

# Lidské vlasy jako ekologický sorbent

## Diplomová práce

*Studijní program:*

*Autor práce:*

*Vedoucí práce:*

N0723A270003 Průmyslové inženýrství

**Bc. Martina Brelková**

Ing. Mária Průšová

Katedra materiálového inženýrství





## Zadání diplomové práce

# Lidské vlasy jako ekologický sorbent

*Jméno a příjmení:* **Bc. Martina Brelková**  
*Osobní číslo:* T19000025  
*Studijní program:* N0723A270003 Průmyslové inženýrství  
*Zadávací katedra:* Katedra hodnocení textilií  
*Akademický rok:* **2019/2020**

### Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte rešerši týkající se lidských vlasů, jejich složení a technického využití.
- 2) Na základě literární rešerže ověřte možnost využití vlasů jako sorbentu oleje z vodní fáze, navrhnete odpovídající testační metodu.
- 3) Srovnajte sorpční schopnosti lidských vlasů a ostatních sorbentů. Navrhnete vhodnou strukturu sorbentu z lidských vlasů.
- 4) Analyzujte prvkové složení lidských vlasů, použijte metody LIBS a EDS. Výsledky diskutujte z hlediska reálného využití.

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

50 – 60 normostran  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

CLOETE E. a N. KHUMALO a J. WYK. Systems Approach to Human Hair Fibers: Interdependence Between Physical, Mechanical, Biochemical and Geometric Properties of Natural Healthy Hair. In: <https://www.researchgate.net>. [online] 2019 [vid. 04. 04. 2020]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/331259993\\_Systems\\_Approach\\_to\\_Human\\_Hair\\_Fibers\\_Interdependence\\_Between\\_Physical\\_Mechanical\\_Biochemical\\_and\\_Geometric\\_Properties\\_of\\_Natural\\_Healthy\\_Hair](https://www.researchgate.net/publication/331259993_Systems_Approach_to_Human_Hair_Fibers_Interdependence_Between_Physical_Mechanical_Biochemical_and_Geometric_Properties_of_Natural_Healthy_Hair)

CREMERS, D. A. a RADZIEMSKI, L. J. Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy. John Wiley & Sons Ltd., pp. 12-15, 2006. ISBN 0-470-09299-8

POLÍVKA, L. Technologie II. Pro UO kadeřník. Praha: Informatorium, 2010. ISBN 978-80-7333-082-8

ROBBINS, C. R. Chemical and Physical Behavior of Human Hair. 5th edition. 2012. ISBN 978-3642256103

*Vedoucí práce:*

Ing. Mária Průšová  
Katedra materiálového inženýrství

*Datum zadání práce:*

14. května 2020

*Předpokládaný termín odevzdání:*

7. ledna 2022

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.  
děkan

L.S.

Ing. Roman Knížek, Ph.D.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

6. ledna 2022

Bc. Martina Brelková

## Poděkování

Ráda bych poděkovala paní Ing. Márie Průšové za vedení mé diplomové práce, její ochotu, vstřícnost, podporu a cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat panu prof. Ing. Jakubu Wienerovi, Ph.D. a paní Ing. Janě Grabmüllerové, za jejich pomoc a ochotu. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a přátelům za jejich podporu po celou dobu studia.

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá využitím lidských vlasů jako biosorbentu. Seznamuje čtenáře se základními informacemi o lidských vlasech, sorpci olejů, rovněž s metodami sorpce a prvkovou analýzou vlasů. Obsahem druhé části je ověření možnosti využití vlasů jako sorbentu oleje z vodné fáze a navrhnout odpovídající testační metodu. Práce rovněž srovnává sorpční schopnosti lidských vlasů s ostatními textilními sorbenty a analyzuje prvkové složení lidských vlasů pomocí metody LIBS a EDS.

**Klíčová slova:** sorpce, vlasový sorbent, spektrofotometrie, prvková analýza

## **Annotation**

The diploma thesis deals with the use of human hair as a biosorbent. It introduces the basic information about human hair, oil absorption, as well as absorption methods and elemental analysis of hair. The second part of the thesis is to verify the possibility of using hair as an oil sorbent from the aqueous phase and to suggest an appropriate test method. The thesis also compares the sorption capabilities of human hair with other textile sorbents and analyzes the elemental composition of human hair using the LIBS and EDS methods.

**Key words:** sorption, hair sorbent, spectrophotometry, elemental analysis

# Obsah

Seznam obrázků.....	9
Seznam tabulek.....	10
Seznam příloh.....	11
Seznam použitých zkratk.....	11
Úvod.....	12
Teoretická část.....	13
1 Lidský vlas.....	13
1.1 Složení lidského vlasu.....	14
1.2 Růst vlasů.....	15
1.2.1 Fáze růstová - anagenní.....	15
1.2.2 Fáze přechodná – katagenní.....	15
1.2.3 Fáze klidová - telogenní.....	15
1.3 Poškození vlasu.....	16
1.3.1 Vnitřní poškození vlasu.....	16
1.3.2 Vnější poškození vlasu.....	17
1.4 Keratinová vlákna.....	17
2 Sorpce olejů.....	19
2.1 Dělení sorbentů.....	20
2.2 Druhy textilních sorbentů.....	20
2.3 Sorpce olejů pomocí vlasů.....	22
3 Testování sorpčních vlastností.....	25
4 Prvková analýza vlasů.....	27
4.1 Metody pro stanovování stopových prvků.....	29
4.1.1 ICP-MS – spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem.....	29
4.1.2 AAS – Atomová absorpční spektroskopie.....	29
4.1.3 XRF – Rentgenová fluorescenční spektroskopie.....	29

4.1.4	ICP-OES – Emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem .....	30
4.1.5	LIBS – spektroskopie laserem buzeného plazmatu .....	30
4.1.6	Metoda EDS - Energiově disperzní spektroskopie .....	35
	Experimentální část .....	36
5	Použité vlákenné sorbenty .....	36
5.1	Komerční sorbenty.....	36
5.2	Metody výroby netkaných sorbentů z vlasového materiálu .....	38
5.1.1	Metoda naplavování .....	38
5.1.2	Metoda plstění .....	41
5.1.3	Finální vlasový sorbent .....	43
6	Testování sorpčních vlastností sorbentů .....	44
6.1	Množství zachyceného oleje dle ČSN 80 0831 .....	45
6.2	Sorpce olejů metodou spektrofotometrie.....	47
7	Prvková analýza vlasů .....	58
7.1	Použité vlasy .....	58
7.2	Metoda LIBS.....	58
7.2.1	Naměřené hodnoty .....	60
7.3	Metoda EDS .....	65
	Výsledky a diskuze .....	66
	Závěr .....	70
	Seznam použité literatury .....	71



## Seznam obrázků

Obrázek 1 Stavba vlasu [2].....	14
Obrázek 2 Ukázka poruch zleva: trichorrhexis nodosa, monilethrix, pili torti [8].....	17
Obrázek 3 Hydrofobní sorpční had [13] .....	22
Obrázek 4 Schéma spektrofotometru [22].....	26
Obrázek 5 Spektrofotometr Helios Epsilon (vlastní foto) .....	26
Obrázek 6 Základní schéma LIBS metody [32] .....	31
Obrázek 7 Analyzátor LEA S500 [37].....	34
Obrázek 8 Schéma přístroje LEA S500 [2].....	35
Obrázek 9 EDS - Energiově disperzní spektroskop [40].....	35
Obrázek 10 Vzorek hydrofobního olejového sorpčního koberce a jeho průřez .....	36
Obrázek 11 Vzorek chemické sorpční rohože a jejího průřezu.....	37
Obrázek 12 Vzorek sudové hydrofobní sorpční rohože a její průřez .....	37
Obrázek 13 Vzorek hydrofobní stříže REO a její detail.....	37
Obrázek 14 Rámeček použitý na naplavování vlasů.....	39
Obrázek 15 Naplavená vrstva vlasů.....	40
Obrázek 16 Použité síto a vytvořená netkaná vrstva z vlasů.....	40
Obrázek 17 Přístroj Ahiba Nuance .....	41
Obrázek 18 Vrchní pohled na váleček .....	42
Obrázek 19 Boční pohled na váleček.....	42
Obrázek 20 Výsledná netkaná vrstva z vlasů.....	43
Obrázek 21 Množství zachyceného oleje [g] dle metody ČSN 80 0831.....	47

Obrázek 22 Vložení vzorku do zkumavky s obarveným olejem a vodou .....	48
Obrázek 23 Proces oddělování vody od petroleje po vyjmutí vzorku.....	49
Obrázek 24 Kalibrace barviva ceres blau.....	50
Obrázek 25 Graf výsledné hmotnosti zachyceného oleje na gram vláken [g/g].....	53
Obrázek 26 Tabulka ANOVA Table jako výstup funkce anova. 1 .....	54
Obrázek 27 Krabicové grafy jako výstup funkce anova. 1 .....	54
Obrázek 28 Mnohonásobné porovnání sorbentů pomocí příkazu multcompare .....	55
Obrázek 29 Výstup funkce multcompare.....	55
Obrázek 30 Graf množství zachyceného oleje u sorbentů hmotností 0,05 – 0,5 g [g] .....	57
Obrázek 31 Uchycený svazek vlasů na oboustranné lepicí pásce .....	59
Obrázek 32 Ukázka nastavení softwaru ATTILA2.....	60
Obrázek 33 Částečná a úplná náhrada kolene [43] .....	61
Obrázek 34 Výsledný vrchol prvku chrom u kořínku vlasů .....	61
Obrázek 35 Výsledný vrchol prvku chrom u konečku vlasu.....	62
Obrázek 36 Výsledný vrchol prvku chrom u barvených vlasů.....	63
Obrázek 37 Výsledný vrchol prvku chrom u přírodních vlasů .....	64
Obrázek 38 Výsledky EDS – prvkové složení vlasů od osoby s kloubní náhradou.....	65
Obrázek 39 Netkaný biosorbent z vlasů.....	66
Obrázek 40 Hmotnost zachyceného oleje na gram vláken [g/g].....	68

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 Rozdělení vlasů podle lidské rasy [2].....	13
Tabulka 2 Hmotnosti vzorků před sorpcí a po sorpci [g].....	46

<i>Tabulka 3 Množství zachyceného oleje sorbenty [g]</i> .....	46
<i>Tabulka 4 Výsledky absorbance</i> .....	49
<i>Tabulka 5 Vstupní hodnoty a výsledek predikované absorbance</i> .....	51
<i>Tabulka 6 Vstupní hodnoty a výsledek hmotnosti zachyceného oleje na gram vláken</i> .....	52
<i>Tabulka 7 Průměrné absorbance sorbentů</i> .....	56
<i>Tabulka 8 Množství zachyceného oleje u sorbentů hmotností 0,05 – 0,5 g [g]</i> .....	56
<i>Tabulka 9 Výsledky absorbance</i> .....	67

## Seznam příloh

Příloha 1 Snímky sorbentů z elektronové mikroskopie

## Seznam použitých zkratk

$A_0$	predikovaná absorbance
$c$ [g/l]	koncentrace
ČSN	česká technická norma
EDS	energie disperzní spektroskopie
g/l	gram na litr
LIBS	spektrometrie laserem buzeného plazmatu
nm	nanometr
ppm	parts per million, částice na jeden milion
tex	jednotka jemnosti příze
$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	objemová hmotnost vlákenného útvaru
$\mu$ [-]	zaplnění
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	objemová hmotnost vláken

## Úvod

Během posledních let se pozornost lidí a firem velice soustředí na ekologii. Ekologická poznání jsou důležitá pro udržitelný rozvoj na planetě Zemi. Ten naplňuje potřeby přítomných generací a neměl by ohrozit generace budoucí. Velkou roli v ekologii hraje nakládání s odpadem, jeho třídění a recyklace. Rovněž lidské vlasy se považují za biologický odpad. Lidé si vlasy stříhají nebo si je nechávají stříhat v kadernictví. Většina těchto vlasů skončí v koši a poté ve spalovně. Některé firmy využívají vlasy například na výrobu paruk nebo, díky jejich obsahu dusíku, jako biohnojivo. Vlasy by však mohly najít uplatnění i v dalším oboru.

Z vlasů by se mohly vyrábět biologické sorbenty, které by účinně pomáhaly při různých nehodách. Úniky ropy či olejů negativně ovlivňují životní prostředí. Tyto látky nejsou mísitelné s vodou, proto ulpívají na vodní hladině a dostanou se do míst, kde poškodí biotopy. Tyto ropné produkty mohou například smočit peří ptactva, které tím ztrácí své termoizolační schopnosti a schopnost létat. Je tedy vždy důležité se pokusit rychle a důkladně tato místa havárií vyčistit. Takové čištění však může být náročné, proto vědci často hledají nové a různé látky, které by jim pomohly. Právě lidské vlasy již podle dosavadních studií disponují vysokými sorpčními vlastnostmi a mohly by se srovnat s již dostupnými sorbenty, které se vyrábí například z polypropylenu. Právě vlasy, které se v současnosti spíše stávají odpadovým materiálem, by mohly efektivně sloužit jako levná a přírodní surovina pro výrobu takových sorbentů.

Cílem práce je ověřit možnost využití vlasů jako sorbentu oleje z vodné fáze a navrhnout odpovídající testační metodu. Práce rovněž srovnává sorpční schopnosti lidských vlasů s ostatními textilními sorbenty a analyzuje prvkové složení lidských vlasů pomocí metody LIBS a EDS.

## Teoretická část

### 1 Lidský vlas

Nauka o vlasech se nazývá trichologie – vědní obor, který se zabývá studiem vlasů, vlasové pokožky, jejich hygienou a péčí o ně. Tato věda vznikla propojením vědních oborů jako dermatologie, biologie, kosmetologie a genetika. Data o vlasech se ale využívají v mnoha dalších vědních disciplínách a oborech. Vlasy zauímají své postavení ve forenzní technice, antropologii či environmentální toxikologii. Z lidských vlasů se vyrábí paruky nebo se díky jejich obsahu dusíku využívají jako biohnojiva. V posledních letech se uvažuje o jejich využití jako biologických sorbentů. [1]

Dnešní studia vlasů se zaměřují především na výzkumy jednotlivých vlasových vláken, jejich složení, vysvětlují jednotlivé funkce a složky ve vlasech, jejich vzájemnou integritu a funkci jako celek. Mnoha z významných faktorů ve výzkumu vlasů jsou zejména rozdíly vycházející z genetiky, pohlaví, životního stylu, věku, stresových stavů, výživy, návykových látek, nemocí apod. Všechny tyto faktory musí být ve výzkumu vlasů zohledněny, a proto jsou vlasy každého člověka jedinečné. Jedním z nejvýznamnějších faktorů je také klasifikace vlasů založená na lidské rase. Vlasy se dělí podle lidské rasy na evropsko-kavkazské, negroidní a asijské, liší se jak fyzikálními, estetickými, tak i geometrickými vlastnostmi. [1], [2]

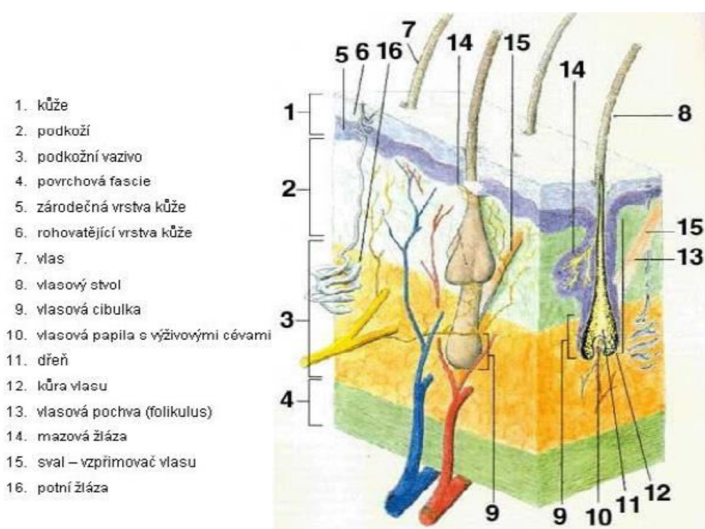
Tabulka 1 Rozdělení vlasů podle lidské rasy [2]

Rasa	Struktura	Průřez	Barva
Evropsko-kavkazská	Jemné, vlnité, hladké	Oválný až kulatý	Plavá, tmavohnědá
Negroidní	Hrubé, kudrnaté	Eliptický až oválný	Hnědočerná, černá
Asijská	Hrubé, hladké, vlnité	Kulatý až oválný	Tmavohnědá, černá

## 1.1 Složení lidského vlasu

Lidský vlas se skládá ze dvou hlavních částí – z vlasového folikulu a vlasového stvolu viz Obrázek 1. Vlasový stvol je největší část vlasu, která vyčnívá nad pokožkou hlavy. Vnitřek stvolu vyplňuje dřev (medulla), která je v samotném jádru vlasu. Druhou vrstvu stvolu tvoří kůra (cortex), která je zároveň největší vrstvou vlasu. Celý stvol poté uzavírá poslední vrstva, která se nazývá kutikula. Ta se skládá až z deseti překrývajícími se vrstvami buněk. Tvoří přirozenou vrstvu, která celý vlas chrání před vnějším prostředím. Kutikula je pravidelně promazávaná vlasovým tukem, a díky tomu se do jádra vlasu dostane méně škodlivin. Oproti tomu vlasovým folikulem se nazývá tkáň, ze které vlas vyrůstá, a zároveň je kořenem vlasu. Nachází se 2-7 mm pod povrchem pokožky a skládá se z vlasové cibulky a ze dvou vlasových pochev. Ve folikulu se také tvoří nové zárodečné buňky, ze kterých poté vznikne nový vlas. Do folikulu ústí také mazová a potní žláza. [3]

Vlas se primárně skládá z keratinu (rohoviny), který se stává hlavní stavební bílkovinou vlasů, ochlupení a nehtů. Keratin vyniká svou elasticitou, pevností a odolností vůči některým chemickým látkám. Vlas je tvořen vodou, která tvoří 12 % jeho hmotnosti. Další látky, které se vyskytují ve vlasu jsou uhlík, vodík, kyslík, dusík, železo, měď, zinek, jód, aminokyseliny, lipidy, amorfni a  $\alpha$ -helikální proteiny. Z prvkové analýzy vlasů lze všechny tyto složky odhalit. Díky tomu lze u jednotlivého člověka různé věkové kategorie usoudit, které prvky mu chybí, a na základě toho mu napovědět, jak se stravovat, či jaké doplňky stravy využívat. Tato analýza také slouží k zhodnocení působení stresu u člověka, k úpravě životního stylu, určení metabolického typu, nebo ke zhodnocení biochemických procesů v organismu. [2], [4]



Obrázek 1 Stavba vlasu [2]

## **1.2 Růst vlasů**

Člověk má průměrně 100 000 vlasů, které mu neustále rostou, ale i vypadávají. Nejvíce vlasů (cca 140 000) mají světlolasí lidé, naopak nejméně (cca 80 000) pak lidé zrzaví. Vlas roste přibližně 2-7 let, po růstu nastává fáze odpočinku, nakonec vypadne a z vlasového kořínku roste vlas nový. Právě z vlasového kořínku za život postupně vyrostou až 12 vlasů. Denně vypadne člověku asi 70–100 vlasů a to v případě, že nemá s vlasy žádné problémy. Vypadávání vlasů také zásadně ovlivňují sezónní změny. Ty nedosahují takové míry jako u zvířat, avšak dle studií je prokázáno, že k největšímu vypadávání vlasů dochází na podzim a na jaře, právě v době, kdy se zvířatům přeměňuje zimní a letní srst. Vypadávání vlasů je však přesto velmi individuální a ovlivňují ho mnoho faktorů např. stres, nedostatek vitamínů, těhotenství, různé nebo terapie. Každý vlas prochází třemi fázemi růstu. Jedná se o fázi růstovou, přechodnou a klidovou. [5]

### **1.2.1 Fáze růstová - anagenní**

Tato část je první fází, která trvá od 2 do 7 let. Každý vlas se vytváří ve vlasovém folikulu na papile. Právě k nim se přivádějí živiny, jako například aminokyseliny, a podporují růst samotného vlasu. Princip spočívá v buněčném dělení, které je způsobeno dceřinými buňkami, složenými z bílkovin. Tyto buňky mají podlouhlý tvar, jsou vytlačovány nahoru a postupem času rohovatí. Po celou tuto dobu je vlas pevně zakotven ve vlasovém folikulu a jeho vytrhnutí vyžaduje vyvinutí síly a je bolestivé. Denně nový vlas vyrostou o 0,2 až 0,4 mm. Samotná barva vlasu je ovlivněna pigmentem zvaným melanin. Jelikož vlasy neustále rostou, má jedinec 85 % vlasů, které se nachází právě ve fázi růstové.

### **1.2.2 Fáze přechodná – katagenní**

Katagenní fáze je fází přechodnou, která oproti růstové fázi trvá přibližně 3 až 4 týdny. Jedná se o dobu mezi růstem a vypadnutí vlasu. V této fázi ustává buněčné dělení a zásobování živinami. Nedochází v ní ke tvorbě pigmentu ani růstu vlasu. Právě v této fázi již dospělý vlas zakrňuje, vlasová cibulka se ztlušťuje a vlas postupem času odumírá. V této fázi má jedinec asi 1 % vlasů.

### **1.2.3 Fáze klidová - telogenní**

Z přechodné fáze se vlas dostane do fáze klidové. Klidová fáze neboli telogenní obsahuje cca 14 % vlasů. Jedná se o dobu, kdy se rodí nový vlas, který postupně vytlačuje vlasy dosavadní, které se sunou nahoru až vypadnou. Pokud se v této fázi nachází více vlasů najednou, dojde k výraznějšímu úbytku vlasů. Starý vlas není již pevně uchycen, proto je

snadnější jeho účelné vytrhnutí. Když je tělo vystaveno velkému stresu, může do této fáze přejít až 70 % vlasů na hlavě. Tato fáze trvá 3 až 4 měsíce během které vzniká nový růstový cyklus. [6]

### 1.3 Poškození vlasu

Mimo vypadávání vlasů (alopecie) mohou být vlasy také poškozené. To se odráží ve struktuře vlasu, hustotě nebo jeho barvě. Poškození může být vrozené, častěji ale dochází k poškození vnějšími vlivy. Mezi ně patří většina vlasových procedur, které lidé podstupují paradoxně pro to, aby jejich vlasy byly vzhledově hezčí a zdravější. Mezi vnější vlivy patří vysoušení vlasů, barvení nebo styling použitím tepla, slunce, vítr, znečištění, stres, nebo dokonce kouření. Tyto agresivní vlivy nejprve naruší povrch vlasu, následně kutikulu - ochrannou vrstvu vlasu, a nakonec je poškozeno vlasové vlákno. Vlasy ztrácí lesk a mohou se stát suchými nebo lámavými, nebo naopak se začnou mastit. Onemocnění vlasů se může vyskytovat jako lokalizované nebo generalizované. Abnormality vlasů se často zjišťují pomocí optické a polarizační mikroskopie. [7]

#### 1.3.1 Vnitřní poškození vlasu

Existuje velké množství onemocnění, při nichž dochází k fyzickému poškození vlasu. Někdy je toto poškození vlasového vlákna způsobeno tím, že vlasové folikuly vytvořily vlasy nesprávným způsobem. Za těmito onemocněními jsou obvykle genetické vady. Existují také onemocnění, při kterých je fyzické poškození vlasového vlákna způsobené životním prostředím, životosprávnou jedince, nejčastěji špatnou nebo nevhodnou péčí o vlasy. Vypadávání vlasů v důsledku fyzických defektů vlasů je vzácné ve srovnání s jinými příčinami alopecie, ale ty nejběžnější jsou: trichorrhexis nodosa, monilethrix, pili torti, pili annulati, trichoptilóza nebo fragilitas crinium:

- Trichorrhexis nodosa – Jedná se o ústřední poruchu vlasového vlákna, které se projevuje otoky nebo štěpením v místech vlasu, kde chybí kutikula. Vlas je křehký, snadno se třepí a láme.
- Monilethrix – Projevuje se charakteristickým střídáním rozšířených a úzkých úseků vlasu s roztečí menší než 1 mm. Choroba si vysloužila přezdívku „korálkovité vlasy“. Vlas je křehký a často se láme těsně nad vlasovou pokožkou.
- Pili torti – Porucha charakterizovaná krátkými a křehkými chloupky zkrouceného vzhledu. Vlas se častěji láme a kvůli malé délce odstává od hlavy.



- Pili annulati – Poruchu charakterizují střídající se barevné úseky vlasu. Vzniklé 1 až 3 mm široké proužky jsou výsledkem poruchy stavby dřene a kůry vlasů. Nejedná se o poruchu pigmentace. Vlas se neláme, roste dál.
- Trichoptilóza – Označení pro roztřep volného konce vlasu.
- Fragilitas crinium – Odborné označení křehkých a velmi lámavých vlasů, které jsou schopny třepit se v jakémkoliv místě délky. [8]



Obrázek 2 Ukázka poruch zleva: trichorrhexis nodosa, monilethrix, pili torti [8]

### 1.3.2 Vnější poškození vlasu

Vnější poruchy jsou častější než vnitřní, které jsou mnohdy vzácné. Projevují se poškozením struktury vlasu, vyvoláno mechanicko-fyzikálním či chemickým působením. Na vlas působí mnoho vlivů, ať již povětrnostní, proces stárnutí, špatná péče jedince nebo mechanické zatížení, jako je tah a tlak. Na vlasy také negativně působí sluneční záření, které způsobuje vznik peroxidu vodíku, kvůli kterému dochází k oxidaci, což způsobí zesvětlení vlasů. Proto se vlasy, zvláště světlovlasým lidem, v letním období zesvětlují. Negativní dopad na vlasy má také nešetrné zacházení, do kterých lze započítat násilné kartáčování, krepování, žehlení, spaní s mokrymi vlasy, používání nevhodných prostředků na mytí, ale také tvrdá či chlorovaná voda nebo ozařování ultrafialovým světlem. [2]

### 1.4 Keratinová vlákna

Lidský vlas se skládá z keratinu, stavební bílkoviny vláknité struktury, nerozpustné ve vodě. Díky tomu se řadí mezi ostatní živočišná vlákna, jejichž struktura obsahuje právě keratin. Jedná se o vlákna vyrůstající z kůže zvířat, hojně využívaná pro výrobu textilních produktů. Nejrozšířenějším zástupcem keratinových vláken patří ovčí vlna, která se získává z různých plemen ovce domácí. Mezi další keratinová vlákna patří např. kašmír, mohér, velbloudí a králičí srst nebo srst z lamy. [2]

## Ovčí vlna

Tato vlákna se získávají z rouna ovce či jehněte. Tato vlákna vynikají vysokou elasticitou, vysokou ohebností za vlhka a dobrými sorpčními vlastnostmi. Vlna je žádaná především pro její tepelně izolační vlastnosti, jejíž další vlastností je vlastní hydrofóbnost. Naopak tato vlákna disponují nízkou odolností vůči mechanickým poškozením, nízkou pevností a tuhostí. Ovčí vlna se dělí na 4 typy:

- Merinová – typická pro jemnou vlnu, z ovce Merino, jemnosti pod 24  $\mu\text{m}$ ,
- Kříženecká – vzniká křížením ovce Merino a beranem nižší kvality British Breed, jemnosti v rozmezí 25 až 50  $\mu\text{m}$ ,
- Anglická – cca 40 plemen, např. Cheviot, Dartmoor, jemnosti 25 až 70  $\mu\text{m}$ ,
- Nížinná – typická pro hrubou vlnu, Čína, Tibet, Mongolsko. [9]

## Kašmír

Získává se z koz kašmírských, které jsou chovány například v oblasti Himaláje, v Číně, Mongolsku, Íránu. Vlákna se získávají vyčesáváním v době línání. Vlákna jsou lesklá, hnědá (bílá) nebo šedá. Průměr pesíků je až 80  $\mu\text{m}$ , průměr podsady 12 až 24  $\mu\text{m}$ .

## Mohér

Získává se z koz angorských (či orenburgských z Ruska), které původně pochází z Turecka. Tato vlákna jsou charakteristická svým leskem, stálostí v oděru, pružností a špatnou plstivostí. Průměr vláken se pohybuje kolem 12 až 45  $\mu\text{m}$ .

## Velbloudí srst

Vlákna charakteristická nejlepšími tepelně-izolačními vlastnostmi. Produkce 2,3 až 3,6 kg srsti z jednoho zvířete, která je sbírána ručně v době línání. Průměr pesíků je 50 až 100  $\mu\text{m}$ , průměr podsady 15 až 25  $\mu\text{m}$ .

## Králičí srst

Vlákna získaná z králíka angorského. Pěstitelskými oblastmi jsou USA, Velká Británie, Francie, Itálie či Japonsko. Vlákna jsou bílá, jemná a hebká, spřádají se samostatně. Jejich průměr činí 10 až 16  $\mu\text{m}$ . [10]

## 2 Sorpce olejů

Ropa je základní surovinou petrochemického průmyslu. Vedle benzínu a nafty se z ní vyrábí mnoho ropných produktů, které mohou negativně ovlivnit životní prostředí. Využívá se při výrobě plastů, olejů, výrobě elektřiny a má mnoho dalších využití. Úniky ropy a jejích produktů negativně ovlivňují životní prostředí. Tyto látky nejsou mísitelné s vodou, proto ulpívají na vodní hladině a dostanou se do míst, kde poškodí biotopy. Tyto ropné produkty mohou například smočit peří ptactva, které tím ztrácí své termoizolační schopnosti a schopnost létat. Je tedy vždy důležité se pokusit rychle a důkladně tato místa havárií (které mohou pocházet z lodních tankerů, vrtných souprav na moři nebo z autonehody) vyčistit. Takové čištění však může být náročné, proto vědci často hledají nové a různé látky, které by jim pomohly. Každá taková havárie se řeší přesným postupem, který dodržuje např. hasičský sbor. Při příjezdu se musí zabezpečit místo havárie řádným označením a řízením provozu, popřípadě uzavřením komunikace. Odpovědné osoby zamezí úniku škodlivých látek a odčerpají kapaliny z poškozeného zařízení. Nezpevněné plochy, systémy odvodnění a zasažené plochy se ochrání použitím již zmíněných sorbentů jako jsou sorpční hadi, hráze ze sorbentů či písek a zemina. [11]

Velké množství ropy se přenáší na dlouhé vzdálenosti do továren, kde z ní dělají výsledné produkty. Každý den se přesouvají miliony barelů ropy, většinou na tankerech. Tankery mohou havarovat nebo jsou poškozeny vrtné soupravy na moři a ropa se rozlije do oceánu. V roce 2010 se v důsledku exploze potopila ropná vrtná plošina v Mexickém zálivu. Tato nehoda způsobila otevření samotného vrtu, ze kterého začalo unikat velké množství ropy. Důsledkem této nehody byla ropná skvrna, velká až 10 000 km<sup>2</sup>. Zasáhla i pobřeží amerických států Louisiana, Florida či Alabama, které disponují vzácnými biotopy, které patří mezi hlavní líhně mnoha živočišných druhů. Celkově do moře uniklo až 147 milionů litrů ropy. Tato nehoda si žádala rychlého řešení, proto experti využívaly plovoucí ramena k zabránění dalšímu šíření skvrny. Pomocí textilních sorbentů absorbovali další zbytky olejů. Právě sorbenty jsou jedním ze způsobů, jak se technici zabývající se životním prostředím snaží vyřešit tyto havárie. Jedná se o materiály, které dobře sorbují kapaliny. Při kontaminaci pevného tělesa se její povrch setře použitelným sorbentem. Pouhá textilie nebo papírový ručník, které disponují savostí se už považují za sorbenty. Avšak po úniku do kapaliny se provádí její zachycení. A to za pomoci speciálních látek a materiálů, které jsou schopny kapalinu na sebe vázat, pohlcovat nebo s ní reagovat. Celý proces probíhá na principech sorpce. Může se jednat o absorpci, což je jev spojený s pohlčováním kapaliny dovnitř objemu pevné látky, kterou nazýváme absorbentem. Druhou možností je adsorpce, což je jev spojený s pohlčováním kapaliny

na povrch pevné látky, kterou nazýváme adsorbentem. Pokud by se jednalo o sorbování pomocí lidských vlasů, opírá se práce spíše o termín sorpce. Lidské vlasy sorbují na jejich povrch (adsorpce), zůstává však otázkou, do jaké míry vlas sorbuje látky do svého objemu (absorpce). [11]

## 2.1 Dělení sorbentů

Jedná se o látky především v tuhém skupenství, různého chemického složení, uvedené do takové formy, aby měly co největší aktivní povrch. Díky těmto látkám se odstraňují tenké vrstvy uniklých kapalin na velké ploše. Sorbenty jsou hygienicky nezávadné, odolné vůči kyselinám, louhům, organickým rozpouštědlům a působení mikroorganismů, mají základní ochranu proti destrukci UV záření a v hydrofobní úpravě odpuzují vodu. Mezi záporné vlastnosti některých sypkých sorbentů se přiřazuje jejich prašnost a špinění při práci s nimi. Zvláště v provozech, kde se klade důraz na čistotu a hygienu, nejsou sypké sorbenty kvůli jejich špinavosti využívány. Proto se tyto provozy uchylují k využívání sorbentů textilních. Ty pracují na principu přilnutí rozlité kapaliny k povrchu sorbentu. Jejich hlavními vlastnostmi jsou:

- vysoké sorpční vlastnosti – vyšší než u sypkých sorbentů,
- dlouhá životnost, opakované využití, odolnost proti záření,
- snadná manipulace,
- snadná úprava tvaru. [12]

## 2.2 Druhy textilních sorbentů

Textilní sorbenty se vyrábí ve formě rohoží, koberců, hadů, norných stěn, polštářků, sorpčních pásků nebo sorpční drti. Nejčastěji se dělí na tři druhy:

- a) údržbové – pro sání méně agresivních kapalin i vody, nevyužívají se ke sběru ropných produktů z vodní hladiny,
- b) hydrofobní – pro sání nepolárních látek z vodní hladiny i z jiných povrchů, kde se vyžaduje odstranění pouze nežádoucích látek,
- c) univerzální – sání všech kapalin včetně agresivních chemikálií, sají i vodu. [12]

Tyto sorbenty se z velké části vyrábí z polypropylenu. Jedná se o termoplastický polymer, který patří mezi nejběžnější plasty. Má podobné fyzikálně-chemické vlastnosti jako polyethylen. Výhodou tohoto materiálu je právě odolnost vůči olejům, organickým rozpouštědlům a alkoholům. Důvodem, proč se sorbenty vyrábí z polypropylenu je jeho

nízká hustota ( $910 \text{ kg/m}^3$ ), díky které tento materiál plave na vodní hladině. Vlákná z polypropylenu mají velmi dobrou pevnost v oděru, minimální navlhavost, nízký sklon k nabíjení statickou elektřinou a ke žmolkování. Vyrábí se pomocí zvlákňování z taveniny, poté se dlouží. [2]

### **Sorpční koberec**

Vlastnostmi a chemickou odolností se podobá sypkým sorbentům, ale dodává se v rolích. Umožňuje mechanické stírání nečistot z povrchu strojů, předmětů a podlah pro trvalou sorpci malých množství ropných látek (tzv. úkapů). Vyrábí se také hydrofobní koberce vyrobené z mikrovláken, které mohou být zpevněny tepelným prolisováním se speciální antistatickou úpravou.

### **Sorpční had**

Jedná se o hydrofobní sorpční textilii nastříhanou na proužky. Tato textilie je na obou koncích je osazena karabinkou a zpevněna síťovým obalem. Pomocí kroužků se může tento typ sorbentu na sebe napojovat. Využívá se jako sorpční norná stěna pro likvidaci olejových havárií, prevence ropných havárií nebo na výstupech z čističek odpadních vod. Sorpční had je dokonale hydrofobní, což znamená, že odpuzuje vodu, ale zachytává ropnou látku.

### **Sorpční proužky a sorpční proužkové hady**

Sorpční proužky se většinou vyrábí v šířkách 10 až 15 mm z hydrofobního materiálu, pro zachycení ropných produktů zejména v prostoru nasazení norných stěn a travnatých břehů vodních toků. Díky vysokému měrnému povrchu velmi rychle sorbují ropné látky. Regenerovatelné proužkové sorpční hady spolehlivě zachytávají ropné látky, zejména vysoce viskózní oleje. Snadno se dají pomocí karabinek napojovat na sebe a vytvářet souvislou sorpční stěnu. Hady vydrží díky své pevné konstrukční síti vlečení po vodě a pevném povrchu. Jejich výhodou se stává fakt, že se dají v průběhu použití regenerovat. Pomocí ždímačky lze ze zachyceného objemu hadu odstranit ropnou látku a aplikace opakovat.

### **Netkané textilie**

Jde o netkané textilie částečně zpevněné vpichy v podélných širokých pruzích, vzdálených např. 5 cm od sebe. Tyto textilie většinou obsahují polypropylen, polyethylen a vápenec. Lze je využít jako vložky do ochranných van při skladování ropných látek, ke

stírání pevných povrchů znečištěných ropnými látkami nebo jako vodopropustnou membránu k ochraně půdy. [12]



Obrázek 3 Hydrofobní sorpční had [13]

### 2.3 Sorpce olejů pomocí vlasů

V současné době se k sorpci olejů při jejich rozlití na tvrdé povrchy jako jsou chodníky, dálnice a betonové plochy, používají syntetické sorbentové materiály. Tyto materiály jsou však drahé a vytvářejí značné množství biologicky nerozložitelného plastového odpadu. Vzhledem k tomu, že se každý rok vyprodukuje více než 8 milionů tun plastového odpadu, z nichž jen velmi málo se recykluje, je zásadní najít biologicky odbouratelné alternativy. Hlavním biologicky rozložitelným materiálem používaným k čištění ropných skvrn je v současné době rašelina. Jen před více než deseti lety zjistili vědci v Norsku, že tato látka byla účinným nástrojem při čištění ropy na souši i ve vodě. Rašelina byla zavedena jako organická alternativa k čištění ropy na souši i ve vodě. Ale s nedostatečnou efektivitou na souši, spolu s poškozením ekosystémů spojených s těžbou rašeliny, se nedoporučuje její použití. [14]

V posledních letech se výzkum opírá o možnost čištění olejových či ropných skvrn pomocí lidských vlasů nebo psích chlupů. Dojde-li k úniku ropy na pevninu, způsobí to dlouhodobé škody komunitám i přírodnímu prostředí. Toxiny v ropě znečišťují obě půdy a riskují kontaminaci podzemních vod, což znamená, že účinky jsou pociťovány daleko za původní katastrofou.

Univerzita v Sydney zjistila, že výrobky z vlasů a srsti shromážděné od chovatelů a kadeřníků mohou mít stejně dobré vlastnosti jako jejich syntetické alternativy. Laboratoř

v roce 2020 vytvořila plstěné rohože ze psí srsti a lidských vlasů jako biologické sorbenty. Porovnávala jejich schopnost absorbovat olej se dvěma komerčně dostupnými produkty: polypropylenovou tkaninou a sypkou rašelinou. K simulaci úniku ropy byla využita surová ropa u třech typů povrchu: neporézní tvrdé povrchy, poloporézní povrchy a písek.

Bylo zjištěno, že levnější a biologicky odbouratelné varianty (psí srst a lidské vlasy) jsou při čištění úniků úspěšnější. Na základě tohoto výzkumu se nedoporučuje, aby se rašelina pro tento účel již používala, vzhledem k tomu, že rašeliníště je omezený zdroj a jeho těžba způsobuje degradaci mokřadních ekosystémů. Tento výzkum poprvé využil materiály přírodního původu pro odstranění ropných skvrn, jejichž výsledek je dobrým znamením pro udržitelnější možnosti v budoucnosti. [14]

Ještě předtím v roce 2016 vznikla studie, která též zkoumá účinnost a mechaniku používání lidských vlasů k čištění vody znečištěné ropou pomocí různých parametrů, jako je doba kontaktu, zotavení a opětovné použití, dávkování adsorbentu, teplota, modifikace. Lidské vlasy se ukázaly jako účinný materiál při odstraňování oleje z vody s maximální sorpční kapacitou pro ropu 7470 mg/g, jakož i pro jeho regeneraci a opětovné použití.

Výzkum ukázal výsledky sorpčních kapacit ropy pro jednotlivé typy vlasů:

- africké vlasy – 7470 mg/g,
- asijské vlasy – 6176 mg/g,
- evropské vlasy – 5246 mg/g.

Srovnávací analýza prováděná s použitím maximální adsorpční kapacity různých sorbentů odhalila, že lidské vlasy fungovaly lépe než organický jíl, rýžové slupky, rákosová kanárská tráva, ošetřený kal, upravené listy palmového oleje, rašelinový mech a aktivní uhlí, ale méně než exfoliované grafity a netkaný materiál na bázi recyklované vlny. Lidské vlasy lze proto upravit tak, aby sloužili k odstraňování ropných skvrn. Byl také zkoumán proces obnovy a opětovného použití. Bylo zjištěno, že proces je účinný po čtyřech po sobě jdoucích cyklech s malými odchylkami v sorpční kapacitě od prvního do čtvrtého cyklu. Proto se dá říci, že se vlasy dají použít jako nízkonákladový, ekologický sorbent pro čištění ropných skvrn, zejména s ohledem na jejich potenciál opětovného použití, aniž by se významně změnila jejich sorpční vlastnosti. [15, 16, 17]

### 3 Testování sorpčních vlastností

Savostí plošných textilií se zabývala technická norma ČSN 80 0831. Tato norma obsahovala zkoušku stanovení nasákavosti, která byla provedena gravimetrickou metodou. Spočívala ve stanovení hmotnosti kapaliny, kterou textilní vzorek přijme. Nejdříve byla textilie zvážena v normálním stavu za sucha. Poté se ponořila do kapaliny na 10 minut. Po vyndání a okapání se textilie zvážila znovu. Právě z rozdílu obou hmotností se vypočítala nasákavost v procentech dle vzorce:

$$N = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

Kde:

N.....nasákavost (%)

$m_0$ .....hmotnost klimatizovaného vzorku v g

$m_1$ .....hmotnost mokrého vzorku po okapání v g

Tato norma je již zaniklá bez náhrady, avšak tímto způsobem zjištění sorpce sorbentů se stále zabývají i jiné studie. [18]

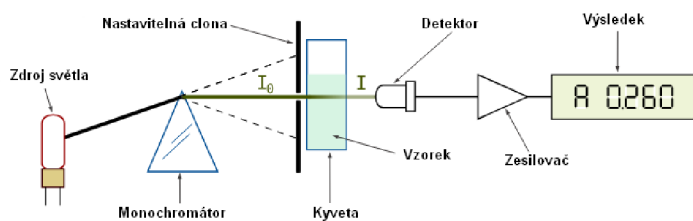
Norma ČSN EN ISO 9073-6 pojednává o zkušebních metodách pro netkané textilie. Odstavec 5 se zaměřuje na sorpci kapalin. Podle této normy testují své výrobky výrobci textilních sorbentů jako například firma Reoamos. Metoda měření této normy se odvíjela od stejného principu jako norma ČSN 80 0831. Rovněž se zde vzorek analyzuje gravimetrickou metodou, která spočívá ve zvážení suchého vzorku a poté smočeného. Z rozdílu se vypočítá sorpce. Firma Reoamos se opírá také o testování dle ASTM F726-06. Tato metoda spočívá rovněž v hmotnostním rozdílu vzorků před sorpcí a po sorpci. [19, 20]

#### Metoda spektrofotometrie

Tato práce se zaměřuje metodu, díky které by se sorpce olejů určila za pomoci spektrofotometrie. Jedná se o metodu, která se používá v různých odvětvích. U této kvantitativní metody se stanovuje hledaná složka na základě intenzity jejího zbarvení. Pokud není složka zbarvená, musí se nechat zreagovat s činidlem, se kterým dohromady vytvoří barevný produkt. U spektrofotometrie se měří například koncentrace určité látky v roztoku na základě pohlcování světla. Spektrofotometrie je na rozdíl od fotometrie



vybavena speciálním zařízením, které se nazývá spektrofotometr. Jeho součástí je světelný zdroj, čočky a zrcadla, kvalitní barevný filtr, kyveta (speciální nádobka), monochromátor a detektor v podobě optického čidla, které měří intenzitu světla. [21]



Obrázek 4 Schéma spektrofotometru [22]

Při měření je nutné nastavit vlnovou délku absorpčního maxima. Vlnová délka se označuje také jako barva paprsku, a je nejlepší, když se nastaví proti čistému rozpouštědлу, což je nejčastěji voda. Celé měření probíhá v oblasti viditelného spektra, které má absorpční vlnovou délku od 360 nm do 670 nm.

Spektrofotometrie je založena na absorpci světelného paprsku v měřeném roztoku. Zbarvený produkt se měří ve speciální nádobce, zvané kyveta. Světelný paprsek projde skrz kapalinu v kyvetě, a za ní umístěný detektor změří intenzitu světla. Molekuly obsažené ve vzorku pohltí při průchodu světelného paprsku část jejího světla. Výsledkem je absorbance - logaritmická funkce úbytku světla paprsku, který prochází skrz vzorek a vyjadřuje se  $A = -\log_{10}(I/I_0)$ . Intenzita prošlého světla značeného  $I$  je po změření menší než intenzita počátečního světla  $I_0$ . Měření různých roztoků se musí měřit v kyvetě stejného rozměru. Pokud se stejný roztok změří ve větší nádobě, bude jeho absorbance větší, jelikož procházející světlo bude pohlceno větším počtem molekul. [21]



Obrázek 5 Spektrofotometr Helios Epsilon (vlastní foto)

## 4 Prvková analýza vlasů

Prvková analýza vlasů je jednou ze základních metod sloužící ke zjištění zdravotního stavu člověka a prevenci. Analýzou prvků ve vlasech se dnes zabývá již mnoho laboratoří na světě. Metoda se začala používat v 80. letech 20. století v USA, ale i v Evropě existuje několik laboratoří, které se tímto tématem zabývají. V souvislosti s vlasovými sorbenty nastává otázka, zda je taková výrobek ekologický a šetrný k přírodě. Sorbenty se využívají v mnoha ekosystémech, proto by jejich případná škodlivost byla velice nežádoucí. Vlasy si lidé různě chemicky upravují, některé barvy na vlasy mohou obsahovat škodlivý chrom. Právě při využití sorbentu by se mohl právě chrom uvolňovat například do oceánu. Spekuluje se také o uvolňování chromu či molybdenu do těla z kloubních implantátů. Právě takové uvolnění se může projevit ve vlasech lidí. V případě, že by sorbent mohl uplavat není žádoucí, aby takové produkty byly využívány.

Právě analýza prvků přináší skvělé odpovědi na otázky o šetrnosti vlasů. Pomocí hladiny chemických prvků a jejich vzájemných poměrů mohou odborníci sestavit analýzu stopových prvků v organismu. Napoví nám, jak se stravovat, jak se vyrovnávat se stresem, které doplňky stravy brát. Je dobrou metodou v oblasti komplementární medicíny, kdy následnými opatřeními po provedené analýze můžeme výrazně pomoci například při léčbě chronických chorob. Tato analýza odráží absorpci různých zdrojů, což zahrnuje pracovní vytížení člověka, jeho životosprávu, zda kouří, bere nějaké léky nebo co nejraději jí. Analýza slouží k určení metabolického typu, zhodnocení biochemických tendencí v organismu nebo také ke zhodnocení působení stresu na organismus a vyrovnávání se s ním. Díky ní se doporučuje vhodný způsob stravování, užívání vhodných suplementů nebo úprava životního stylu, která může sloužit jako prevence pro lidi, kteří chtějí být zdraví. Chemické a fyzikální chování lidských vlasů je výukový průvodce a referenční svazek pro kosmetické chemiky a další vědce v oboru vlasových produktů, akademické vědce studující vlasy a růst vlasů, textilní vědce a forenzní specialisty. [4, 23]

Odebrané vzorky z moči či krve, díky kterým se také určuje zdravotní stav jedince, odráží pouze stav aktuální. Z vlasu, jako délkového útvaru, se mohou vyčíst informace i několik měsíců nebo roků zpětně. Některé výzkumy uvádí, že právě analýza vlasů je mnohem přesnější, odběr vzorků je jednodušší a bezpečnější. Analýza byla využívána hlavně pro detekci otrav těžkými kovy, se kterými se jedinci setkali například při pracovním vytížení. Nevýhodou analýzy vlasů se stává fakt, že některé faktory mohou ovlivňovat výsledky. Velmi záleží na tom, zda jsou vlasy barvené nebo jak jsou ošetřovány. Právě šampony,

kondicionéry a barvy ovlivňují kvalitu připravovaných vzorků. Při výrobě sorbentů tato analýza může ověřit, zda jsou vlasy pro jejich výrobu z hlediska ekologie a zdraví nezávadné. [24]

Vlasy mohou obsahovat mnoho stopových prvků, které mohou být tělu prospěšné, ale i neprospěšné, ba dokonce nebezpečné. Množství těchto prvků ve vlasech je přímo úměrné koncentraci prvků v jiných tkání, jako např. krev nebo moč. Ve většině případů se prvky dostanou do vlasu z krve. Prvek se přenesení z krve do zóny syntézy vlasu, poté do zóny keratinizace a nakonec do stvolu celého vlasu. [5]

Tyto prvky rozdělujeme do tří skupin:

- Makroelementy – prvky nezbytné pro život,
  - vápník, hořčík, fosfor, sodík, draslík, síra a chlór
- Mikroelementy – prvky neutrální, bez kterých může organismus fungovat,
  - železo, mangan, měď, zinek, křemík, jod, fluór
- Prvky toxické – mají škodlivý vliv na organismus.
  - kadmium, hliník, rtuť, olovo, antimon. [25, 26, 27, 28]

Každý z makroelementů a mikroelementů disponuje různými prospěšnými funkcemi pro lidský organismus. Avšak některé prvky mohou v určitém množství tělu uškodit. Důležitým prvkem se stává chrom, který je velice důležitý pro diabetiky a hypoglykemiky, jelikož pozitivně ovlivňuje metabolismus glukózy. Tělo si z něj glukózu vytváří, proto se považuje za tzv. posilovače inzulínu. Avšak ve větším množství nebo v jeho různých sloučeninách může organismus zatěžovat. Jak již bylo zmíněno, chrom se může vyskytovat v barvách na vlasy nebo se může uvolňovat z kloubních náhrad. Takové uvolnění představuje negativní účinek na lidský organismus. Stejný problém nastává rovněž u prvku molybden, ze kterého se kloubní náhrady rovněž vyrábí. Je otázkou, zda by bylo ekologicky únosné vyrábět sorbenty právě z vlasů, které by mohly obsahovat takové prvky, které by pro přírodu znamenaly další zátěž.

Právě různé analýzy dokážou určit, zda se tyto prvky opravdu ve vlasech ve vysoké míře vyskytují či nikoliv. Prokázání příznivé míry prvků ve vlasech by ulehčilo samotnou výrobu a užívání vlasových sorbentů vůči životnímu prostředí. Jednou z nejužívanějších metod je metoda ICP-MS založená na principu hmotnostní spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem, s velmi nízkými detekčními limity. Tato metoda však může vést k nepřesnostem a velkým rozdílům napříč laboratořemi. Za další metody se považují

například metody AAS, XRF nebo LIBS. Dnes se již využívají ve více oborech od medicíny, toxikologie až ke kosmetologii. [25]

#### **4.1 Metody pro stanovování stopových prvků**

Jak již bylo psáno výše, existuje více metod, díky kterým se stanovují cizí prvky v těle. Tyto metody jsou již v aktuální době propracované, vykazují vysokou citlivost a přesnost. Umožňují odhalit více než 30 stopových prvků, patří mezi ně:

- ICP-MS,
- AAS,
- XRF,
- ICP-OES. [25]

##### **4.1.1 ICP-MS – spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem**

Jedná se o nejvíc využívanou metodu pro stanovení stopových prvků, která závisí na principu hmotnostní spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem. Výhodami se stávají její přesnost a propracovanost. Dokáže analyzovat i malé množství prvků. Vzorky se připravují pomocí kyseliny. Princip spočívá v zahřátí atomů, což je zbaví elektronů a atomových jader, poté jsou analyzovány pomocí atomové hmotnosti. Ke stimulu plazmy se využívají teploty v rozmezí od 7000 do 8000 K.

##### **4.1.2 AAS – Atomová absorpční spektroskopie**

Tato metoda se běžně užívá pro analýzu prvků v biologických materiálech. Princip spočívá ve využití ultrafialového nebo viditelného světla, které vede ke zjištění koncentrace prvků v plynném skupenství po odpaření kapalných nebo pevných vzorků v plameni nebo atomizací. Výhodami této metody jsou opět přesnost a správnost výsledky při nízkých nákladech. Avšak metoda má i nevýhody, které zahrnují analýzu pouze jednoho prvku a potřeba relativně velkého objemu vzorku – 0,5 až 1 ml séra nebo plazmy.

##### **4.1.3 XRF – Rentgenová fluorescenční spektroskopie**

Tato metoda se považuje za jednu z nejuniverzálnějších společně s metodou LIBS. Zkratka XRF pochází z anglického X-ray fluorescence a spadá do kategorie elektromagnetické spektroskopie. Metodou se analyzují vzorky v kapalném nebo pevném stavu. Nejčastěji se využívá k analýze povrchu, avšak je zapotřebí velkého množství vzorků, což se může považovat za její nevýhodu.

#### **4.1.4 ICP-OES – Emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem**

Jedná se o stopovou analytickou metodu, která slouží ke stanovení obsahu stopových a významných koncentrací jednotlivých prvků v analyzovaném vzorku. Umožňuje analyzovat téměř všechny prvky periodické soustavy. Výhodami jsou rychlost analýzy, široký dynamický rozsah a dobrá reprodukovatelnost. Za nevýhodu se považuje spotřeba argonu, taktéž se z ekonomického hlediska spíše vyplatí analýza větší série vzorků [2,20]

#### **4.1.5 LIBS – spektroskopie laserem buzeného plazmatu**

Spektroskopie laserem buzeného plazmatu, neboli LIBS, anglicky Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, je novodobou metodou analytické chemie, která pracuje na principu atomové emisní spektrometrie (AES). Metoda využívá plazmu generovanou laserem jako zdroj horké vaporizace, atomizace a excitace. Protože plazma je tvořena zaostřeným optickým zářením, má tato metoda mnoho výhod oproti konvenčním technikám AES, které používají sousední fyzikální zařízení (např. elektrody, cívky) k vytvoření zdroje odpařování. Metoda se využívá pro kapalné látky, pevné látky, aerosoly a plyny. LIBS využívá laserového paprsku, který se přes čočku zaměří na povrch vzorku, kde se poté vytvoří mikroplazma. [29, 30]

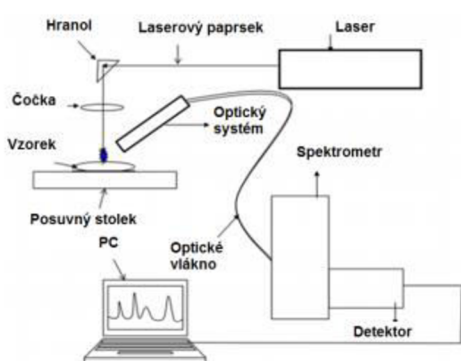
#### **Historie**

Tento spektroskop byl vynalezen v šedesátých letech, jeho základ vycházel z dřívějších poznatků, ale především se vztahuje k vynálezu laseru. Výzkumy začaly velmi starými koncepty nedělitelných jednotek (atomů), chemickými a fyzikálními experimenty a teoretickými pokroky, které proběhly na konci 19. a na počátku 20. století, vývojem laseru, objevem rozpadu plynu a realizací aplikace ke spektrochemii. Ačkoli metoda LIBS existuje již několik desítek let, před rokem 1980 se zájem o ni soustředil hlavně na základní fyziku tvorby plazmy. Od té doby se analytické schopnosti staly zřetelnějšími. Bylo vyvinuto několik nástrojů založených na LIBS, ale nenalezly široké použití. V poslední době se však o tuto metodu znovu objevil zájem pro širokou škálu aplikací. To bylo hlavně výsledkem významného technologického vývoje komponentů (lasery, spektrografy, detektory) používaných v přístrojích LIBS a také vznikající potřeby provádět měření za podmínek, které u konvenčních analytických technik nelze provést. [31]

#### **Princip metody**

Metoda využívá krátký laserový puls k vytvoření mikroplazmy na povrchu vzorku. Právě interakce laseru s povrchem vytváří laserovou ablací. Vzorek se zahřeje na vysokou

teplotu a začne se z něj odpařovat materiál v podobě aerosolu a páry. V momentě, kdy výkon laseru překročí průraz vzorku, se na povrchu vytvoří opticky indukované plazma. Do spektrometru jsou poté shromažďovány z optických vláken čočky emise z atomů a iontů. Právě výsledné atomové spektrální čáry jsou použity k určení elementárního složení vzorku nebo jeho koncentrace ve vzorku. LIBS spektrometr se vyznačuje jednoduchým uspořádáním a nízkým počtem konstrukčních prvků. Zařízení se obvykle skládá z laserového zdroje, systému optických elementů, ablační komory, spektrometru, detektoru a řídicího/vyhodnovacího PC. [30]



Obrázek 6 Základní schéma LIBS metody [32]

### Výhody a nevýhody metody

Mezi hlavní výhody přístroje patří hlavně jeho schopnost měřit na kterémkoliv místě, dokonce i v terénu. Další výhodou, pro kterou je ceněn se považuje rychlost měření vzorků, obvykle trvá pár vteřin. Za další výhody se považují:

- široké elementární pokrytí, včetně lehčích prvků, jako jsou H, Be, Li, C, N, O, Na, Mg,
- všestranné protokoly vzorkování, které zahrnují rychlý rastr povrchu vzorku a hloubkové profilování,
- analýza tenkých vzorků bez obav z interference substrátu,
- snadná manipulace se vzorky,
- provádění v reálném čase,
- detekce prvků pevného, kapalného i plynného charakteru,
- neničivý charakter – je odebráno pouze malé množství,
- může být určeno více prvků najednou,
- možnost analýzy velmi tvrdých materiálů,

- analýza je jednoduchá a rychlá.

Jako každá metoda má i tato nevýhody. Mezi ně se řadí:

- nižší přesnost oproti jiným metodám,
- nutná bezpečnostní opatření, jelikož vysoký laserový pulz může poškodit oči,
- detekční limity nejsou tolik citlivé jako u jiných metod. [2, 33]

### **Oblasti využití**

Díky svým výhodám je tato metoda využívána v mnoha oblastech vědy. Používá se v archeologii, medicíně, při zkoumání půdního a vodního znečištění nebo při datování uměleckých děl. Díky její rychlosti se může použít k okamžitému rozpoznání prvků všech skupenství umístěných v atmosférických podmínkách, ale dokonce i ve vakuu nebo pod vodní hladinou. Tato metoda se právě také hojně využívá při detekci prvků, které jsou obsaženy v lidských vlasech a to po celé jeho délce, díky čemuž je schopno zjistit, jakou měl daný člověk životasprávu, a to až několik měsíců zpátky. [2, 4]

Metoda LIBS se nevyužívá pouze pro analýzu lidských vlasů, ale rovněž pro analýzu zvířecích chlupů. Analýza stopových prvků ve vlasech savců má rovněž potenciál odhalit retrospektivní informace o nutričním stavu a expozici jedince. Protože stopové prvky jsou do vlasů zabudovány během procesu růstu, mohou podélné segmenty vlasů odrážet zátěž těla během růstu. Použitím techniky LIBS v americkém výzkumu z roku 2013 byly detekovány prvky Na, K, Ca, Mg, Si, Fe, Pb a Zn v jediném řetězci koňských chlupů. Výsledky získané technikou LIBS na vzorcích vlasů byly porovnány s tradiční technikou (AAS) na natráveném okyseleném roztoku stejných vzorků. Byly studovány účinky experimentálních parametrů na emisní vedení a byla zkoumána lokální termodynamická rovnováha (LTE) v produkované plazmě. Přejídný stav plazmy byl ověřen ve specifické oblasti (1 500 - 2 000 ns) v evoluci plazmy odpovídající její dynamické expanzní charakteristice. Relativní hmotnostní koncentrace Fe a Zn byly vypočteny nastavením koncentrace uhlíku jako kalibrace. Informace získané ze spekter stopových prvků koňských chlupů v této studii potvrzují potenciál vlasů jako biomarkeru. [34]

V roce 2020 vznikla studie jejíž hlavním účelem bylo použití techniky LIBS jako rychlé, neinvazivní a nízkonákladové techniky spektro-biochemické analýzy laserové spektroskopie. Tato studie indikuje kvalifikovaný výkon LIBS s navrhovanými optimálními podmínkami jako slibný a snadný nástroj pro identifikaci, detekci a charakterizaci stopových prvků u různých typů vlasů. Účelem studie je ukázat, že vzhledem k tomu, že

znečištění lokalit a životního prostředí těžkými kovy představuje významné riziko pro veřejné zdraví, mohou být těmito prvky způsobeny různé nemoci. Předkládaná práce byla provedena na různých vzorcích zvířecích chlupů pomocí techniky LIBS k vyhodnocení obsahu elementárních těl prostřednictvím segmentu vlasů. Kvalitativní analýza byla provedena na atomových a iontových druzích elementů, jako jsou Cu, Cd, Fe, Pb, Ni, Mn, Co a Zn. Pro stanovení kvantitativní analýzy byla vypočtena relativní hmotnostní koncentrace jako poměr atomů a iontů vybraných prvků uhlíku referenčního prvku, C, který je vzhledem k matici vnitřního standardu považován za referenční prvek. Tyto výpočty poskytly skutečnou koncentraci každého prvku, kterou lze zvážit pro další práci. [35]

### **LEA S500 – Laserový analyzátor**

Laserový analyzátor LEA S500 je moderní výkonný atomový emisní spektrální přístroj s multikanálovou registrací spektra, který sám o sobě kombinuje inovativní technologie v oblasti laseru, spektra, měření, digitálního vybavení a softwaru a umožňuje elementární (chemickou) analýzu vzorku během několika minut. Nezbytná hmotnost analyzovaného materiálu je od 50 nanogramů. Doba více prvkové analýzy včetně přípravy vzorku je 1 - 15 minut. Přibližně 7 minut trvá 400 analýz při stanovení homogenity materiálu. [36]

Tento analyzátor dokáže určovat chemické elementární složení kovů, slitin, skla, keramiky, plastů, lisovaných prášků nebo minerálů. Měří koncentrace stopových prvků, jejich sloučenin a analyzuje povrch vzorku v určené ploše pomocí umístovacích a vizualizačních systémů. Využívá se pro kvalitativní, částečně i kvantitativní analýzy prvkového složení surovin, složek, látek či nečistot.

Tento přístroj využívá jako zdroj laserového záření pevnolátkový laser Nd: YAG Laser. Ten vytváří optické záření při výšce 1064 nm s pulzní energií 150 mJ a šířkou pulsu 10 ns. Ukázka přístroje je vidět na obrázku 7. [2, 36]





Obrázek 7 Analyzátor LEA S500 [37]

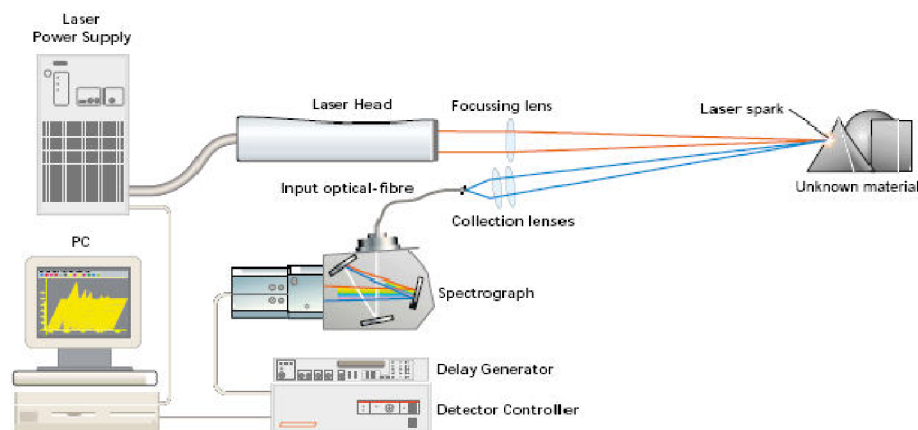
### **Základní části přístroje**

Analyzátor má několik důležitých částí, které jsou nezbytné k samotné analýze, zároveň tento typ přístroje definují. Skládá se z laseru, spektrografu, detekčního systému, hardwaru a softwaru. Mimo to obsahuje ještě několik výkonných jednotek, které zajišťují snadnou a bezpečnou funkčnost přístroje.

Laser, kterým je vybaven analyzátor LEA S500, se řadí do skupiny pevnolátkových laserů. Používá dvojí pulzní Q-spínaný Nd: YAG laser generující neviditelné infračervené záření při vlnové délce 1064 nm.

Spektrograf je optický přístroj, který rozkládá světlo nebo jiný druh záření ve spektrum. Stává se příbuzným přístrojem monochromátoru, avšak od něj se liší tím, že místo výstupní štěrbinu obsahuje plošný detektor, který přímo zaznamenává vytvořené spektrum.

Systém, který kloubí hardware a software slouží ke zpracování, analýze, kontrole a archivaci dat. Analyzátor LEA S500 disponuje softwarem nazvaným ATILLA 2. Používá k řízení činnosti jednotek analyzátoru a umožňuje získat téměř všechny informace. Právě to je výhodou softwaru, jelikož zdokonaluje automatizaci procesu spekter měření, zpracování, detekci, ukládání a analýzu prvkového složení látek. [2]

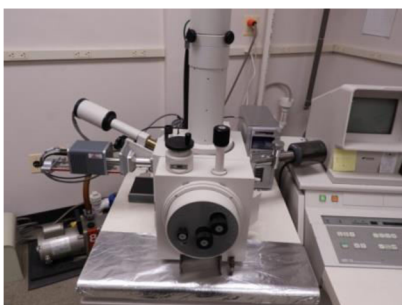


Obrázek 8 Schéma přístroje LEA S500 [2]

#### 4.1.6 Metoda EDS - Energiově disperzní spektroskopie

Jedná se o analytickou metodu používanou na analýzu chemického (prvkového) složení vzorků. Metoda se zakládá na detekci charakteristického rentgenovského záření vysílaného atomy vzorku vybuzenými dopadem svazku elektronů o kinetických energiích od jednotek do stovek keV. Vybudit emisi charakteristického rentgenového záření u atomů vzorku lze také dopadem iontů (metoda PIXE) nebo rentgenovského záření (metoda XRF). Rentgenové spektrum lze změřit více způsoby. [38]

Pro stimulování emise tohoto specifického rentgenového záření je vzorek ozářen, buď paprskem vysoce nabitých částic, kterými jsou protony nebo elektrony, nebo svazkem rentgenového záření. Rentgenové záření charakteristické pro jednotlivé prvky pak vzniká tak, že po zásahu vzorku primárními elektrony jsou vyraženy elektrony z vnitřních elektronových vrstev atomů, které byly do tohoto okamžiku v základním neexcitovaném stavu. Tyto vyražené elektrony jsou následně nahrazeny elektrony z hladin s energeticky vyšším potenciálem. Rozdíl energie elektronu vyraženého a elektronu, který ho nahradil, se pak projeví jako rentgenové záření. [39]



Obrázek 9 EDS - Energiově disperzní spektroskop [40]

## Experimentální část

Po prostudování důležitých informací zabývajících se problematikou této diplomové práce je možné zahájit experimentální část práce.

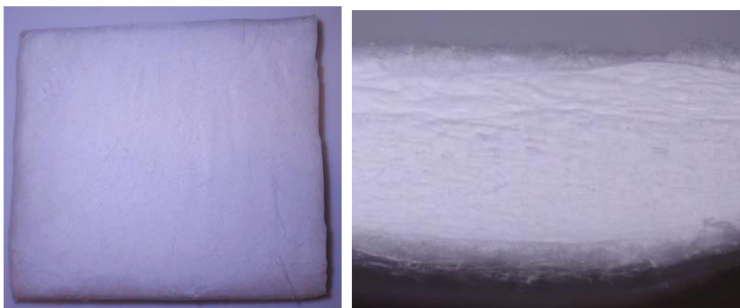
### 5 Použité vlákenné sorbenty

Podle dosavadních studií se předpokládá, že by vlasy mohly sloužit jako sorbent, který by kvalitou odpovídal již dostupným textilním sorbentům. Produktem, který by mohl disponovat vhodnými sorpčními vlastnostmi, by mohla být z vlasů vytvořená netkaná vrstva nebo plstěný výrobek. Ke srovnání s vlasovým sorbentem byly využity 4 komerční sorbenty, které jsou vyrobeny z polypropylenu.

#### 5.1 Komerční sorbenty

##### Sorbent A

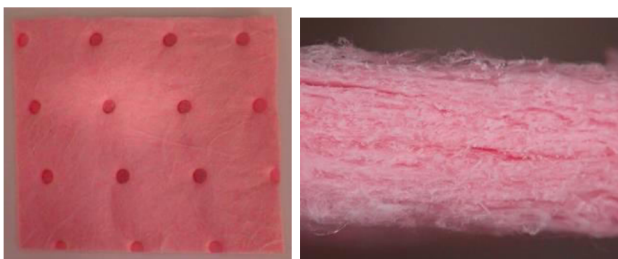
Jedná se o hydrofobní jednovrstvý olejový sorpční koberec firmy Reoamos s plošnou hmotností  $950 \text{ g/m}^2$ . Jeho tloušťka činí 8 mm a zaplnění 15 %. Tento koberec vyrobený z polypropylenu nepřijímá vodu, disponuje vysokou sorpční schopností pro ropné látky z pevného i kapalného povrchu.



Obrázek 10 Vzorek hydrofobního olejového sorpčního koberce a jeho průřez

##### Sorbent B

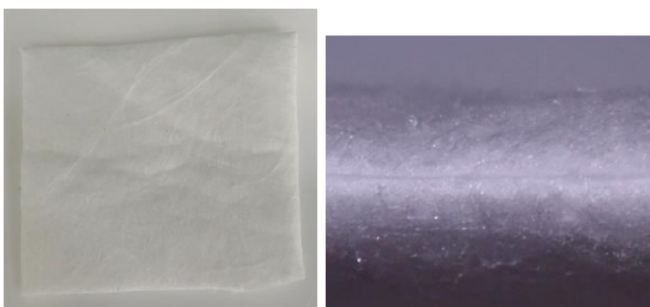
Druhým sorbentem firmy Reoamos je chemická sorpční rohož, která disponuje rychlým sorbováním. Jedná se o netkanou textilií vyrobenou z polypropylenu o plošné hmotnosti  $360 \text{ g/m}^2$ . Jeho tloušťka činí 2,85 mm a zaplnění 16 %.



Obrázek 11 Vzorek chemické sorpční rohože a jejího průřezu

### Sorbent C

Třetí sorbent je vyrobený rovněž z polypropylenu, určený pro sorpci ropných látek, olejů a tuků. Jedná se o sudovou hydrofobní sorpční rohož, vyrobenou z mikro-vláknenné netkané textilie s vysokou sorpční kapacitou a plošnou hmotností 330 g/m<sup>2</sup>. Jeho tloušťka činí 1,377 mm a zaplnění 15 %.



Obrázek 12 Vzorek sudové hydrofobní sorpční rohože a její průřez

### Sorbent D

Posledním produktem k sorpci oleje byla vybrána hydrofobní stříž REO. Tato stříž je vhodná jako náplň sorpční vrstvy filtrů. Jedná se o rozvolněný vláknenný hydrofobní polypropylen. Lze ji použít ke stírání ropných látek z povrchu pevných předmětů. [42]



Obrázek 13 Vzorek hydrofobní stříže REO a její detail

## 5.2 Metody výroby netkaných sorbentů z vlasového materiálu

První část experimentální práce se zaměřovala na výrobu vlasového sorbentu. K jeho finální podobě předcházely prvotní pokusy, které vedly k vhodnému postupu výroby takového sorbentu.

Samotné vlasy jsou pouhým odpadovým materiálem, který nemá žádné využití. Pokud se uvažuje, že hodnota hustoty vlasu je stejná jako u vlny, a průměrná tloušťka vlasu je 0,07 mm, pak je jemnost vlasu cca 5 tex. Průměrně vlas vyroste za měsíc o 1 cm, za rok tedy o 12 cm. Člověk má průměrně 100 000 vlasů, tzn. že za rok člověku vyroste na hlavě až 12 km vlasů. Za pomoci této délky 12 km a jemnosti 5 tex se snadno vypočítá hmotnost vlasů jednoho člověka, která činí 60 g vlasů. V České republice žije cca 10 milionů obyvatel, to představuje až 600 tun vlasů. Právě vlasy by mohly být efektivně využity právě jejich využitím jako biologického sorbentu. Tato práce se rovněž zaměřuje na metodu, která by sloužila k vytvoření vlasového biologického sorbentu. [16]

Ověřilo se, zda se může předpokládat, že vlasová vlákna mají podobnou hustotu jako vlna, jelikož se skládají primárně z keratinu. Použila se pyknometrická metoda pro určení hustoty pevných látek pomocí vzorce:

$$\rho = \rho_{vody} \frac{m_t}{m_{p+v} - (m_{p+t} - m_t)} = 1 \frac{1,1987}{44,1716 - (44,4399 - 1,1987)} = 1,288 \text{ g/cm}^3 \quad (2)$$

Kde:

$\rho_{vody}$ .....hustota vody [g/cm<sup>3</sup>]

$m_t$ .....hmotnost materiálu [g]

$m_{p+v}$ .....hmotnost pyknometru s vodou [g]

$m_{p+t}$ .....hmotnost pyknometru s vodou a materiálem [g]

Hustota vlasů podle pyknometrické metody činí 1,288 g/cm<sup>3</sup>.

### 5.1.1 Metoda naplavování

Naplavováním se rozumí příprava vlákně vrstvy netkané textilie. Netkaná textilie je vrstva vyrobená z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, spojených třením a/nebo kohezí a/nebo adhezí s výjimkou papíru a výrobků vyrobených tkaním, pletením, všíváním, proplétáním nebo plstěním. Naplavování se využívá pro výrobu mokrým

způsobem. Základními požadavky na vlákenné suroviny jsou jejich smáčitelnost vodou a schopnost tvořit disperzi. Pro mokrý proces se proto vyrábějí speciální vlákna nebo se alespoň upravují. Smáčitelnost jako funkce povrchového napětí vody vůči vláknům se zlepšuje použitím hydrofilních povrchových úprav. Vlas jako základní materiál je velmi dobře smáčivý, proto není mnohdy potřeba ho upravovat. Typickým přístrojem pro tvorbu vlákenné vrstvy za mokra je Rotoformer. V průběhu procesu naplavování se přivádí suspenze vláken k sítu. Přitom je důležitá konstantní, dobře vyregulovaná hladina suspenze v nátokovém prostoru. Odsávání vody přes síto je podporováno sacími skříněmi. Následuje ždímání vrstvy a její sušení, nejčastěji pomocí horkovzdušných strojů se síťovými bubny. Typickými oblastmi použití naplavovaných textilií jsou zdravotnické textilie, filtrační a těsnicí materiály, balící materiály či elektroizolační papíry. Tento proces bude v experimentální části práce zjednodušen a využit pro přípravu vzorků. [17]

První možnost, jak vyrobit jednoduchý sorbent z vlasů spočíval ve vytvoření netkané vrstvy vlasů pomocí metody naplavování. Teoretická část práce již popisuje, že se jedná o přípravu vlákenné vrstvy netkané textilie, která se vyrábí mokrým způsobem. Pro tuto metodu byl pro experiment nejdříve použit rámeček, na který se vlasy naplavovaly. Rozměry rámečku jsou 25×14 cm, vnitřní síťovaná část rámečku činí 20×9 cm.



Obrázek 14 Rámeček použitý na naplavování vlasů

Nashromážděné vlasy z kadeřnictví se před procesem vložily do misky, kde se postříkaly jednoduchou dezinfekcí, aby se předešlo možné kontaminaci. Vlasy pocházely od různých osob mužského i ženského pohlaví. Před samotným naplavováním se připravila suspenze vlasů, která obsahovala 2 g vlasů délky 1 cm, které se vložily do 200 ml vody. Takto připravena suspenze se poté naplavila přes rámeček, na kterém se vytvořila

souměrná netkaná vrstva z vlasů. Takto vytvořená netkaná vrstva se poté sejmula na nepřilnavou teflonovou vrstvu a válečkem se odstranila nadbytečná voda. Pro její soudržnost se vrstva zpevnila 2 gramy disperzního lepidla Akrylep 545x2. Jedná se o lepidlo na bázi vody, které se zpevňuje po jeho odpaření. Celá vrstva se sušila 5 minut při 105°C. Pro přesnost výsledků byla zvážena sušina lepidla Akrylep. Lepidlo se vložilo do váženky a nechalo vysušit. Po úplném zaschnutí lepidla se jeho hmotnost snížila na 57 % jeho původní hmotnosti.



Obrázek 15 Naplavená vrstva vlasů

Vytvořená vrstva byla po fixaci lepidlem soudržná a její výroba snadná. Dalo by se předpokládat, že při spojení více vrstev by se mohly vyrobit další produkty, které by sloužily jako sorbent. Celý proces se zopakoval ještě při použití menšího síta, které vytvořilo menší kruhovitou vrstvu. S takovou vrstvou byla snazší manipulace a rovněž byla velmi soudržná.



Obrázek 16 Použité síto a vytvořená netkaná vrstva z vlasů

Naplavování se zkusilo i s vlasy o délce 3 a 5 cm. Naplavování 5cm vlasů bylo horší, jelikož delší vlasy tvořily chumáče vlasů, kvůli kterým nevznikala rovnoměrná vrstva. Proto je lepší pro tuto metodu volit vlasy, které mají kratší délku, nejlépe 1 až 3 cm. Avšak po usušení této vrstvy se však krátké vlasy uvolňovaly a opadávaly. Proto se hledal další způsob jak vhodně sorbent vyrobit.

### 5.1.2 Metoda plstění

Plstění je nejstarší známý proces výroby plošných vláknenných útvarů. Lze s ním zpevňovat vrstvy z vláken, která mají plstící schopnost, to je z vlny a některých dalších vláken živočišného původu. Ty se využívají např. k výrobě kloboukových plstí. Jedná se o proces, při kterém se volně uložená vlákna v rounu působením tepla, vlhkosti a opakovaného mechanického namáhání navzájem prolínají až dojde k vytvoření pevné soudržné látky, kterou nazýváme plstí. Rozdíly v plstící schopnosti jednotlivých typů vláken souvisí zejména s následujícími vlastnostmi vláken:

- geometrická stavba (šupinkovitý povrch),
- bobtnavost,
- pružnost. [17]

Druhý způsob, díky kterému by mohl vzniknout sorbent, se zaměřil na metodu plstění. Výzkum předpokládal, že vlasy jakožto délkový útvar, který obsahuje keratin, by mohl vynikat rovněž plstícími vlastnostmi jako například králičí srst.

Pro metodu plstění byl zvolen přístroj Ahiba Nuance, který se skládá z ocelových patron. Právě do nich se vložily vlasy o hmotnosti 1,5 g. Do patrony se přidal prací prášek s koncentrací 5 g/l. Celé plstění probíhalo při 50°C po dobu 50 minut.



Obrázek 17 Přístroj Ahiba Nuance

Výsledkem byl vyplstěný váleček vlasů. Průměr válečku činil 3 cm, délka 8 cm. Váleček byl sice soudržný, avšak ne tak, jak se předpokládalo vzhledem k ostatním typům vláken. Za předpokladu, že mají vlasy podobnou hustotu jako vlna, se vypočítalo jeho hmotnostní zaplnění.



$$\mu = \frac{V_c \gamma}{\rho V_c} = \frac{\gamma}{\rho} \quad (3)$$

Kde:

$\mu$ .....zaplnění [-]

$V_c$ .....celkový objem vlákenného útvaru [m<sup>3</sup>]

$\gamma$  .....objemová měrná hmotnost vlákenného útvaru [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho$  .....objemová měrná hmotnost vláken [kg/m<sup>3</sup>]

Vzhledem k tomu, že zaplnění vyplstěného válečku je 2 %, je tedy jeho soudržnost velmi nízká. Navíc tento postup je časově náročná a pracný. Výroba takových sorbentů by tudíž nebyla úplně efektivní. Výzkum navíc cílí na to, aby byly sorbenty co nejvíce podobné klasickým textilním sorbentům. Proto se výroba netkané vrstvy jeví jako snadnější a efektivní způsob.



Obrázek 18 Vrchní pohled na váleček



Obrázek 19 Boční pohled na váleček

### 5.1.3 Finální vlasový sorbent

Aby se dal sorbent z vlasů co nejlépe srovnat s dostupnými textilními sorbenty, měl by mít podobnou formu, tj. měl by být větší. Zároveň by jeho výroba neměla být složitá. V této fázi experimentu se vlasy neperou, jelikož tento další krok by již postrádal smysl jednoduchosti a ekologičnosti výrobku. Upustilo se od malého rámečku. K dalšímu experimentu se využila velká vanička, do které se napustila voda, na jejíž hladinu se nasypaly dostupné vlasy. Vlasy se poté zespodu nabraly přes ploché kulaté síto, na kterém se utvořila rovnoměrná vrstva. Ta se nechala odkapat a sejmula se na teflonovou desku.

Síto mělo průměr 35 cm, do vaničky se pro kvantifikaci nasypalo 25 g surových vlasů. Výsledná vrstva se poté musela pro soudržnost zpevnit. Vrstva se tedy rovnoměrně zafixovala lepidlem Akrylep 545x2. Pro takto velkou vrstvu se použilo 15 g lepidla. Proces se pro upřesnění několikrát opakoval. Vlasy plavaly na vodní hladině, pouze pár z nich se ponořilo ke dnu a na vrstvu se nedostalo – průměrně je těchto vlasů 5 g. Výsledná vrstva se nechala vysušit. Po vysušení se hodnota hmotnosti průměrně pohybovala kolem 23 g. Plošná hmotnost tohoto sorbentu je  $240 \text{ g/m}^2$ , objemová měrná hmotnost činí  $84 \text{ kg/m}^3$ . Zaplnění vláken činilo 6 %.



Obrázek 20 Výsledná netkaná vrstva z vlasů

Takto vytvořená netkaná vrstva se velikostně blíží k některým klasickým textilním sorbentům, rovněž je velmi soudržná. S touto vrstvou se pokračovalo v dalších experimentech.

## 6 Testování sorpčních vlastností sorbentů

Druhá část experimentu se soustředí na sorpční schopnost vlasů. Cílem je ověřit, zda jsou vlasová vlákna vůbec vhodná pro sorpční metody a výrobu sorbentů.

Světové výzkumy vnímají vlasy jako biosorbent, který představuje budoucnost v tomto odvětví. Informace o tomto tématu jsou však v literatuře omezené. Účelem tohoto experimentu je prozkoumat sorpční kapacitu lidských vlasů na vyčištění olejových skvrn, která se bude porovnávat se sorpčními schopnostmi ostatních textilních sorbentů, které se pro výrobu sorbentů běžně využívají.

Výzkum ve Velké Británii se rovněž na toto téma zaměřil. Jejich výzkum spočíval ve smíchání 200 ml uměle vytvořené slané vody s 20 g ropy, rostlinného oleje a motorové nafty. Do směsi bylo přidáno různé množství sorbentů, které byly vytvořeny ze tří typů vlasů – A, B, C. Po 60 minutách vyjmutí byla změřena koncentrace oleje na základě metody US-EPA 1664. Sorpční kapacita oleje (mg/g) byla získána z následující rovnice:

$$\text{Sorpční kapacita} = \frac{x_0 - x_s}{x_s} \times 100 \quad (4)$$

kde:

$x_0$ .....celková hmotnost vlhkého sorbentu po sorpci oleje [g]

$x_s$ .....hmotnost sorbentu před sorpcí [g]

Více než 90 % z celkového množství adsorbovaného oleje proběhlo během prvních 5 minut, což naznačuje, že při případné aplikaci lidských vlasů na vyčištění olejových skvrn v terénu je nutná krátká doba kontaktu. Všechny typy vlasů vykazovaly větší afinitu k rostlinnému oleji než ropě a motorové naftě. Vlasy typu C, které si vedly lépe než ostatní měly sorpční kapacitu 7302, 5450 a 5070 mg/g pro rostlinný olej, ropu a naftu. Výsledky jejich práce ukazují, že lidské vlasy mají potenciál pro použití jako levný sorbent pro čištění olejových skvrn. [41]

Experiment této práce se zaměřoval na sorpční schopnosti za pomoci zcela jiné metody, než které jsou využívány – metody spektrofotometrie.

## 6.1 Množství zachyceného oleje dle ČSN 80 0831

Experiment probíhal s pěti různými sorbenty. Jako první se testoval vlasový sorbent v podobě netkané vrstvy, vyrobený pro potřebu této diplomové práce. Druhý až čtvrtý sorbent jsou sorbenty A-D, které se využívají v běžné praxi. Právě s nimi se bude vlasový sorbent porovnávat.

Množství zachyceného oleje bylo nejdříve zkušeno s již neplatnou normou ČSN 80 0831. Podstata zkoušky podle této normy spočívá ve stanovení hmotnosti kapaliny, kterou přijme vzorek textilie za definovaných podmínek. Tato norma obsahovala zkoušku stanovení nasákavosti, která byla provedena gravimetrickou metodou. Spočívala ve stanovení hmotnosti kapaliny, kterou textilní vzorek přijme. Nejdříve byla textilie zvážena v normálním stavu za sucha. Poté se ponořila do kapaliny na 10 minut. Po vyndání a okapání se textilie zvážíla znovu. Z rozdílu obou hmotností se vypočítá nasákavost dle vzorce:

$$N = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (5)$$

Jako vzorky byly využity stejné textilní sorbenty jako u metody spektrofotometrie, z důvodu porovnání obou metod. Tyto sorbenty byly vystříženy do čtverce o velikosti 5x5 cm, aby se jejich hmotnost pohybovala kolem 1 g. Typy použitých sorbentů zmiňuje strana 35.

K experimentu bylo použito 5 baněk s nálevkami, 5 kádinek o objemu 400 ml, 5 Petriho misky, 5 těžítek, váhy a pinzeta. Jednotlivě zvážené vzorky byly vloženy do Petriho misek, ve kterých byla zvážena jejich hmotnost v suchém stavu. Poté se vzorky ponořily do jednotlivých kádinek, ve kterých již bylo připraveno 100 ml motorového oleje Garden Carline. Vzorky se zatížily a ponechaly 10 minut. Po uplynuté době se pinzetou vyjmuly a nechaly vertikálně 10 minut sušit v nálevce, aby odtekl přebytečný olej. Po 10 minutách se opět zvážíla jejich hmotnost. Měření probíhalo pro správnost a vyvarování se chyb šestkrát. Výsledné hmotnosti lze vidět v tabulce 2.

Tabulka 2 Hmotnosti vzorků před sorpcí a po sorpci [g]

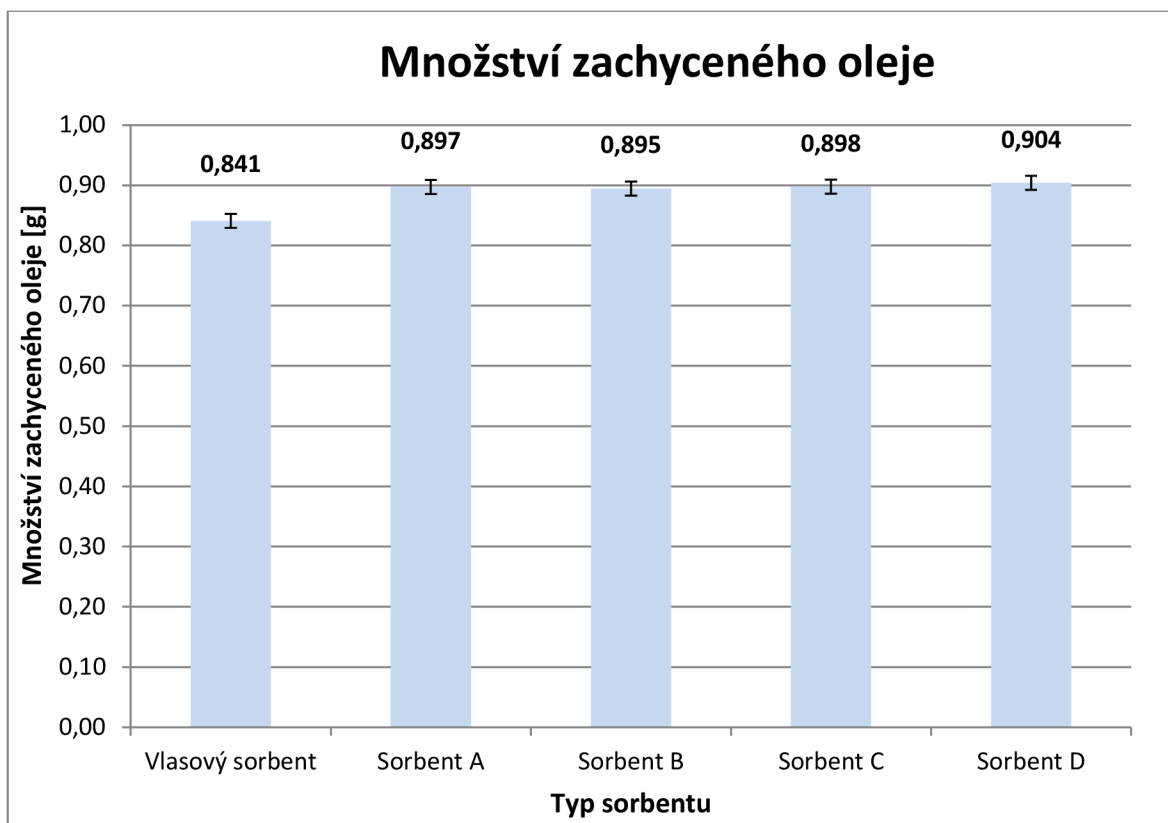
Hmotnosti vzorků [g]						
Číslo měření	Vlasový sorbent		Sorbent A		Sorbent B	
	před	po	před	po	před	po
1	1,00	6,25	1,05	10,57	1,06	10,16
2	1,10	6,98	1,10	10,31	1,08	10,95
3	1,03	6,55	1,15	11,42	1,03	9,46
4	1,05	6,48	1,08	10,81	1,05	9,39
5	1,09	6,75	1,00	9,60	1,07	10,25
6	1,10	6,98	1,05	10,02	1,07	10,38
Číslo měření	Sorbent C		Sorbent D			
	před	po	před	po		
1	0,99	9,42	1,06	11,16		
2	1,01	10,31	1,09	11,95		
3	1,02	9,46	1,08	10,46		
4	1,05	11,03	1,07	10,39		
5	1,08	10,49	1,04	11,25		
6	1,08	10,30	1,03	11,38		

Následně bylo pro porovnání se spektrofotometrickou metodou rovněž spočítáno dle vzorce (5) množství zachyceného oleje. Z hodnot se vypočítal průměr a směrodatná odchylka.

Tabulka 3 Množství zachyceného oleje sorbenty [g]

Číslo měření	Vlasový sorbent	Sorbent A	Sorbent B	Sorbent C	Sorbent D
1	0,840	0,901	0,896	0,895	0,905
2	0,842	0,893	0,901	0,902	0,909
3	0,843	0,899	0,891	0,892	0,897
4	0,838	0,900	0,888	0,905	0,897
5	0,839	0,896	0,896	0,897	0,908
6	0,842	0,895	0,897	0,895	0,909
<b>Průměr</b>	<b>0,841</b>	<b>0,897</b>	<b>0,895</b>	<b>0,898</b>	<b>0,904</b>
<b>Směrodatná odchylka</b>	<b>0,002</b>	<b>0,003</b>	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>	<b>0,005</b>

Z výsledků lze říci, že vlasový sorbent disponuje téměř stejnými sorpčními vlastnostmi jako ostatní již využívané sorbenty. Jeho hodnota sorpce je sice nejnižší, avšak od druhého nejméně nasákového sorbentu B se liší pouze o 0,054. Takové výsledky staví vlasový sorbent na stejnou úroveň jako běžně dostupné textilní sorbenty.



Obrázek 21 Množství zachyceného oleje [g] dle metody ČSN 80 0831

Z grafu je patrné, že podle této metody se mohou vlasy považovat za účinný ekologický biosorbent, který disponuje sorpčními vlastnostmi jako ostatní již využívané sorbenty. Avšak tato metoda se váže spíše na sorpci kapalin jako je voda. Rovněž její postup, který se týká okapání sorbentu ve vertikálním směru není úplně efektivní.

Tato práce se zaměřuje na novou testovací metodu, která by měla cílit právě na měření sorpce olejů efektivním způsobem. Měla by na rozdíl od starších metod simulovat únik olejů do vody při haváriích. Proto se taková metoda zaměří na sorpci olejů z vodní hladiny. Takový způsob by mohl být založen na metodě spektrofotometrie.

## 6.2 Sorpce olejů metodou spektrofotometrie

Experiment je zaměřen na sorpci olejů z vody pěti sorbenty, což má simulovat únik olejů při havárii. Pro výzkum byly použity:

- motorový olej Carline Garden
- barvivo ceresblau RR
- petrolej
- voda
- zkumavky
- kyvety
- nálevky

Jako uniklý olej při havárii se využil komerční olej Carline Garden, dostupný v běžných hobby marketech, využívaný hlavně pro mazání 4-taktních motorů veškeré malé zahradní a zemědělské techniky. Viskozita tohoto oleje je 10W-30. Tento olej zvládá teploty od  $-25^{\circ}\text{C}$  do  $30^{\circ}\text{C}$  a je poměrně řídký. V tomto motorovém oleji bylo rozpuštěno barvivo ceresblau, aby vznikl zásobní roztok s koncentrací 10 g/l. Barvivo ceresblau je rozpustné v tucích a bylo použito kvůli využití spektrofotometrie, která pracuje na principu stanovení hledané složky na základě intenzity jejího zbarvení.

Druhý krok experimentu se zaměřoval na simulaci úniku oleje do vody. Připraveno bylo 5 zkumavek. V každé z nich se smíchalo 30 ml destilované vody s 1 ml obarveného oleje. Do každé z nich následovalo vložení 0,1 g vzorku sorbentu. Tyto klimatizované vzorky se jednotlivě váží s přesností 0,05 %. Cílem bylo sorbovat co největší množství obarveného oleje sorbentem. Zkumavky se po vložení vzorku 15x protřepaly a ponechaly 15 minut.



*Obrázek 22 Vložení vzorku do zkumavky s obarveným olejem a vodou*

Po uplynutí 15 minut se přistoupilo ke třetímu kroku. Aby se mohl odebrat vzorek oleje pro spektrofotometrii, musel se olej od vody oddělit. K tomu sloužil petrolej. Ten se vyznačuje olejofobními vlastnostmi. Na rozdíl např. od benzínu není těkavý, je levnější a zdánlivě netoxický. Ze zkumavek se pinzetou odebraly vzorky a do každé z nich se

přidalo 20 ml petroleje. Zkumavky se opět 15x protřepaly. Voda se od petroleje s olejem oddělovala 20 minut.



Obrázek 23 Proces oddělování vody od petroleje po vyjmutí vzorku

Po 20 minutách se oddělený petrolej od vody ještě před spektrofotometrií přefiltroval. Po filtraci se odebral vzorek, který se vložil do 4ml kyvety. Tento vzorek byl však příliš tmavý pro měření na spektrofotometru Helios Epsilon, proto se ještě zředil petrolejem v poměru 1:1. Měření probíhalo při vlnové délce 630 nm. Celý tento experiment se pro správnost a vyvarování se chyb opakoval několikrát. Z hodnot se vypočítal průměr a směrodatná odchylka. Výsledky jsou interpretovány v tabulce 4.

Tabulka 4 Výsledky absorbance

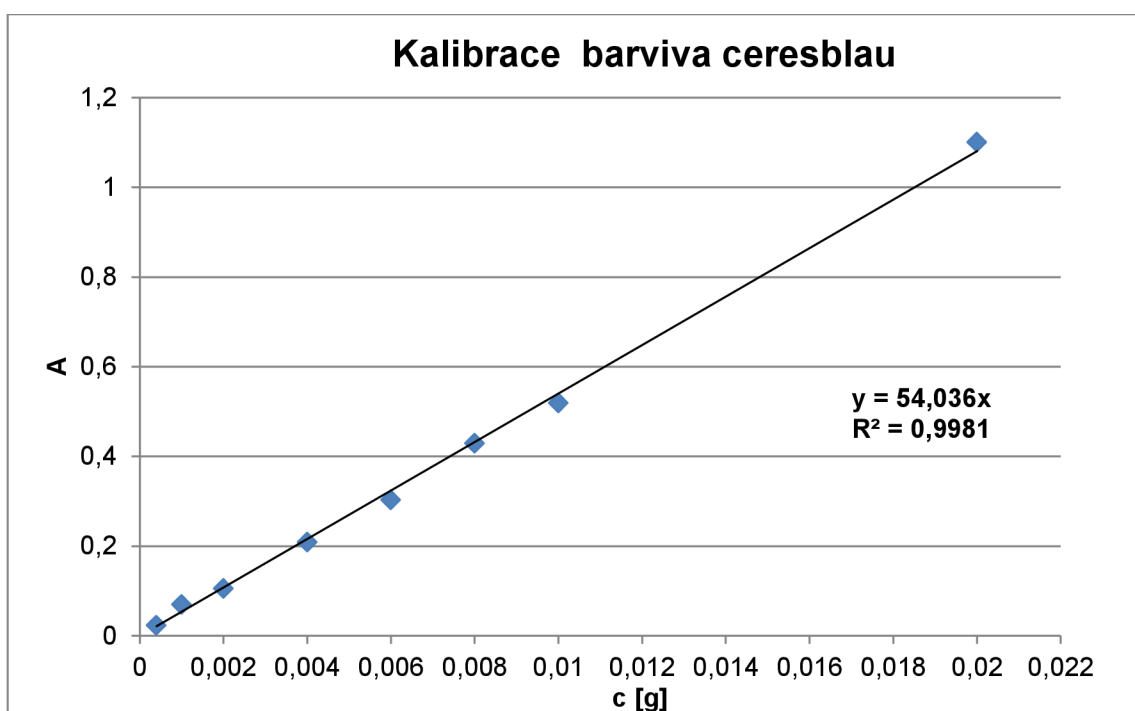
Číslo měření	Vlasový sorbent	Sorbent A	Sorbent B	Sorbent C	Sorbent D
1	0,544	0,333	0,318	0,351	0,219
2	0,508	0,248	0,318	0,245	0,271
3	0,438	0,319	0,351	0,265	0,280
4	0,468	0,355	0,420	0,293	0,341
5	0,503	0,374	0,387	0,239	0,250
6	0,389	0,290	0,366	0,286	0,291
<b>Směr. odchylka</b>	<b>0,056</b>	<b>0,046</b>	<b>0,040</b>	<b>0,041</b>	<b>0,041</b>
<b>Průměr</b>	<b>0,475</b>	<b>0,320</b>	<b>0,360</b>	<b>0,280</b>	<b>0,275</b>

Hodnoty absorbance v tabulce vykazují intenzitu barviva, které se společně s olejem neabsorbovalo do vzorku sorbentu. Čím menší hodnotu spektrofotometr změří, tím víc oleje s barvivem sorbent pohltí. Z tabulky lze usoudit, že hodnoty vlasového sorbentu sice



vyšly nejméně příznivě, avšak rozdíl není radikální. Nejlepší hodnoty vykazuje sorbent D, jehož průměrná absorpance činí 0,275. Vlasový sorbent disponuje hodnotou 0,475.

Z těchto hodnot se posléze vypočítá množství zachyceného oleje. Předtím se však ještě vypracovala kalibrace barviva ceresblau v petroleji při vlnové délce 630 nm. Na spektrofotometru se měřila škála oleje s barvivem ceresblau od 1 ml do 50 ml. Při kalibraci se využila 4 ml kvjeta s tloušťkou skla 10 mm. Níže lze vidět graf kalibrace, na jehož ose x je koncentrace barviva a na ose y jeho absorpance po změření na spektrofotometru. Rovněž ukazuje rovnici grafu a koeficient determinace.



Obrázek 24 Kalibrace barviva ceres blau

Pro přesné zjištění sorpce oleje se využil výpočet pro množství zachyceného oleje. Pro takový výpočet je třeba najít hodnotu predikované absorpce. Výpočet pro predikovanou absorpenci  $A_0$  obsahoval hodnoty koncentrace a objemu zásobního roztoku oleje s barvivem ceresblau, množství petroleje, koncentraci petroleje s obarveným olejem, ředění, koncentraci při spektrofotometrii a směrnici pro spektrofotometrii.

Tabulka 5 Vstupní hodnoty a výsledek predikované absorpce

Zásobní roztok [g/l]	Zásobní roztok [ml]	Barvivo [g]	Petrolej [ml]	Petrolej+zásobní roztok [ml]
c	V	m	V	V
10	1	0,01	20	21
Petrolej+zásobní roztok [g/l]	Ředění	Koncentrace při spektrofotometrii [g/l]	Směrnice pro spektrofotometrii	Predikovaná absorpce
c		c	K	$A_0$
0,476	2	0,238	54,036	12,866

Ve třetím kroku experimentu se smíchalo 20 ml petroleje s 1 ml obarveného oleje, který se v tabulce značí jako zásobní roztok. Celkový objem byl tedy 21 ml. Koncentrace petroleje se zásobním roztokem se vypočítala jako hmotnost barviva násobená tisícem a následně dělená objemem petroleje se zásobním roztokem:

$$c [g/l] = \frac{m \times 1000}{V} = \frac{0,01 \times 1000}{21} = 0,476 \text{ g/l} \quad (6)$$

Koncentrace petroleje se zásobním roztokem je pro měření na spektrofotometru příliš vysoká, proto se vzorek musel zředit petrolejem poměrem 1:1. Výsledná koncentrace pro spektrofotometr je tedy 0,238 g/l. Směrnice pro spektrofotometr se převzala z výpočtu kalibrace – 54,036. Samotná predikovaná absorpce se spočítala jako tato směrnice vynásobená koncentrací.

$$A_0 = c \times K = 0,238 \times 54,038 \doteq 12,866 \quad (7)$$

Díky zjištěné hodnotě predikované absorpce lze již vypočítat množství zachyceného oleje a hmotnost zachyceného oleje na gram vláken u jednotlivých sorbentů. Vstupní hodnoty jsou zaznamenány níže v tabulce 6.

Tabulka 6 Vstupní hodnoty a výsledek hmotnosti zachyceného oleje na gram vláken

Typ sorbentu	A	A <sub>0</sub>	Hmotnost vzorku (g)	Zachycený olej [g]	Odstranění [%]	Hmotnost zachyceného oleje na gram vláken [g/g]
Vlasový sorbent	0,475	12,866	0,1	0,963	96,31	<b>9,63</b>
Sorbent A	0,320	12,866	0,1	0,975	97,51	<b>9,75</b>
Sorbent B	0,360	12,866	0,1	0,972	97,20	<b>9,72</b>
Sorbent C	0,280	12,866	0,1	0,978	97,82	<b>9,78</b>
Sorbent D	0,275	12,866	0,1	0,979	97,86	<b>9,79</b>

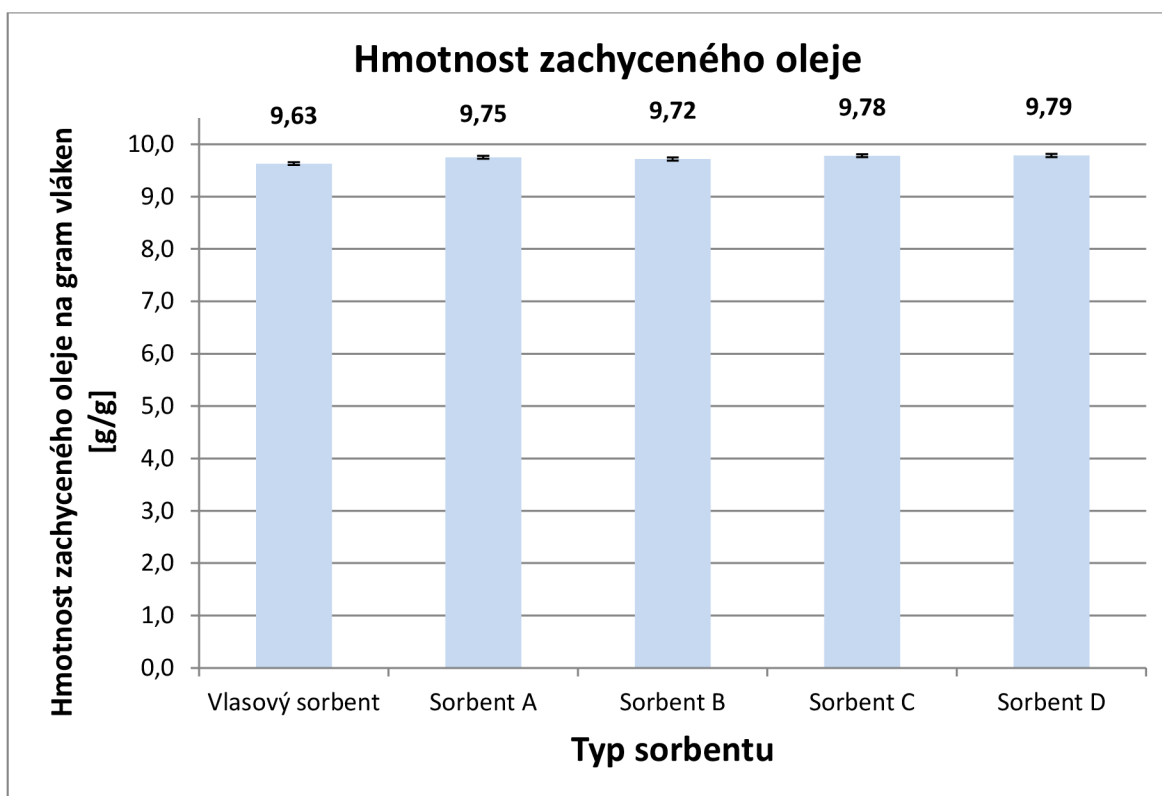
Do výpočtu se dosadily průměrné hodnoty absorbance všech vzorků, které se při experimentu naměřily na spektrofotometru. Množství zachyceného oleje u každého typu sorbentu se vypočítalo jako:

$$m[g] = 1 - \frac{A}{A_0} \quad (8)$$

Výslednou hodnotu hmotnosti zachyceného oleje na gram vláken vyjadřuje vzorec:

$$m [g] = \frac{g \text{ zachyceného oleje}}{\text{hmotnost vzorku}} \quad (9)$$

Výsledné hodnoty všech sorbentů lze vidět v posledním sloupci tabulky 6. Výsledky lze vidět ještě v příloženém grafu.



Obrázek 25 Graf výsledné hmotnosti zachyceného oleje na gram vláken [g/g]

Graf ukazuje, že hodnota sorpčních vlastností vlasů je sice v porovnání s ostatními vlákny nejnižší, ovšem jedná se pouze o zanedbatelné množství. Jako ekologičtější forma výroby sorbentů se podle této analýzy vlasy jeví jako vhodný materiál pro jejich výrobu.

Pro ověření výše zmíněných předpokladů se vyhotovila statistická analýza ANOVA. Jedná se o analýzu rozptylu, která je obdobou t-testu, avšak pro větší počet skupin. Analýza byla provedena v softwaru Matlab pro všech 5 skupin sorbentů. Testovalo se při hladině významnosti  $\alpha=0,05$ . Testována byla nulová hypotéza, že střední hodnoty všech pěti skupin jsou stejné, oproti hypotéze alternativní, že mezi středními hodnotami všech pěti skupin existuje rozdíl.

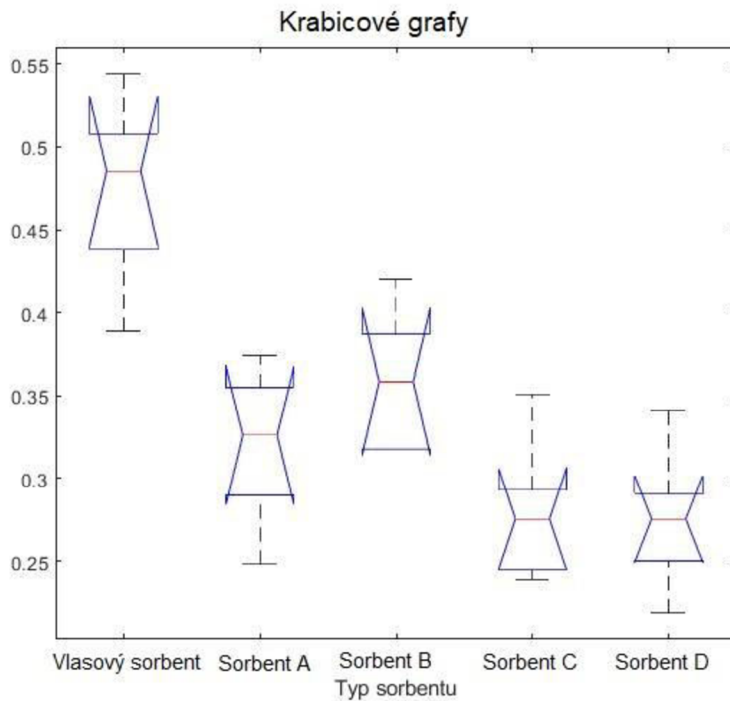
$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

V softwaru Matlab byl využit příkaz *anova1*, který testuje rovnost středních hodnot všech skupin. Vstupem jsou hodnoty absorbance viz Tabulka 4. Výstupem funkce je hodnota  $p$ , která se porovnává s hodnotou hladiny významnosti  $\alpha$ . Dalším výstupem je tabulka hodnot ANOVA Table. Funkce také generuje kontrolní krabicové grafy všech skupin, které zobrazují hodnoty mediánů všech skupin.

ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	0.16088	4	0.04022	19.87	1.81183e-07
Error	0.05061	25	0.00202		
Total	0.21149	29			

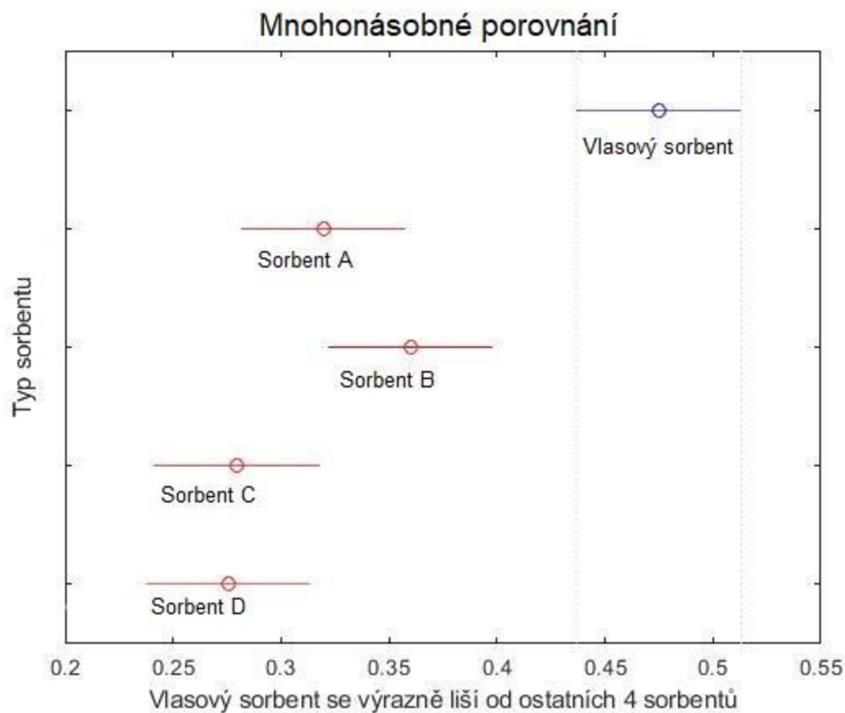
Obrázek 26 Tabulka ANOVA Table jako výstup funkce `anova.1`



Obrázek 27 Krabicové grafy jako výstup funkce `anova.1`

Hodnota  $p$  je pro tuto analýzu  $1.8118^{-7}$ , což je nižší hodnota než hladina významnosti. Na základě tohoto zjištění se zamítá nulová hypotéza, že střední hodnoty všech pěti skupin jsou stejné.

Dále se pomocí mnohonásobného porovnávání zjišťovalo, jaký z pěti sorbentu je odlišný. K tomu byl v Matlabu využit příkaz `multcompare`. Jeho výstupem je graf mnohonásobného porovnání.



Obrázek 28 Mnohonásobné porovnání sorbentů pomocí příkazu `multcompare`

Graf ukazuje mnohonásobné srovnání – průměr absorbancí vlasového sorbentu je odlišný od průměru absorbancí komerčních sorbentů. V grafu je průměr a interval vlasového sorbentu zvýrazněn modře. Protože se srovnávací intervaly pro další sorbenty neprotínají s intervaly pro průměr vlasového sorbentu, jsou zvýrazněny červeně. Tento nedostatek průniku ukazuje, že ostatní průměry jsou jiné než průměr vlasového sorbentu.

Výstupem byla rovněž tabulka c.

```
>> [c,m]=multcompare(stats)
```

```
c =
```

1.0000	2.0000	0.0789	0.1552	0.2315	0.0000
1.0000	3.0000	0.0387	0.1150	0.1913	0.0014
1.0000	4.0000	0.1189	0.1952	0.2715	0.0000
1.0000	5.0000	0.1234	0.1997	0.2760	0.0000
2.0000	3.0000	-0.1165	-0.0402	0.0361	0.5436
2.0000	4.0000	-0.0363	0.0400	0.1163	0.5475
2.0000	5.0000	-0.0310	0.0445	0.1200	0.4444
3.0000	4.0000	0.0039	0.0802	0.1565	0.0360
3.0000	5.0000	0.0084	0.0847	0.1610	0.0243
4.0000	5.0000	-0.0718	0.0045	0.0808	0.9998

Obrázek 29 Výstup funkce `multcompare`

První dva sloupce tabulky c ukazují skupiny (sorbenty), které se porovnávají. Čtvrtý sloupec ukazuje rozdíl mezi odhadovanými průměry skupiny. Třetí a pátý sloupec ukazují spodní a horní limity pro 95% intervaly spolehlivosti pro skutečný průměrný rozdíl. Šestý sloupec obsahuje p-hodnotu pro test hypotézy.

Měřilo se také množství zachyceného oleje u různých hmotností vzorků sorbentu. Kromě 0,1g vzorků se pracovalo s 0,05g až 0,5g vzorky. Cílem bylo zjistit, zda sorpce oleje stoupá úměrně s velikostí sorbentu. Pracovalo se stále s 0,1 g oleje.

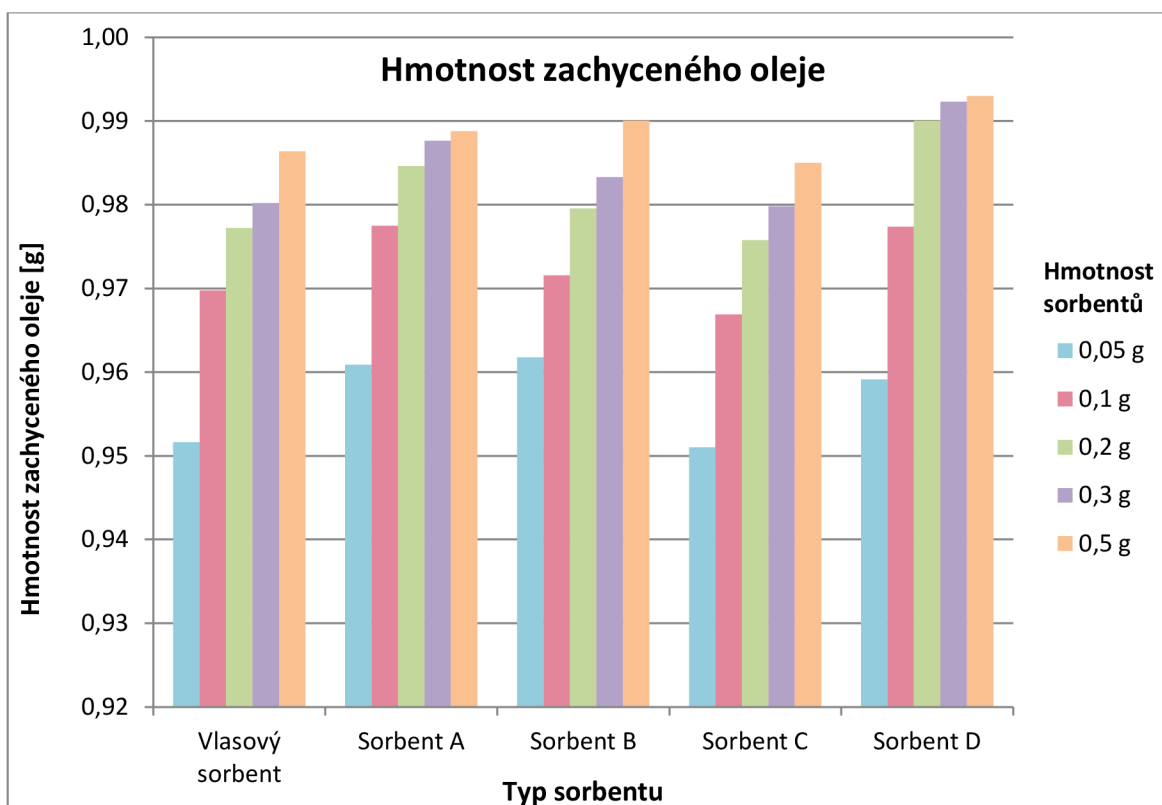
Tabulka 7 Průměrné absorbance sorbentů

Hmotnost vzorku	Vlasový sorbent	Sorbent A	Sorbent B	Sorbent C	Sorbent D
0,05 g	0,622	0,503	0,492	0,630	0,526
0,1 g	0,389	0,290	0,366	0,426	0,291
0,2 g	0,293	0,198	0,263	0,312	0,128
0,3 g	0,255	0,159	0,215	0,260	0,099
0,5 g	0,175	0,144	0,128	0,110	0,090

Tabulka 7 obsahuje průměrné výsledky absorbance měřených na spektrofotometrii. Výsledky potvrzují domněnku, že s růstem velikosti vzorku klesá absorbance, tzn. vzorek sorboval více oleje. Z těchto absorbancí se dle výpočtu výše spočítalo množství zachyceného oleje. Výsledky lze vidět v tabulce a grafu níže.

Tabulka 8 Množství zachyceného oleje u sorbentů hmotností 0,05 – 0,5 g [g]

Hmotnost vzorku	Vlasový sorbent	Sorbent A	Sorbent B	Sorbent C	Sorbent D
0,05 g	0,95	0,96	0,96	0,95	0,96
0,1 g	0,97	0,98	0,97	0,97	0,98
0,2 g	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99
0,3 g	0,98	0,99	0,98	0,98	0,99
0,5 g	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99



Obrázek 30 Graf množství zachyceného oleje u sorbentů hmotností 0,05 – 0,5 g [g]

Graf potvrzuje hypotézu, která se opírá o přímou úměru mezi velikostí sorbentu a množstvím zachyceného oleje. Jak lze vidět u všech typů sorbentů, jejich větší hmotnost absorbovala vždy více oleje než předchozí menší vzorek. Nejmenším množstvím zachyceného oleje u různých velikostí vzorků disponují vlasový sorbent a sorbent C. Ostatní sorbenty sice pohltily více oleje, avšak například pouze o 0,1 g. Taková hodnota není radikálním rozdílem. Proto se vlasový sorbent může považovat za rovnocenný sorbent vůči ostatním již využívaným sorbentům.



## 7 Prvková analýza vlasů

Třetí část experimentu se zabývala analýzou prvkového složení vlasů, které budou hlavní surovinou pro výrobu sorbentu. Jak již bylo zmíněno v teoretické části, využití těchto sorbentů by mělo být více ekologické, tudíž se předpokládá, že by vlasy neměly obsahovat žádné nežádoucí či toxické látky. K tomuto zjištění byly využity metody LIBS a EDS.

### 7.1 Použité vlasy

Pro přípravu vzorků a měření byly využity tři typy vlasů od tří různých lidí. Jedná se o vlasy nebarvené, barvené a vlasy od člověka, který má implantovaný umělý kloub. Vzorky se považují za průměrné dospělé vlasy, které mají průměr okolo 70 mikrometrů.

Nebarvené vlasy pochází od osoby ženského pohlaví. Vlasy jsou tmavě hnědé barvy, délky přibližně 32 cm od kořínku až po jejich konec. Vlasům této osoby se nepřisuzují žádné mechanické či chemické poškození, k mytí dochází 3x týdně. K úpravě vlasů je využíván pouze šampon, nejsou využívány žádné kondicionéry, ani laky na vlasy či jiné gely. Vlasy jsou někdy vysoušeny teplým vzduchem z fénu, ke kadeřníkovi chodí jednou do roka pouze kvůli zastřížení konečků.

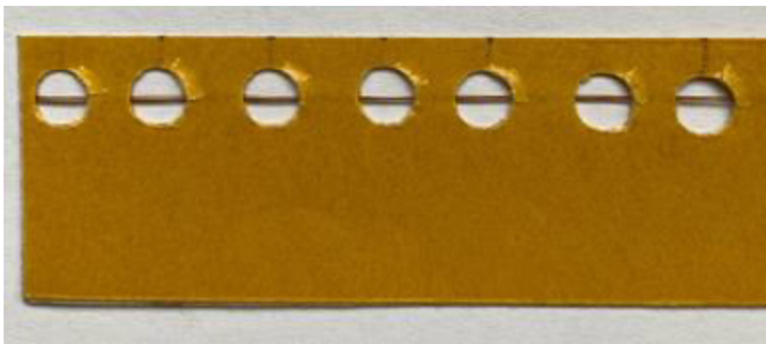
Barvené vlasy pochází rovněž od osoby ženského pohlaví. Vlasy jsou tmavě hnědé barvy s nádechem do červené, délky přibližně 18 cm od kořínku až po jejich konec. K mytí dochází každý druhý den, používán je přírodní šampon z cibulového extraktu a kondicionér. Nejsou využívány laky či gely na vlasy. Ke kadeřníkovi chodí každých 6 týdnů za účelem celkového barvení vlasů a zastřížení konečků.

Třetí typ vlasů pochází od osoby ženského pohlaví s kloubní náhradou, přibližné délky 41 cm, u kterých se předpokládá, že by mohly obsahovat prvky chrom či molybden, ze kterých se vyrábí právě kloubní náhrady. Vlasy nejsou nijak barvené, zřídka vysoušeny teplým vzduchem z fénu a občas zastříženy na koncích.

### 7.2 Metoda LIBS

Vlasy musely být pevně uchyceny, aby se nehýbaly a nedošlo k jejich posunu. Doušová se ve své diplomové práci zaměřuje na vývoj této metodiky. Jeden vzorek obsahoval svazek pěti vlasů, jelikož jeden vlas není schopen spektrometr zachytit. Aby se mohla koncentrace prvků vlasů měřit po jejich délce pro časový sběr informací, musí být vlasy nataženy a mírně zakrouceny od kořínků až po konečky. Aby nedošlo ke kontaminaci

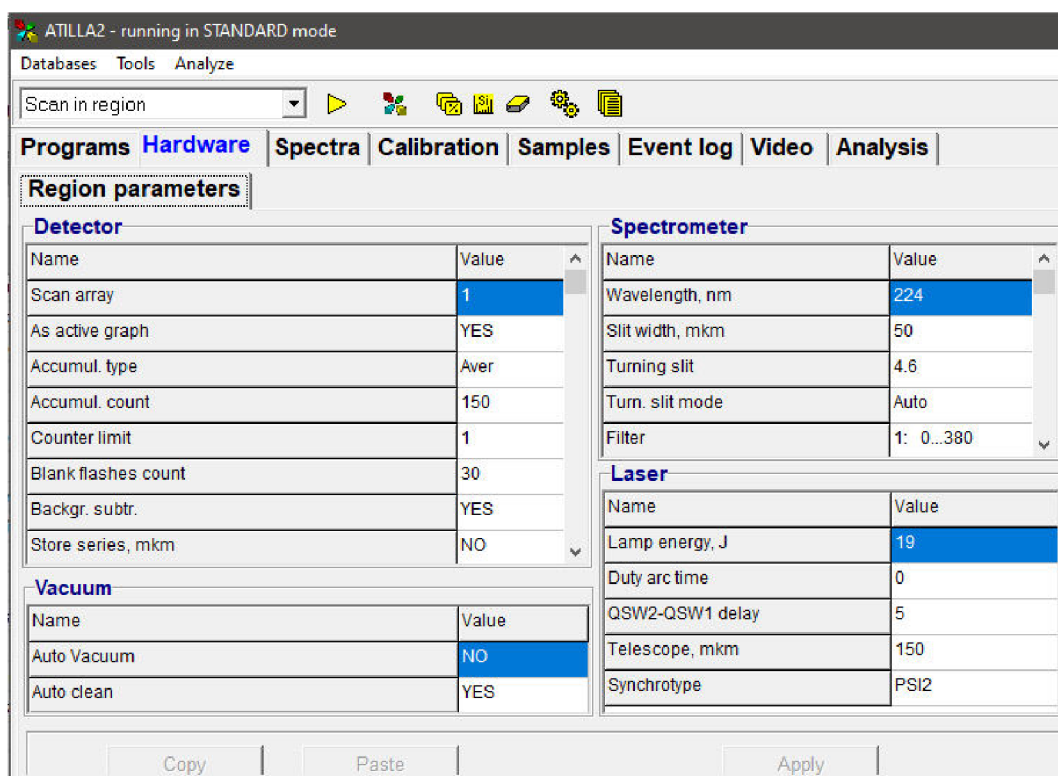
vlasu, nemohlo být k uchycení použito lepidlo, a se vzorky se pracovalo v rukavicích. Pro uchycení vlasů se použila oboustranná lepicí páska, do které byly vyraženy 5mm otvory, které mezi sebou mají vzdálenost 1 cm. Právě vzdálenost 1 cm vyjadřuje průměrný měsíční nárůst vlasu, proto se dá předpokládat, že 12 cm se rovná jednomu roku růstu vlasů. Vlasy uchycené v oboustranné lepicí pásce se poté vkládaly do komory spektrometru. Takto uchycené vlasy jsou vidět na obrázku 27. [2]



*Obrázek 31 Uchycený svazek vlasů na oboustranné lepicí pásce*

Takto připravené vlasy byly měřeny metodou LIBS pomocí laserového elementárního analyzátoru LEA S500, který využívá software zvaný ATILLA 2. V softwaru je potřeba nastavit nejvhodnější podmínky pro měření, jako parametry detektoru, laseru, spektrometru či vakua. Za hlavní výhodu této metody se považuje detekce prvků z vlasů a to po celé jeho délce. Metoda LIBS, na rozdíl např. od metody EDS, nedetekuje prvky pouze z povrchu vlasu, ale absorbuje do plazmatu celý jeho objem.

U měření této metody se detekují prvky, které se zvolí jako výchozí parametr v nastavení softwaru. Některé barvy na vlasy mohou obsahovat škodlivý chrom, proto se vyskytla možnost, že by vlasy od osoby s barvenými vlasy mohly právě tento prvek obsahovat. Vlasy od osoby s implantovaným umělým kloubem by mohly obsahovat rovněž větší množství chromu či molybdenu, jelikož právě umělý kloub se skládá ze slitiny kobaltu, chromu a molybdenu.



Obrázek 32 Ukázka nastavení softwaru ATTILA2

### 7.2.1 Naměřené hodnoty

Měření probíhalo vždy od kořínku vlasu po jeho délce až ke konečku. Laser snímal vždy oblast otvoru v pásce. V softwaru se nastavila vlnová délka, ve které se daný prvek objevuje. Každé měření se opakovalo 3x, pro lepší přesnost a eliminaci chyb. Výsledkem byl graf, ve kterém se sledovaly vrcholy hledaných prvků.

### Vlasy od osoby s kloubní náhradou

Prvními vzorky byly vlasy, které pocházely od člověka s kloubní náhradou – endoprotézou. Ta se využívá pro výměnu nemocného kloubu kloubem umělým. Je možné nahradit celý kloub nebo jen jeho část. Například endoprotéza kolena se skládá ze 3 částí. Dvě kovové části jsou ukotveny v kosti. Mezi ně je vložena polyetylenová (umělá) destička, která zabraňuje tomu, aby se dvě kovové komponenty o sebe třely. Umělý kolenní kloub či kyčel se vyrábí ze slitiny kovů chrom, kobalt, molybden nebo z titanu. Právě chrom má významné postavení v první zmíněné slitině. Jako prvek je neutrálním mikroelementem v organismu, avšak jeho nadměrná produkce může být tělu škodlivá. U kontaktu chromu s kobaltem se můžou uvolňovat kovové ionty, což může

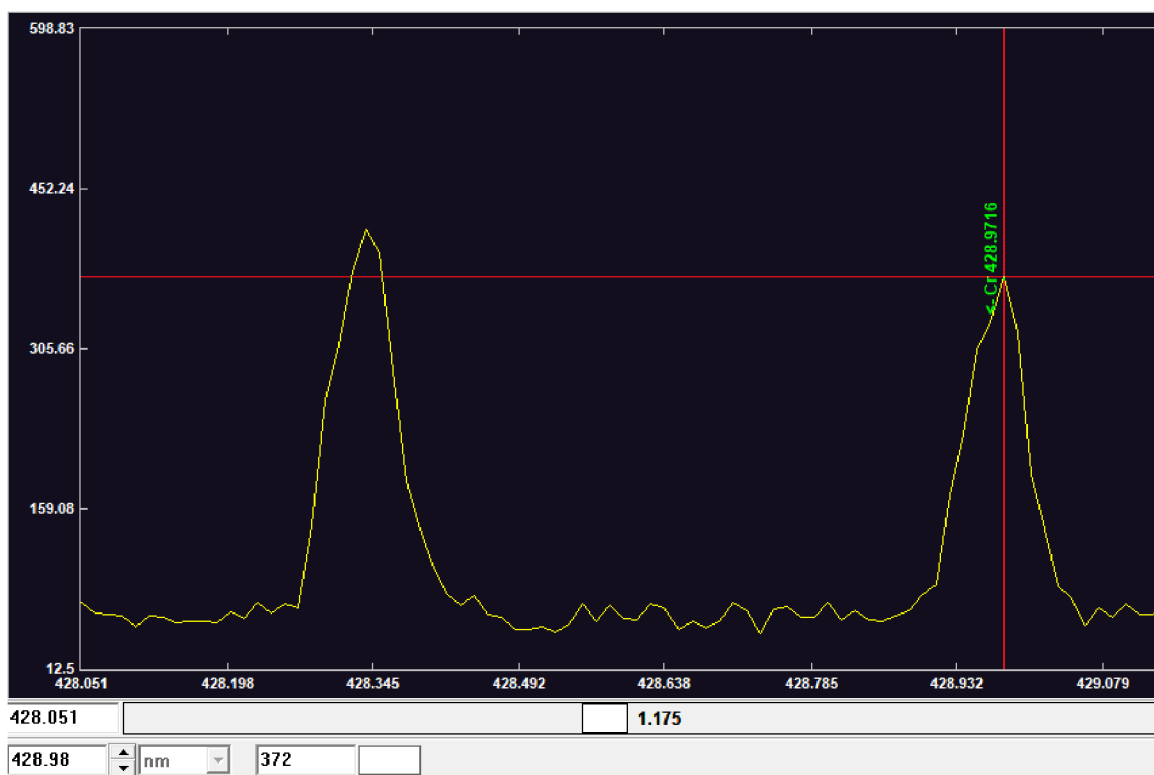
u některých pacientů způsobovat nežádoucí reakce. Proto se výzkum zaměřuje na to, zda se z endoprotézy neuvolňuje jeho velké množství.



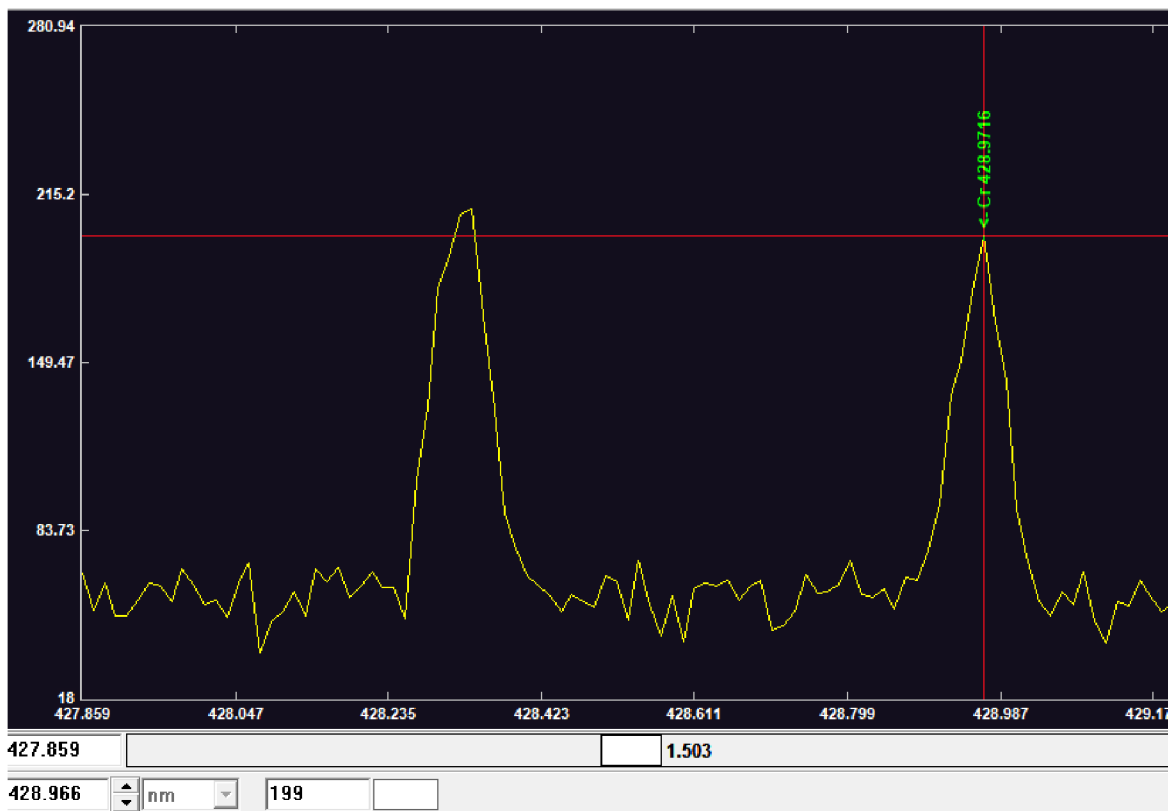
Obrázek 33 Částečná a úplná náhrada kolene [43]

Vzhledem k tomu, že osoba podstoupila operaci v průběhu posledních let, předpokládá se, že koncentrace chromu bude větší u kořínků. U konečků by naopak neměla být koncentrace téměř žádná, jelikož v té době ještě osoba umělým kloubem nedisponovala. Prvek chrom se vyskytoval při vlnové délce 428 nm.

Na přiloženém grafu náleží na ose x vlnová délka v nm, na ose y intenzita.



Obrázek 34 Výsledný vrchol prvku chrom u kořínku vlasů



Obrázek 35 Výsledný vrchol prvku chrom u konečku vlasu

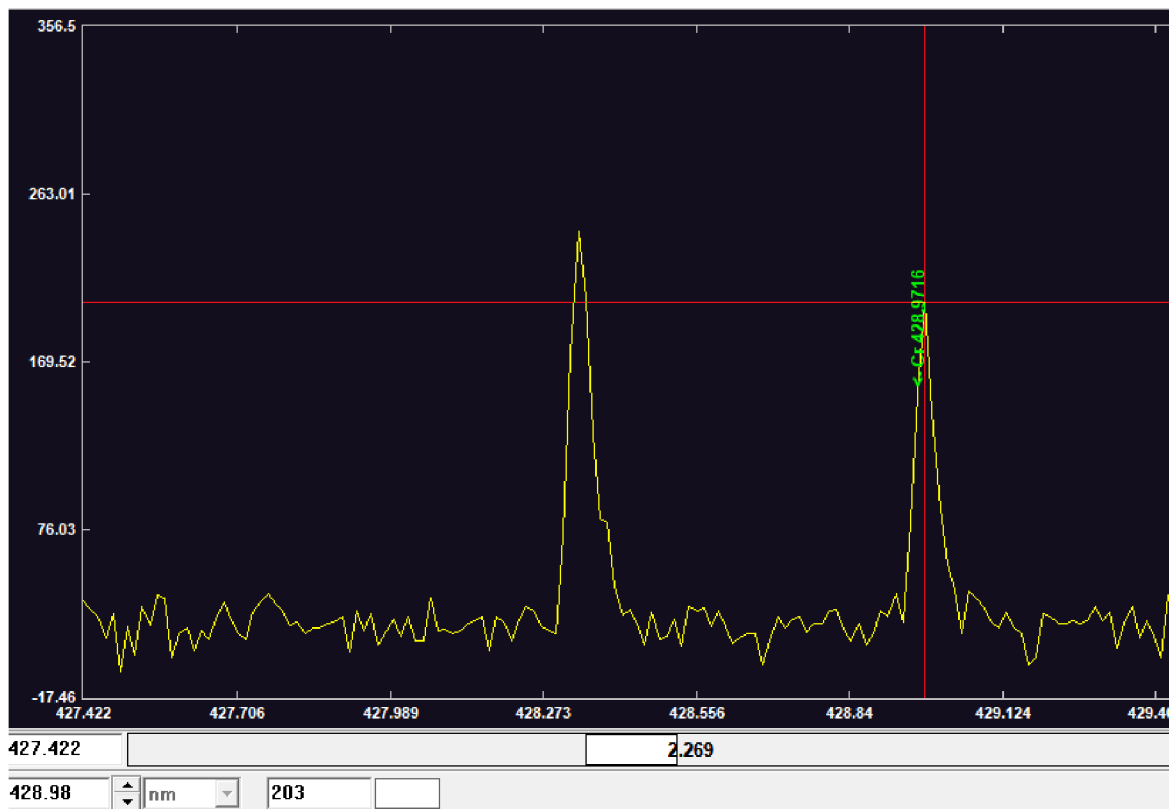
Detekční limit chromu je podle již vytvořené kalibrace 2 ppm, což se rovná hodnotě 20 jednotek intenzity. Tato metoda hodnotí intenzitu prvku ve formě píku (vrcholu). První graf ukazuje, že u kořínku vlasu se intenzita značeného vrcholu chromu rovná hodnotě 372. Z druhého grafu lze vyčíst, že intenzita chromu v konečků vlasu se rovná hodnotě 199. Předpokládá se tedy, že kloubní náhrada má vliv na růst přítomnosti chromu v těle. Hodnota u kořínku vlasu je tedy 18x vyšší než nejnižší limit chromu. Tato hodnota avšak není stále pro lidský organismus škodlivá.

I tak se dá říci, že jsou tyto vlasy vhodné k dalším úpravám a ekologickému využití. Jak se předpokládalo, větší koncentraci chromu obsahovaly první centimetru vlasu od kořínků, naopak nejméně konečky.

### Barvené vlasy

Druhé vzorky, které byly pro analýzu použity, pochází od osoby, která si vlasy aktivně barví. U těchto vlasů se předpokládá, že by mohly obsahovat rovněž neprospěšný chrom, který se v některých barvách na vlasy vyskytuje. Kdyby se prokázalo, že koncentrace chromu není tak vysoká, mohly by se tyto vlasy rovněž používat pro ekologičtější výrobu

sorbentů. Vlasy od osoby byly měřeny stejným způsobem jako vlasy od osoby s kloubní náhradou.

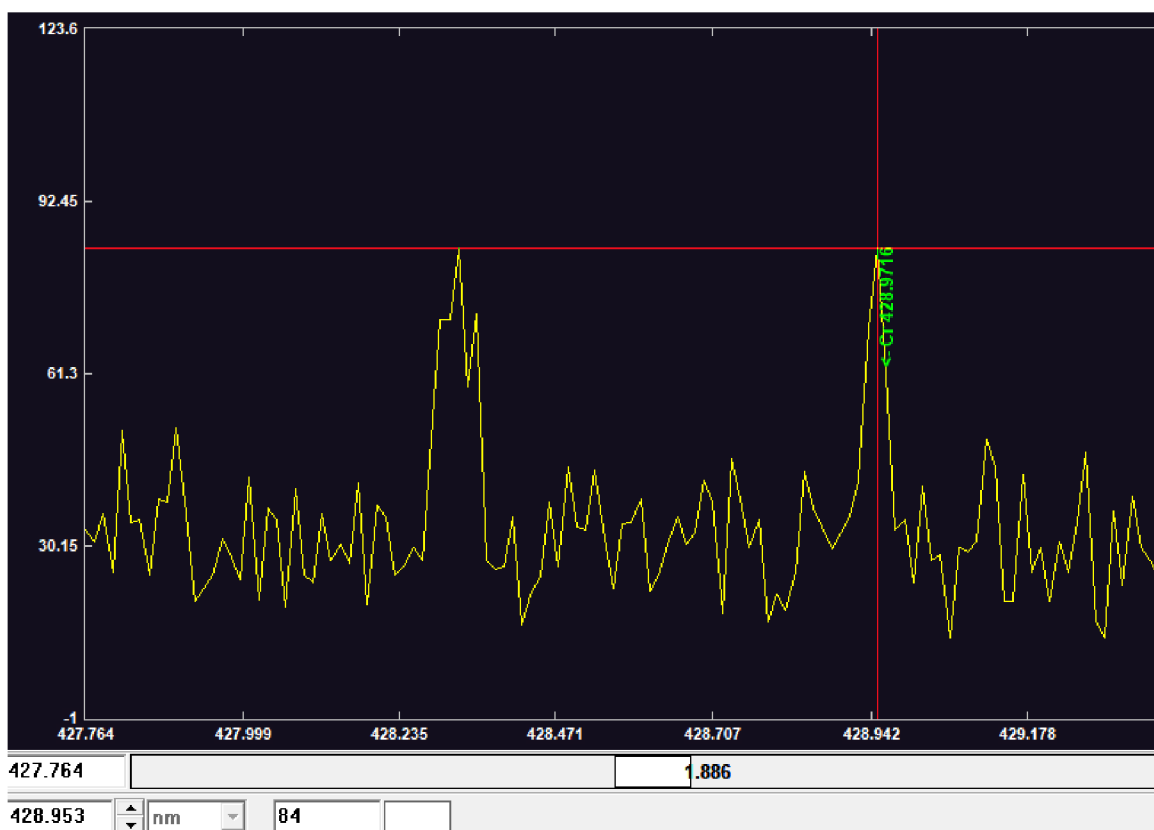


Obrázek 36 Výsledný vrchol prvku chrom u barvených vlasů

Při tomto měření se chrom opět projevil při vlnové délce kolem 428 nm. Intenzita chromu je ovšem celkem zanedbatelná, jeho hodnota činí 203. Vzhledem k tomu, že hodnota chromu je takto nízká, se dá předpokládat, že barva na vlasy chrom neobsahuje a jedná se o přirozený výskyt prvku v organismu. Proto se vlasy mohou využít pro výrobu sorbentu.

### Přírodní vlasy

Jako třetí vzorek pro výrobu sorbentu se analyzovaly přírodní vlasy, které nebyly nikdy chemicky ani mechanicky upravovány. Tyto vlasy by se měly vyznačovat nejnižšími hodnotami nežádoucích prvků, proto by měly být i nejvhodnějšími pro jejich další zpracování. Jako předchozí vzorky se i tyto vlasy měřily ve svazku pěti vlasů metodou LIBS na oboustranné lepicí pásce.



Obrázek 37 Výsledný vrchol prvku chrom u přírodních vlasů

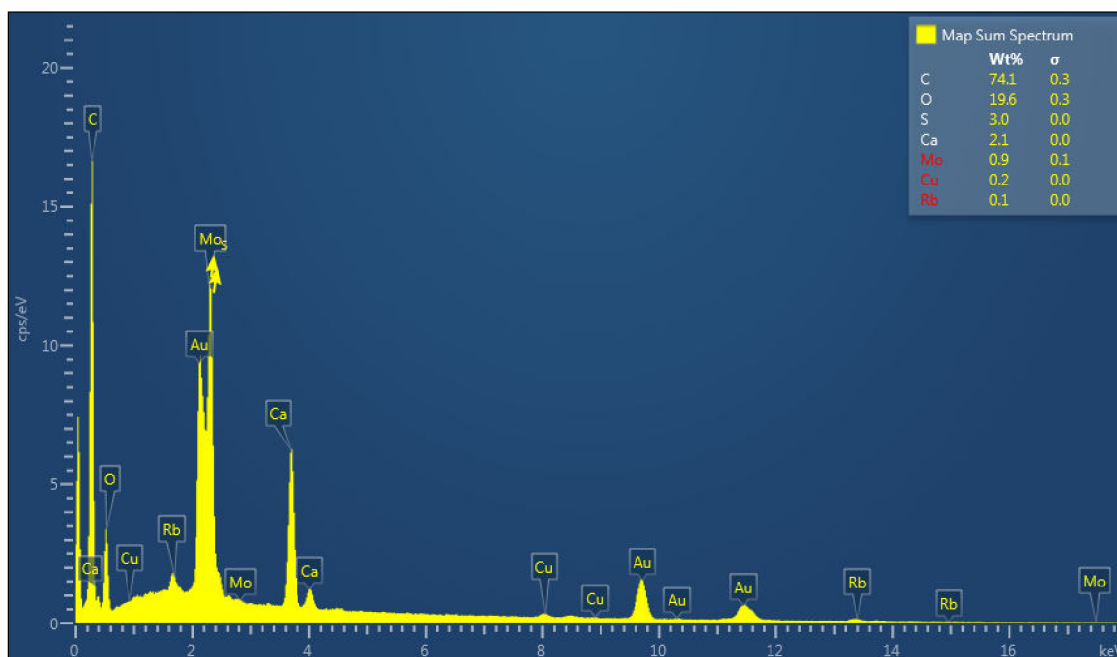
Jak se předpokládalo, přírodní vlasy obsahovaly nejmenší množství chromu, jeho intenzita činí 84. U této hodnoty se předpokládá, že se jedná opět o přirozený výskyt v organismu. Vzhledem k tomu, že hodnoty barvených vlasů a vlasů od osoby s kloubní náhradou jsou jen 2x, respektive 4x, větší než hodnota přírodních vlasů, se všechny vzorky vlasů považují za vhodné pro další využití.

Intenzita vyjádřená v grafu je však pouze kvalitativní analýzou. Pro kvantitativní analýzu prvků je nutné provést kalibraci, proměřit standardy s vhodně zvoleným rozsahem koncentrací. To by mohlo vést k dalšímu hlubšímu výzkumu.

Kvantitativní metoda se také může vyjádřit pomocí detekčních limitů chromu a molybdenu. Jedná se o nejnižší limit, ve kterém je prvek detekován. Detekční limit chromu je podle již vytvořené kalibrace 2 ppm, což se rovná intenzitě 20 jednotek intenzity. Detekční limit molybdenu je 1 ppm. Dá se tedy dle této kalibrace určit, že koncentrace chromu u přírodních vlasů, jejichž intenzita chromu je 84, je cca 4x větší než nejnižší hranice.

### 7.3 Metoda EDS

Měření prvkového složení vlasů probíhalo také pomocí metody EDS. Jedná se o analytickou metodu používanou pro analýzu chemického (prvkového) složení vzorků. Metoda se zakládá na detekci charakteristického rentgenového záření, viz teoretická část. Na rozdíl od metody LIBS se ale prvky detekují pouze z povrchu vlasu, tudíž tato metoda není tolik citlivá.



Obrázek 38 Výsledky EDS – prvkové složení vlasů od osoby s kloubní náhradou

Metodou EDS byly měřeny vlasy od osoby s kloubní náhradou. Měření cílilo na prvky chrom a molybden, které mohou být ve vyšší koncentraci tělu velice nejspěšné. Výsledky z povrchu vlasu však neprokázaly, že by vlas obsahoval prvek chrom, viz obrázek 34. Analýza EDS prokázala vysokou přítomnost uhlíku, kyslíku, síry a vápníku. Tyto prvky se považují za základní stavební prvky organismu, proto není jejich přítomnost překvapujícím. Zkoumaný molybden, který by se mohl z kloubní náhrady uvolňovat, se zde vyskytnul ve velmi malém zanedbatelném množství. Větší koncentrace zlata je způsobená pozlacením vzorků kvůli možnosti zachytit vlákna na fotografii.

Jak již bylo řečeno, metoda EDS není tolik citlivá jako metoda LIBS. Obě metody však prokázaly, že se nežádoucí prvky jako chrom či molybden mohou považovat za stopové prvky a negativně neovlivňují další zpracování a využití vlasů.



## Výsledky a diskuze

První část experimentu se zaměřovala na vytvoření vhodného biosorbentu z vlasů. Takový sorbent by se měl vlastnostmi co nejlépe přiblížit klasickým sorbentům na trhu. Postupnými pokusy se došlo k závěru, že nejlépe se osvědčil vlasový sorbent, který měl formu netkané vrstvy. Taková vrstva vznikla nasypáním 25 g vlasů na vodní hladinu ve vaničce a následným podběrem těchto vlasů sítem o průměru 35 cm. Po odkapání nadbytečné vody se vrstva překlopila na teflonovou vrstvu a zafixovalo 15 g lepidla Akrylep 545x2. Výsledná vrstva se vysušila. Její hmotnost se průměrně pohybovala okolo hodnoty 23 g. Takto zhotovený netkaný vlasový sorbent byl po usušení soudržný, jeho podoba se může přiřadit ke klasickým textilním netkaným sorbentům. Plošná hmotnost vlasového sorbentu činila 240 g/m<sup>2</sup>, zaplnění 6 %.



*Obrázek 39 Netkaný biosorbent z vlasů*

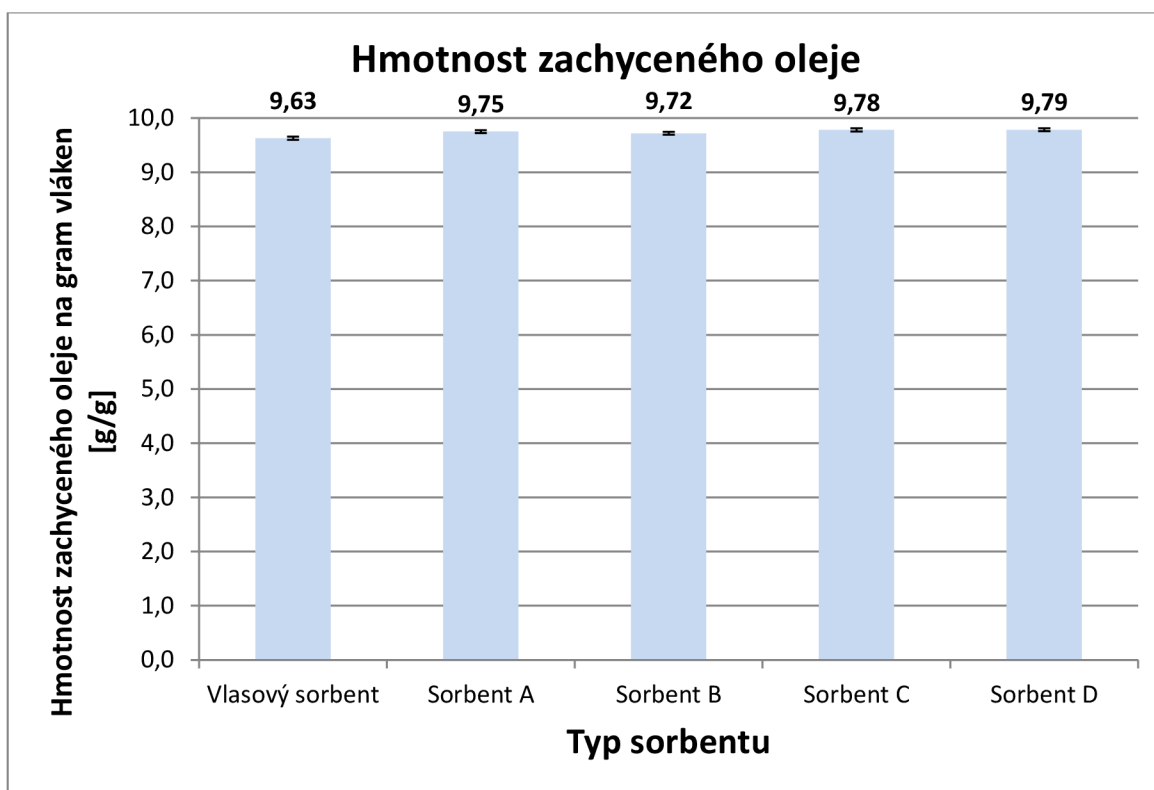
Druhá část se zaměřovala na množství zachyceného oleje pomocí nové metody - za pomoci spektrofotometrie. Tato metoda se zakládá na stanovení hledané složky na základě intenzity jejího zbarvení. Výsledný experiment se zaměřoval na sorpci pěti sorbentů, z nichž jeden byl již vytvořený vlasový sorbent a ostatní čtyři klasické průmyslové netkané textilní sorbenty. Z každého sorbentu se vystřihly vzorky o hmotnosti 0,1 g, které byly následně vloženy do pěti zkumavek s 30 ml vody a 1 ml obarveného oleje. Pro simulaci uniklého oleje se využil motorový olej Garden Carline, který se obarvil barvivem ceresblau o koncentraci 10 g/l, a to z důvodu využití spektrofotometrie, která měří intenzitu zbarvení hledané složky. Vzorek se ve zkumavce 15x protřepal a ponechal se 15 minut, aby sorbent nasákl co nejvíce oleje. Po uplynuté době se vzorky pinzetou odebraly a do zkumavek se přidalo 20 ml petroleje. Ten v experimentu sloužil jako

olejofobní složka, díky které se oddělila voda od oleje. Po 20 minutách, kdy se tyto dvě složky rozdělily se oddělený vzorek od oleje přefiltroval. Pro umožnění měření na spektrofotometru se ještě vzorek naředil petrolejem poměrem 1:1. Poté se již odebraly 4 ml vzorku do kyvety, ta se vložila do spektrofotometru, který vzorek měřil při vlnové délce 630 nm. Výsledné hodnoty se považují za absorbanci. Její interpretace se vysvětluje nepřímou úměrou. Čím tmavší je vzorek, tím méně do sebe sorbent nasál olej s barvivem. Výsledné hodnoty absorbance lze vidět v tabulce 9. Z průměrných hodnot lze usoudit, že nejméně oleje absorboval právě vlasový sorbent, jeho průměrná absorbance činila 0,475. Nejvíce oleje naopak absorboval sorbent D. Z výsledku ale lze usoudit, že i když se hodnota vlasového sorbentu jeví jako nejhorší, není tato hodnota ani 2x vyšší než u nejlepšího sorbentu D.

Tabulka 9 Výsledky absorbance

Absorbance								
Typ sorbentu	1	2	3	4	5	6	Průměr	Směrodatná odchylka
Vlasový sorbent	0,544	0,508	0,438	0,468	0,503	0,389	<b>0,475</b>	<b>0,056</b>
Sorbent A	0,333	0,248	0,319	0,355	0,374	0,290	<b>0,320</b>	<b>0,046</b>
Sorbent B	0,318	0,318	0,351	0,420	0,387	0,366	<b>0,360</b>	<b>0,040</b>
Sorbent C	0,351	0,245	0,265	0,293	0,239	0,286	<b>0,280</b>	<b>0,041</b>
Sorbent D	0,219	0,271	0,280	0,341	0,250	0,291	<b>0,275</b>	<b>0,041</b>

Díky kalibraci a výpočtu predikované absorbance ze stran 51 a 52 se z hodnot absorbance poté ještě vypočítalo množství zachyceného oleje. Výsledné hodnoty už mohou dokázat, zda je sorbent vyrobený z vlasů porovnatelný s ostatními sorbenty.



Obrázek 40 Hmotnost zachyceného oleje na gram vláken [g/g]

Obrázek 40 ukazuje hmotnost zachyceného oleje na gram vláken u všech sorbentů. Nejvyšší sorpcí disponuje sorbent D s hodnotou 9,79 g/g. Následuje sorbent C s hodnotou 9,78 g/g, sorbent A s hodnotou 9,75 g/g a sorbent B s hodnotou 9,72 g/g. Hmotnost zachyceného oleje u vlasového sorbentu byla nejnižší – 9,63 g/g. Ta sice vyšla nejméně příznivě, avšak jeho hodnota může být srovnatelná s ostatními klasickými sorbenty. Tyto výsledky se ještě hodnotily pomocí matematické statistiky ANOVA v programu Matlab. Ověřovala se nulová hypotéza, zda je střední hodnota sorpce vlasového sorbentu rovna středním hodnotám komerčních sorbentů. Tato hypotéza se nakonec odmítla. I přes to ale vlasový sorbent disponuje vyšší sorpcí (9,63 g na gram vláken) než se předpokládalo. Proto se předpokládá, že by sorbent vyrobený z tohoto materiálu mohl ostatním konkurovat, a to nejen jeho hodnotou sorpce, ale hlavně jeho ekologickými výhodami.

Aby mohl být takový sorbent vyroben a využíván, musí se prokázat jeho nezávadnost. Lidské vlasy mohou být zatíženy různými prvky, které jsou ve velkém množství škodlivé nejen pro danou osobu, ale zároveň také pro životní prostředí, ve kterém se sorbenty využívají. Barvené vlasy mohou obsahovat chrom, vlasy od osob s endoprotézou rovněž chrom a nebo také molybden. U vlasů, ze kterých se sorbent vyráběl byla ve třetí části

experimentu provedena prvková analýza LIBS a EDS. Obě tyto metody dokáží analyzovat přítomnost a množství těchto prvků právě z vlasů.

V prvním kroku se vlasy testovaly metodou LIBS na LEA S500 analyzátoru. Svazek pěti vlasů byl uchycen na oboustranné lepicí pásce s vyraženými otvory o rozteči 1 cm. Právě v těchto otvorech se vlasy pomocí laseru analyzovaly. Byly použity tři typy vlasů – přírodní, barvené a od osoby s endoprotézou. Výsledkem je intenzita daného prvku. Předpokládalo se, že barvené vlasy a vlasy od osoby s endoprotézou budou obsahovat větší intenzitu chromu než vlasy přírodní. Právě chrom se někdy přidává do barev na vlasy a rovněž je jednou ze tří složek, ze kterých se vyrábí endoprotézy.

Detekční limit chromu je podle již vytvořené kalibrace 2 ppm, což se rovná hodnotě 20 jednotek intenzity. Prvek chrom se hledal při vlnové délce 428 nm. Přírodní vlasy ve výsledku obsahovaly chrom s hodnotou intenzity 84. Tato hodnota je cca 4x větší než nejnižší limit chromu, přesto se nejspíše jedná o přirozený výskyt chromu v těle, který je pro člověka prospěšný. U barvených vlasů byla tato hodnota 203 a u vlasů od osoby s endoprotézou nejvýše 372. Obě tyto hodnoty jsou vyšší než u přírodních vlasů, avšak ani tyto hodnoty nejsou pro daný organismus kritické.

Metoda LIBS neodhalila přítomnost molybdenu u vlasů osoby s endoprotézou. Proto se tyto vlasy testovaly také pomocí metody EDS. Ta se liší od metody LIBS tím, že se analyzují prvky pouze z povrchu vlasu. Výsledky však neprokázaly, že by vlas obsahoval prvek chrom. Analýza EDS prokázala vysokou přítomnost uhlíku, kyslíku, síry a vápníku. Tyto prvky se považují za základní stavební prvky organismu, proto není jejich přítomnost překvapujícím. Zkoumaný molybden, který by se mohl z kloubní náhrady uvolňovat, se zde vyskytnul ve velmi malém zanedbatelném množství.

Obě metody prokázaly, že se nežádoucí prvky jako chrom či molybden mohou považovat za stopové prvky a negativně neovlivňují další zpracování a využití vlasů. Proto je vhodné z tohoto materiálu vyrobit a využívat sorbenty.

## Závěr

Cílem této diplomové práce bylo je ověřit možnost využití vlasů jako sorbentu oleje z vodné fáze a navrhnout odpovídající testační metodu. Práce rovněž srovnávala sorpční schopnosti lidských vlasů s ostatními textilními sorbenty a analyzovala prvkové složení lidských vlasů pomocí metody LIBS a EDS.

Teoretická část se zabývala charakteristikou a složením lidských vlasů. Zmiňovala sorpci olejů, využívané textilní sorbenty a dosavadní metody testování. Rovněž se zabývala prvkovou analýzou vlasů pomocí metod LIBS a EDS.

Hlavním úkolem experimentální části bylo ověřit hypotézu, zda jsou lidské vlasy vhodné pro výrobu a užití sorbentu. První část se zabývala výrobou vhodného sorbentů z vlasů, který bude vlastnostmi a strukturou podobný již využívaným textilním sorbentům. Nejlepší způsob jak sorbent vyrobit byl nakonec proveden podběrem vlasů z vodní hladiny za pomoci síta o průměru 35 cm. Rovnoměrná netkaná vlasová vrstva se poté zafixovala lepidlem a nechala usušit. Po usušení měla vrstva hmotnost 23 g, plošnou hmotnost 240 g/m<sup>2</sup> a zaplnění 6 %. Taková vrstva se jeví velice soudržně a byla v práci nadále využita k dalším krokům jako rovnocenný sorbent vůči ostatním sorbentům.

Druhá část experimentu se zaměřovala na to, zda vůbec vlasy mají takové sorpční schopnosti jako ostatní textilní sorbenty. Připravilo se 5 sorbentů, z nichž jeden byl vlasový sorbent z první části. Všechny tyto vzorky byly dle přesného postupu několikrát testovány a to za pomoci spektrofotometrie. Po simulaci úniku oleje do vody se po měření vyhodnotily průměrné hodnoty absorbance, ze kterých se vypočítalo množství zachyceného oleje jednotlivých sorbentů. Všechny hodnoty byly řádově srovnatelné. Výsledky dokazují, že sorbenty vyrobené z lidských vlasů dokážou konkurovat již využívaným textilním sorbentům, dokonce je jejich využití více ekologické. Experiment rovněž prokázal, že sorpce olejů byla výrazně vyšší než uvádí dosavadní výzkumy.

Třetí část experimentu se zaměřovala na prvkovou analýzu přírodních a barevných vlasů, rovněž vlasů od osoby s endoprotézou. Tyto vlasy se testovaly metodami LIBS a EDS na přítomnost prvků chromu a molybdenu, které by mohly být považované při výrobě a využití vlasových sorbentů za závadné. Obě tyto metody však potvrdily velice nízký, nejspíše přirozený výskyt. Proto se vlasy mohou považovat za nezávadné pro životní prostředí.

Vlasy proto mohou představovat budoucnost ve výrobě organických sorbentů.

## Seznam použité literatury

- [1] CLOETE E., KHUMALO N., WYK J.: Systems Approach to Human Hair Fibers: Interdependence Between Physical, Mechanical, Biochemical and Geometric Properties of Natural Healthy Hair. In: <https://www.researchgate.net>. [online] [cit. 2020-04-04] Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/331259993\\_Systems\\_Approach\\_to\\_Human\\_Hair\\_Fibers\\_Interdependence\\_Between\\_Physical\\_Mechanical\\_Biochemical\\_and\\_Geometric\\_Properties\\_of\\_Natural\\_Healthy\\_Hair](https://www.researchgate.net/publication/331259993_Systems_Approach_to_Human_Hair_Fibers_Interdependence_Between_Physical_Mechanical_Biochemical_and_Geometric_Properties_of_Natural_Healthy_Hair)
- [2] DOUŠOVÁ, T. Vývoj metodiky měření prvkového složení vlasů metodou LIBS. Liberec, 2013. Diplomová práce. Fakulta textilní Technické univerzity v Liberci. Vedoucí práce: Mária Průšová.
- [3] KLAUZOVÁ, K. Okénko estetické dermatologie, laserová depilace. 2009, roč. 3, č. 2, s. 83-88. ISSN 1802-2960.
- [4] ORLÍK, J. Tajemství vlasů. Havířov: INFO PRESS, 2010. ISBN 80-903746-3-8
- [5] JURDA, M. Využití lidských vlasů ve forenzní antropologii. Brno, 2005. Bakalářská práce. Fakulta přírodovědecká Masarykovy univerzity v Brně. Vedoucí práce: Miroslav Králík.
- [6] Institut zdraví. Vlasový vývojový cyklus. [online] [cit. 2021-2-1] Dostupné z: <https://www.poradnaprozdravi.cz/slovník-pojmu/vlasovy-vyvojovy-cyklus-detail-1298>
- [7] Ducray laboratoires dermatologiques. Jak a proč dochází k poškození vlasů. [online] [cit. 2021-01-25] Dostupné z: <https://www.ducray.com/cz-cz/znacka/pravni-uprava>
- [8] Akademie IN hair. Poruchy a nedokonalosti vlasového stonku. [online] [cit. 2021-01-25] Dostupné z: <https://akademie.inhair.cz/poruchy-a-nedokonalosti-vlasoveho-stonku/>
- [9] Škola textilu. Vlákna z keratinu: vlna ovčí. [online] [cit. 2021-01-25]. Dostupné z: <http://www.skolatextilu.cz/elearning/462/textilni-terminologie-zboziznalstvi/vlakna-prize-a-nite/Vlakna-zkeratinu-vlna-ovci.html>
- [10] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. Textilní zbožíznalství 1 – 4. přednáška. Vlákna živočišného původu. Liberec: TUL

- [11] Scientific American. Sorbent Science: Cleaning Oil Spills. [online] [cit. 2021-08-14] Dostupné z: <https://www.scientificamerican.com/article/sorbent-science-cleaning-oil-spills/>
- [12] Oleje, svět maziv.cz. Sorbenty pro likvidaci úniků ropných látek. [online] [cit. 2021-08-14] Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Sorbenty-pro-likvidaci-uniku-ropnych-latek>
- [13] Údržba.cz. Hydrofobní sorpční hady. [online] [cit. 2021-08-14] Dostupné z: <https://www.udrzba.cz/sorbenty-a-havarijni-prostredky/olejove-sorbenty-havarijni-soupravy-uklidove-sorbenty/sorpcni-hady-spc/env-150-v-sorpcni-koberec-hydrofobni-1853.html>
- [14] Euronews.green. Human hair and dog fur may be the secret weapon to fight oil spills. [online] [cit. 2021-07-06] Dostupné z: <https://www.euronews.com/green/2020/07/22/human-hair-and-dog-fur-may-be-the-secret-weapon-to-fight-oil-spills>
- [15] UKOTIJE-IKWUT, P.R., IDOGUN, A. K., IRIAKUMA, C.T., ASEMINASO, A., OBOMANU, T. A Novel Method for Adsorption using Human Hair as a Natural Oil Spill Sorbent. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 8, August 2016. ISSN 2229-5518
- [16] Statista. U.S. population: Frequency of hair cuts within 6 months from 2011 to 2020. [online] [cit.2021-07-06] Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/286966/frequency-of-hair-cuts-in-the-us-trend/>
- [17] JIRSÁK, O., KALINOVÁ, K. Netkané textilie. 2003. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 129 s. ISBN 80-7083-746-2.
- [18] ČSN 80 0831. Savost plošných textilií. Stanovení nasákavosti. Český normalizační institut, 1971.
- [19] ČSN EN ISO 9073-6. Textilie - Zkušební metody pro netkané textilie - Část 6: Absorpce. Český normalizační institut, 2003.
- [20] ASTM F726-06. Standard test method for sorbent performance of adsorbents. West Conshohocken: ASTM International, 2006.
- [21] Biolib. Spektrofotometrie. [online] [cit. 2021-07-06] Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/glossaryterm/id5330/>

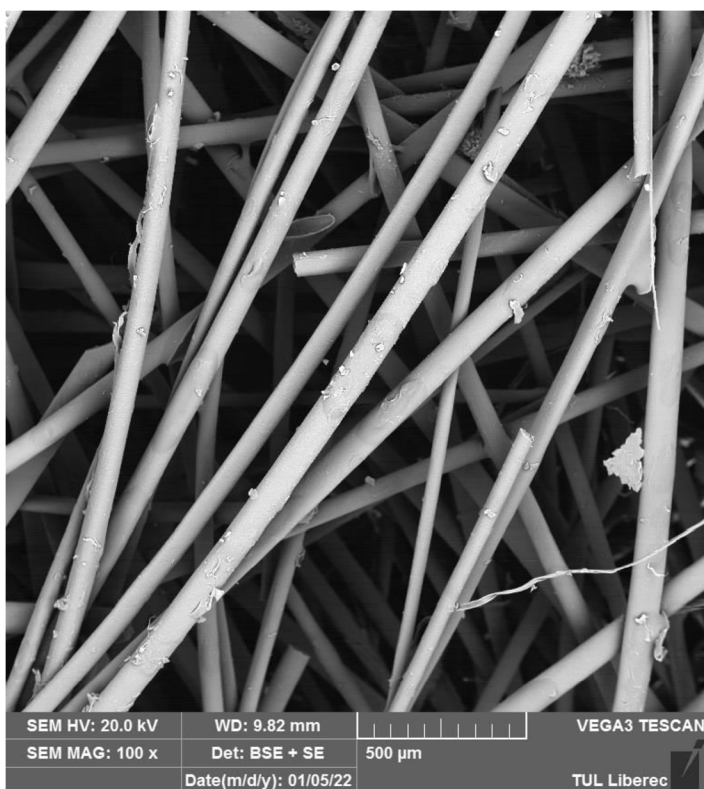
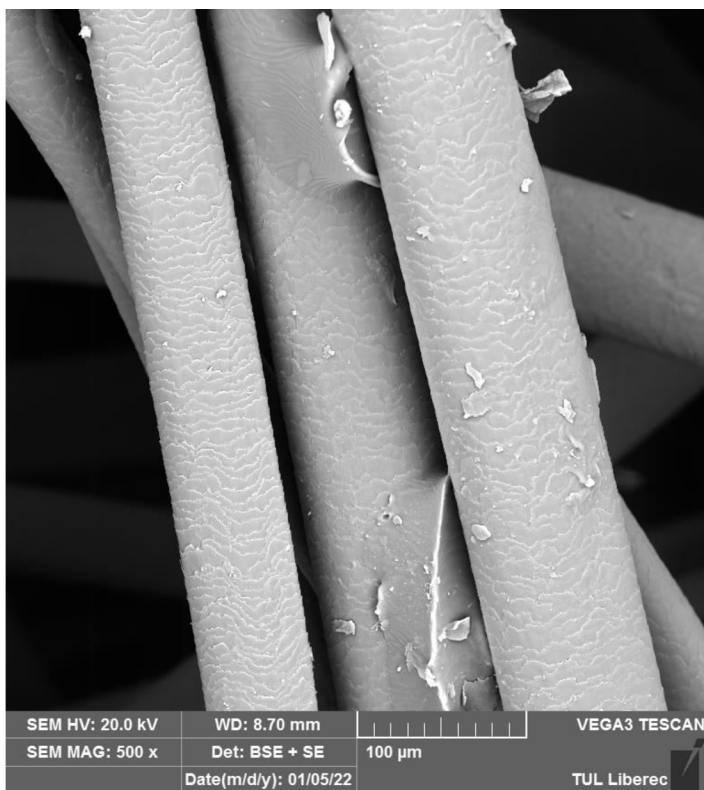
- [22] Wikiskripta. Spektrofotometrie. [online] [cit. 2021-07-06] Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Spektrofotometrie\\_\(2.\\_LF\\_UK\)](https://www.wikiskripta.eu/w/Spektrofotometrie_(2._LF_UK))
- [23] ROBBINS, C. R., Chemical and physical behavior of human hair, 5th edition. Springer Berlin Heidelberg, 2021. ISBN 978-364225611-0;978-364225610-3
- [24] CORSI, M., CRISTOFORETTI, G., HIDALGO, M., et al. Application of laserinduced breakdown spectroscopy technique to hair tissue mineral analysis. Optical Society of America, 2003. Vol. 42, No. 30, pp. 6133-6137.
- [25] LEXOVÁ, T. Vypovídací schopnost multielementární analýzy lidských vlasů. Pardubice, 2017. Diplomová práce. Fakulta chemicko-technologická Univerzity Pardubice. Vedoucí práce: Anna Krejčová.
- [26] ORNSTOVÁ, M. Makroelementy ve výživě. Brno, 2008. Bakalářská práce. Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity v Brně. Vedoucí práce: Jana Juříková.
- [27] KRÁLOVÁ, L. Makroelementy in My protein. [online] [cit. 2021-01-27] Dostupné z: <https://www.myprotein.cz/blog/strava/makroelementy/>
- [28] BÁŇA, M. Mikroelementy a stopové prvky ve výživě. Brno, 2012. Bakalářská práce. Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity v Brně. Vedoucí práce: Jana Juříková.
- [29] Applied spectra. What is LIBS. [online] [cit. 2021-02-01] Dostupné z: <https://appliedspectra.com/technology/libs.html>
- [30] RUSSO, R.E., MAO, X.L., LIU, H.C., YOO, J.H. , MAO, S.S.: Appl. Phys. A 69 [Suppl.], 1999, S887–S894
- [31] RADZIEMSKI, L.,CREMERS,D. A brief history of laser-induced breakdown spectroscopy: From the concept of atoms to LIBS. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, Volume 87, 2013, ISSN 0584-8547
- [32] ZVOLSKÁ, M. Analýza vzorků ve formě tenké vrstvy pomocí LIBS spektrometrie. Pardubice, 2017. Disertační práce. Fakulta chemicko-technologická Univerzity Pardubice. Vedoucí práce: Miloslav Pouzar.
- [33] CORSI, M., CRISTOFORETTI, G., HIDALGO, M., et al. Application of laserinduced breakdown spectroscopy technique to hair tissue mineral analysis. Optical Society of America, 2003. Vol. 42, No. 30, pp. 6133-6137.



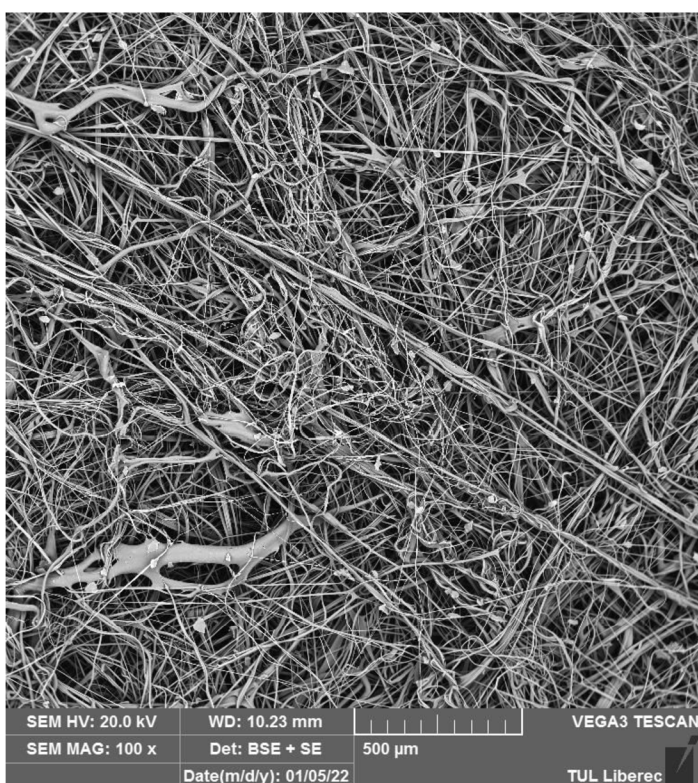
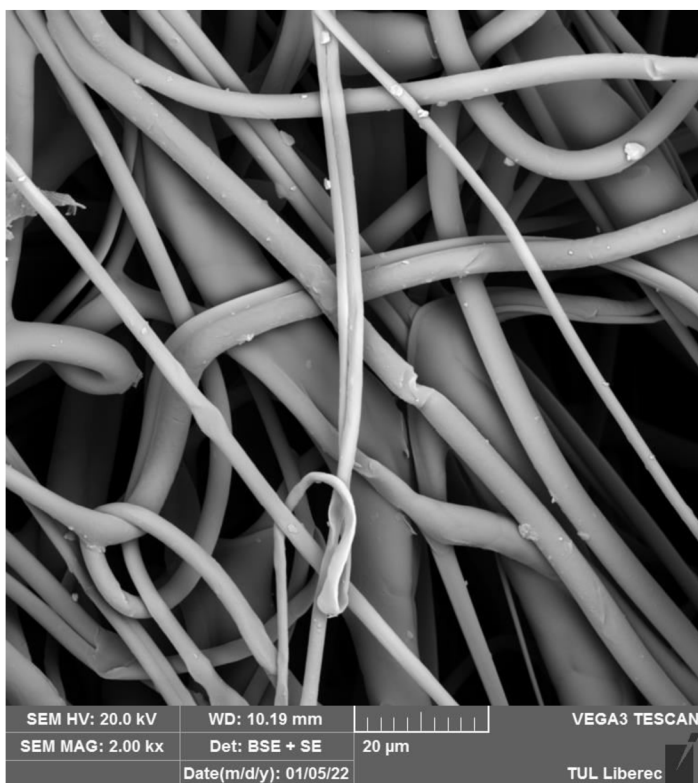
- [34] EMARA, E. M., IMAM, H., HASSAN, M. A., ELNABY, S. H. Biological application of laser induced breakdown spectroscopy technique for determination of trace elements in hair. Elsevier B.V., 2013. ISSN 00399140
- [35] EMARA, E. M., IMAM, H., SONG, H., LIU, S. Detection of heavy metals using laser-induced breakdown spectroscopy technique for both horse hair and goat hair. Laser Institute of America, 2020. ISSN 1042346X
- [36] Sol instruments. LEA-S500 Elemental Analyzer. [online] [cit. 2021-02-01] Dostupné z: <https://solinstruments.com/en/analysis/elemental-analys/lea-s500/description>
- [37] Tokyo instruments, inc. LEA-S500 Elemental Analyzer. [online] [cit. 2021-02-01] Dostupné z: [https://www.tokyoinst.co.jp/en/products/detail/laser\\_induced\\_break\\_dow/SO06/index.html](https://www.tokyoinst.co.jp/en/products/detail/laser_induced_break_dow/SO06/index.html)
- [38] Enpedie. EDS. [online] [cit. 2021-07-06] Dostupné z: <http://enpedie.cz/wiki/EDS>
- [39] KLAZAR, M. Stanovení stupně vtažení zinkové povrchové vrstvy do hrany součástky v závislosti na použité technologii výroby - laserové řezání, vysekávání. Brno, 2014. Diplomová práce. Fakulta strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Vedoucí práce: Libor Mrňa.
- [40] Andersonmaterials. Energy Dispersive X-Ray Microanalysis (EDX / EDS). [online] [cit. 2021-06-23] Dostupné z: <https://www.andersonmaterials.com/edx-eds/>
- [41] IFELEBUEGU, A. O., NGUYEN, T., MOMOH, Z., Liquid-phase sorption characteristics of human hair as a natural oil spill sorbent. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2015. ISSN 213-3437
- [42] Reoamos.cz. [online]. © 2011 [cit. 2021-12-01] Dostupné z: <https://www.reoamos.cz/>
- [43] Orthomedica. Endoprotéza kolene – náhrada kloubu. [online] [cit. 2021-06-23] Dostupné z: <https://www.orthomedica.cz/umely-kolenni-kloub/>

## Příloha 1

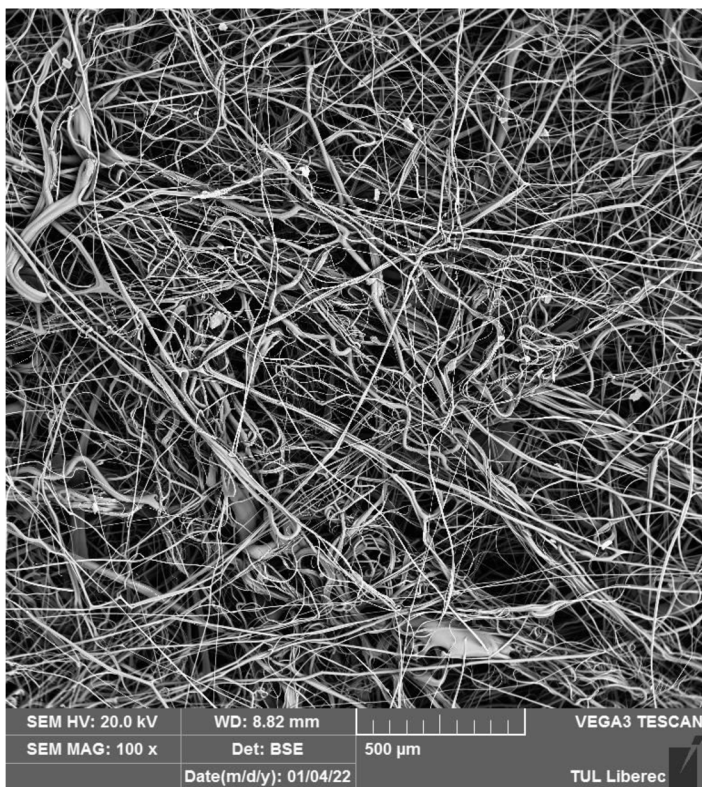
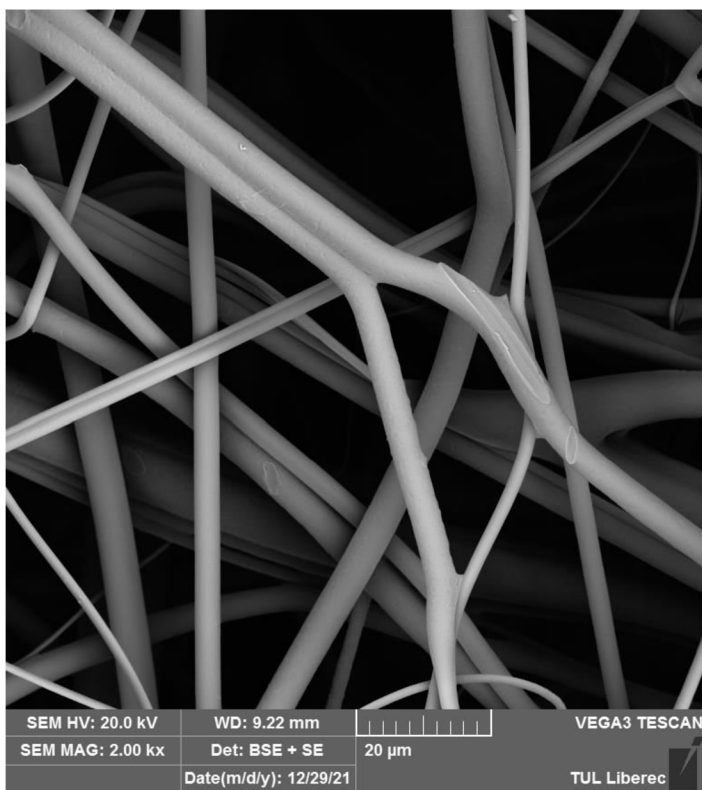
Elektronová mikroskopie – vlasový sorbent, 100  $\mu\text{m}$  a 500  $\mu\text{m}$



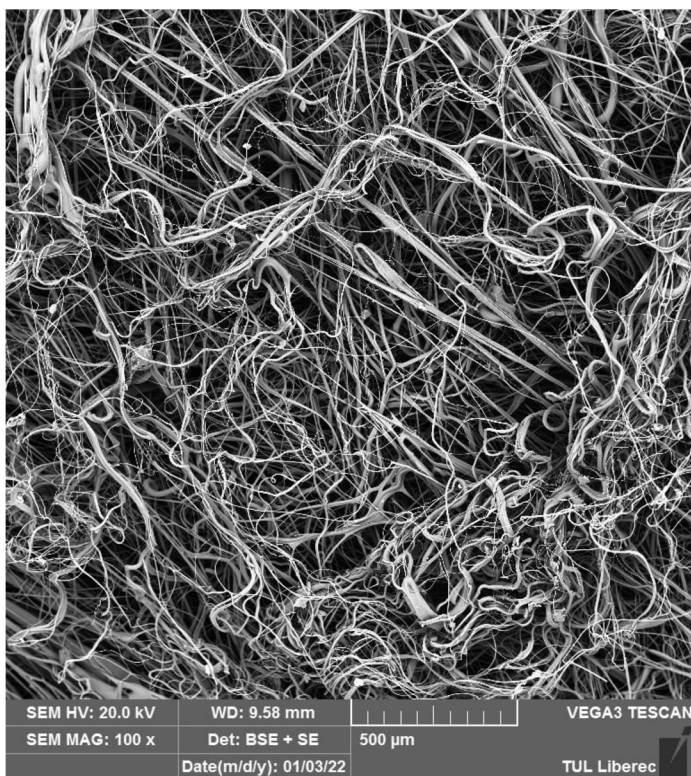
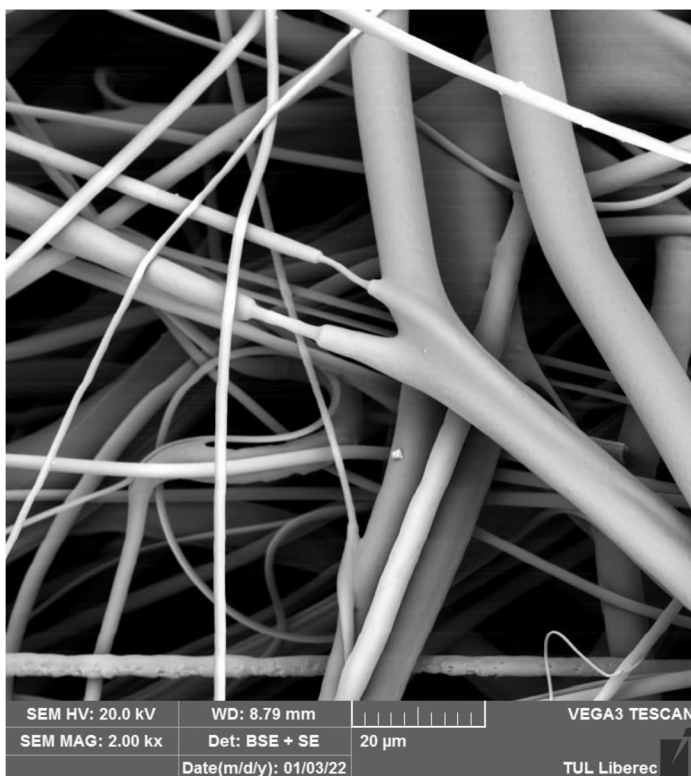
Sorbent A, 20  $\mu\text{m}$  a 500  $\mu\text{m}$



Sorbent B - 20  $\mu\text{m}$  a 500  $\mu\text{m}$



Sorbent C - 20  $\mu\text{m}$  a 500  $\mu\text{m}$



Sorbent D - 50  $\mu\text{m}$  a 500  $\mu\text{m}$

