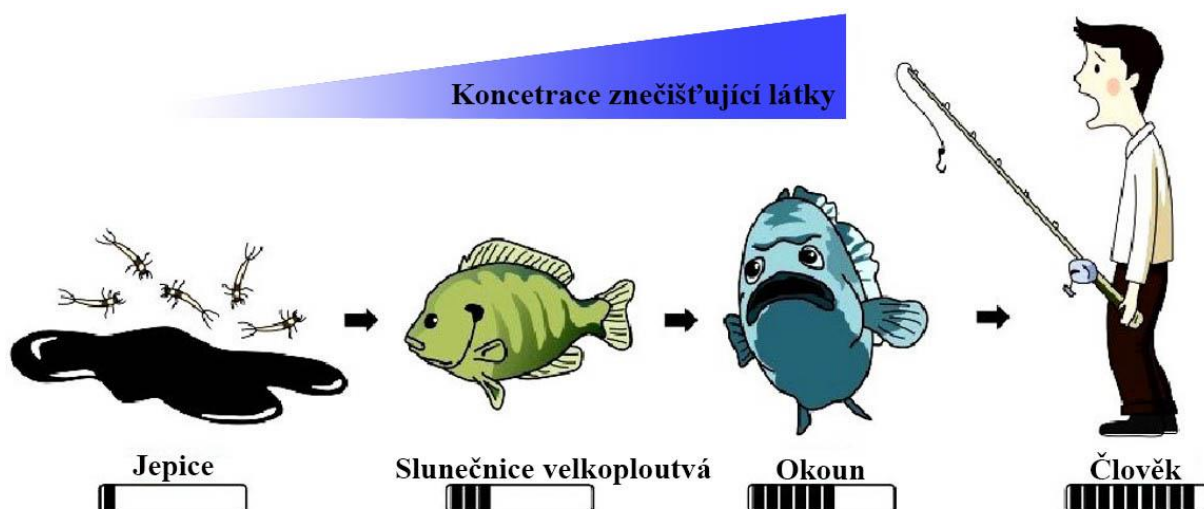
Další z forem uhlíku je aktivní neboli adsorbční uhlí. Molekulární struktura je podobná struktuře grafitových destiček, hexagonální kruh je však často přerušen. Aktivní uhlí je pórovité, má tedy velký vnitřní povrch. Obecně lze póry dělit dle jejich průměru na tři skupiny – mikropóry (poloměr menší než 1 nm), mezopóry (poloměr 1-25 nm) a makropóry (poloměr větší než 25 nm). V případě aktivního uhlí se jedná především o mikropóry. Díky svým adsorbčním schopnostem má široké využití v lékařství a průmyslu, například při výrobě vody nebo ochranných pomůcek. (61) (62)

Jednou z forem aktivního uhlí je aktivní uhlík. Vyznačuje se vysokou chemickou čistotou, je chemicky netečný a elektricky vodivý. Jeho využití je především v zdravotnictví, například jako obvazový materiál. (63) (64)

5. Znečištění vodních útvarů

Kvalitu vodních zdrojů ovlivňuje mnoho faktorů, mezi které patří například ekonomické aktivity, populační růst nebo urbanizace. Nejvyšší tlak na životní prostředí způsobený průmyslovou činností je v místech, kde se nachází chemické nebo kovozpracující závody a elektrárny. V Evropě je pouze okolo 38 % vodních útvarů v dobrém stavu s ohledem na množství chemických látek v nich obsažených. (65)

Znečištění vody negativně ovlivňuje funkci ekosystémů. Ty fungují na základně vzájemně propojených sítí zvířat, rostlin, bakterií a hub. Jsou tak citlivé i na malé změny v prostředí a v případě narušení kteréhokoliv prvku (organismu) vzniká řetězová reakce a může dojít až k zániku celého ekosystému. Chemikálie ve vodě také podporují růst řas, které se hromadí na vodní hladině. Velké množství řas ucpává rybí žábry a bakterie, které na těchto řasách rozmnožují, výrazně snižují množství kyslíku ve vodě, což má vliv na vodní ekosystém. Vzniká nedostatek kyslíku pro zvířata i rostliny a tvoří se tzv. mrtvé zóny, které jsou prakticky bez života. Znečištěná voda obecně ohrožuje život zvířat, a to nejen těch vodních. Jedním z projevů jsou úmrtí způsobená přímo konzumací otrávené vody, dalším například tuhé odpady (plastové sáčky, plechovky) nacházející se ve vodě, které mohou zranit zvířata mnoha způsoby, například udušením nebo uškrcením. Dochází také k narušování potravního řetězce tím, že znečišťující látky z vody zkonzumují drobní vodní živočichové (např. jepice), kterými se živí malé ryby (např. slunečnice velkoploutvá). Ty jsou potravou pro větší ryby (např. okoun), které pak konzumují lidé. Tím se nebezpečné látky akumulují v organismech ve stále větším množství (viz Obrázek 13). Pro člověka může být v některých případech nebezpečné i pouhé koupání se v těchto vodách. Při kontaktu s vodou kontaminovanou odpadními vodami se mohou projevit různé zdravotní problémy, jako jsou vyrážky, infekce dýchacích cest nebo hepatitida. (66) (67) (68) Jedním z prvků, které mají vliv na stav vody je vypouštění průmyslových odpadních vod do vodních toků.



Obrázek 12 - Akumulace nebezpečných látek způsobená potravním řetězcem (69)

5.1. Průmyslové odpadní vody

Jako odpadní vodu můžeme označovat jakoukoliv vodu, která má sníženou kvalitu v důsledku toho, že prošla jakýmkoli výrobním procesem. To může být způsobeno různými rozpuštěnými i nerozpuštěnými látkami, ale třeba také změnami teploty. (65) Podle Organizace spojených národů se 80 % odpadních vod vrací zpět do přírody bez toho, aby byly nějakým způsobem čištěny nebo opětovaně použity (v některých rozvojových zemích to je až 95 %). (68)

Většina procesů v průmyslové výrobě nemůže probíhat bez produkce odpadních vod jakéhokoli druhu. Správné čištění těchto vod je důležité jak z hlediska environmentálního, tak ekonomického. Průmyslové odpadní vody obsahují různé organické i anorganické látky včetně těch které nejsou biologicky rozložitelné. Jejich čištění se tak stává složitým procesem, který se skládá z několika kroků. Metody čištění lze dělit do tří základních kategorií, a to na fyzikální, chemické a biologické. Mezi fyzikální řadíme ty metody, které odstraňují látky bez toho, aniž by se měnila jejich struktura. Patří sem například sedimentace nebo filtrace. Pod chemické metody spadají ty, při kterých dochází k výměně nebo sdílení elektronů mezi atomy. Patří sem například oxidace nebo redukce. Biologické metody využívají živé organismy, pro které jsou nežádoucí látky obsažené ve vodě potravou. (70)

Různá odvětví průmyslu produkují odlišné množství a typy odpadních vod. Obecně se však dají určit hlavní skupiny znečišťujících látek, mezi které patří anorganické látky (převážně chloridy, kyanidy, fluoridy, dusík a fosfor), organické sloučeniny chloru (například chloroalkany, dichlormethan, dioxiny a furany), jiné látky vznikající činností člověka (například toluen, naftalen, benzen a fenoly) a těžké kovy (arsen, kadmium, chrom, měď, olovo, rtuť, nikl a zinek). (65)

6. Těžké kovy

6.1. Těžké kovy obecně

Pro pojem „těžké kovy“ neexistuje žádná standardní definice. Ve vztahu k životnímu prostředí a s ohledem na problematiku jejich odstraňování z něj můžeme jako těžké kovy chápat kovové

chemické prvky, které mají relativně vysokou hustotu a jsou toxické již při nízkých koncentracích. Radíme mezi ně například rtuť, kadmium, arzen, zinek, měď, nikl nebo olovo. Přirozeně se nachází v zemské kůře. Přestože jsou některé těžké kovy (např. měď, selen nebo zinek) nezbytné pro správné fungování lidského těla, při vyšších koncentracích jsou pro zdraví škodlivé a mohou vést k otravě. Do organismů se mohou dostat například znečištěním pitné vody, z okolního vzduchu nebo potravním řetězcem. Těžké kovy jsou nebezpečné hlavně kvůli jejich tendenci k akumulaci v organismech, což zjednodušeně znamená, že se do těl živočichů i rostlin dostávají a ukládají se v nich rychleji, než jsou rozloženy nebo vyloučeny. (71) Jejich vysoká koncentrace pak může vést ke snížení mentálních funkcí (např. orientace, pozornost, paměť), narušení centrální nervové soustavy nebo poškození životně důležitých orgánů, jako jsou plíce, ledviny nebo játra. Dlouhodobé vystavení se vlivu těchto kovů pak může vést k fyzickým, svalovým a neurologickým degeneračním procesům, připomínající svým průběhem Alzheimerovu chorobu, Parkinsonovu chorobu, svalovou dystrofii a roztroušenou sklerózu. Podle některých studií mohou být těžké kovy i příčinou onkologických onemocnění. (72) Těžké kovy se v odpadních vodách nacházejí především v okolí velkých měst. Jejich množství může být ještě vyšší v oblastech, kde dříve probíhala těžba. V odpadních vodách se v největším množství nachází zinek, měď, nikl a kadmium, rtuť, chrom a olovo. (65)

6.2. Zinek

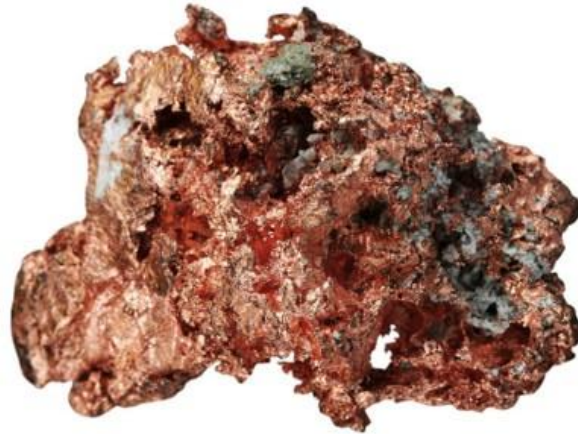
Zinek je modrobílý lesklý kov. Používá se ke galvanizaci kovů, ve slitinách s mědí (nazývají se mosazi) je dobrým elektrickým vodičem. Jeho oxidy se pak využívají například při výrobě barev, pryžových výrobků, kosmetiky, léčiv, podlahových krytin nebo elektrických zařízení. (73) Zinek se přirozeně vyskytuje ve vzduchu, vodě a půdě. Jeho koncentrace však stoupá kvůli lidským činnostem, a to převážně těžbě, zemědělství, spalování uhlí a odpadu a zpracování oceli. Přestože je stopovým prvkem nezbytným pro správné fungování lidského těla, jeho nadbytkem vzniká otrava, která se projevuje žaludečními křečemi, nevolností nebo podrážděním kůže. V extrémních případech pak může dojít i k poškození slinivky a kornatění tepen. (74) Zinek však není toxický pouze pro člověka, ale také pro jiné živočichy a rostliny. U rostlin se vysoké množství zinku projevuje zakrnutím výhonků, pokroucením a srolováním listů nebo vadnutím okrajů listů. Méně odolné rostliny mohou mít potíže s dosažením reprodukční fáze a při překročení kritické koncentrace zinku nedochází ke vzniku květů. (75) Pro vodní organismy je zinek vysoce toxický, klinické příznaky u ryb jsou obdobné jako u působení mědi – dýchací potíže a silné zahlenění těla. Dále také nepříznivě ovlivňuje žábry, játra a celkový stav organismu. (76) (77) (78) Některé výzkumy také ukazují, že následná konzumace vodních živočichů člověkem je jednou z hlavních cest, kterou se různé chemické znečišťující látky dostávají do lidského těla. (79)



Obrázek 13 – Zinek (80)

6.3. Měď

Měď je lesklý, načervenalý, tvárný a tažný kov, který dobře vede teplo a elektrinu. Je málo chemicky reaktivní a na vzduchu tvoří nazelenalý povrchový film – tzv. patinu, která povrch chrání před další oxidací. Měď se využívá pro výrobu elektrických zařízení, v různých konstrukcích (např. zastřešení a klempířství) nebo v průmyslových strojích (např. tepelné výměníky). (81) (82) (83) Přestože se měď vyskytuje v životním prostředí přirozeně, její množství se v důsledku lidské činnosti zvyšuje. Spalováním fosilních paliv se dostává do vzduchu, ze kterého se následně ukládá převážně do půdy. Také se důsledkem nedostatečného čištění odpadních vod dostává do kalu, který se ukládá na březích řek. Měď je v určitém množství nezbytná pro správné fungování lidského těla. Ve vyšší koncentraci je však škodlivá, může způsobit podráždění nosu, úst a očí, bolesti hlavy a žaludku, závratě, zvracení a průjem. V extrémních případech pak může dojít až k poškození jater, ledvin a mozku, selhání srdce nebo dokonce i ke smrti. (81) (84) V životním prostředí se měď nerozkládá a zůstává v půdě, a tak často dochází k akumulaci mědi v rostlinách a živočiších. Měď také nepříznivě ovlivňuje aktivitu půdních mikroorganismů a žížal. Dochází i k znečišťování zemědělských půd, ze kterých se vysoké koncentrace mědi dostávají do těl hospodářských zvířat. Otravami mědi jsou postižovány převážně ovce, protože u nich k otravě dochází již při malých koncentracích. (81) Toxicita mědi byla prokázána i pro vodní živočichy. U ryb má vliv na funkci enzymů, kůže tmavne a křehne, ploutve degradují a může dojít i k zánětu mozkových blan (viz Obrázek 17). Je také omezena funkce žaber a ryba se pak stává méně odolnou vůči parazitům. (85) (86)



Obrázek 14 – Měď (87)



Obrázek 15 - Vliv mědi na okouna mořského (86)

6.4. Nikl

Nikl je stříbrný kov schopný odolat korozi i při vysokých teplotách. Proto se používá k pokovování nebo k výrobě slitin, například nerezové oceli. Nikl se také nachází v bateriích a v mincích. (88) V životním prostředí se vyskytuje přirozeně, jeho koncentrace se však zvyšuje především znečištěním z průmyslových podniků zpracovávajících nikl a spalováním fosilních paliv. Míra toxicity niklu závisí na jeho množství a na formě expozice. Ohrožení je vyšší při inhalaci nebo při kožním dotyku. Nikl je pro člověka toxický i při pouhém kontaktu s pokožkou, může vznikat alergická reakce. V případě krátkodobého vystavení se působení niklu může dojit k nevolnosti, dušnosti, závratím či poruchám zraku. V případě dlouhodobé inhalace niklu mohou vznikat různá respirační onemocnění (například astma). Nikl je také řazen mezi karcinogeny, způsobuje především rakovinu plic a nosu. Podobné účinky má i na ostatní savce, napadá například i neurologické a kardiovaskulární systémy. U samců ohrožuje rozmnožovací funkci. Pro rostliny je v určitém množství nezbytný, při vyšší koncentraci však ztěžuje reprodukci a různé fyziologické procesy (například fotosyntézu). (89) (90) (91)



Obrázek 16 - Nikl (92)

6.5. Kadmium

Kadmium je bílý tažný měkký kov, který dobře odolává korozi. V přírodě se vyskytuje vzácně, v malém množství ho lze nalézt v zinkových rudách. Používá se v bateriích, mobilních telefonech, fotoaparátech, počítačích a dalších zařízeních. Díky schopnosti absorbovat neutrony se používá také v jaderných reaktorech k udržení štěpných reakcí pod kontrolou. Z těchto průmyslových aplikací se absorbuje do půdy, do organismů se pak dostává především potravou a vodou. Kadmium se ukládá v ledvinách a játrech. V případě akumulace většího množství v těle může dojít k zvracení, rakovině či poškození reprodukčního, imunitního nebo centrálně nervového systému. Pokud je plod v prenatálním období vystaven kadmiu a jiným těžkým kovům, dochází k alternaci DNA. Tato změna pak může způsobit vyšší náchylnost k obezitě, která vede k dalším onemocněním, například cukrovce nebo kardiovaskulárním onemocněním. K otravě kadmiem jsou náchylní také vodní živočichové, zejména ti sladkovodní (například ryby, krevety nebo humři). Problematické je kadmium i pro organismy žijící v půdě, například žížaly. Ty jsou velice citlivé na otravu tímto kovem a může tak docházet k narušení celého půdního ekosystému. (93)



Obrázek 17 – Kadmium (94)

7. Možnosti odstraňování těžkých kovů z odpadních vod

Znečištění odpadních vod těžkými kovy je nebezpečné pro člověka a jiné živočichy i pro rostliny. Většina z těchto prvků se v půdě ukládá a čím více se akumulují, tím jsou jejich dopady na životní prostředí větší. Z tohoto důvodu je jejich odstraňování velmi důležité. Existuje mnoho metod, kterými toho lze dosáhnout. Mezi ně patří například chemická precipitace, iontová výměna, elektrochemické čištění, sorpce nebo membránová filtrace. Většina těchto metod je však nákladná, a to jak z hlediska nákladů pořizovacích, tak nákladů provozních. Proto je výhodné využití sorbentů z odpadních materiálů, jako je například biomasa nebo čajové lístky. Tento způsob je nízkonákladový a snadný na provedení. (95)

8. Použité chemikálie, technika a experimentální metody

7.1. Použité chemikálie

Destilovaná voda

Chlorid zinečnatý (bezvodý čistý, CHEMAPOL, Praha)

7.2. Použitá laboratorní a analytická technika

Mikrovlnná trouba

Byla použita speciálně upravená mikrovlnná trouba Panasonic NN-GD369M. K této troubě je přidělán chladič, který současně umožňuje odpařování kapaliny. Maximální výkon mikrovlnné trouby je 850 Wattů, maximální příkon 1800 Wattů.



Obrázek 18 - Speciálně upravená mikrovlnná trouba s chladičem

Sušárna

Pro sušení vzorků byla použita elektrická sušárna KBC G-100/250 (PREMED, Polsko). Maximálně v ní lze dosáhnout teploty 250 °C.



Obrázek 19 – Sušárna

Váha

Vážení probíhalo na váze MXX-412 (Denver Instrument) s přesností 0,01 g.

Laboratorní pec Linn High Therm HK 30

Pro karbonizaci byla použita laboratorní pec Linn High Therm HK 30 s maximální teplotou 1340 °C. Teplotu lze nastavit pomocí regulátoru CLARE 4.0.



Obrázek 20 - Laboratorní pec Linn High Therm HK 30

Laboratorní pec 018LP

Dále byla pro výpaly použita laboratorní pec 018LP s maximální teplotou 1200 °C. Objem této pece je 2,7 litru. Pec lze nastavit programovatelným regulátorem HTH8. Do této pece byl dodatečně udělán průchod pro možnost vložení křemenných korundových trubek.



Obrázek 21 - Laboratorní pec 018LP

Elektronový mikroskop

Pozorování probíhalo na dvou skenovacích elektronových mikroskopech. Prvním z nich byl PHILIPS XL-30 ESEM se zvětšením 10x – 100 000x. Za optimálních pozorovacích podmínek má rozlišení 3,5 nm. (96) Druhým použitým mikroskopem byl SEM-FIB CrossBeam Auriga se zvětšením 12x – 1 000 000x. Jeho rozlišení je až 1 nm. (97)

Spektrometr Nicolet Avatar 360

Infračervené spektrum bylo měřeno technikou FTIR pomocí spektrometru Nicolet Avatar 360 s ATR osazeným zink-selenidovým krystalem v rozmezí vlnočtů od 3500 cm⁻¹ do 600 cm⁻¹.

Termogravimetrický analyzátor Q500

Úbytek hmoty v závislosti na teplotě byl měřen na termogravimetrickém analyzátoru TA Instruments Q500. Přesnost měření toho přístroje je ±0,01 %.

7.3. Použité experimentální metody

7.3.1. Karbonizace

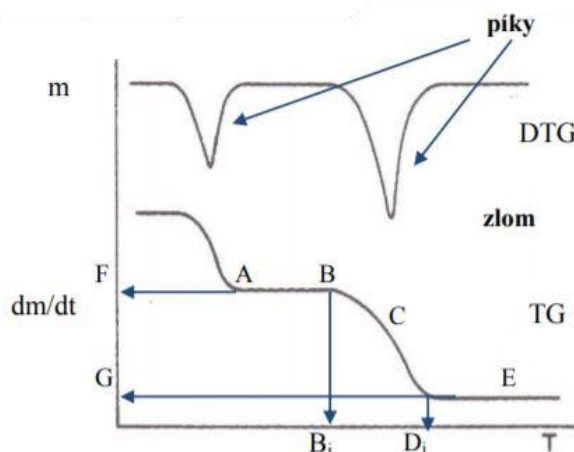
Jako karbonizace se označuje pyrolytický proces, při kterém z organického materiálu vznikají produkty s vysokým obsahem uhlíku. Pyrolytický proces je děj, při kterém je materiál tepelně zpracován, a to v inertní atmosféře, tzn. bez přístupu kyslíku, vzduchu nebo jiných látek. Při karbonizaci tak nedochází ke spalování materiálu. Výše použité teploty rozhoduje o stupni karbonizace a o množství uhlíku ve výsledném produktu. Při teplotách okolo 1300 °C je výsledný produkt tvořen uhlíkem z více než 99 %. Během karbonizace současně probíhá mnoho chemických reakcí jako je dehydrogenace, kondenzace a izomerizace. (98) (99) Při

dehydrogenaci dochází k odstranění vodíku z organické sloučeniny, přičemž vzniká nový materiál. Kondenzace je chemický proces, při kterém se hmota mění z plynného skupenství na kapalné. Izomerizace označuje děj, při kterém má reaktant stejné chemické složení jako výsledný produkt, uspořádání atomů je však rozdílné.

7.3.2. Termická analýza

Pojem termická analýza označuje soubor metod, při kterých se sleduje určitá vlastnost vzorku v závislosti na čase nebo teplotě. Analýza probíhá v konkrétně definované atmosféře a za řízené změny teploty. Mezi metody použité v této práci patří termogravimetrie (TG) a derivační termogravimetrie (DTG). Termogravimetrie je základní metodou termické analýzy a je při ní sledována změna hmotnosti analyzovaného vzorku v závislosti na teplotě nebo čase. Derivační termogravimetrie je metoda odvozená od TG a je při ní sledována první derivace změny hmotnosti. Výsledná křivka tedy vypovídá o rychlosti hmotnostní změny v závislosti na teplotě.

Porovnání obou křivek je vidět na obrázku 22. Inflexní body křivky TG odpovídají píkům na křivce DTG. DTG je tak vhodná pro případy, kdy změny hmotnosti nejsou tak zřetelné a pro případy, kdy je třeba od sebe rozlišit více po sobě jdoucích změn. (100) (101)



Obrázek 22 - Porovnání křivek TG a DTG (101)

7.3.3. EDX analýza

EDX (elektronová energiově disperzní rentgenová spektroskopie) je mikroanalytická metoda, s jejíž pomocí je možné stanovit chemické složení. Atomy na povrchu vzorku jsou excitovány elektronovým paprskem. Tím jsou emitovány specifické rentgenové paprsky, jejichž délka je charakteristická pro jednotlivé chemické prvky. Tento paprsek dopadá na detektor, na kterém vznikají páry elektron-díra. Jejich počet je pak úměrný energii fotonu. Tím se získává EDX spektrum, z něhož lze určit přítomnost a množství prvků, vyskytujících se na povrchu vzorku. Tato metoda je limitována hmotností prvků, nelze pomocí ní určovat lehké prvky. Tento problém lze řešit detektory s ultratenkými okénky. (102) (103) (104)

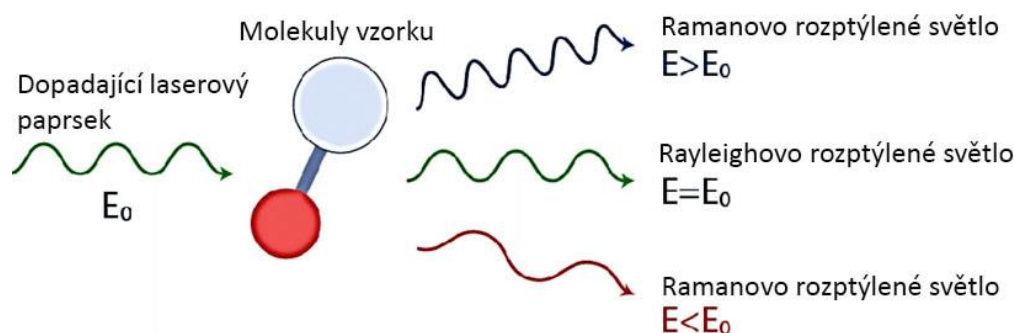
7.3.4. Infračervená spektrometrie

Infračervená spektrometrie je nedestruktivní metoda, s jejíž pomocí lze zjistit molekulovou strukturu (například druh chemických vazeb). Využívá infračervené záření, tedy záření

s vlnovou délkou přibližně 700 nm až 1 mm. Molekuly všech látek jsou vzájemně spojeny pružnými vazbami, které si lze představit jako kmitající pružiny. Tím, že materiál absorbuje záření, dochází ke změně amplitudy vibrace (kmitání) nebo rychlosti rotace molekuly. Do vzorku je postupně vysíláno záření o různém vlnočtu. Pokud se v materiálu vyskytuje vazba odpovídající dané frekvenci, molekuly se rozvibrují. Detekcí těchto vibrací pak vzniká infračervené spektrum. (105) (106)

7.3.5. Ramanova spektroskopie

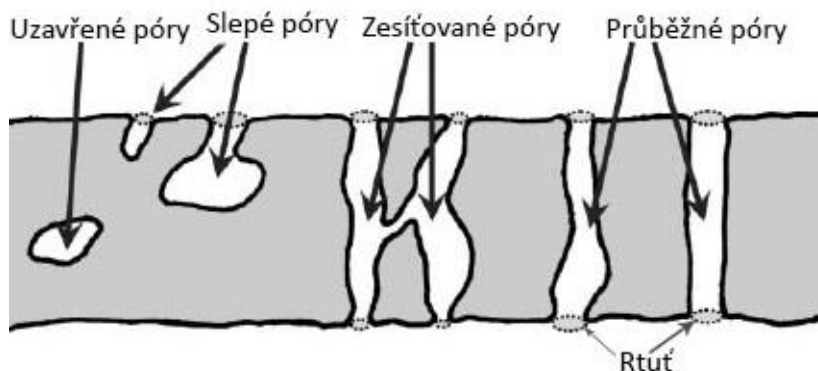
Tato metoda je založena na neelastickém rozptylu elektromagnetického záření. Poskytuje podrobné informace o chemické struktuře, fázovém složení, krystalinitě a molekulárních vazbách. Laserový paprsek dopadající na povrch se může chovat čtyřmi způsoby. Většina záření materiálem projde, část se absorbuje, další část se elasticky rozptýlí (Rayleighův rozptyl) a nejmenší část se rozptýlí neelasticky a reaguje se vzorkem (Ramanův rozptyl). Při Ramanově rozptylu dochází k energetickému posunu odraženého fotonu a tím se změní jeho vlnová délka. Tato vlnová délka je specifická pro každou molekulární vazbu, zachycením těchto odražených fotonů lze tedy určit chemické složení zkoumaného materiálu. (107) (108)



Obrázek 23 - Rozptyl laserového paprsku (109)

7.3.6. Rtuťová porozimetrie

Rtuťová porozimetrie je destruktivní metoda, s jejíž pomocí lze zjišťovat póry o velikosti od několika jednotek mikrometrů až do jednoho milimetru. Princip měření spočívá ve vtačování rtuti do vzorku za stále se zvyšujícího tlaku. Tím dochází k postupnému zaplnění pórů, od největších po nejmenší. Výsledkem měření je pak například distribuce velikosti pórů, celková porozita nebo plocha povrchu vzorku. Nevýhodou této metody je nemožnost zjištění vnitřních pórů a to, že je měřen pouze rozměr póru na povrchu vzorku, nikoliv jeho největší rozměr (viz obrázek 24). (110) (111)



Obrázek 24 - Schématické znázornění pórů (111)

7.3.7. Heliová pyknometrie

Pyknometrie se využívá k přesnému stanovení hustoty pevných látek. Vzorek o známé hmotnosti je umístěn do komory o známém objemu a je udržován při konstantní teplotě. Následně je tato komora vyplněna heliem. Výsledné rovnovážné tlaky lze pak využít pro stanovení hustoty materiálu. Tato metoda zohledňuje i existenci vnitřních pórů. Výhodou použití hélia jako měřicího plynu je malá velikost molekul, a tedy možnost měření pórů o malém průměru, a jeho inertnost. (112) (113)

9. Materiál

Jako materiál pro pokus byly zvoleny dva vzorky použitých čajových lístků. Prvním z nich byl černý čaj (BWTL – black waste tea leaves), druhým čaj zelený (GWTL – green waste tea leaves). Tyto vzorky byly nejprve několikrát propláchnuty destilovanou vodou a poté vysušeny na 110 °C.

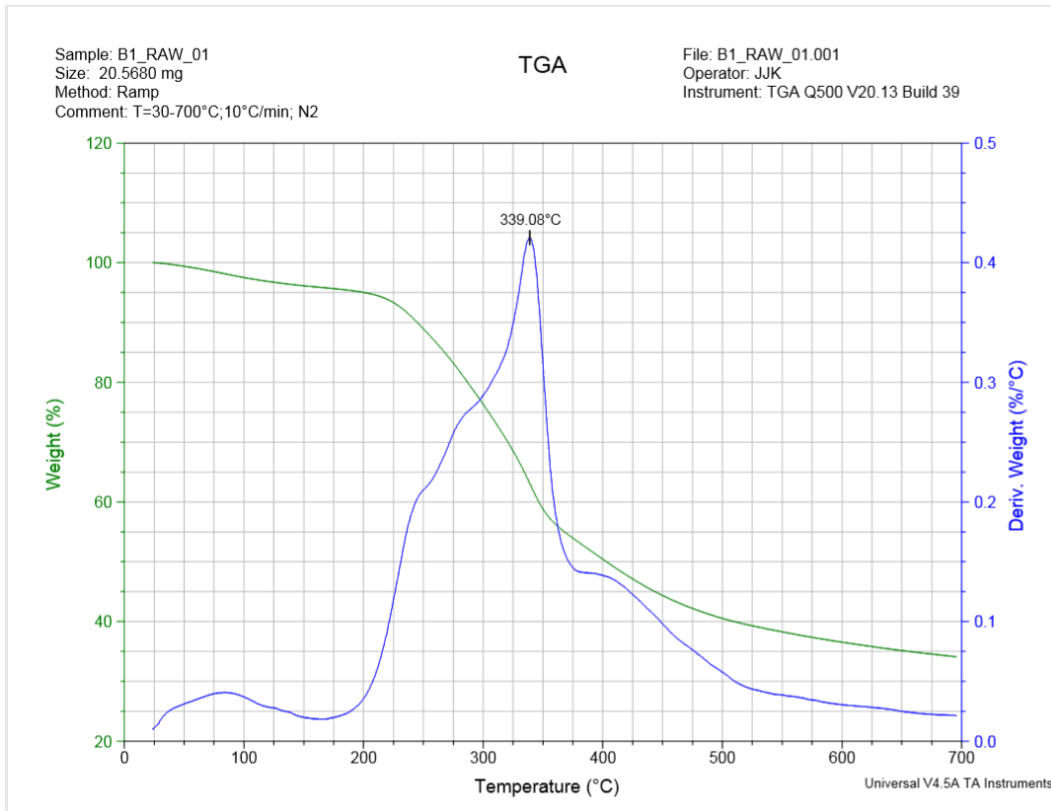
U surového materiálu byla zjišťována vlhkost na základě úbytku hmotnosti během sušení. Byly naváženy tři vzorky od každého druhu čajových lístků a ty byly sušeny při teplotě 110 °C do doby, dokud jejich hmotnost nebyla konstantní. Vlhkost byla následně spočtena pomocí vzorce

$$v = \frac{m_p - m_k}{m_k} \cdot 100 [\%],$$

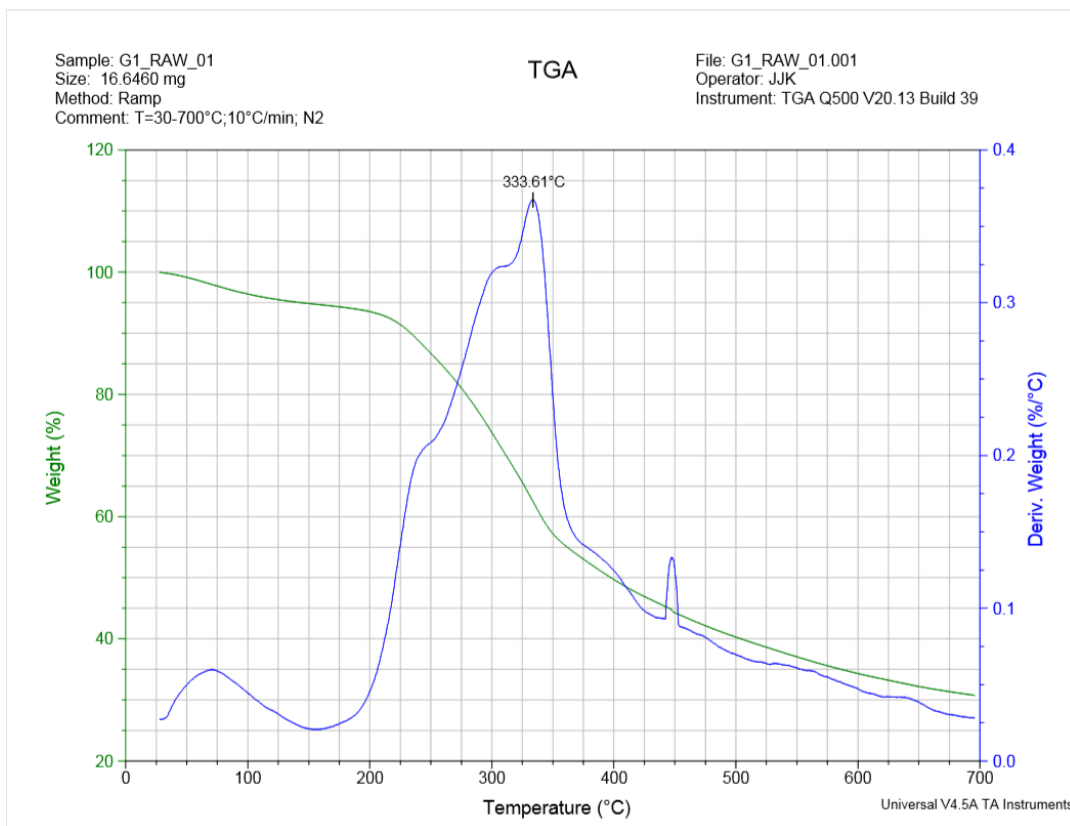
kde v je hmotnostní vlhkost vzorku v procentech. m_p počáteční hmotnost vzorku před sušením a m_k hmotnost vzorku po usušení. Pro vzorky GWTL byla průměrná hmotnostní vlhkost určena na 6,29 %, pro vzorky BWTL na 7,03 %.

10. Termická analýza

Analýza probíhala v obou případech na vzorcích v surovém stavu. Zahřívání probíhalo rychlostí 10 °C za minutu od 30 do 700 °C a v atmosféře N₂. Termickou analýzou byla zjištěna teplota, při které dochází k největšímu úbytku hmoty. Pro zelený čaj byla tato teplota určena jako 333,61 °C, pro čaj černý pak 339,08 °C. Při zahřátí na konečnou teplotu (700 °C) byl u zeleného čaje pozorován úbytek hmotnosti o necelých 70 %, u černého o cca 66 %.



Obrázek 25 - Průběh TA a TGA u černého čaje



Obrázek 26 - Průběh TA a TGA u zeleného čaje

11. Aktivace čajových lístků

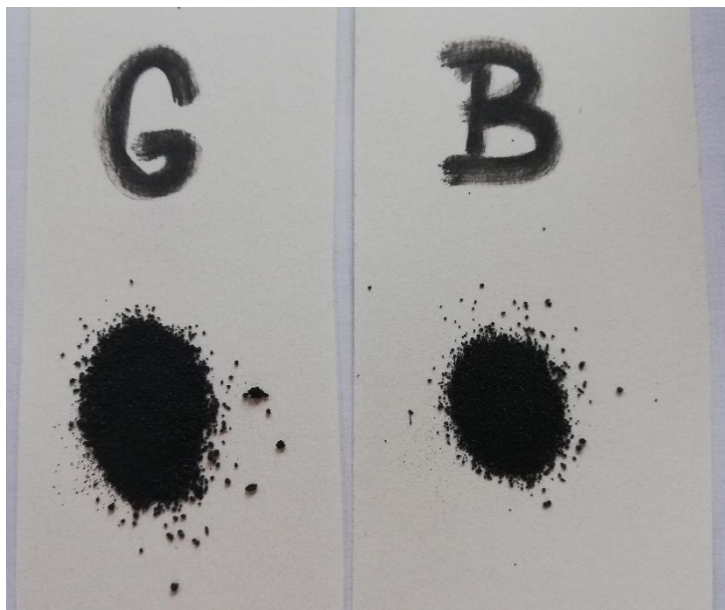
Surové čajové lístky byly aktivovány chloridem zinečnatým ($ZnCl_2$, bezvodý čistý, CHEMAPOL, Praha). Do 10 g BWTL bylo přidáno 200 ml destilované vody a 30 g $ZnCl_2$. Následně byl tento vzorek zahříván mikrovlnami po dobu 10 minut při výkonu 440 Wattů ve speciálně upravené mikrovlnné troubě s chladičem. Do 10 g GWTL bylo přidáno 250 ml destilované vody a 30 g $ZnCl_2$. Tento vzorek byl zahříván po dobu 10 minut při výkonu 600 Wattů. Po vychladnutí byly oba vzorky několikanásobně proplachovány destilovanou vodou až do odstranění stop aktivátoru. Následně byly vzorky vysušeny na 110 °C.



Obrázek 27 - Vzorky po aktivaci a propláchnutí (B – černý čaj, G – zelený čaj)

12. Karbonizace čajových lístků

Karbonizace byla provedena třemi různými způsoby. Ve všech případech byly čajové lístky aktivované chloridem zinečnatým zahřívány od 0 °C do 800 °C s gradientem 10 °C za minutu. Na nejvyšší teplotě (800 °C) pak následovala výdrž po dobu 120 minut. Chladnutí probíhalo volně. V prvním případě však karbonizace probíhala v laboratorní peci 018LP pod vakuem, ve druhém v téže peci v atmosféře N₂. Ve třetím případě pak výpal probíhal v laboratorní peci Linn High Therm HK 30 pod dusíkem.



Obrázek 28 - Vzorky po karbonizaci (G - zelený čaj, B - černý čaj)

13. Analýza karbonizovaných vzorků

EDX analýza

Na vzorcích zeleného i černého čaje vypálených v laboratorní peci 018LP pod vakuem byla provedena EDX analýza za účelem zjištění chemického složení. Měření probíhalo u obou druhů čaje na třech různých místech. Ve všech vzorcích bylo vysoké množství uhlíku, pro černý čaj byla střední hodnota 85,52 hm. %, pro čaj zelený 85,99 hm. %. Dále byl v obou vzorcích obsažen kyslík, zinek a chlor. V černém čaji se vyskytoval také sodík a draslík. V zeleném čaji pak vápník a fosfor. U vzorku černého čaje se hodnoty naměřené na místě označeném jako Black 1 od ostatních výrazně lišily. Toto místo vykazovalo menší množství uhlíku a zároveň větší množství zinku než ostatní. Jedná se tedy pravděpodobně o částici, která neprošla úplnou karbonizací a obsahovala větší množství nezreagovaného aktivačního činidla. Z tohoto důvodu nebylo toto měření počítáno do průměrných hodnot.

Vzorek	C	O	Cl	Zn	Na	K	Ostatní prvky
Black 2	84,29	6,01	3,23	2,22	0,78	0,92	2,55
Black 3	86,74	6,60	1,94	1,52	0,43	0,58	2,19
Střední hodnota	85,52	6,31	2,59	1,87	0,61	0,75	2,37
Směrodatná odchylka	1,22	0,30	0,65	0,35	0,18	0,17	

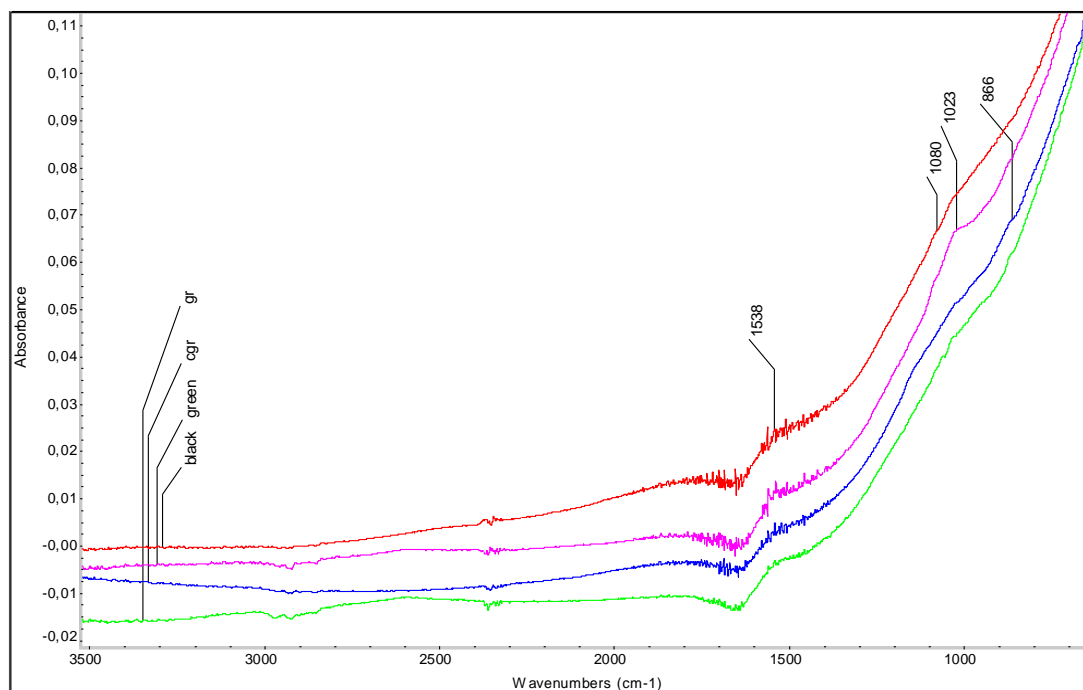
Tabulka 5 - Chemické složení karbonizovaného černého čaje v hmotnostních procentech

Vzorek	C	O	Ca	Cl	Zn	P	Ostatní prvky
Green 1	85,27	7,21	1,65	1,11	1,03	0,94	2,79
Green 2	85,96	6,02	1,37	1,34	1,76	0,59	2,96
Green 3	86,74	6,12	1,23	0,93	1,68	0,71	2,59
Střední hodnota	85,99	6,45	1,42	1,13	1,49	0,75	2,77
Směrodatná odchylka	0,60	0,54	0,17	0,17	0,33	0,15	

Tabulka 6 - Chemické složení karbonizovaného zeleného čaje v hmotnostních procentech

Infračervená spektrometrie

Na těchto vzorcích byla také provedena infračervená spektrometrie. Touto metodou nebyla prokázána existence O-H (vlnočty 3200 až 3600 cm^{-1}) ani C=O (vlnočty 1700 až 1760 cm^{-1}) vazby, což ukazuje, že ve vzorku není obsažena karboxylová skupina. Výrazné vibrace byly viditelné u vazby C=C (vlnočty okolo 1538 cm^{-1}) a C-O-C (vlnočty (1023 až 1080 cm^{-1}), slabší vibrace pak u vazby C-C (vlnočty 866 cm^{-1}).

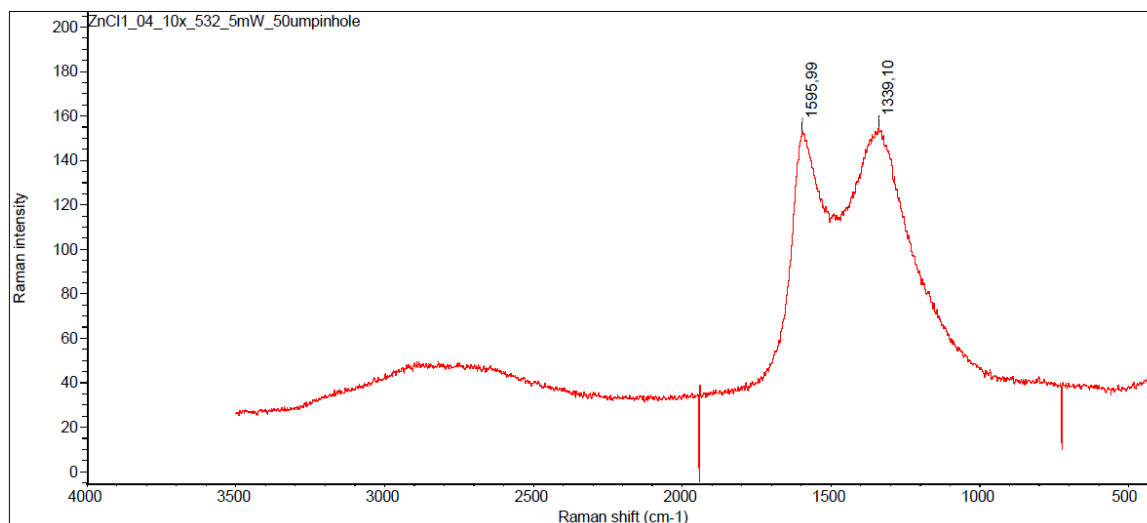


Obrázek 29 - Infračervená spektra (černý čaj je znázorněn červenou barvou, zelený čaj barvou růžovou)

Ramanova spektrometrie

Při Ramanově spektroskopii byla prokázána přítomnost obou důležitých pásem pro charakterizaci uhlíku. Ve všech spektrech lze pozorovat vysoké intenzity signálu v okolí

vlnočtů 1590 cm^{-1} a 1340 cm^{-1} . Tyto vlnočty odpovídají přítomnosti amorfního uhlíku (D-pásma, 1339 cm^{-1}) i uspořádané hexagonální struktury (G-pásma, 1595 cm^{-1}).

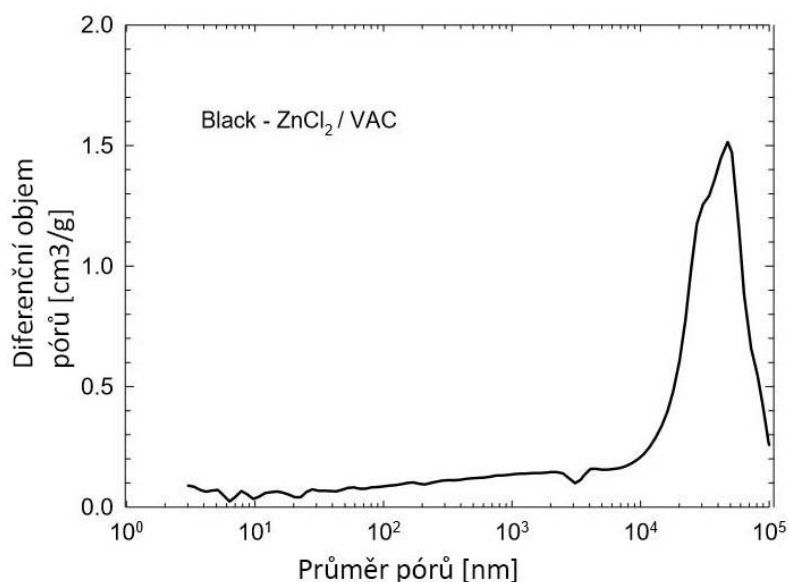


Obrázek 30 - Ramanovo spektrum

Porozimetrie a pyknometrie

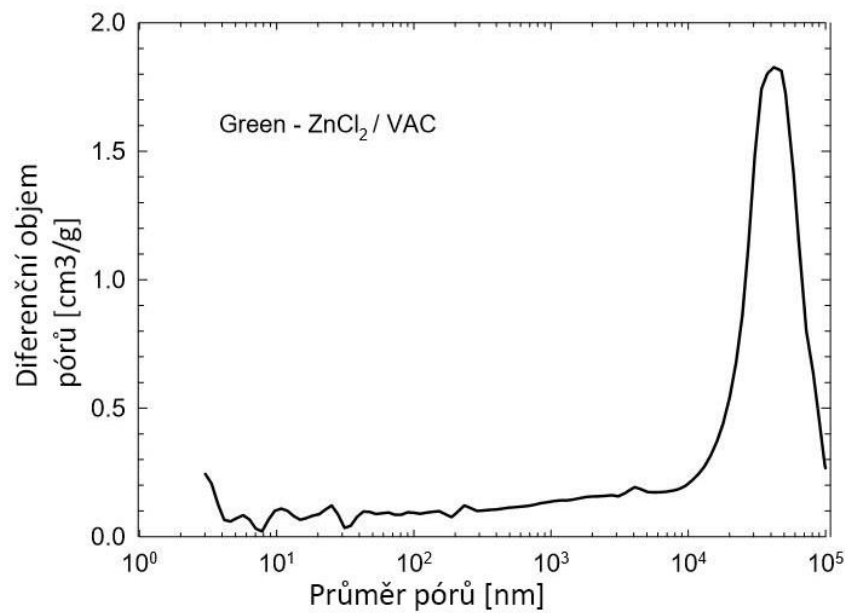
Velikost a distribuce pórů byla zjišťována rtuťovou porozimetrií a heliovou pyknometrií. Porozita zeleného čaje byla stanovena na 0,75. Porozita černého čaje byla určena jako 0,72. Ve vzorcích obou čajů se vyskytovalo nejvíce pórů o velikosti v rozmezí od 10 do 100 μm . Póry jiných velikostí se zde vyskytovaly pouze v nepatrném množství.

Rtuťová porozimetrie Distribuce pórů



Obrázek 31 - Distribuce pórů v černém čaji

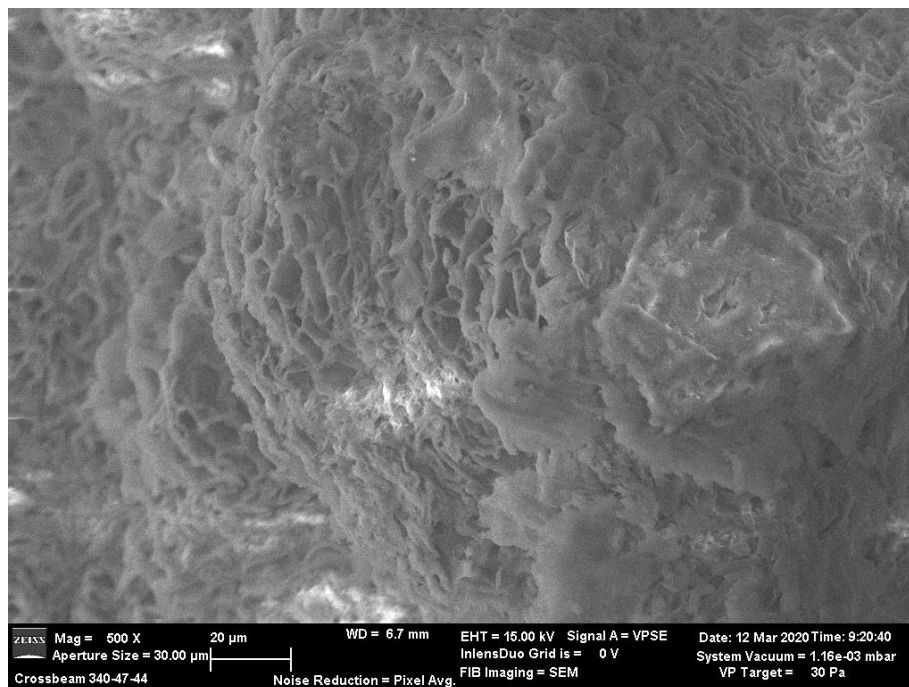
Rtuťová porozimetrie Distribuce pórů



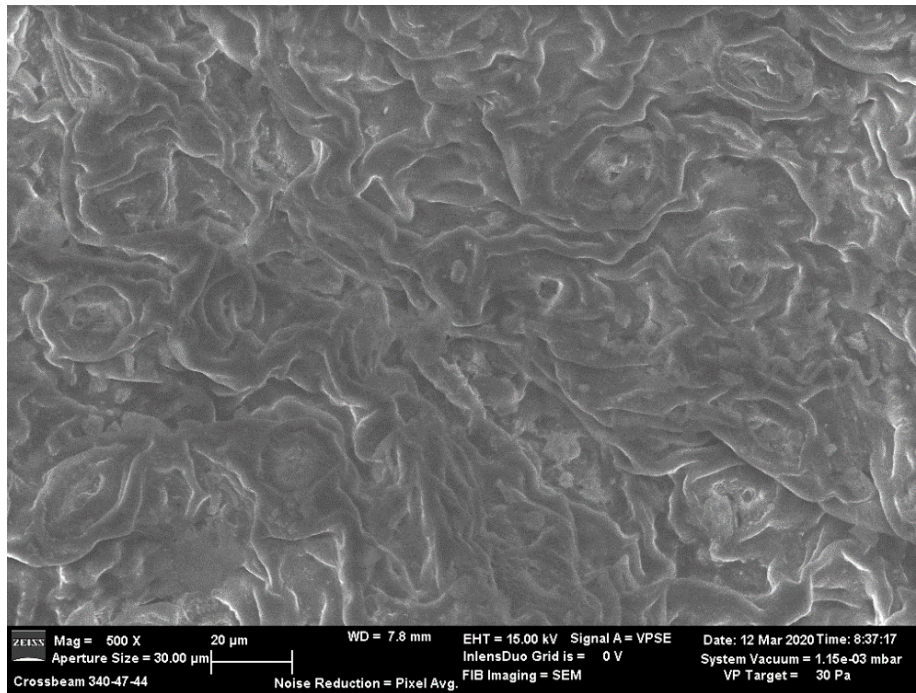
Obrázek 32 - Distribuce pórů v zeleném čaji

14. SEM

Nejprve byly pozorovány vzorky v surovém stavu, tj. bez aktivace a bez karbonizace. Povrch černého čaje byl nehladký, vyskytovaly se zde póry, které dosahovaly velikosti několika jednotek mikrometrů. Struktura zeleného čaje byla také porézní, póry však byly mělké, ale jejich velikosti častěji překračovala deset mikrometrů.

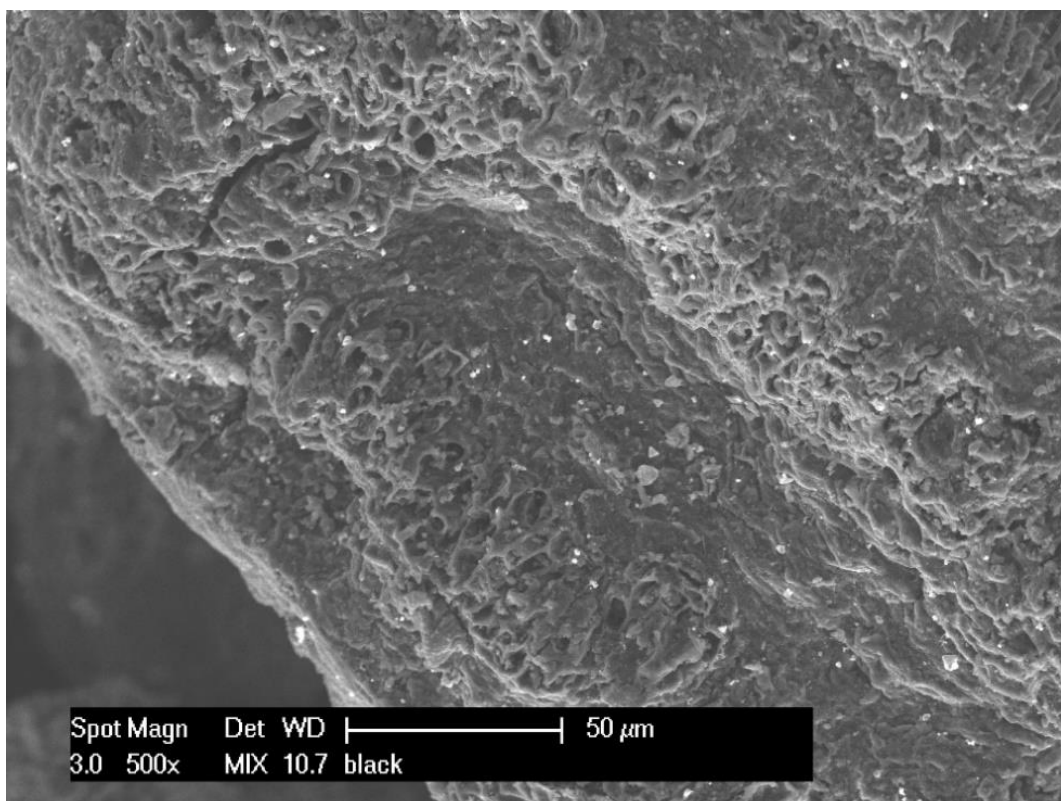


Obrázek 33 - Struktura surového černého čaje (zvětšeno 500x, SEM-FIB CrossBeam Auriga)

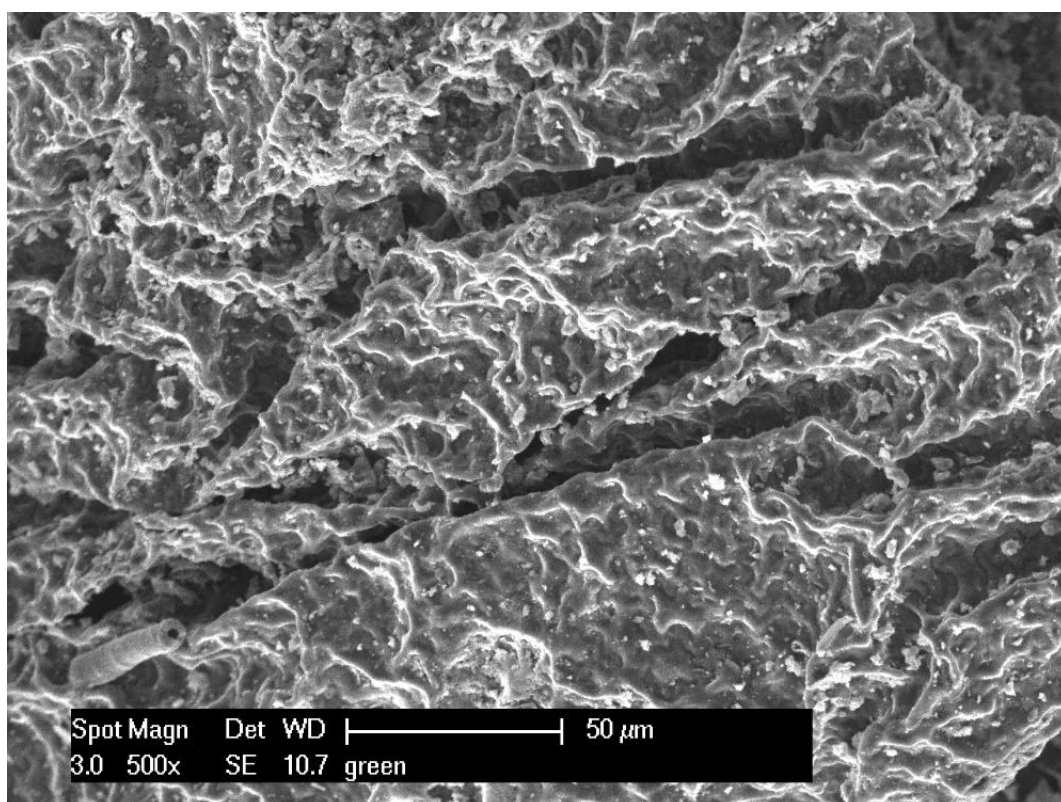


Obrázek 34 - Struktura surového zeleného čaje (zvětšeno 500x, SEM-FIB CrossBeam Auriga)

Následně byly pozorovány karbonizované vzorky čaje aktivované chloridem zinečnatým. Ve vzorku černého čaje vypáleného pod vakuem v laboratorní peci 018LP se oproti surovému stavu vyskytovalo více částic s hlubokými póry. Velikost pórů se pohybovala v desítkách mikrometrů. U zeleného čaje zpracovaného stejným způsobem byly také viditelné póry o velikosti desítek mikrometrů, oproti surovému stavu se výrazněji změnila jejich hloubka. Vyskytovaly se zde také hlubší podlouhlé trhliny s délkou stovek mikrometrů. Ty vznikly pravděpodobně tepelným zpracováním. Vzorky vypálené ve stejné peci, ale v atmosféře N_2 , měly srovnatelnou strukturu. Jejich pozorování na elektronovém mikroskopu však bylo obtížnější, častěji docházelo k nabití materiálu.

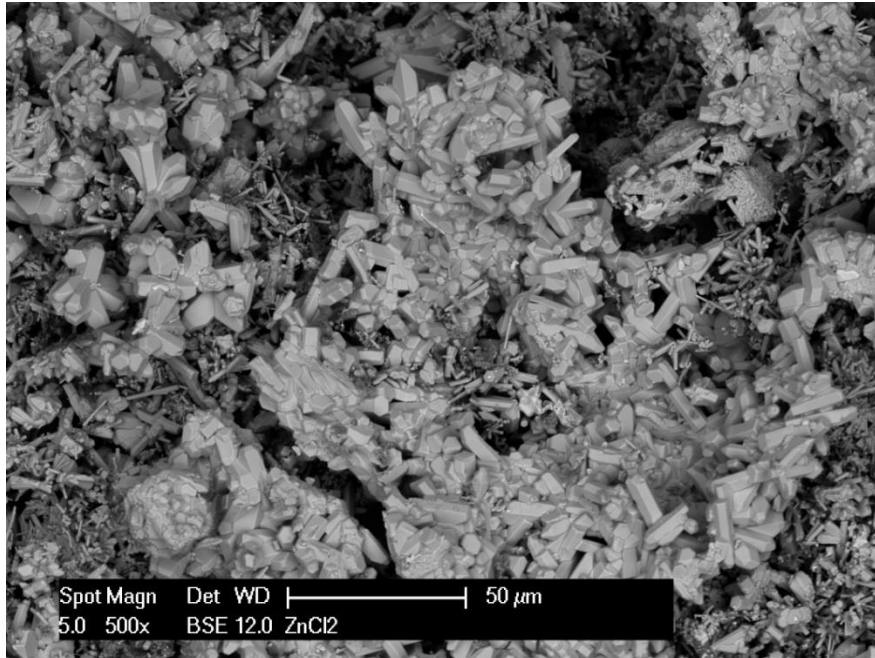


Obrázek 35 - Struktura černého čaje aktivovaného ZnCl₂, vypáleno pod vakuem v peci 018LP (zvětšeno 500x, PHILIPS XL-30 ESEM)

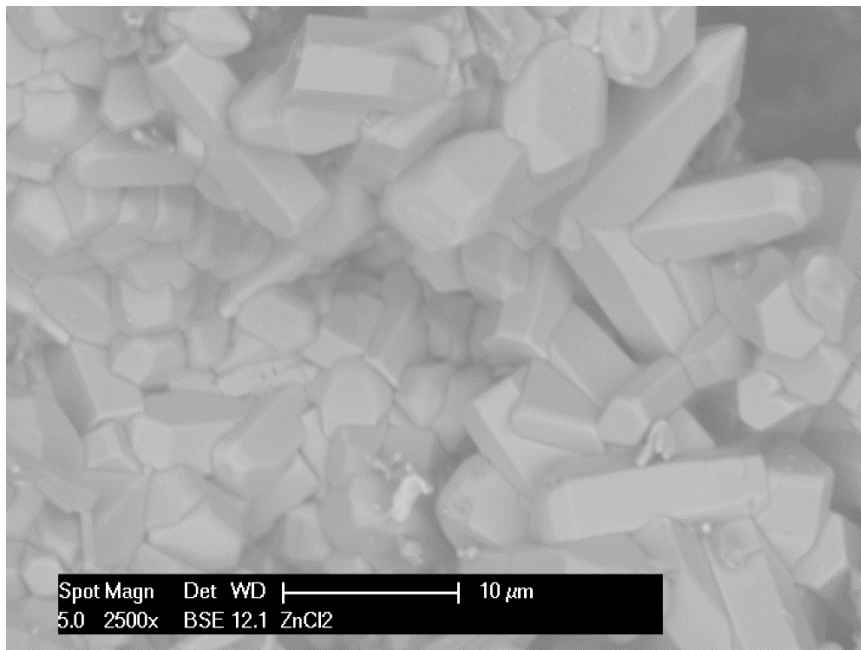


Obrázek 36 - Struktura zeleného čaje aktivovaného ZnCl₂, vypáleno pod vakuem v peci 018LP (zvětšeno 500x, PHILIPS XL-30 ESEM)

Při výpalu v laboratorní peci Linn High Therm HK 30 nedošlo ke karbonizaci. Pravděpodobně nebyla zajištěna dostatečná izolace vypalovaného vzorku a docházelo k průniku kyslíku z okolního prostředí. Tím došlo ke spálení materiálu a na mikroskopických snímcích bylo pozorován oxid zinečnatý. Ten vznikl reakcí kyslíku s nespotřebovaným aktivačním činidlem.



Obrázek 37 - Oxid zinečnatý (zvětšeno 500x, PHILIPS XL-30 ESEM)



Obrázek 38 – Detail oxidu zinečnatého (zvětšeno 2500x, PHILIPS XL-30 ESEM)

15. Porovnání kávy a čaje

Materiálem srovnatelným s čajovými lístky je kávová sedlina (114). Byla provedena EDX analýza karbonizované kávové sedliny. V jednom vzorku kávy byla zjištěna přítomnost dusíku, a to v množství necelých 6 hmotnostních procent. Jinak bylo chemické složení pozorovaných vzorků velmi podobné, v kávové sedlině se vyskytovalo zhruba o jedno hmotnostní procento méně uhlíku a také méně kyslíku.

Infračervená spektrometrie ukázala pro všechny vzorky stejné druhy vazeb (C=C, C-O-C a C-C), u kávy také nebyla nalezena karboxylová skupina (vazby C=O a O-H).

Porozita karbonizované kávové sedliny byla srovnatelná s porozitou karbonizovaných čajových lístků. Pro vzorky kávy byla porozita vypočtena na 0,71 a 0,74, pro čaj tato hodnota byla 0,72 a 0,74. Rtut'ová porozimetrie však ukázala rozdílnou distribuci pórů. Zatímco čaje se velikost většiny pórů pohybovala v rozmezí 10 až 100 μm , u kávy bylo toto rozmezí širší. Vyskytovalo se zde více menších pórů. U vzorku aktivovaného kyselinou fosforečnou se vyskytovalo i větší množství pórů o velikosti mezi 0,01 a 0,1 μm . Nejvíce pórů pak mělo velikost blízkou 100 μm . U vzorku kávové sedliny aktivované chloridem zinečnatým byly zjištěny póry všech velikostí v rozmezí od 0,01 do 100 μm . Největší část pórů měla průměr v rozmezí 1 až 100 μm .

16. Vyhodnocení experimentální části

V experimentální části této bakalářské práce proběhl pokus o přípravu sorbentu z odpadních látek z konzumace čaje. Čajové lístky byly nejprve zaktivovány chemicky chloridem zinečnatým a poté proběhla fyzikální aktivace mikrovlnami. Následně byly karbonizovány třemi různými způsoby. Při zpracování v laboratorní peci Linn High Therm HK 30 pravděpodobně docházelo k průniku kyslíku a karbonizace proto neproběhla správným způsobem. Došlo ke spálení uhlíku v materiálu a k oxidaci nezreagovaného aktivačního činidla. Na snímcích z mikroskopu tak byly pozorovatelné částice oxidu zinečnatého. Karbonizace v laboratorní peci 018LP proběhla ve dvou různých atmosférách, pod vakuem a pod dusíkem. Pozorováním na SEM bylo zjištěno, že vzorky karbonizované pod různou atmosférou mají obdobnou strukturu. Byla prokázána jejich vysoká pórovitost.

EDX analýzou bylo zjištěno chemické složení vzorků karbonizovaných pod vakuem. Oba vzorky obsahovaly vysoké množství uhlíku, pro černý čaj byla střední hodnota množství uhlíku 85,52 hm. %, pro čaj zelený 85,99 hm. %. V obou vzorcích byl obsažen také kyslík, zinek a chlor. V černém čaji bylo nalezeno malé množství sodíku a draslíku, v zeleném čaji vápník a fosfor.

Infračervenou analýzou nebyla dokázána přítomnost karboxylových skupin. Ve vzorku se naopak vyskytovaly vazby C=C, C-O-C a C-C. Ramanova spektra prokázala přítomnost jak amorfního, tak hexagonálně uspořádaného uhlíku. Lze tedy říci, že získaný materiál má strukturu podobnou aktivnímu uhlí.

Byla také stanovena porozita vzorků, u zeleného čaje byla 0,75, u černého čaje byla určena na 0,72. Distribuce pórů byla pro oba druhy čaje podobná, u obou se velikost nejvíce pórů vyskytovala v rozmezí od 10^4 do 10^5 nm.

Struktura získaného materiálu struktury aktivní uhlí. To společně s vysokou porozitou vzorků znamená, že by čajové lístky mohly být využity jako sorbent. Mezi vlastnostmi zeleného a černého čaje není žádný výrazný rozdíl. Stejně tak jsou výsledky analýz karbonizovaných aktivovaných čajových lístků srovnatelné s výsledky analýz karbonizované aktivované kávové sedliny.

17. Závěr

Tato práce se zabývala možnostmi přípravy sorbentu z odpadních látek vzniklých konzumací čaje a kávy, tedy z čajových lístků a z kávové sedliny.

U obou vzorků karbonizovaných čajových lístků aktivovaných chloridem zinečnatým byla rtuťovou porozimetrií a heliovou pyknometrií prokázána vysoká porozita (0,72 a 0,75). Mezi chemickým složením a porozitou jednotlivých druhů čaje (zelený a černý) nebyly zjištěny žádné výrazné rozdíly. Ramanovou spektroskopií bylo zjištěno, že se uhlík nacházel ve formě amorfní i uspořádané. Struktura tedy odpovídá aktivnímu uhlí, které je praxi využíváno jako sorbent.

Výsledky karbonizace aktivované kávové sedliny jsou srovnatelné s výsledky karbonizace aktivovaných čajových lístků. Z výše uvedeného lze soudit, že karbonizované aktivované odpadní látky z konzumace kávy a čaje by mohly být dobrým sorbentem.

Jedním z problémů rozvinutí průmyslu je znečišťování vodních toků. V průmyslových odpadních vodách se vyskytuje velké množství látek, které jsou nebezpečné jak pro životní prostředí, tak pro zdraví člověka. Čajové lístky a kávová sedlina by tedy mohly být vhodným materiálem pro čištění těchto vod. Výhodou použití tohoto materiálu je především jeho nízkonákladovost a ekologičnost.

Použitá literatura

1. Statistics Explained . *Eurostat*. [Online] [Citace: 7. 10 2019.]
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics#Hazardous_waste_generation.
2. The World Bank. [Online] [Citace: 7. 10 2019.] <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>.
3. Kateřina Kychyňková, Jiří Šibor. Zelená chemie. [Online]
4. Green Chemistry. *EPA*. [Online] [Citace: 10. 10 2019.] <https://www.epa.gov/greenchemistry>.
5. Trend in green chemistry. *Open Access Journal*. [Online]
6. Green Chemistry. *Cleaner Productin*. [Online] file:///C:/Users/Markétka/Downloads/em2-cleaner-production-chapter12.pdf.
7. The Development of Green Chemistry in the Oil and Gas Production Industry. [Online] [Citace: 12. 10 2019.] <https://www.maggichurchosevents.co.uk/cec/past-events/CEC-1/Downloads/Programme%20and%20poster%20abstracts/7A1%20Craddock%20Henry%20-%20ppt.pdf>.
8. Green chemistry examples. *ThoughtCo*. [Online] [Citace: 12. 10 2019.]
<https://www.thoughtco.com/green-chemistry-examples-607649>.
9. Total production by all exporting countries . *ICO - International Coffee Organization*. [Online] [Citace: 11. 11 2019.] <http://www.ico.org/prices/po-production.pdf>.
10. TEA GROWING COUNTRIES. *Hälssen & Lyon*. [Online] [Citace: 11. 11 2019.]
<https://www.haelssen-lyon.com/product-variety/teas/tea-growing-countries/>.
11. Kondamundi N., Mohapatra SK., Misra M. Spent coffee grounds as a versatile source of green energy. *PubMed.cz*. [Online] 12 2008. [Citace: 11. 11 2019.]
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19053356>.
12. Tea - the Wonder Beverage Part 3: The Chemistry of Tea. *Thearubigin*. [Online] 11. 12 2011. [Citace: 11. 4 2020.] <http://thearubigin.blogspot.com/2011/12/tea-wonder-beverage-part-3-chemistry-of.html>.
13. Leroy G. Wade. Phenol. *britannica*. [Online] [Citace: 11. 11 2019.]
<https://www.britannica.com/science/phenol>.
14. Fenoly. *ELUC*. [Online] [Citace: 11. 11 2019.] <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2440>.
15. ČAJ A KÁVA. *web.vscht.cz*. [Online] [Citace: 11. 11 2019.]
<https://web.vscht.cz/~koplíkr/7%20%20C4%8Caj%20a%20k%C3%A1va.pdf>.
16. Epigallocatechin gallate. *PubChem*. [Online] [Citace: 11. 11 2019.]
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Epigallocatechin-gallate#section=Isomeric-SMILES>.

17. Sadam Hussain Jakhrani, Jae Suk Ryou, Atta-ur-Rehman, In Kyu Jeon, Byeong Hun Woo and Hong Gi Kim. Prevention of Autogenous Shrinkage in High-Strength Mortars with Saturated Tea Waste Particles. *Materials*. 12, 29. 7 2019, Sv. 2654.
18. Carlos A. García, Álvaro Peña, Ramiro Betancourt, Carlos A. Cardona. Energetic and environmental assessment of thermochemical and biochemical ways for producing energy from agricultural solid residues: Coffee Cut-Stems case. *Journal of Environmental Management*. 2018, 216.
19. Collins dictionary. [Online] 25. 1 2020.
<https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/sorption>.
20. HowStuffWorks. *How are adsorbents used for environmental cleanup?* [Online] [Citace: 26. 1 2020.] <https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/adsorbents-for-environmental-cleanup.htm>.
21. Encyklopaedia Britannica. *Adsorption*. [Online] [Citace: 26. 1 2020.]
<https://www.britannica.com/science/adsorption>.
22. Anne Marie Helmenstine Ph.D. ThoughtCo. *What Adsorption Means in Chemistry*. [Online] 7. 8 2019. [Citace: 26. 1 2020.] <https://www.thoughtco.com/definition-of-adsorption-605820>.
23. NUR-E-ALAM, MD. *POTENTIAL OF SPENT TEA LEAVES AS ADSORBENT FOR THE TREATMENT OF TANNERY EFFLUENT*. DHAKA-1000, BANGLADESH : DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, BANGLADESH UNIVERSITY OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY , 2018.
24. Robert McIlvaine. ADSORPTION AND ABSORPTION. *Chemical Engineering*. [Online] 1. 5 2012. [Citace: 7. 2 2020.] <https://www.chemengonline.com/adsorption-and-absorption/?printmode=1>.
25. Adsorption / Active Carbon. *LENNTECH*. [Online] [Citace: 7. 2 2020.]
<https://www.lenntech.com/library/adsorption/adsorption.htm>.
26. Adsorption, Absorption and Desorption - What's the Difference? *Chromatography today*. [Online] 24. 8 2014. [Citace: 7. 2 2020.] <https://www.chromatographytoday.com/news/hplc-uhplc/31/breaking-news/adsorption-absorption-and-desorption-what39s-the-difference/31397>.
27. Olav Bolland. Part 4 - Absorption. *Norwegian University of Science and Technology*. [Online] 9 2013. [Citace: 7. 2 2020.]
http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/fordypn/tep03/innhold/TEP03_part4_absorption.pdf.
28. Nilanjana Das, P. Karthika, R. Vimala and V. Vinodhini. Use of natural products as biosorbent of heavy metals; An overview. *Natutal Product Radiance* . 18. 10 2008, 7(2).
29. Activation. *Wikipedia*. [Online] [Citace: 03. 03 2020.] <https://en.wikipedia.org/wiki/Activation>.
30. R. MENON, J. SINGH, V. DOSHI, XIAO Y. LIM. INVESTIGATION ON SPENT TEA LEAVES DERIVED ACTIVATED CARBON FOR CO2 ADSORPTION . *Energy Research Group, School of Engineering*. [Online] [Citace: 03. 03 2020.]

31. Siam Hussain, Anjali Prajith, Dr. Priy Brat Dwivedi. Preparation, Characterization and Evaluation of the Adsorptive Potential of Activated Carbon Derived from Waste Tealeaves . [Online] 12 2017. [Citace: 03. 03 2020.] <https://www.waljatcollege.edu.om/journal/images/dec-17IMA0520231.pdf>.
32. Syieluing Wong, Yowjeng Lee, Norzita Ngadi, Ibrahim Mohammed Inuwa, Nurul Balqis Mohamed. Synthesis of activated carbon from spent tea leaves for aspirin removal. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 26, 2018, Sv. 5.
33. Facts About Carbon. *Livescience*. [Online] [Citace: 11. 11 2019.] <https://www.livescience.com/28698-facts-about-carbon.html>.
34. Alotropické modifikace uhlíku. *z-moravec.net*. [Online] [Citace: 17. 11 2019.] http://z-moravec.net/chemie/periodicka-soustava-prvku/uhlik/alotropicke-modifikace-uhliku/#Chaoit_bily_uhlik.
35. The Chemistry and Structure of Diamonds. *ThoughtCo*. [Online] [Citace: 17. 11 2019.] <https://www.thoughtco.com/chemistry-of-diamond-602110>.
36. Zbyněk Buřival. Diamond - the extreme King of Gems. *MineralExpert.org*. [Online] 28. 12 2018. [Citace: 17. 11 2019.] <https://mineralexpert.org/article/diamond-king-of-gems>.
37. Graphite. *Geology.com*. [Online] [Citace: 17. 11 2019.] <https://geology.com/minerals/graphite.shtml>.
38. Grafit (tuha). *Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze* . [Online] [Citace: 17. 11 2019.] <http://web.natur.cuni.cz/ugmnz/mineral/mineral/grafit.html>.
39. Diamanty. *eppi.cz*. [Online] [Citace: 2. 12 2019.] <https://www.eppi.cz/diamanty>.
40. Grafit. *Resorbent*. [Online] [Citace: 2. 12 2019.] <https://www.resorbent.cz/grafit>.
41. Chaoit. *mindat.org*. [Online] [Citace: 17. 11 2019.] <https://www.mindat.org/min-1207.html>.
42. Definitions for chaoite. *definitions.net*. [Online] [Citace: 17. 11 2019.] <https://www.definitions.net/definition/chaoite>.
43. S. V. Goryainov, A. Yu. Likhacheva, and N. N. Ovsyuk. Raman Scattering in Lonsdaleite. *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. [Online] 2018. [Citace: 19. 11 2019.] <https://link.springer.com/content/pdf/10.1134%2FS1063776118070051.pdf>.
44. Chaoite (Chaoit). *Mineralienatlas - Fossilienatlas*. [Online] [Citace: 2. 12 2019.] <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?lang=en&language=english&mineral=Chaoit>.
45. wikimedia. [Online] [Citace: 2. 12 2019.]
46. K.N.Semenov, N.A. Charykov, V.N. Postnov, V.V. Sharoyko, I.V. Vorotyntsev, M.M. Galagudza, I.V. Murin. Fullerenols: Physicochemical properties and applications. *ScienceDirect*. [Online] 6 2016. [Citace: 19. 11 2019.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079678616300024?via%3Dihub>.

47. FULLERENY. *grafen.cz*. [Online] 13. 1 2011. [Citace: 19. 11 2019.]
<https://www.grafen.cz/nanotechnologie/18-fullereny>.
48. Michael Berger. Carbon nanotubes – what they are, how they are made, what they are used for. *nanowerk*. [Online] [Citace: 20. 11 2019.]
https://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction_to_nanotechnology_22.php.
49. Drug - delivery. *University of Waterloo*. [Online] <https://uwaterloo.ca/foldvari-group/research-program/drug-delivery>.
50. Z. Hájková, M. Ledinský, M. Hývl, A. Vetushka, A. Fejfar, J. Řáhová, O. Frank. 2D materiály aneb grafen a jak to bylo dál. *Fyzikální ústav Akademie věd České republiky*. [Online] [Citace: 20. 11 2019.] <https://www.fzu.cz/popularizace/2d-materialy-aneb-grafen-a-jak-to-bylo-dal>.
51. Graphene info. *Reduced graphene oxide: an introduction*. [Online] [Citace: 30. 1 2020.]
<https://www.graphene-info.com/reduced-graphene-oxide-introduction>.
52. Qing Peng, Albert K Dearden, Jared Crean, Liang Han, Sheng Liu, Xiaodong Wen, and Suvranu De . New materials graphyne, graphdiyne, graphone, and graphane: review of properties, synthesis, and application in nanotechnology. *NCBI*. [Online] 7 2014. [Citace: 20. 11 2019.]
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3998860/>.
53. Prof. RNDr. Z. Weiss, Drsc., Ing. G. Simha-Martynková, PhD. a Ing. O. Šustai, PhD. *Nanostruktura uhlíkatých materiálů*. Ostava : Repronis, 2005. ISBN 80-7329-083-9.
54. Prekurzor. *coznamena.cz*. [Online] [Citace: 23. 11 2019.] <https://coznamena.cz/prekurzor>.
55. Technologická databáze. [Online] [Citace: 23. 11 2019.]
<https://www.nlnorm.cz/terminologicky-slovník/>.
56. Reticulated Vitreous Carbon Foam. *ULTRAMET*. [Online] [Citace: 2. 12 2019.]
<https://ultramet.com/refractory-open-cell-foams/reticulated-vitreous-carbon-foam/>.
57. Amorfní uhlík. *Wikipedia*. [Online] 7. 4 2019. [Citace: 29. 4 2020.]
https://cs.wikipedia.org/wiki/Amorfn%C3%AD_uhl%C3%ADk.
58. Uhlík. *zcu.cz*. [Online] [Citace: 29. 4 2020.] https://www.opi.zcu.cz/download/uhlik09_10.pdf.
59. Kouchi, Akira. Amorphous Carbon. *Gargaud M. et al. (eds) Encyclopedia of Astrobiology*. Springer. Berlin, Heidelberg, 2011.
60. al., Hasan Ziari et. Evaluating the effect of amorphous carbon powder on moisture susceptibility and mechanical resistance of asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*. 2017, Sv. October.
61. Aktivní uhlí. *Wikipedie*. [Online] [Citace: 25. 05 2020.]
https://cs.wikipedia.org/wiki/Aktivn%C3%AD_uhl%C3%AD.
62. Govind Sethia, Abdelhamid Sayari. Activated carbon with optimum pore size distribution for hydrogen storage. *Carbon*. 2016, Sv. 99.

63. Aktivovaný uhlík. *Wikipedie*. [Online] [Citace: 25. 05 2020.]
https://cs.wikipedia.org/wiki/Aktivovan%C3%BD_uhl%C3%ADk.
64. Hromádko, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony*. Praha 7 : Grada Publishing, a.s., 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
65. Industrial waste water treatment – pressures on Europe's environment. *European Environment Agency*. [Online] ISBN 978-92-9480-054-1.
66. Water and Water Pollution. *toppr*. [Online] [Citace: 28. 11 2019.]
<https://www.toppr.com/guides/biology/natural-resources/water-and-water-pollution/>.
67. Effects of water pollution. *enviropol*. [Online] [Citace: 28. 11 2019.]
<https://enviropol.com/green/2018/06/18/effects-of-water-pollution/>.
68. Water Pollution: Everything You Need to Know. *NRDC*. [Online] [Citace: 29. 11 2019.]
<https://www.nrdc.org/stories/water-pollution-everything-you-need-know#causes>.
69. Biomagnification. *www.blue-growth.org*. [Online] http://www.blue-growth.org/Plastics_Waste_Toxins_Pollution/Biomagnification_Bio_Accumulation.htm.
70. Understand Industrial Wastewater Treatment. *CHEMICAL PROCESSING*. [Online] 2018. [Citace: 29. 11 2019.] <https://www.chemicalprocessing.com/articles/2018/understand-industrial-wastewater-treatment/>.
71. Heavy Metals. *Lenntech*. [Online] [Citace: 20. 10 2019.]
<https://www.lenntech.com/processes/heavy/heavy-metals/heavy-metals.htm>.
72. Verma, Rashmi. Heavy metal water pollution-A case study. *researchgate*. [Online] Leden 2013. [Citace: 12. 10 2019.]
https://www.researchgate.net/publication/303152384_Heavy_metal_water_pollution-A_case_study.
73. Zinc, Zn. *Virtual Chembook*. [Online] [Citace: 22. 10 2019.]
<http://chemistry.elmhurst.edu/vchembook/102zinc.html>.
74. Zinc - Zn. *Lenntech*. [Online] [Citace: 23. 10 2019.]
<https://www.lenntech.com/periodic/elements/zn.htm>.
75. Gyana Rout, Premananda Das. Effect of Metal Toxicity on Plant Growth and Metabolism: I. Zinc. *Agronomie, EDP Sciences*. [Online] 2003. [Citace: 5. 11 2019.] <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00885964/document>.
76. Andrea Giardina, Sandra F. Larson, Brian Wisner, John Wheeler, Matthew Chao. Long-term and acute effects of zinc contamination of a stream on fish mortality and physiology. *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*. [Online] [Citace: 6. 11 2019.]
<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1897/07-461.1>.
77. BEZPEČNOSTNÍ LIST - ZINEK PRACH. *Mach chemikálie*. [Online] 27. 11 2010. [Citace: 6. 11 2019.]
http://www.mach-chemikalie.cz/images/download/old_file/399/zinek_prach.pdf.

78. Účinky kovů ve vodních ekosystémech (zdroje, kumulace, detekce). *rybarstvi.eu*. [Online] [Citace: 6. 11 2019.] <http://www.rybarstvi.eu/dok%20rybari/ekotoxikologie/kovy.pdf>.
79. Lawrence I. Ezemonye, Princewill O.Adebayo, Alex A.Enuneku, Isioma Tongo, Emmanuel Ogbomida. Potential health risk consequences of heavy metal concentrations in surface water, shrimp (*Macrobrachium macrobrachion*) and fish (*Brycinus longipinnis*) from Benin River, Nigeria. *sciencedirect.com*. [Online] 17. 11 2018. [Citace: 7. 11 2019.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214750018300519>.
80. Znic facts. *ThoughtCo*. [Online] [Citace: 2. 12 2019.] <https://www.thoughtco.com/zinc-facts-606621>.
81. Copper - Cu. *Lenntech*. [Online] [Citace: 8. 11 2019.] <https://www.lenntech.com/periodic/elements/cu.htm>.
82. Copper. *Britannica*. [Online] [Citace: 8. 11 2019.] <https://www.britannica.com/science/copper>.
83. Facts About Copper. *Livescience*. [Online] [Citace: 8. 11 2019.] <https://www.livescience.com/29377-copper.html>.
84. What to Know About Copper Toxicity. *healthline*. [Online] [Citace: 8. 11 2019.] <https://www.healthline.com/health/copper-toxicity#symptoms>.
85. Ehmah H. Abou El-Naga, Khalid M. El-Moselhy, Mohamed A. Hamed. TOXICITY OF CADMIUM AND COPPER AND THEIR EFFECT ON SOME BIOCHEMICAL PARAMETERS OF MARINE FISH MUGIL SEHELI. *ocean docs*. [Online] [Citace: 8. 11 2019.] <https://www.ocean docs.org/bitstream/handle/1834/1296/Text.pdf?sequence=1>.
86. Chronic sub-lethal copper toxicity from net antifoulutants causing anameia, gill degeneration and inducing bacterial and parasitic diseases to caged fish coastal marine farms in Greece. *vetcare.gr*. [Online] 17. 9 2007. [Citace: 8. 11 2019.] <http://www.vetcare.gr/ARTPRES/cutox.htm>.
87. Copper. *Minerals Education Coalition*. [Online] [Citace: 2. 12 2019.] <https://mineralseducationcoalition.org/minerals-database/copper/>.
88. Nickel. *Royal Society of Chemistry*. [Online] [Citace: 18. 6 2020.] <https://www.rsc.org/periodic-table/element/28/nickel>.
89. Kusal K. Das, R. Chandramouli Reddy, Ishwar B. Bagoji, Swastika Das, Shrilaxmi Bagali, Lata Mullur, Jyoti P. Khodnapur and M.S. Biradar. Primary concept of nickel toxicity – an overview. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*. [Online] 4. 9 2018. [Citace: 18. 6 2020.] <https://www.degruyter.com/view/journals/jbcpp/30/2/article-p141.xml?language=en>.
90. Muhammad Umair Hassan, Muhammad Umer Chattha, Imran Khan, Muhammad Bilal Chattha, Muhammad Aamer, Muhammad Nawaz, Abid Ali, Muhammad Aman Ullah Khan & Tahir Abbas Khan. Nickel toxicity in plants: reasons, toxic effects, tolerance mechanisms, and remediation possibilities—a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019, 26.

91. Ronald Eisler. NICKEL HAZARDS TO FISH, WILDLIFE, AND INVERTEBRATES :A SYNOPTIC REVIEW. [Online] [Citace: 18. 6 2020.] https://www.pwrc.usgs.gov/eisler/CHR_34_Nickel.PDF.
92. Nikl. *Wikipedie*. [Online] [Citace: 18. 6 2020.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl>.
93. Rachel Ross. Facts About Cadmium. *Live Science*. [Online] 30. 7 2018. [Citace: 19. 6 2020.] <https://www.livescience.com/37044-cadmium.html>.
94. An Insight to Cadmium. *AZO MATERIALS*. [Online] 20. 7 2001. [Citace: 19. 6 2020.] <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=589>.
95. Magdalena Wołowiec, Małgorzata Komorowska-Kaufman, Alina PrussGrzegorz Rzepa and Tomasz Bajda. Removal of Heavy Metals and Metalloids from Water Using Drinking Water Treatment Residuals as Adsorbents: A Review. *minerals*. [Online] 13. 8 2019. [Citace: 19. 6 2020.]
96. PHILIPS XL-30 ESEM. *SEMTECH Solutions*. [Online] [Citace: 7. 6 2020.] <https://www.semtechsolutions.com/philips-xl-30-esem>.
97. AURIGA series Modular CrossBeam workstation. *Carl Zeiss SMT - Nano Technology Systems Division*. [Online] [Citace: 6. 7 2020.] http://www.rochester.edu/urnano/assets/pdf/sem_fib_zeiss_auriga_manual.pdf.
98. E. Fitzer, K.-H. Kochling, H.P. Boehm a H. Marsh. RECOMMENDED TERMINOLOGY FOR THE DESCRIPTION OF CARBON AS A SOLID . *INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY* . [Online] 1995. <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/pac.1995.67.issue-3/pac199567030473/pac199567030473.pdf>.
99. Tomáš Molek. Pyrolýza - princip, historie a současnost. *oenergetice.cz*. [Online] 21. 2 2017. [Citace: 2. 12 2019.] <https://oenergetice.cz/technologie/pyrolyza-princip-historie-a-soucasnost>.
100. Metody termické analýzy . *sci.muni.cz*. [Online] [Citace: 28. 05 2020.] <https://www.sci.muni.cz/chemsekcetgir/termanal.pdf>.
101. A. Kloužková, P. Zemenová, J. Kloužek, W. Pabst. *Termická analýza*. Praha : VŠCHT PRAHA, 2012.
102. CSc., Doc. RNDr. Josef Kasl. *6.1 Elektronová mikroanalýza*. Plzeň : Experimentální metody studia materiálů - EMI, 2020.
103. EDS. *ENPEDIE*. [Online] 11. 12 2013. [Citace: 8. 6 2020.] <http://enpedie.cz/wiki/EDS>.
104. Ph.D., Sina Ebnesajjad. *Chapter 4 - Surface and Material Characterization Techniques*. [Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding, (Second Edition)] 2014.
105. Porovnání infračervené a Ramanovy spektroskopie. Typické aplikace těchto technik. *Nicolet CZ s.r.o.* [Online] [Citace: 11. 6 2020.] https://www.pragolab.cz/files/download/07_KESNER_IR.pdf.
106. Infračervená spektroskopie. *z-moravec.net*. [Online] [Citace: 11. 6 2020.] <http://z-moravec.net/chemie/fyzikalne-chemicke-metody/infracervena-spektroskopie/>.

107. What is Raman Spectroscopy? *HORIBA*. [Online] [Citace: 6. 6 2020.]
https://www.horiba.com/en_en/raman-imaging-and-spectroscopy/.
108. Filmovým policistům pomáhal při pátrání po závadném alkoholu Ramanův spektrometr. *ceskatelevize.cz*. [Online] [Citace: 6. 6 2020.] <https://www.ceskatelevize.cz/porady/11411491125-metanol/11276-ramanuv-spektometr/>.
109. Kasim Fawzy Ahmed. *Thermal, Structural and Spectroscopic Properties of Rare Earth Elements Co-Doped Zinc Tellurite Glass with AgCl Nanoparticles*. [Online] 7 2017. [Citace: 6. 6 2020.]
https://www.researchgate.net/figure/Raman-scattering-due-to-excitation-of-molecule-by-laser-beam-Smith-and-Dent-2005_fig3_320166556.
110. Michal Dudák, Marek Václavík. Rtuťová porozimetrie. *fchi.vscht.cz*. [Online] [Citace: 7. 6 2020.] <https://fchi.vscht.cz/files/uzel/0010367/RP.pdf?redirected>.
111. Herbert Giesche. Mercury Porosimetry: A General (Practical) Overview. *ppsc-journal.com*. [Online] 9. 3 2006. [Citace: 7. 6 2020.]
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ppsc.200601009>.
112. Helium Pycnometry . *pharmahub.org*. [Online] [Citace: 11. 6 2020.]
<https://pharmahub.org/app/site/collections/excipients/testmethods/Helium%20Pycnometry.pdf>.
113. Pycnometry. *ITA Labs*. [Online] [Citace: 11. 6 2020.]
<https://www.italabs.co.uk/services/pycnoemetry/>.
114. Forejtová, Jana. Diplomová práce. *Soukromé sdělení*. Plzeň : ZČU v Plzni, 2020.

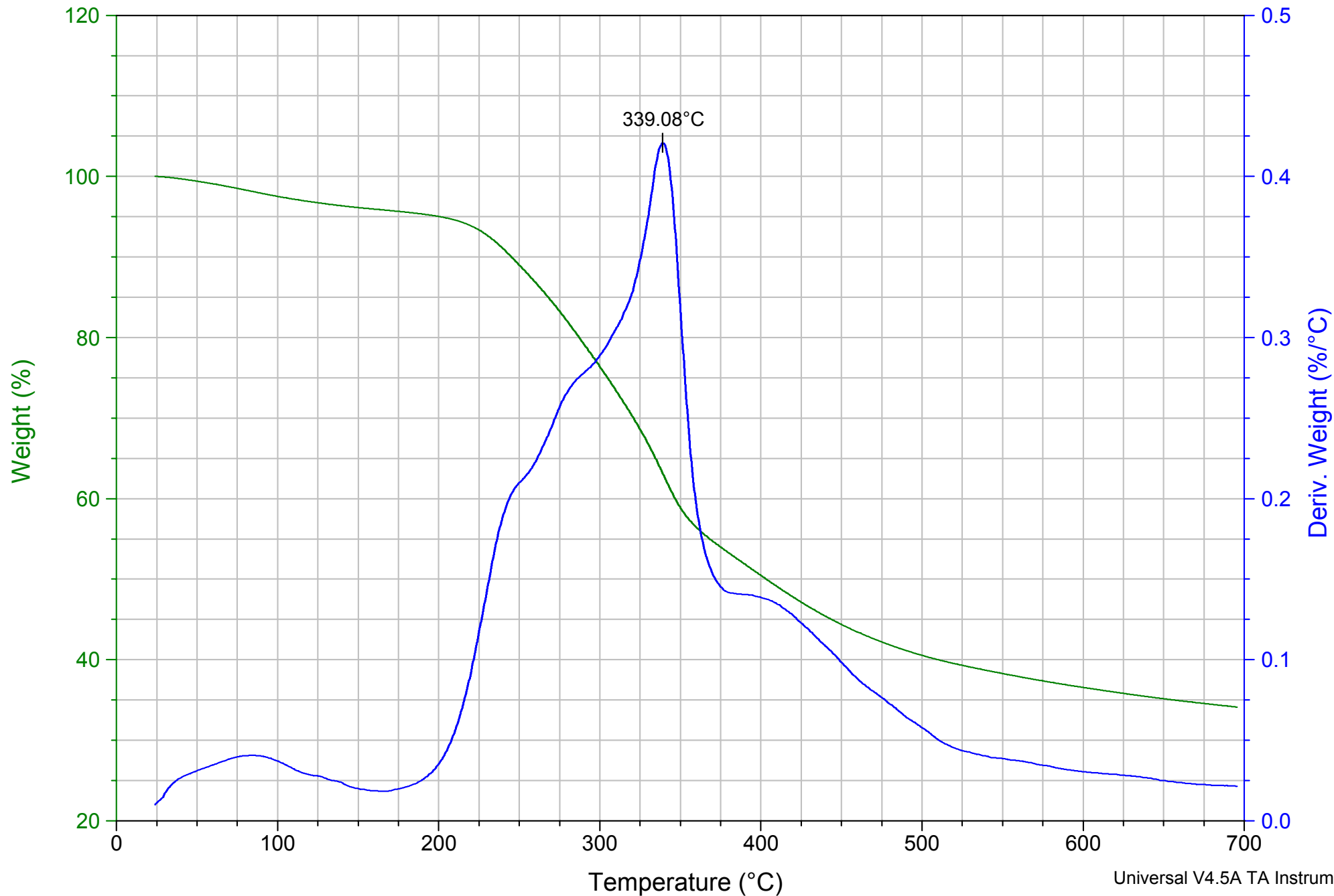
PŘÍLOHA č. 1

Termická analýza černého čaje

Sample: B1_RAW_01
Size: 20.5680 mg
Method: Ramp
Comment: T=30-700°C;10°C/min; N2

TGA

File: B1_RAW_01.001
Operator: JJK
Instrument: TGA Q500 V20.13 Build 39



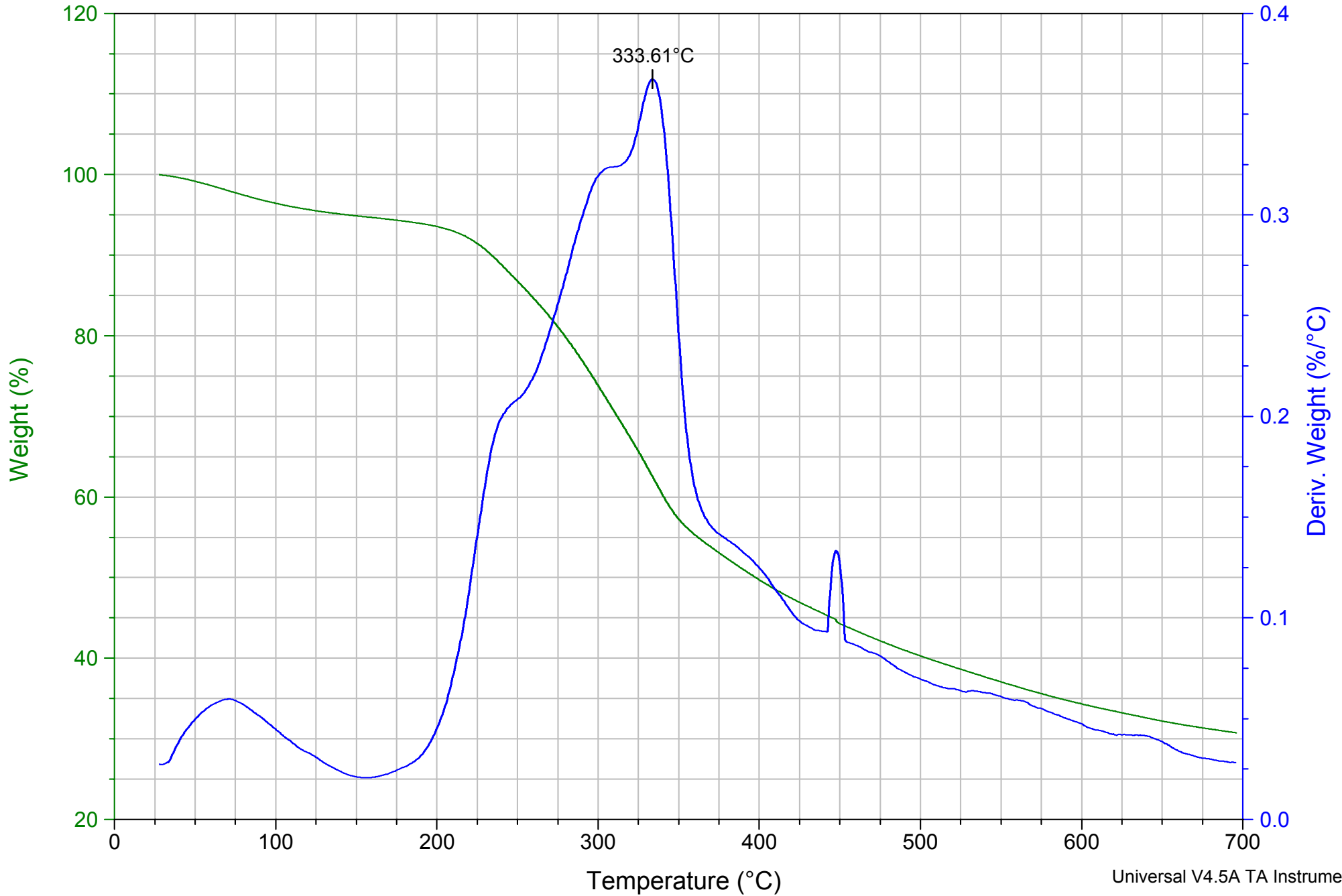
PŘÍLOHA č. 2

Termická analýza zeleného čaje

Sample: G1_RAW_01
Size: 16.6460 mg
Method: Ramp
Comment: T=30-700°C;10°C/min; N2

TGA

File: G1_RAW_01.001
Operator: JJK
Instrument: TGA Q500 V20.13 Build 39

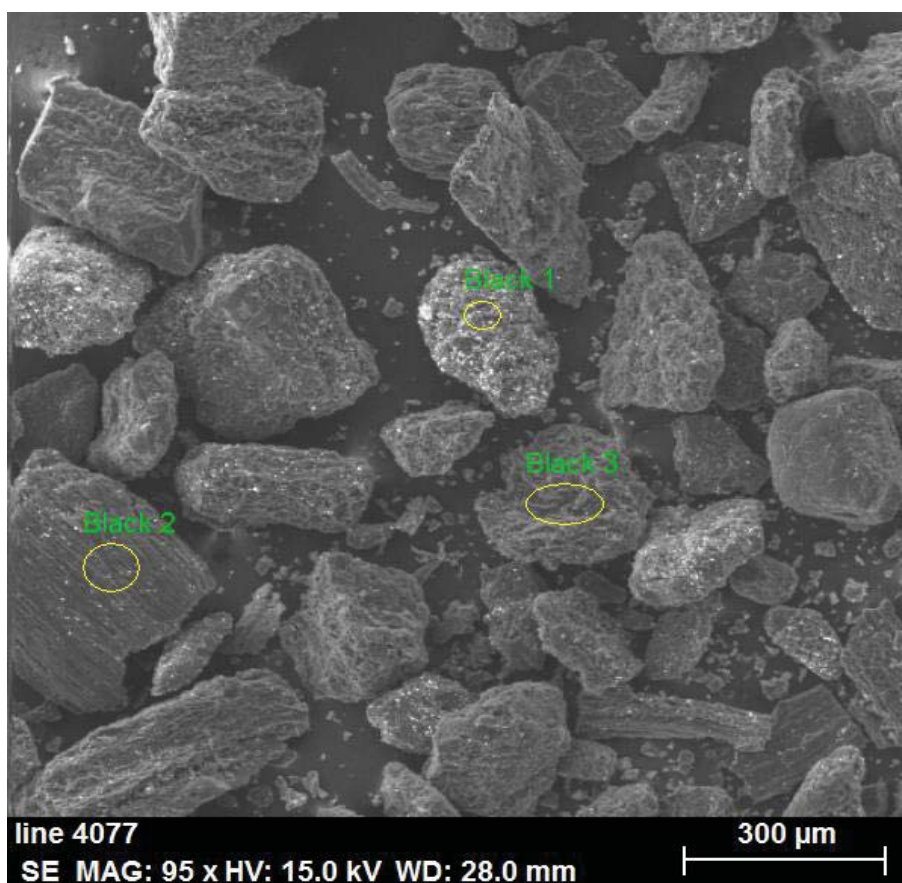


PŘÍLOHA č. 3

EDX analýza

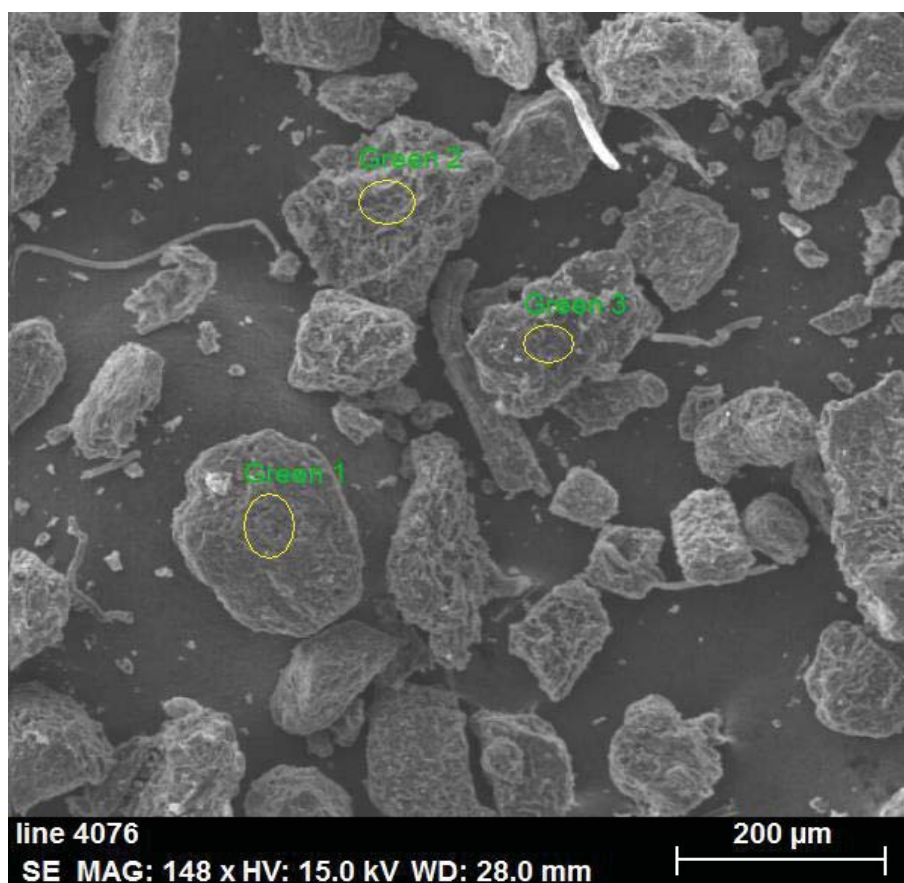
Obsah prvků v karbonizovaném černém čaji aktivovaném chloridem zinečnatým.
Výsledky jsou v hmotnostních procentech.

Vzorek	C	O	Cl	Zn	Na	K	Ostatní prvky
Black 1	76,32	5,17	6,17	5,31	2,03	1,71	3,29
Black 2	84,29	6,01	3,23	2,22	0,78	0,92	2,55
Black 3	86,74	6,60	1,94	1,52	0,43	0,58	2,19
Střední hodnota	82,45	5,93	3,78	3,02	1,08	1,07	2,67
Směrodatná odchylka	4,45	0,59	1,77	1,65	0,69	0,47	
Bez vzorku číslo 1	C	O	Cl	Zn	Na	K	Ostatní prvky
Střední hodnota	85,52	6,31	2,59	1,87	0,61	0,75	2,37
Směrodatná odchylka	1,22	0,30	0,65	0,35	0,18	0,17	



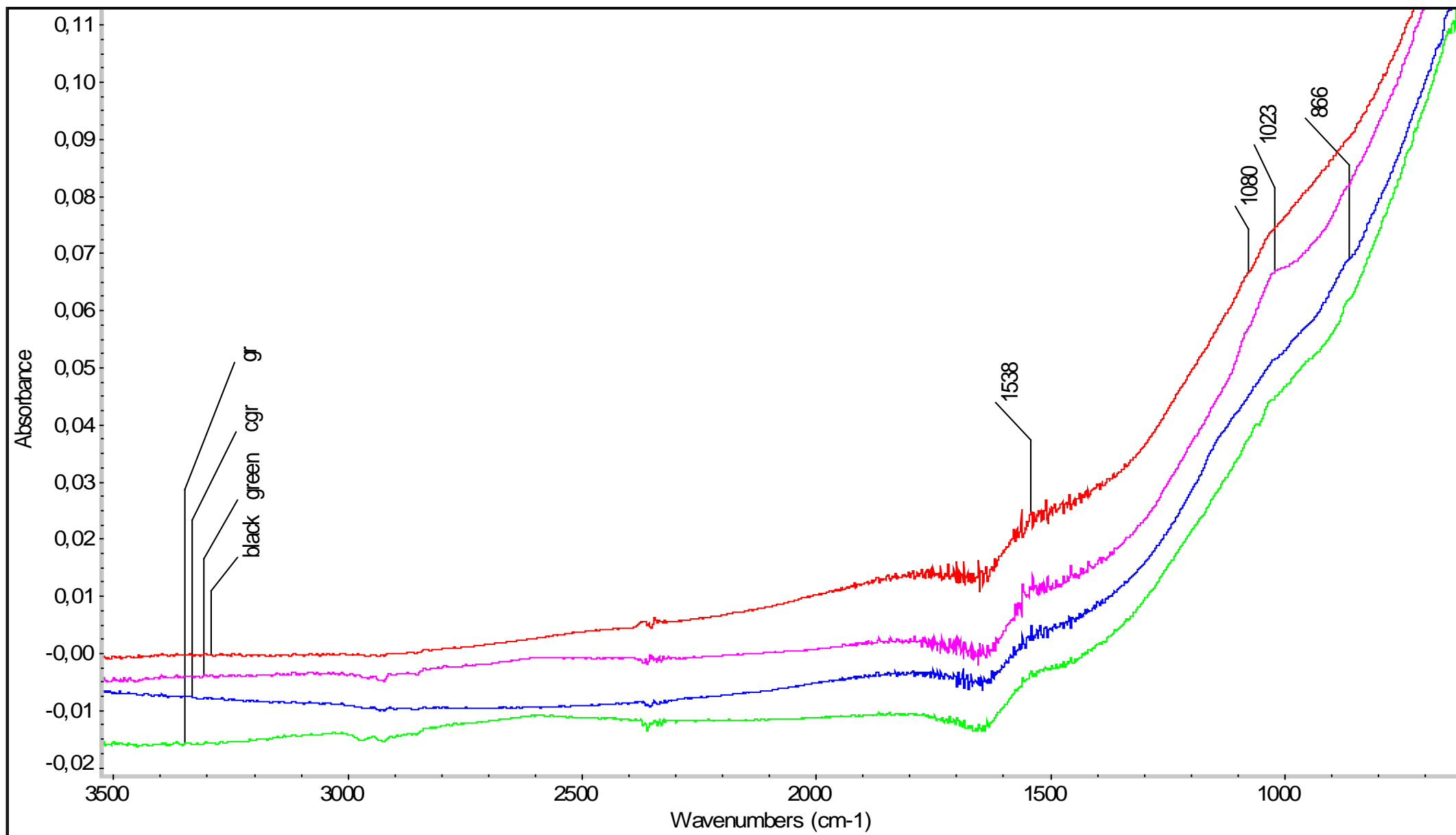
Obsah prvků v karbonizovaném zeleném čaji aktivovaném chloridem zinečnatým.
Výsledky jsou v hmotnostních procentech.

Vzorek	C	O	Ca	Cl	Zn	P	Ostatní prvky
Green 1	85,27	7,21	1,65	1,11	1,03	0,94	2,79
Green 2	85,96	6,02	1,37	1,34	1,76	0,59	2,96
Green 3	86,74	6,12	1,23	0,93	1,68	0,71	2,59
Střední hodnota	85,99	6,45	1,42	1,13	1,49	0,75	2,77
Směrodatná odchylka	0,60	0,54	0,17	0,17	0,33	0,15	



PŘÍLOHA č. 4

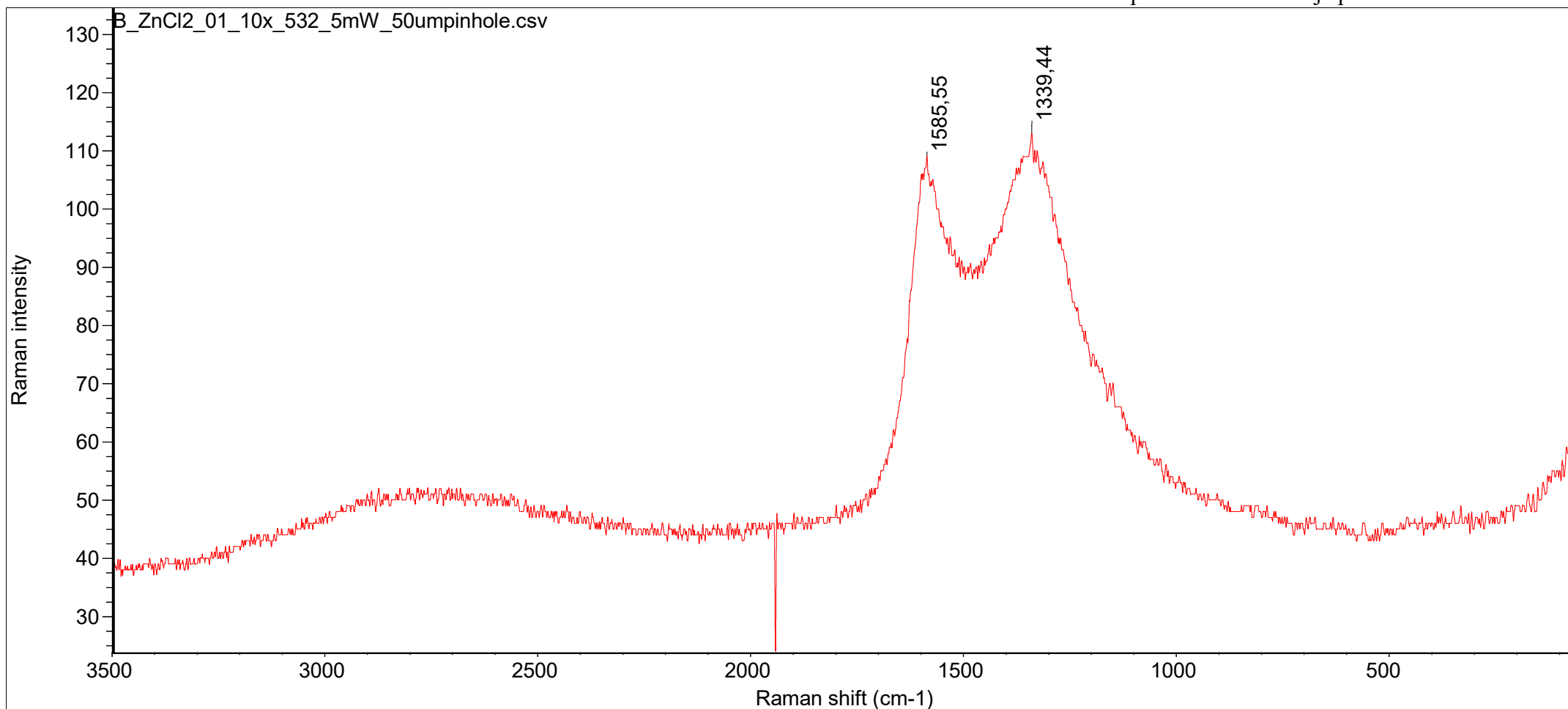
Infračervená spektra



black (červená barva) - černý čaj, green (ružová barva) - zelený čaj, cgr (modrá barva) - kávová sedlina, gr (zelená barva) - kávová sedlina

PŘÍLOHA č. 5

Ramanovo spektrum černého čaje



Mon Jul 13 15:48:26 2020 (GMT+02:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: B_ZnCl2_01_10x_532_5mW_50umpinhole.csv

Region: 3500,00 61,00

Absolute threshold: 108,790

Sensitivity: 55

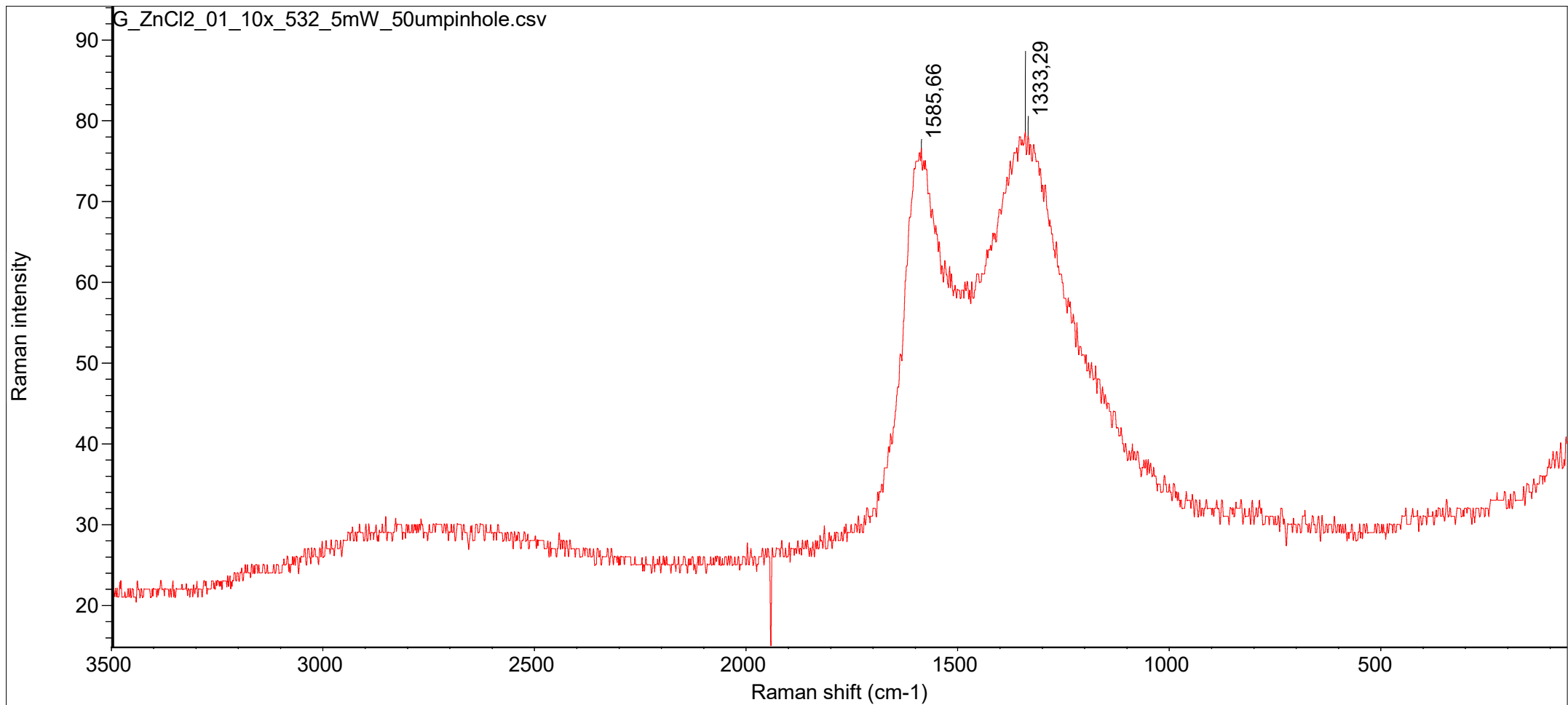
Peak list:

Position: 1339,44 Intensity: 113,122

Position: 1585,55 Intensity: 109,168

PŘÍLOHA č. 6

Ramanovo spektrum zeleného čaje



Mon Jul 13 17:11:29 2020 (GMT+02:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: G_ZnCl2_01_10x_532_5mW_50umpinhole.csv

Region: 3500,00 61,00

Absolute threshold: 76,133

Sensitivity: 50

Peak list:

Position: 1333,29 Intensity: 78,170

Position: 1339,81 Intensity: 78,811

Position: 1585,66 Intensity: 76,726