

Zpracování stop vlasů pro forenzní účely

Bc. Michal Indra

Diplomová práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektroniky a měření

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Indra**
Osobní číslo: **A21630**
Studijní program: **N1032A020003 Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Specializace: **Bezpečnostní technologie**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Zpracování stop vlasů pro forenzní účely.**
Téma práce anglicky: **Processing Hair Traces for Forensic Purposes.**

Zásady pro vypracování

1. Provedte základní literární rešerši o využití analýzy vlasů pro forenzní účely.
2. Seznamte se s přístroji v laboratoři aplikované mikroskopie a s metodami. spektroskopickými v laboratořích FAI.
3. Průběžně provádějte sběr dobře definovaných vlasových vzorků.
4. Použijte dostupné laboratorní techniky k popisu markantů získaných vzorků.
5. Pokuste se o vypracování postupů identifikace náhodného vzorku.
6. Navrhněte případný další postup výzkumu v dané oblasti a vypracujte vzorový protokol pro laboratorní výuku v předmětu Forenzní vědy.

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

Seznam doporučené literatury:

1. AGUH, Crystal a Ginette OKOYE, ed. *Fundamentals of Ethnic Hair: The Dermatologist's Perspective* [online]. Cham (Switzerland): Springer International Publishing, 2017 [cit. 2022-10-03]. ISBN 978-3-319-45695-9. Dostupné z: DOI: 10.1007/978-3-319-45695-9
2. VASHI, Neelam a Howard MAIBACH, ed. *Dermatoanthropology of Ethnic Skin and Hair* [online]. Cham (Switzerland): Springer International Publishing, 2017 [cit. 2022-10-03]. ISBN 978-3-319-53961-4. Dostupné z: DOI: 10.1007/978-3-319-53961-4
3. SIEGEL, Jay A a Pekka SAUKKO (eds.). *Encyclopedia of forensic sciences*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, c2013. ISBN 978-0-12-398365-7.
4. LAKOWICZ Joseph R.: *Principles of Fluorescence Spectroscopy 3rd ed.*, Springer 2011 ISBN 978-0-378-31278-1
5. WHEELER, Barbara P. a Lori J. WILSON, *Practical Forensic Microscopy*. Wiley-Blackwell 2008 ISBN 978-0-470-03176-6
6. SIEBERT, Fridrich a Peter HILDEBRANT, *Vibrational Spectroscopy in Life Science*. Wiley-VCH 2008 ISBN 978-3-527-40506-0

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.**
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce: **2. prosince 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **1. června 2023**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



Ing. Milan Navrátil, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2022

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne

Michal Indra, v.r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Ochlupení lidského těla je často nalezenou stopou na místech trestných činů. Lidský vlas je díky jeho malým rozměrům snadno přehlédnutelný, a proto jej pachatelé obvykle neodstraní. Jedná se o nejčastěji zkoumanou biologickou stopu spolu se stopami krve, slin a spermatu. Kriminalisté jsou schopni za pomoci mikroskopických, biochemických a chemických metod zjistit z vlasu velké množství informací o původci. V nejlepších případech lze vyšetřením získat informace o etnické příslušnosti, pohlaví, upravovacích návycích a používané vlasové kosmetice či DNA původce stopy. Toxikologickým vyšetřením lze v současné době rozpoznat nadužívání mnoha druhů drog a prostředků používaných pro doping ve vrcholovém sportu. Cílem analýzy vlasu je v optimálním případě identifikace dané osoby.

V první části práce pojednává o funkci a jednotlivých typech ochlupení, popisuje anatomii lidského vlasu, růstový cyklus, a především představuje využití analýzy lidských vlasů pro forenzní účely. Druhá část je zaměřena primárně na určení etnického původu pomocí mikroskopické analýzy vlasu a vybudování příslušného pracoviště v laboratořích Fakulty aplikované informatiky – Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

Klíčová slova: vlasový folikul, vlasový stvol, vlas, trichologie, trichologická stopa, markant, mikroskopické měření

ABSTRACT

Human body hair is often a clue found at crime scenes. Due to its small size, human hair is easily overlooked, which is why criminals usually do not remove it. It is the most frequently investigated biological trace, along with traces of blood, saliva and semen. With the help of microscopic, biochemical and chemical methods, forensic scientists are able to find out a large amount of information about the originator from the hair. In the best cases, the examination can provide information about ethnicity, gender, grooming habits and used hair cosmetics or the DNA of the originator of the mark. Toxicological examination can currently detect the overuse of many types of drugs and substances used for doping in elite sports. The goal of hair analysis is, in the optimal case, the identification of the specific person.

In the first part of the thesis discuss the function and individual types of hair, describes the anatomy of human hair, the growth cycle, and above all presents the use of human hair

analysis for forensic purposes. The second part is focused primarily on the determination of ethnic origin using microscopic hair analysis and the construction of a relevant workplace in the laboratories of the Faculty of Applied Informatics – Tomas Bata University in Zlín.

Keywords: hair follicle, hair shaft, hair, trichology, trichological trace, marker, microscopic measurement

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé práce panu doc. RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc. za odbornou pomoc při řešení problematiky spojené s touto prací, a především za jeho ochotu a flexibilitu za všech okolností.

Dále moc děkuji panu Ing. Aleši Mizerovi, Ph.D. za ochotu a pomoc při mikroskopickém měření a kreativní nápady při přípravě vzorků pro toto měření.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 FUNKCE OCHLUPENÍ	12
1.1 DRUHY OCHLUPENÍ NA LIDSKÉM TĚLE.....	13
2 LIDSKÝ VLAS	15
2.1 STRUKTURA VLASU.....	16
2.2 ANATOMIE EPIDERMÁLNÍ SLOŽKY VLASU.....	17
2.2.1 Kutikula vlasu.....	17
2.2.2 Kůra vlasu.....	18
2.2.3 Dřeň vlasu.....	19
2.3 ANATOMIE DERMÁLNÍ ČÁSTI VLASU.....	19
2.3.1 Vlasová cibulka – <i>bulbus pili</i>	20
2.3.2 Dermální papila – <i>papila pili</i>	20
2.3.3 Vzpřimovač chlupu – <i>musculus arrector pili</i>	21
2.3.4 Vnitřní epitelová pochva.....	21
2.3.5 Zevní epitelová pochva.....	21
2.3.6 Vazivová vlasová pochva.....	21
2.4 RŮSTOVÝ CYKLUS VLASU.....	22
2.5 ŠÍŘKA VLASU.....	23
2.6 TYPY VLASŮ.....	23
2.7 ROZDÍLY VLASŮ DLE ETNIKA.....	25
3 VYUŽITÍ ANALÝZY VLASŮ PRO FORENZNÍ ÚČELY	26
3.1 FORENZNÍ TRICHOLOGIE.....	26
3.1.1 Vyhledávání a zajišťování trichologického materiálu.....	27
3.1.2 Skladování trichologických stop.....	28
3.1.3 Lidské trichologické stopy.....	28
3.1.4 Trichologický materiál pro srovnání.....	28
3.2 METODY ZKOUMÁNÍ TRICHOLOGICKÝCH STOP.....	28
3.2.1 Makroskopické zkoumání.....	29
3.2.2 Mikroskopické zkoumání.....	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
4 POPIS MARKANTŮ U ZÍSKANÝCH VZORKŮ	35
4.1 SBĚR VZORKŮ.....	36
4.2 METODA VYHODNOCOVÁNÍ VZORKŮ.....	36
4.3 VYHODNOCENÍ VZORKŮ.....	38
4.4 POSTUP PŘI VYHODNOCOVÁNÍ NÁHODNÉHO VZORKU.....	56
5 MĚŘENÍ TLOUŠŤKY KUTIKULY	57
5.1 VYHODNOCENÍ VZORKŮ.....	58
6 LUMINISCENCE VLASŮ	60
7 DALŠÍ MARKANTY U VLASŮ	63
ZÁVĚR	66
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	68

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	71
SEZNAM OBRÁZKŮ	72
SEZNAM TABULEK.....	74
SEZNAM PŘÍLOH.....	75

ÚVOD

Teoretická část práce popisuje hlavní funkce ochlupení a jeho typy, dále je zaměřena již konkrétně na lidský vlas, jeho strukturu a růstový cyklus, v jehož důsledku vlasy vypadávají, a proto jsou často nalezenou stopou na místě činu. Dále jsou zde popsány rozdíly vlasů dle etnika, což jsou podstatné informace pro měření prováděné v praktické části této práce. Nakonec je zde popsáno využití lidských vlasů ve forenzních vědách.

Cílem práce bylo vybudování pracoviště v laboratoři forenzních věd na FAI UTB pro základní analýzu vlasů jako forenzní stopy. V teoretické části je provedena literární rešerše, popisující funkce ochlupení. Dále je zaměřena na popis lidského vlasu a jeho struktury, růstový cyklus vlasu, makroskopické a mikroskopické markanty u vlasů jednotlivých etnických skupin a využití lidského vlasu pro forenzní účely.

V praktické části byly nasbírány vzorky vlasů předem definovaných skupin. Tyto vzorky byly následně zkoumány pomocí 3D laserového skenovacího konfokálního mikroskopu. V první části byly u všech vzorků pozorovány markanty jejich povrchu, tedy kutikuly a také byl proveden řez vlasovým stvolem ve vzdálenosti 10 mm od kořene, kde byla měřena jeho tloušťka a tvar průřezu. Měření tloušťky kutikuly, z důvodu jeho náročnosti, již bylo provedeno pouze u jednoho vzorku z každé etnické skupiny. Vlasy pro toto měření bylo nutné zalít do čiré epoxidové pryskyřice, která poté 24 hodin tvrdla ve vakuu, následně byly broušeny a leštěny. U takto připravených vzorků bylo možné při maximálním zvětšení zmíněného mikroskopu pozorovat kutikulu a změřit její tloušťku. Dle naměřených údajů by mělo být možné identifikovat etnický původ jejich majitele. Poté byl vytvořen postup pro identifikaci náhodného vzorku za použití zmiňovaného mikroskopického pracoviště. V posledních částech byly použity metody spektroskopické vhodné pro vyhledání trichologického materiálu na místě činu a také byly vyhodnoceny další markanty a vady u vlasů, které mohou napomoci při identifikaci původce. Součástí práce je také výukový materiál zaměřený na mikroskopickou analýzu vlasů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 FUNKCE OCHLUPENÍ

Člověk, co se počtu vlasových folikulů týká příliš nezaostává za nejbližšími příbuznými šimpanzi. Chlupy člověka jsou však kratší, jemnější a světlejší, to je důvodem, proč nejsou na pohled tak nápadné jako srst zvířat. Lidé a šimpanzi však mají srst asi desetkrát řidší než například makakové. [1]

U zvířat srst napomáhá k udržení optimální tělesné teploty. Pozůstatky této funkce jsou patrné i u lidí, v okamžiku, kdy se ocitnou v chladném prostředí a naskočí jim „husí kůže“, tento jev mají na svědomí malé svaly zvané vzpřimovače chlupů (*musculus arrector pili*), jejichž úkolem je napřimit chlupy. U zvířat tento jev způsobil naježení srsti a tím zvýšil její izolační vlastnosti. Husí kůže někdy u lidí naskakuje i v případě, že jsou vystaveni stresu či jiné napjaté situaci, tento jev je také spojen se zvířecími předky, kdy při střetu se soky napřímením chlupů působili mohutnějším dojmem, a tak vzbuzovali větší respekt. [1], [2]

Určité typy ochlupení na lidském těle mají další specifické funkce. Řasy zajišťují ochranu oka před nečistotami a drobným hmyzem, obočí zabraňuje stékajícímu potu z čela dostat se do oka, dále také slouží k neverbální komunikaci. Chlupy v nosních dírkách zabraňují nečistotám v průniku hlouběji do dýchacích cest. V průběhu života se ochlupení dramatickým způsobem mění, a to především v pubertě, kdy v důsledku zvýšené produkce hormonů začnou u obou pohlaví růst chlupy v okolí pohlavních orgánů a v podpaží. U mužů je změna ochlupení v tomhle období výraznější, na těle a končetinách chlupy zmohtnou a ztmavnou a v neposlední řadě jim také začnou růst vousy na obličeji.[1], [3]

Důvodem, proč je ochlupením nejhustěji pokrytým místem na těle kštice je, že chrání hlavu před slunečními paprsky při vzpřímené chůzi. Na týle a temeni hlavy se navíc jako na jednom z mála míst lidského těla neukládá podkožní tuk, který je vysoce účinným izolantem. Vlasy také chrání pokožku hlavy před účinky ultrafialového záření. [1]

Ochlupení má také funkci detekční a ochrannou v případě parazitů, kdy díky chlupům je člověk často schopen odhalit cizopasníka dříve, než vůbec začne sát krev, navíc díky ochlupení je pro tohoto cizopasníka náročnější dostat se k pokožce a začít krev sát. V tomhle případě platí, že čím hustější srst, tím lépe. Parazité i v dnešní době mohou přenášet nákazy.[1], [2]

Ochlupení nehraje roli pouze jako výhoda vůči životním podmínkám, ale významnou roli sehrává i v případě pohlavního výběru, kdy především u mužů hustší ochlupení signalizuje,

že již dosáhli dospělosti. Ochlupení u mužů je také znakem zdatnosti, jelikož jeho růst je přímo závislý na množství vyprodukovaného testosteronu, který se mimo jiné podílí na plodnosti, růstu svalů a agresivitě. U opačného pohlaví je naopak větší množství chlupů, nebo dokonce vousů negativním znakem, jelikož testosteron se u žen negativně podepisuje na plodnosti. [1]

V konečném důsledku se význam ochlupení lidského těla mění dle etnika a určitých částí světa, kde se jeho vliv projevuje různou silou. V oblastech, kde je málo zdrojů a život v takovém místě je náročný, signalizuje ochlupení u mužů úroveň hladiny testosteronu. V hustě obydlených částech světa s vysokým výskytem krev sajících parazitů má ochlupení funkci ochrannou a senzorickou. Naopak v místech, kde tyto faktory neovlivňují významnější měrou lidské životy se mohou snáze prosadit muži s řidším ochlupením, jelikož jeho estetická funkce je zcela individuální. [1]

1.1 Druhy ochlupení na lidském těle

V podstatě existují dva typy ochlupení, a to velusové a terminální. Velusové jsou nejjemnější chloupky na těle, téměř, nebo zcela bez pigmentu, jsou tedy bílé. Obvykle jsou dlouhé maximálně 2 mm a jejich průměr dosahuje nanejvýše 30 μm . Tyto chloupky tvoří základ pro ochlupení plně vyvinuté. Prvním terminálním ochlupením, které vyraší na hlavě, jsou vlasy. Ty se začínají objevovat již v prvních měsících života. Níže v této kapitole bude popsáno podrobněji více typů ochlupení, které lze na lidském těle nalézt. Jejich výčet je řazen chronologicky, dle výskytu daného typu ochlupení na těle: [3], [4], [5], [6]

- **Lanugo** roste již v děloze a jedná se jemné chmýří pokrývající celé tělo. Je jediným typem ochlupení bez obsahu pigmentu. U plodu se začne vytvářet již v devátém týdnu v oblasti brady, obočí a nad horním rtem. Do šestého měsíce je již celé tělo pokryto tímto ochlupením. Toto chmýří před porodem však opadá a z jeho zbytků se stane bílý maz obalující tělo novorozence. [4], [6], [7]
- **Obočí** roste ještě před vlasy a děti se rodí již s jeho náznaky. U průměrného člověka je v každém obočí okolo pěti set chloupků. Tyto chloupky jsou z počátku tenké a s věkem postupně mohutní. Jeho hlavní úkol je zabránit vnikání potu do očí, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole. V dospělosti se v obočí začne objevovat další typ chlupů, který je delší, rovný s menším obsahem pigmentu. Tyto chloupky mají funkci hmatovou. [4], [6], [7]

- **Vlasy** původně sloužily především k termoregulační funkci. Další funkcí byl druhotný pohlavní znak signalizující pohlavní dospělost jedince. V dnešní době však přetrvává spíše jen estetické funkce tohoto ochlupení. [4], [6]
- **Řasy**, ačkoliv se zdají jako jediná řada chloupků, jsou uspořádány do řad tří až čtyř a pouze jejich konce jsou srovnány do jedné řady. Obsahují nejvíce pigmentu ze všech chlupů na těle a téměř nikdy nešedivějí. Dohromady jich u každého oka je přibližně tři sta, z toho jedna třetina na spodním víčku a dvě třetiny na víčku horním. Jejich hlavním účelem je filtrace nečistot z proudícího vzduchu kolem očí, slouží také jako hmatové chloupky. [4], [6], [7]
- **Pubické ochlupení** začíná růst začátkem puberty u obou pohlaví z důvodu zvýšeného množství mužských hormonů. Slouží jako známka pohlavní dospělosti, zadržují feromony a při pohlavním styku snižují tření kůže. [4], [6], [7]
- **Chlupy v podpaží** dříve lidem napomáhali odvádět pot a tím redukovat množství bakterií způsobujících nežádoucí zápach či dokonce záněty. Toto ochlupení se začíná vyvíjet chvíli po pubickém. [4], [6], [7]
- **Vousy a další tělesné ochlupení** se začínají objevovat těsně po chlupech v podpaží, ale většinou již jen u mužů. Funkcí ochlupení těla byla izolace, u vousů, které jsou nejsilnějšími chlupy na těle, není funkce zřejmá. Každopádně jejich růst významně ovlivňuje hladina testosteronu. [4], [6], [7]
- **Chloupky v nose** začínají výrazně mohutnět až po dvacátém roku života. Jejich hustota je stejná jako u vlasů na hlavě. Plní funkci filtrační a hmatovou. [4]
- **Chloupky v uších** mají tři typy:
 - Ty přímo v uchu reagují na kmitání vzduchu, toto je následně převedeno do elektrických signálů putujících do centra sluchu v mozku.
 - Chloupky v boltci u vstupu do středního ucha jsou strukturou i funkcí totožné s těmi, co rostou v nose.
 - Jemné chloupky na vnějších částech boltce jsou způsobeny větší hladinou testosteronu. [4], [6]
- **Hmatové chlupy** jsou silně solitérní, často velmi dlouhé a zakroucené. Jejich pochvy u savců mají bohatá nervová zakončení a obklopuje je síť žilních splavů. Fungují jako detektor jemných doteků jedince s okolím. U lidí však tyto chlupy nemají tak bohatá nervová zakončení ani žilní splavy, zachovalo se pouze jejich umístění, nápadná délka a tloušťka. [4], [6], [7]

2 LIDSKÝ VLAS

Vlas je derivátem kůže, stejně jako kožní žlázy či nehty. Je součástí vlasového folikulu, ze kterého vyrůstá. Vlasové folikuly se nacházejí téměř na celém těle s výjimkou dlaní a chodidel, dlaňových stran prstů, červeně rtů, prsních bradavek, zadní strany ušních boltců a vnější části pohlavních orgánů. [1], [4]

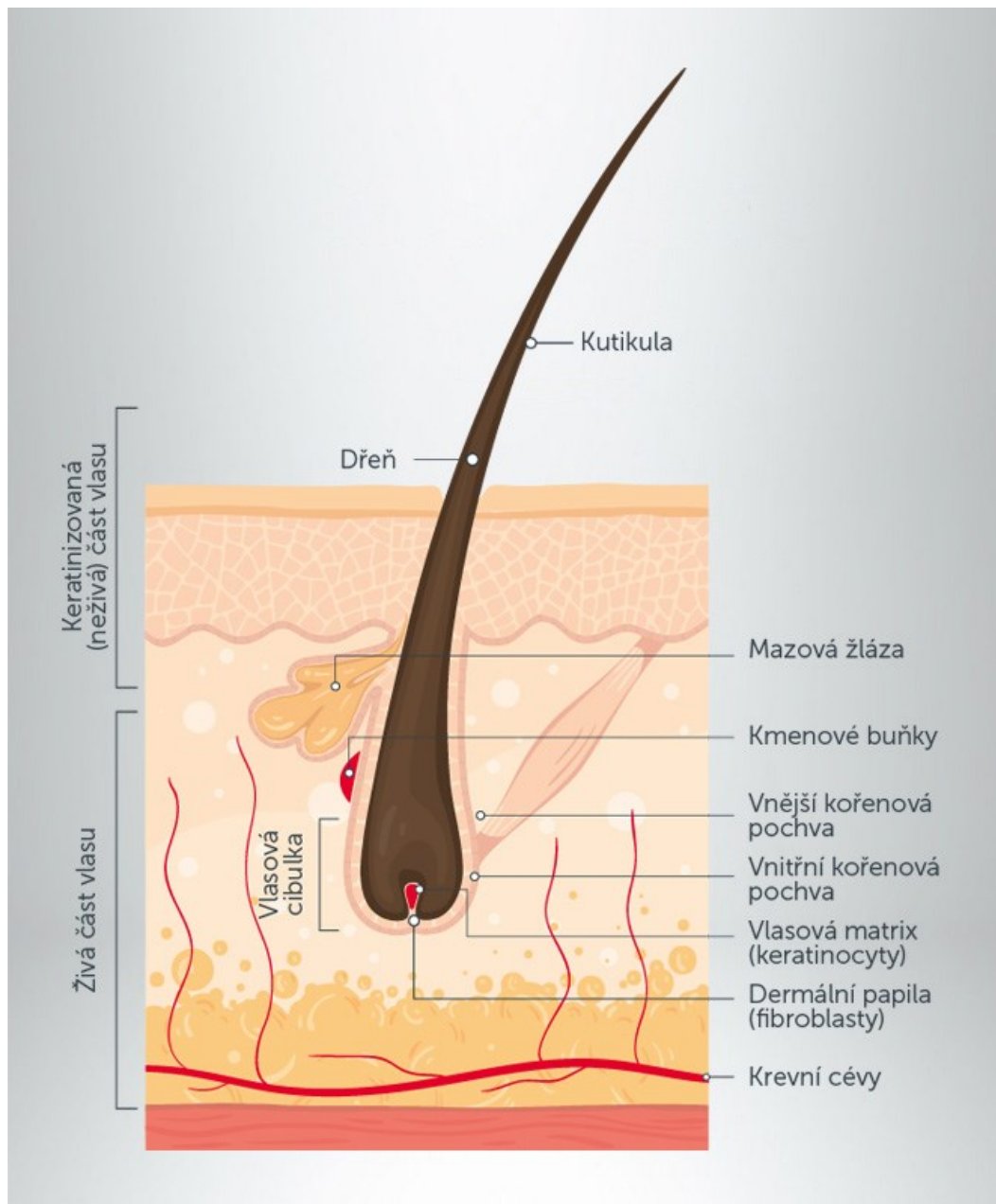
Vlasový folikul je na hlavě umístěn v pokožce v hloubce až 4 mm. Jedná se o váček, který je vyživován díky malým cévkám, ty folikul zásobují krví, se kterou je přiváděna i výživa. Následně zde probíhá tvorba vlasového stvolu, jehož kvalita a pevnost závisí na množství a kvalitě přiváděných živin. Uvnitř folikulu dochází k neustálému dělení buněk, které jsou postupně vytlačeny k jeho ústí. Zde dochází k odumírání buněk a nad pokožku vyrůstá již zformovaný vlasový stvol tvořený odumřelými vlasovými buňkami, které jsou pevně pospojovány. [8]

Dospělý člověk má v průměru na těle asi pět miliónů vlasových folikulů. Odhadované množství vlasů ve kštici se značně liší. Na jednom čtverečním centimetru je od 180 do 320 vlasů. U hnědých a černých vlasů se pak odhaduje celkové množství ve kštici na 80 až 100 tisíc, v případě blondatých vlasů je toto číslo asi o třetinu větší. Tloušťka vlasu se pohybuje v rozmezí od 40 do 120 mikrometrů a různí se v závislosti na umístění vlasu, nejsilnější jsou vlasy v týlní krajině. Ženy mívají z pravidla silnější vlasy než muži. Tloušťka vlasů je také závislá na jejich barvě a etnické příslušnosti jejich majitele. Blondaté vlasy jsou nejtenčí, naopak černé a rovné, které mají Asijci jsou nejsilnější. Za měsíc vlas vyroste asi o centimetr, tedy o 0,3 až 0,4 mm za den. Životnost vlasu je 2 až 4 roky a zdravému jedinci může za den vypadnout 15 až 100 vlasů. [4], [6], [9]

Ačkoli základní struktura a funkce vlasů jsou u všech ras podobné, existují důležité anatomické a molekulární rozdíly, které ovlivňují vlastnosti vlasů a také péči potřebnou pro jednotlivé typy. Odborníci obecně rozdělují vlasy do tří etnických skupin a to afrických, asijských a bělošských. [10]

2.1 Struktura vlasu

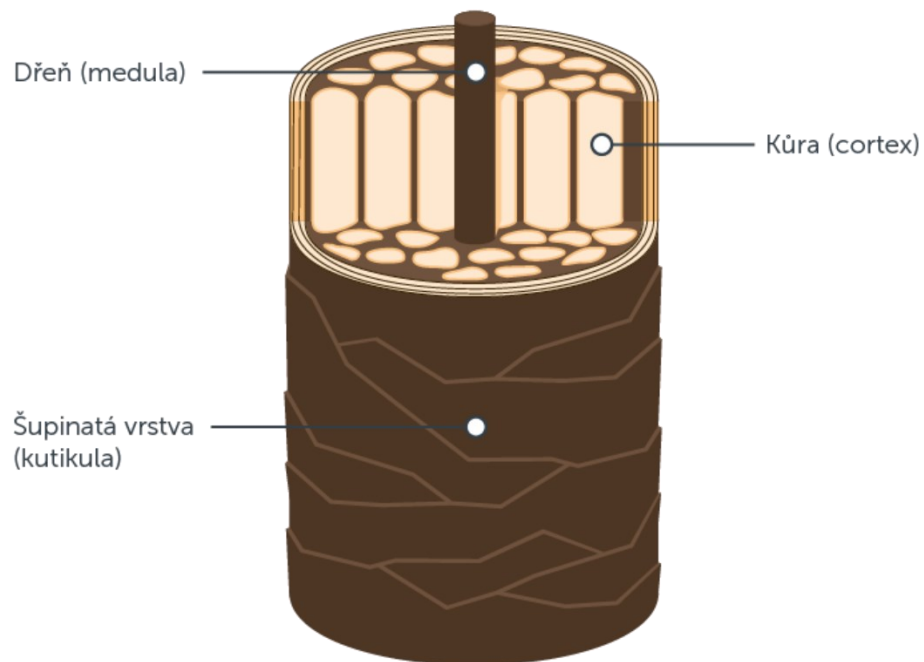
Epidermální složka vlasu, nazývaná vlasový stvol je částí vlasu, která opouští pokožku hlavy. Dermální složky vlasu jsou vlasový folikul (někdy také vlasový kořen nebo vlasová cibulka) s kmenovými buňkami, krevním zásobením, mazovými žlázami, vazivová pochva a vnitřní a zevní epitelové pochvy viz obrázek 1. [3], [9], [10]



Obrázek 1: Struktura vlasu [11]

2.2 Anatomie epidermální složky vlasu

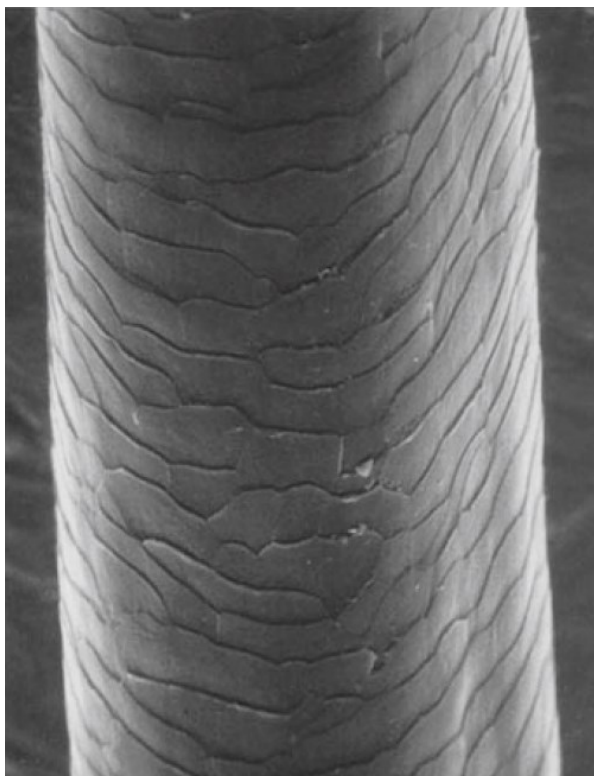
Vlasový stvol je část vlasu, která je nejvíce náchylná k vlivům prostředí, kosmetickým úpravám a procedurám. Vlasový stvol je tvořen od povrchu směrem dovnitř kutikulou, kůrou a dřemí viz obrázek 2. [10]



Obrázek 2: Vlasový stvol [12]

2.2.1 Kutikula vlasu

Jedná se o vnější vrstvu vlasového stvolu a je složena z proteinu nazývaného keratin. Jejím hlavním úkolem je ochrana kůry před vodou a chemikáliemi. Je složena z plochých vzájemně se překrývajících buněk v šupinovité formaci s proximálním úponem pevně spojeným s kůrou a distálním okrajem volným směřujícím ke špičce vlasu, jak je patrné z obrázku 3 pořízeného elektronovým mikroskopem. [10]



Obrázek 3: Kutikula vlasu [10]

Zdravá, neporušená kutikula má hladký povrch s nízkým třením směrem ke konečkům a tím přispívá k lesku spojenému se zdravými vlasy. Naopak poškozená kutikula má za následek vlasy krepaté, matné a náchylné k lámání. Přestože chemické složení kutikuly je u všech typů vlasů podobné, u jednotlivých etnik se liší počet kutikulárních buněk. Tenčí vrstva v případě afrických vlasů přispívá k větší lámavosti vlasů, než je tomu u vlasů bělošských a asijských. Buňky kutikuly se postupně opotřebovávají a z tohoto důvodu je jich směrem ke špičce vlasu méně než u kořínku. Vnější část kutikuly obsahuje lipidy (mastné kyseliny, ceramidy a cholesterol) které přispívají k ochranné funkci a podporují hydrofobnost a nízké tření vlasů. Africké vlasy ve srovnání s asijskými a bělošskými obsahují více lipidů v kutikule. Při používání alkalické kosmetiky jako jsou aniontové šampony, hydroxid sodný či lithný, jejichž vlivem je vrstva lipidů odstraňována může dojít k narušení ochranné funkce a tím k pronikání vody a dalších materiálů do vlasu. [10]

2.2.2 Kůra vlasu

Největší hmotnostní podíl u vlasového stvolu má kůra, ta také zajišťuje pevnost v tahu. Skládá se z keratinových vláken a melaninu, který určuje barvu vlasu. Keratinová vlákna jsou uložena v mezibuněčné hmotě kůry obsahující aminokyseliny cysteinu, tato hmota je společně s endokutikulou označována jako nekeratinová oblast vlasu. Aminokyseliny

cysteinu spojují keratinové proteiny prostřednictvím disulfidických vazeb. Tyto vazby dávají vlasu vysokou mechanickou pevnost, avšak jsou citlivé na chemické úpravy. U afrických vlasů, které byly rovnány pomocí chemických prostředků je vykazována výrazně nižší úroveň cysteinu než u neošetřovaných vlasů. Kromě disulfidických vazeb je keratin spojen i slabšími vazbami, jako jsou vazby vodíkové, ty lze snadno narušit vodou a vytvořit tak dočasné účesy. Mezi buňkami kůry je silná adhezivní vrstva, nazývaná buněčný membránový komplex (cell membrane complex – CMC). Právě tato vrstva je zranitelná vůči kosmetickým chemickým úpravám vlasů, jako je odbarvování, barvení, narovnávání a trvalá. CMC dokonce může být narušena i při každodenním mytí vlasů za použití šamponu, tato narušení mají za následek snížení mechanické pevnosti vlasů. [10]

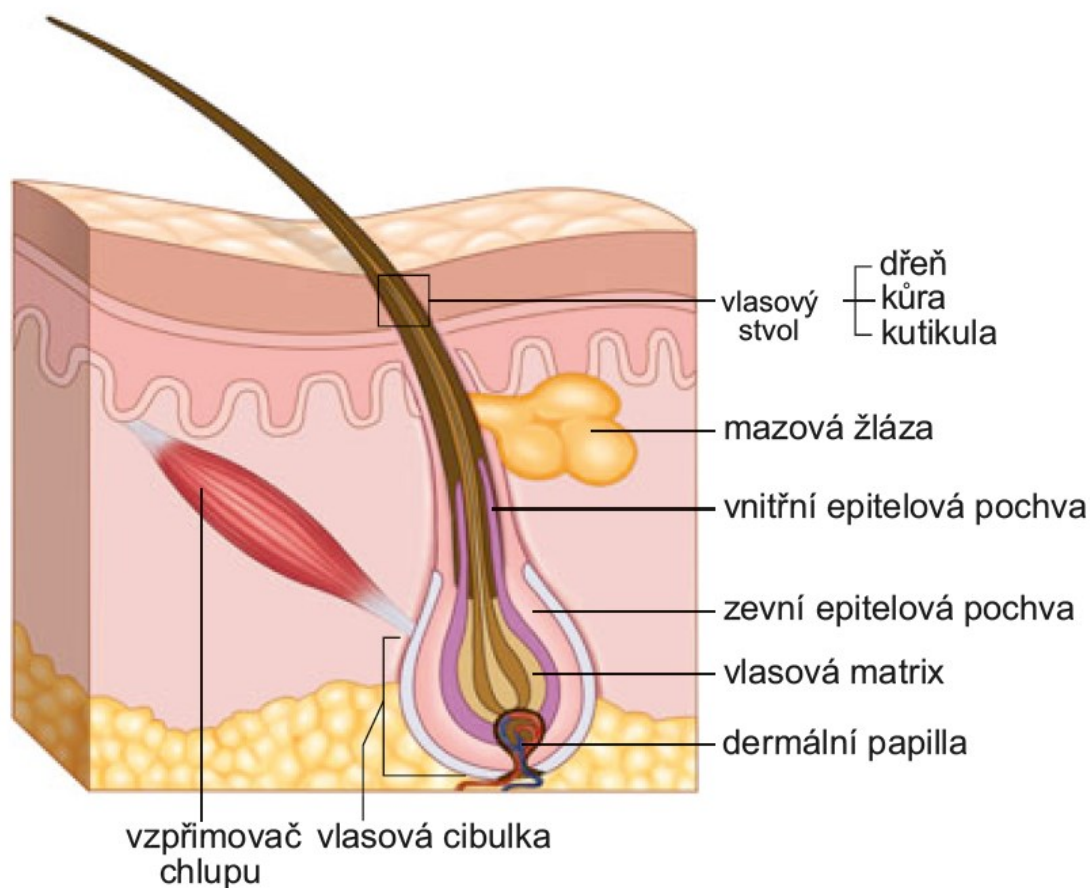
2.2.3 Dřeň vlasu

Dřeň tvoří porézní střed vlasu. Nemusí být vždy přítomen ve vlasech či chlupcích, obecně se nachází v mohutnějších vlasech například asijských. Dřeň obsahuje proteiny odolné vůči chemickým ošetřením, na druhou stranu jen nepatrně přispívá u vlasu k mechanické či chemické odolnosti. [10]

Zdravý vlas tedy má neporušenou, hladkou kutikulu s vysokým obsahem lipidů od kořene ke špičce, silnou kůru s neporušeným buněčným membránovým komplexem a mnoha disulfidickými vazbami. Tyto základní stavební kameny jsou v případě zdravého vlasu podobné u všech etnik, ale jsou náchylné k narušení kosmetickými výrobky. [10]

2.3 Anatomie dermální části vlasu

Hlavním prvkem dermální části vlasu je vlasový folikul, který je tvořen kořenem vlasu, přecházejícím ve vlasovou cibulku, ten je obalen vnitřní a zevní epitelovou pochvou a pochvou vazivovou. Vlasový folikul je dále spojen s dermální papilou a vzpřimovačem chlupu. Součástí folikulu je také jedna nebo více mazových žláz. [10]



Obrázek 4: Vlasový folikul (upraveno z: [10])

2.3.1 Vlasová cibulka – *bulbus pili*

Jedná se o základní rozšíření vlasového folikulu zahrnující kořen vlasu. Ve spodní části sousedí s dermální papilou, jak je patrné z obrázku 5, od které je oddělena bazální membránou. Tato část cibulky se nazývá zárodečná matrix. Buňky se zde intenzivně dělí, a tak vzniká vlas a vnitřní kořenová (epitelová) pochva, také se zde nacházejí melanocyty, které produkují pigment. [11]

2.3.2 Dermální papila – *papila pili*

Je zespod vnořena do vlasové cibulky viz obrázek 5. Obklopují ji epitelové buňky, od kterých je oddělena sklovitou membránou. Dermální papila je mezenchymální (regenerativní) struktura tvořená fibroblasty. Obsahuje také cévní kličky a četná nervová zakončení. Jedná se o řídicí strukturu, která má na starosti růstový cyklus vlasu. Poškození dermální papily způsobuje vypadnutí vlasu a nevratné narušení růstového cyklu. [11]

2.3.3 Vzpřimovač chlupu – musculus arrector pili

Jedná se o sval z hladkých svalových buněk. Vychází z dermálních papil kůže a upíná se do zevní epitelové pochvy. Při kontrakci chlup napřimuje a také napomáhá vyprazdňovat mazovou žlázu. U vousů, pubického a axilárního ochlupení vzpřimovač chlupu není přítomen. [11]

2.3.4 Vnitřní epitelová pochva

Kompletně obaluje počáteční úsek kořene vlasu. Tvoří ji tři vrstvy – kutikula, Huxleyova vrstva a Henleova vrstva. Kutikula přiléhá těsně k vlasu a má podobnou strukturu jako kutikula vlasového stvolu, s tím rozdílem, že volné konce buněk šupinatého tvaru směřují opačným směrem. To má za důsledek jejich zaklesnutí do buněk kutikuly vlasového stvolu, s kterým následně rostou směrem k povrchu kůže. Kutikula vnitřní epitelové vrstvy je obalena Huxleyova vrstva, která je složena z jedné až tří vrstev buněk. Následuje vrstva Henleova tvořená plochými epitelovými buňkami. Tato vrstva je formována ze zárodečné matrix cibulky, později keratinizuje a tvoří ústí folikulu. Vnitřní epitelová vrstva drží vlasový stvol a formuje tvar vlasu. [11]

2.3.5 Zevní epitelová pochva

Tato pochva je kontinuální s pokožkou, vystylá folikul a stýká se s vlasem. V oblasti mazové žlázy se mezi ní a vlas vnořuje vnitřní epitelová pochva, ke které je připojena pomocí desmozomů (typ buněčného spoje s přítomností intermediárních filament s různými buněčnými strukturami, například keratinovými [13]). Zevní epitelová pochva se ztenčuje směrem k vlasové cibulce, kde má pouze jednu vrstvu buněk a ve spodní části cibulky se zcela vytrácí. Její úlohou je podpora vlasu a jeho posuv směrem vzhůru. [11]

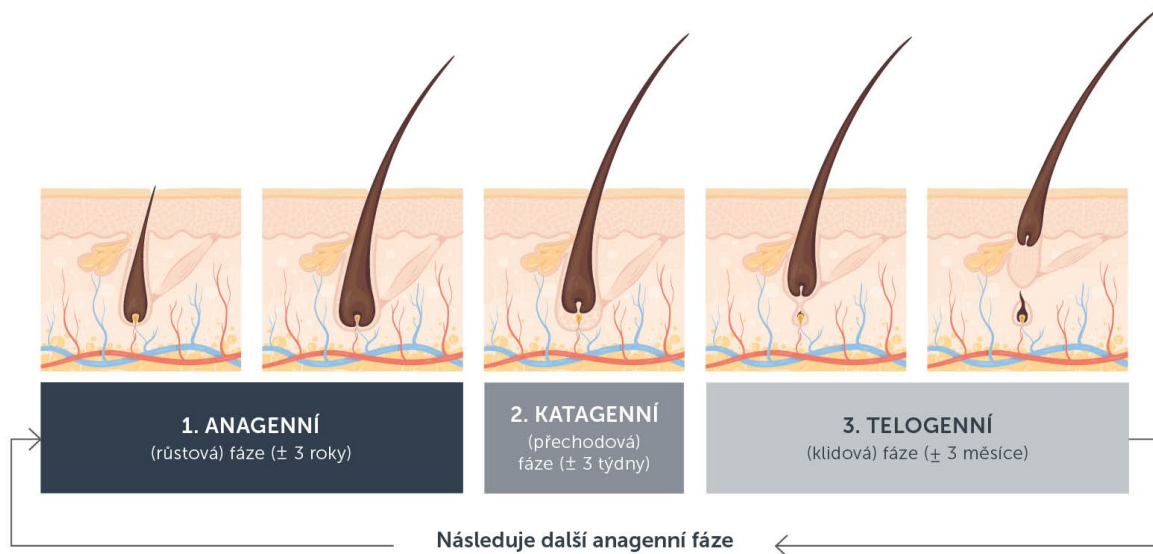
2.3.6 Vazivová vlasová pochva

Obaluje vlasový folikul a ve spodní části se vnořuje do vlasové cibulky, v tomto místě následně vytváří dermální papilu. Vazivová vlasová pochva se skládá ze dvou vrstev, mezi kterými se nacházejí nervy a cévy. Její hlavní úlohou je ukotvení vlasového folikulu v kůži. [11]

2.4 Růstový cyklus vlasu

Vlasový folikul prochází v průběhu růstového cyklu výraznými změnami. Tento cyklus se skládá ze tří fází, jak je patrné z obrázku 4. První fáze je nejdelší, doba trvání se může značně lišit, ale v průměru se jedná o zhruba tři roky, nazývá se anagenní. V této etapě je folikul nejrozvinutější. Dále v této kapitole budou popisovány části folikulu právě v této fázi. Katagenní fáze je naopak nejkratší, trvá zhruba tři týdny. Telogenní stádium je dlouhé asi tři měsíce. Jednotlivé fáze jsou popsány níže: [14]

- **Anagenní fáze** je růstovou fází vlasu, nachází se v ní asi 85 % všech vlasů. Folikul během celé této fáze produkuje vlas, který roste jak do šířky, tak do délky. Kvalita vlasového stvolu závisí především na množství buněk ve vlasové cibulce. V průběhu této etapy jsou fibroblasty vlasové cibulky uvolňovány látky spouštějící množení, migraci a diferenciaci zárodečných buněk vlasového folikulu, ty následně vytvářejí vlasový stvol. Délka této fáze se pohybuje v rozmezí od dvou do šesti let. [14], [15], [16]
- **Katagenní fáze** (přechodová) představuje regresi a degeneraci vlasu. V jejím průběhu dochází u buněk vlasové cibulky k řízené smrti (apoptóze), tím je způsobena regrese dolní části vlasového folikulu. Vlasová cibulka je tedy neaktivní a vlasový stvol již nadále neroste. Délka trvání je dva až šest týdnů. [14], [15], [16]
- **Telogenní fáze** (klidová) je posledním stádiem růstového cyklu. Nachází se v ní méně než 10 % vlasů. Nedochozí k tvorbě vlasu a stávající vlas vypadává. Následně vlasový folikul vstupuje opět do anagenní fáze, kdy nový vlasový stvol postupně vytlačuje ten původní. Tímto způsobem se cyklus neustále opakuje. Délka této fáze je jeden až čtyři měsíce. [14], [15], [16]



Obrázek 5: Růstový cyklus vlasu [12]

2.5 Šířka vlasu

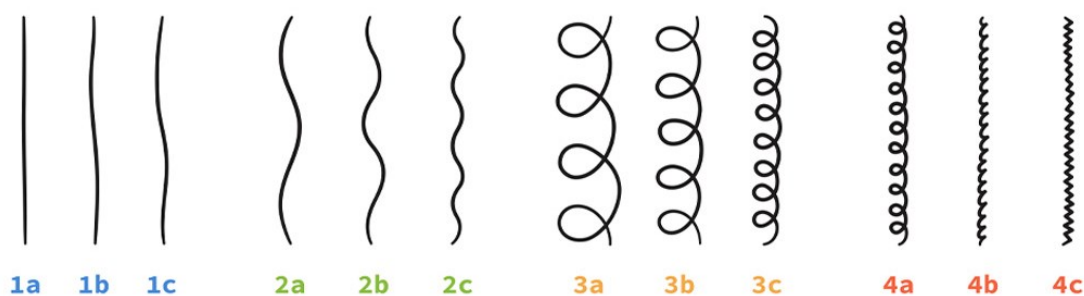
Jedná se o velmi cennou charakteristiku. Rozmezí maximální šířky vlasového stvolu je uváděno od 13 do 132 mikrometrů, obvykle se však vyskytují vlasy v rozmezí šířek 40 až 120 mikrometrů. Tvar průřezu vlasu může být různý, například kruhovitý, oválný, eliptický či plochý, z tohoto důvodu nelze mluvit o průměru vlasu. Měří se maximální a minimální šířka, díky jejich poměru lze určit vlnitost vlasu a tento faktor může být následně použit pro určení etnického původu. [5]

2.6 Typy vlasů

Textura a typ vlasů se dovíjí od mnoha faktorů včetně genetiky. Rovné vlasy jsou nejběžnějším typem napříč světem. Vlasy každého jedince mají unikátní texturu. Rozlišují se čtyři základní typy, 1 – rovné, 2 – mírně zvlněné, 3 – vlnité a kudrnaté, 4 – silně kudrnaté a kadeřavé vlasy. Tyto základní skupiny jsou následně děleny do tří podkategorií a – c, jak je patrné níže: [17]

- Typ 1 jsou rovné vlasy bez zkroucení. Tento typ má také největší lesk, je nejodolnější a těžko se poškodí. Je také nesmírně náročné tento typ natáčet a jinak tvarově upravovat, jelikož se kožní maz snadno šíří od pokožky až ke konečkům, což z nich dělá i nejmastnější typ vlasů.

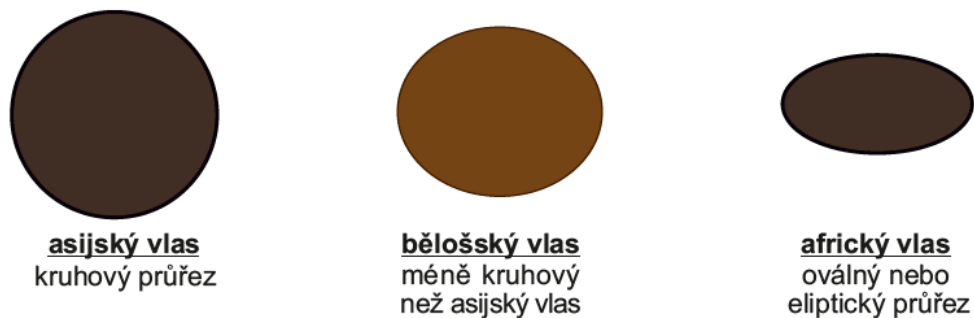
- 1a – Rovné jemné a tenké
- 1b – Rovné s větším objemem
- 1c – Rovné hrubé (typicky asijské) [17]
- Typ 2 jsou vlasy vlnité. Jejich lesk je o něco menší než v případě rovných vlasů, některé se častěji krepatí. Určité typy vlnitých vlasů se snáze upravují, kdežto jiné jsou vůči stylingu stále poměrně odolné.
 - 2a – Zvlněné jemné libovolně upravitelné přilehlé k hlavě
 - 2b – Zvlněné normální s tendencí se krepatět
 - 2c – Zvlněné hrubé odolné proti stylingu [17]
- Typ 3 jsou kudrnaté vlasy, které vypadají jako písmeno „S“ nebo „Z“. Obvykle se jedná o vlasy objemné, náchylné ke klimatu a poškození s tendencí krepatění. Vyžadují řádnou péči pro udržení zdravých kadeří.
 - 3a – Volně vlnité plné a husté
 - 3b – Pevné vlny a kadeře
 - 3c – Husté vlny ve spirálách [17]
- Typ 4 jsou vlasy, které jsou stočené velmi těsně. Často jsou křehké s velmi vysokou hustotou. Tento typ se smršťuje, když je vlhký, protože kutikula má méně vrstev buněk. Tyto vlasy jsou také náchylnější k poškození oproti dalším typům.
 - 4a – Kadeřavé jemné pevně stočené
 - 4b – Kadeřavé houževnaté
 - 4c – Silně kadeřavé a houževnaté hrubé vlasy [17]



Obrázek 6: Typy vlasů [18]

2.7 Rozdíly vlasů dle etnika

Průřez, tloušťka a tvar vlasu se dramaticky liší u afrických, bělošských a asijských vlasů, toto je patrné z obrázku níže. Asijské vlasy mají největší průměr a kruhový průřez, tím pádem jsou jejich vlasy rovné v celé své délce. Bělošské vlasy mají průřez mezi asijským a africkým, jsou lehce oválné, a tedy náchylné ke kudrnatosti. Africké vlasy mají průřez oválný až eliptický a jejich průměr se v celé délce vlasového stvolu mění. Africké vlasy vykazují největší variabilitu u tvaru vlasů, a to jak mezi lidmi, tak v rámci vlasů jednoho jedince či dokonce jediného vlasového stvolu. Jejich vlasy jsou charakteristické častým zkroucením v podélné ose, průměr vlasů je menší a v místech zkroucení se jeví jako zploštělé. Díky zkroucení jsou tyto vlasy náchylné k lámání, ve srovnání s bělošskými a asijskými vlasy se u nich také častěji vyskytuje strukturální poškození jako úplné či částečné zlomy, uzly a roztřepení v podélné ose. [10]



Obrázek 7: Rozdíly v průměru a průřezu u vlasů (upraveno z: [10])

Hustota vlasů je závislá, jak na jejich barvě, tak na etnické příslušnosti majitele. Běloši mají největší hustotu vlasů s průměrnou rychlostí růstu. Asiaté mají nejnižší hustotu a největší rychlost růstu vlasů. Afričané se vyznačují střední hustotou vlasů a nejpomalejším tempem růstu. [5]

3 VYUŽITÍ ANALÝZY VLASŮ PRO FORENZNÍ ÚČELY

Člověk denně ztratí 50 až 100 vlasů v důsledku životního cyklu vlasu, další vlasy mohou být vytrženy v případě násilných trestných činů jako vraždy či znásilnění. Díky jejich malým rozměrům jsou vlasy pachatelem často přehlédnuty, a tak nejsou z místa činu odstraněny či zničeny. Odhaduje se, že vlasy jsou nalezeny na 90 % míst činu a jejich nalezení může mít klíčovou roli v dopadení pachatele. [19]

Vzorky vlasů z místa činu jsou zásadním zdrojem pro forenzní analýzy, často poskytují cenné informace, které mohou pomoci s identifikací podezřelého či oběti. Této analýze je již léta věnována zvýšená pozornost. V současnosti se stala po krvi a moči třetí nejzákladnější biologickou stopou v testování drog ve forenzní toxikologii. Vlasy jsou atraktivním biologickým materiálem díky snadnému odběru vzorků, transportu, skladování a zpracování. Například nepříznivé dopady životního prostředí mohou ovlivnit zdraví jedinců v daném prostředí a následně slouží jako indikátory pro forenzní identifikaci člověka. [20]

Někteří výzkumníci analyzovaly ve vlasech nebezpečné látky jako arsen, zinek, měď, olovo, kadmium, aby vystopovali místo s odpovídajícím znečištěním. Změny obsahu chemických prvků v prostředí vedou k odpovídajícím změnám v biologických substrátech člověka. Stopové množství prvků se v těle v průběhu času hromadí. Důsledkem je, že tyto vzorky odrážejí biomedicínskou a enviromentální historii těla a dlouhodobé metabolické změny v průběhu života. Koncentrace jednotlivých prvků v biologických vzorcích se v jednotlivých zemích liší v závislosti na geografických variacích, stravovacích návycích a faktorech prostředí. [20]

3.1 Forenzní trichologie

Slovo trichologie je odvozeno z řeckého thrix což znamená vlas či chlup. Jedná se o zkoumání živočišného trichologického materiálu ve spojitosti s policejním vyšetřováním, například u majetkových a násilných trestných činů, krádeží, havárií, dopravních nehod, pytláctví a podobně. [21]

Mezi trichologický materiál patří lidské chlupy a vlasy a zvířecí chlupy. Tento materiál je významnou biologickou stopou zanechanou nejen na místě činu, ale také třeba na pachateli či oběti nebo předmětech spojených s trestnou činností. Chlupy a vlasy jsou častými stopami, které díky chemickému složení dobře odolávají vlivům okolí. [21], [22]

Expertizou lidských chlupů a vlasů lze identifikovat jedince nebo o něm podat informace jako etnická příslušnost, patologický stav, použitá vlasová kosmetika, věková skupina u nedospělých osob či odhalit užívané léky a drogy. [21]

Vypovídající hodnota trichologického materiálu je ovlivněna jeho zachovalostí a významem znaků v něm zastoupených. Obvykle je provedena komparace nalezené stopy se srovnávacím vzorkem, tímto je možné získat například potvrzení původu. V případě, že se u nalezeného materiálu vyskytují i unikátní znaky je výpovědní hodnota zvýšena, pokud je izolována i nukleární DNA je možno provést individuální identifikaci. [21]

Základem pro úspěšné zjištění důležitých informací pro identifikaci původce trichologických stop je jejich nalezení a korektní zajištění. Následně je v laboratoři za přesně stanovených podmínek a posloupností prováděno zkoumání získaného materiálu. V první řadě je potřeba určit původ materiálu, tedy jedná-li se o chlupy a vlasy lidské, zvířecí chlupy, nebo vlákna syntetického, anorganického či rostlinného původu. Pokud se jedná o lidský trichologický materiál je následně provedena podrobná analýza a případná komparace se vzorky od relevantních osob. [21], [22]

3.1.1 Vyhledávání a zajišťování trichologického materiálu

Tento materiál je vyhledáván a zajišťován na místech činu, v automobilech pak nejčastěji na sedačkách a opěrkách, dále pak v kufru a na šasi, vyhledává se pochopitelně i na oděvech a tělech osob (podezřelých, usmrčených, zraněných) spojených s danou trestnou činností, předmětech použitých ke spáchání trestného činu jako jsou nože, sekery, kladiva a další. [21]

Trichologický materiál je na místě vyhledáván vizuálně. Někdy jsou vzhledem ke struktuře a barvě povrchu pozadí použity světelné zdroje o vlnové délce 395 nm (ultrafialová oblast spektra), nebo kolem 625 nm (červená oblast spektra). Některé závažné případy vyžadují fotografickou dokumentaci trichologického materiálu s číselným označením, ukazatelem a grafickým ohraničením. [21]

O zajišťování trichologického materiálu se stará technik nebo znalec za pomoci entomologické pinzety. Stopy jsou poté jednotlivě umístěny do obalů vyrobených z papíru či polymerního materiálu, ty jsou nezaměnitelně označeny. K zajišťování naopak není vhodné používat skleněné obaly a daktyloskopické izolepy a fólie, jelikož mohou být odděleny epitelální buňky pochev kořínek u vlasů a chlupů vyčesaných a vytržených. [21]

3.1.2 Skladování trichologických stop

Tento materiál je před analýzou archivován v papírových obalech v suchu a ve standardních laboratorních podmínkách. Za předpokladu, že je materiál znečištěn například krví či exkrety je skladován v mrazicím boxu. Po analýze je tento materiál skladován v papírových obálkách s příslušným označením (jednačí číslo a rok analýzy). Trichologický materiál, který není relevantní je zlikvidován dle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech. [21]

3.1.3 Lidské trichologické stopy

V lidských chlupcích a vlasech je uloženo velké množství důležitých informací, ty však lze odhalit jen za předpokladu, že znalec přistupuje ke zkoumání explicitně. Pro kriminalistickou znaleckou činnost v trichologii je u znalce předpokládána komplexní znalost daného materiálu z mnoha aspektů (morfologie, genetika, biochemie atd.). Někdy je však nutné spolupracovat s dalšími znalci hraničních oborů jako jsou chemie, sérologie, genetika a další. [21]

3.1.4 Trichologický materiál pro srovnání

Vzorky vlasů osob jak živých, tak mrtvých, které jsou relevantní pro daný případ (podezřelí, oběti, osoby z domácnosti) jsou zajištěny odstřížením zhruba pěti až deseti kusy vlasů z pěti míst hlavy (nad čelem, z temene, týlu a obou oblastí spánků). Dále je pro doplnění několik vlasů vyčesáno a vytrženo. U mrtvých osob jsou vlasy vytrženy ze stejných pěti míst. [21]

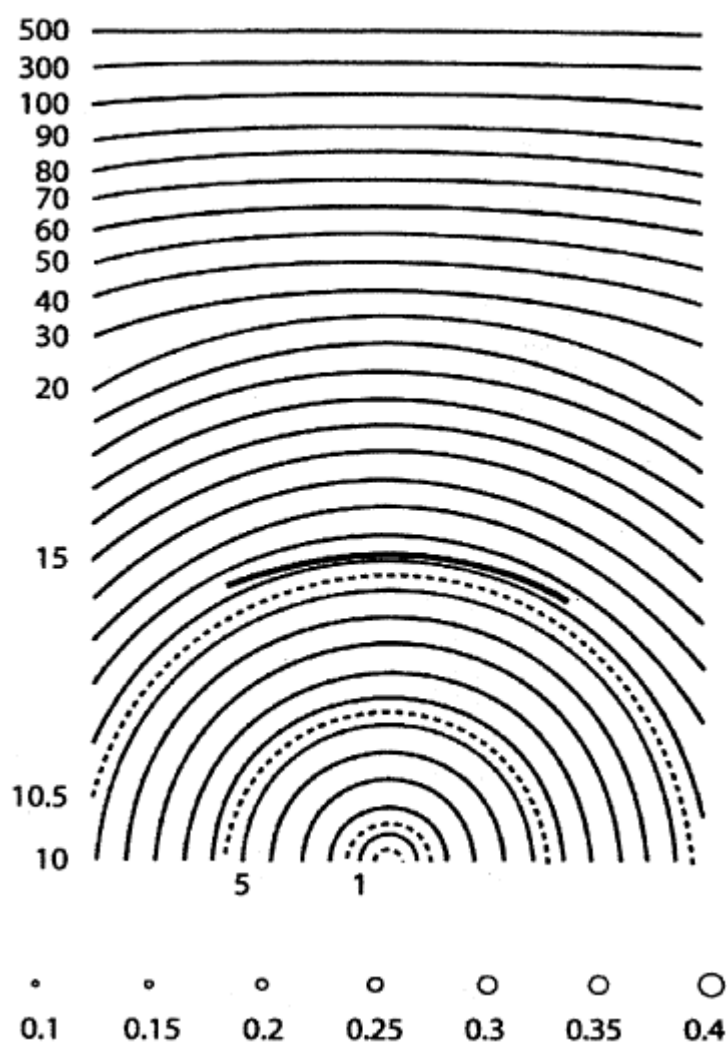
3.2 Metody zkoumání trichologických stop

Tyto metody lze rozdělit dle jejich vlivu na zkoumaný vzorek, první jsou metody nedestruktivní, sem patří například mikroskopické hodnocení, druhým typem jsou semidestruktivní, kdy dochází ke zničení odebrané části vzorku. Při destruktivních metodách je vzorek zničen kompletně. V rámci forezních věd lze pro zkoumání trichologického materiálu aplikovat následující metody:

- Makroskopické zkoumání
- Mikroskopické zkoumání
- Sérologické vyšetření
- Genetické vyšetření
- Chemická analýza [21]

3.2.1 Makroskopické zkoumání

Zkoumání makroskopických markantů vlasového stvolu také může být cennou metodou při porovnávání trichologických stop. V této části lze zkoumat tvar vlasového stvolu spolu s kudrnatostí, určit barvu vzorku a změřit jeho délku. Pro určení kudrnatosti jsou používány šablony, kde je vzorek srovnáván s nejpodobnějším zakřivením. Na obrázku níže je zobrazeno měření vzorku se zakřivením o průměru zhruba 11 cm (obrázek není přiložen v přesném měřítku). Čísla na šabloně udávají průměr zakřivení v centimetrech. [23]



Obrázek 8: Šablona pro vyhodnocování kudrnatosti [24]

Délka vlasu je celková délka vlasového stvolu uváděna obvykle v centimetrech. Vlas je pro toto měření manuálně narovnan vedle měřidla. Délka vlasu může být cennou charakteristikou v případě, že vzorek z místa činu a porovnávací vzorek byly odebrány v krátkém časovém úseku. [23]

3.2.2 Mikroskopické zkoumání

Mikroskopické měření zahrnuje mnoho charakteristik, které hrají důležitou roli ve forezním porovnávání lidských vlasů. Mikroskopická struktura vlasu zahrnuje kutikulu, jádro a dřev. Charakteristické znaky jednotlivých složek jsou následně vyhodnocovány forezními výzkumníky, kteří je popíší a případně pořídí jejich fotodokumentaci. V seznamu níže jsou sepsány všechny důležité charakteristiky. [23]

- Barva vlasu
 - Dominantní charakteristika u lidských vlasů, která může být pozorována jak makroskopicky, tak mikroskopicky. Barva je závislá na přítomnosti pigmentu, průhlednosti a reflexibilitě povrchu vlasového stvolu. Rozlišujeme dva pigmenty určující barvu vlasu, melanin má hnědou barvu a phaomelanin má barvu červenou. [23]
- Hustota pigmentu
 - Množství pigmentových granulí ve vlasovém stvolu je zkoumáno za pomoci světelného mikroskopu. Při aplikaci na celou lidskou populaci se jedná o kontinuální variaci hustoty pigmentu, a tedy se počet variací blíží nekonečnu. Pro zjednodušení se používá následující hodnocení pigmentu: zcela nepřítomný pigment, světlý vlas, světlý až středně světlý vlas, středně až velmi tmavý vlas, velmi tmavý až neprůhledný a zcela neprůhledný vlas. [23]
- Velikost pigmentových granulí
 - Zde je posuzována velikost jednotlivých granulí pigmentu melaninu. Varianty velikostí jsou nepřítomný/skrytý, jemný a hrubý pigment. V některých případech jsou pigmentová granula příliš malá pro pozorování světelným mikroskopem, nebo jsou skryta z důvodu neprůhlednosti vlasového stvolu. [23]
- Distribuce pigmentu
 - Množství pigmentu může být různé na odlišných místech vlasového stvolu. Distribuce pigmentu napříč vlasovým stvolem může být rozdělena do následujících skupin: nepřítomný, jednotný, periferní, jednostranný, centrální, náhodný a další. [23]
- Agregace pigmentu
 - Popisuje rozeznatelné tvary shluků pigmentu ve vlasovém stvolu. Rozlišujeme tyto základní typy: chybějící, pruhované, shlukované tvary pigmentových shluků a další. [23]

- Velikost shluků pigmentu
 - Popis velikostí shluků pigmentu ve vlasovém stvolu je opět rozdělena do několika základních typů: chybějící, malé, střední a velké pruhy, nebo malé velké a střední shluky a další. [23]
- Kontinuita dřeně
 - Vztahuje se k povaze neprůhledných a průsvitných forem dřeně od proximálního konce vlasového stvolu k distálnímu. Tvar dřeně u lidských vlasů není dobře definovatelný, jelikož dřeň nemá rozeznatelný vzor. Kontinuita dřeně podél vlasového stvolu však je často patrná. Nejčastěji pozorovatelné vzory jsou: chybějící, kontinuální, přerušovaný a fragmentární, nebo jejich vzájemné kombinace. [23]
- Průsvitnost dřeně
 - Jedná se o vlastnost dřeně pozorovanou za pomoci procházejícího světla ve světelném mikroskopu. Varianty jsou: Chybějící, neprůhledný a průsvitný. [23]
- Tloušťka kutikuly
 - Kutikula je vrchní vrstva vlasového stvolu složena z překrývajících se šupin. Posuzují se následující typy: tenká, tlustá, variabilní a nerozpoznatelná. Měří se v místě maximální tloušťky vlasu za pomoci okulárního mikrometru. [23]
- Vnitřní okraj kutikuly
 - Jedná se o hranici mezi kutikulou a kůrou a rozeznává se nevýrazná, výrazná a proměnlivá podél vlasového stvolu. Zdá se, že existuje korelace mezi hustotou pigmentu a rozeznatelností vnitřního okraje kutikuly – u silně pigmentovaných vlasů je tato hranice zřetelnější. [23]
- Vnější profil šupin kutikuly
 - Zkoumá se vzor nejvzdálenějšího okraje kutikuly vyčnívajícího z povrchu vlasu. Tento profil může být dán přirozeně, nebo výsledkem působení prostředí (například ošetření vlasů). Rozeznávají jsou struktury hladké, vroubkované, roztřepené, smyčkové a další. [23]
- Povrch kutikuly
 - Pozoruje se také stav povrchu vlasu (kutikuly). Zde se udávají pouze dva stavy kutikuly, a to normální a poškozená. K poškození vlasu může docházet v důsledku úpravy vlasů, nebo působením enviromentálních vlivů. [23]

- Pigment v kutikule
 - Množství pigmentu ve vlasovém stvolu koreluje s výskytem pigmentu v kutikule. U více pigmentovaných vlasů je často pozorován i v kutikule. Hodnotí se zde pouze, zda je či není přítomen. [23]
- Textura jádra
 - Textura jádra je pozorována při podélném uchycení vlasového stvolu. Varianty jsou nepřítomná, přítomná a zakrytá textura. Často je textura jádra „proužkovaná“, což je způsobeno většími svazky vláken. [23]
- Kortikální fusi
 - Jedná se o malá vřetenovitá tělíška, která leží mezi kortikálními buňkami kůry. Běžně se nacházejí ve vlasovém kořínku a v bezprostřední proximální části vlasového stvolu. Definovány jsou následující typy: nepřítomné, pouze ve vlasovém kořínku, vzácné, běžné, hojné a zakryté ve vlasovém stvolu. [23]
- Ovoidní tělíška
 - Tato tělíška se vyskytují ve vlasové kůře a jedná se o shluky pigmentu, které mají kulovitý nebo podlouhlý tvar. Jejich průměr může být od 3 do 20 mikrometrů. Při tomto měření je určováno množství těchto tělíšek ve vlasovém stvolu a varianty jsou: nepřítomné, malé množství, velké množství a zakrytá tělíška. [23]
- Růstová fáze kořene
 - Charakteristické varianty růstových fází vlasových kořínků představují růstovou fázi vlasu v době jejich vypadnutí či vytržení. Rozeznáváme tedy fáze anagen, katagen a telogen v případě, že je kořínek součástí vlasového stvolu. Vlasy z anagenní fáze mají epiteliální pouzdro přiléhající k protáhnutému kořínku, který obsahuje pigment. U katagenní fáze může být kořínek zvětšený a mohou na něm být stopy po epiteliální tkáni. Vlasy pocházející z Telogenní fáze mají obvykle zvětšenou kořenovou cibulku, která postrádá pigment a má na sobě jen malou nebo žádnou epiteliální tkáň a také může obsahovat velké množství kortikálních fusi. [23]
- Charakteristika distálního konce vlasu
 - Tato charakteristika úzce souvisí s úpravou vlasu a zahrnuje: přirozeně zúžený koneček, zaoblený koneček, rovný nebo šikmý střih s rovným či již

zakulaceným okrajem, roztřepený, rozdrčený, opálený, ulomený koneček a další. [23]

- Maximální tloušťka vlasu
 - Stejně jako tloušťka kutikuly je tento parametr měřen pomocí okulárního mikrometru. Jedná se o maximální tloušťku vlasového stvolu podél jeho osy (při skenování od kořene směrem ke špičce). Varianty tloušťky vlasu jsou definovány jako jemné (tloušťka do 40 mikrometrů), střední (tloušťka 40 až 80 mikrometrů) a hrubé (tloušťka nad 80 mikrometrů). [23]
- Aberace vlasového stvolu
 - Jedná se o odchylku od „normálního“ vlasového stvolu, který obvykle má relativně jednotný průměr od kořene až k oblasti u špičky a jeho povrch bývá hladký bez náhlých změn. Velká část aberací se vyskytuje přirozeně, ale v některých případech může být způsobena péčí o vlasy, vlivem prostředí či onemocněními. [23]
- Úprava vlasu
 - Jedná se o například o úpravy natáčení či rovnání vlasů, odbarvování, barvení a další. Tato ošetření mohou a nemusí způsobit poškození kutikuly či vlasového stvolu. Odhalení takovýchto úprav může mít zásadní vliv při srovnávání více vzorků. [23]
- Nemoci a poruchy vlasu
 - Onemocnění a poruchy vlasů jsou velmi vzácné, a tak jejich přítomnost ve srovnávaném vzorku při forenzních vyšetřeních může značně přispět v případě rozhodování, zda se jedná o vlasy vyšetřované osoby. [23]
- Další charakteristiky
 - U vlasů se dají najít i charakteristiky, které zde ještě nebyly zmíněny, pro představu se může jednat například o zdvojenou dřeň, „proužkovanou“ dřeň, přerušovaný pigment a další. [23]
- Přítomnost hmyzu, pavoukoců, plísní a poškození vlasu
 - Zde se jedná o poškození způsobená hmyzem či plísněmi, obsah vajíček vši a další. Přítomnost vajíček vši je snadno diagnostikována, díky jejich charakteristickému vzhledu. Poškození vlasového stvolu hmyzem či pavoukovci také obvykle zanechá typický vzor. [23]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 POPIS MARKANTŮ U ZÍSKANÝCH VZORKŮ

Pro tento popis byl použit 3D laserový skenovací konfokální mikroskop Keyence VK-X1000, který je zobrazen na obrázku níže. Ten pomocí kombinace bílého a laserového světla může skenovat povrch a získávat jak optické obrazy, tak reliéf povrchu ve vysokém rozlišení. [25]



Obrázek 9: 3D laserový skenovací konfokální mikroskop Keyence VK-X1000

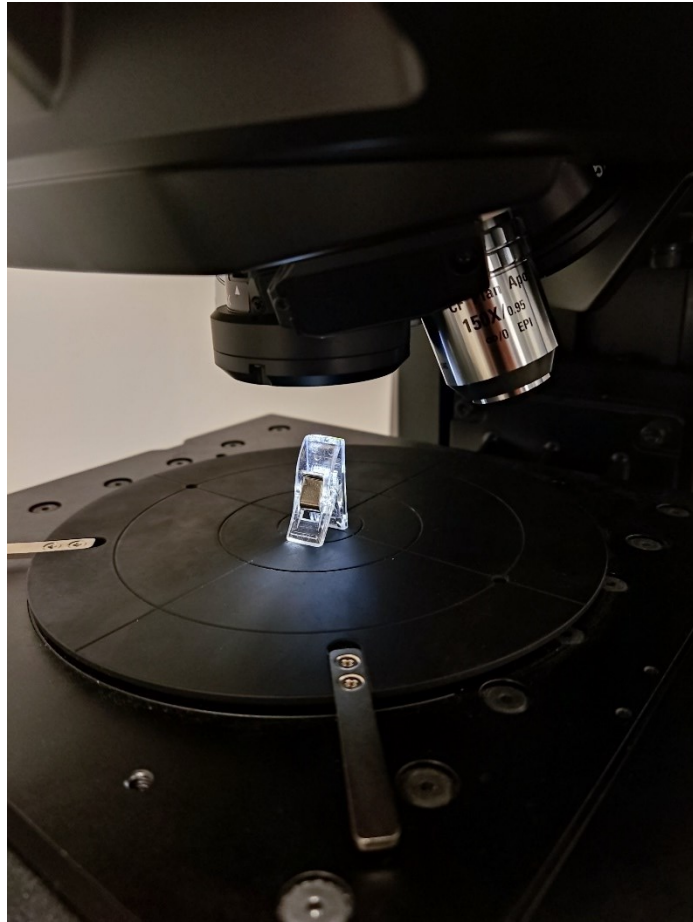
Díky duálnímu přisvitu (laserové a bílé světlo) a vysokorychlostnímu skeneru (16bitový fotonásobič: barevný CMOS s vysokým rozlišením) zaznamenává obrazová data a data o výšce. Rozlišení skenování je 2048 x 1536 pixelů. Dále díky šterbinovému konfokálnímu optickému systému eliminovat okolní světlo, a tak měřit výšku s vysokou přesností a velkým rozlišením. Mikroskop je vybaven motorizovaným stolcem pro přesnější navigaci a programovatelné měření. Dále má k dispozici více objektivů s maximálním celkovým zvětšením 28 800x při použití apochromatického objektivu 150x. Čočky objektivů jsou vyrobeny z fluoritu, který má nízkou refrakci a barevnou aberaci. [25]

4.1 Sběr vzorků

Celkem byly nasbírány vzorky od 38 dobrovolných dárců. U každého vzorku byly uvedeny následující informace: věk, pohlaví, národnost a případně úprava vlasů (barvené, odbarvené atp.). Pro další měření bylo podstatné, aby mezi nasbíranými vzorky byly obsaženy vlasy bělošské, africké i asijské, jelikož právě identifikace etnika je jedním z hlavních bodů následující kapitoly.

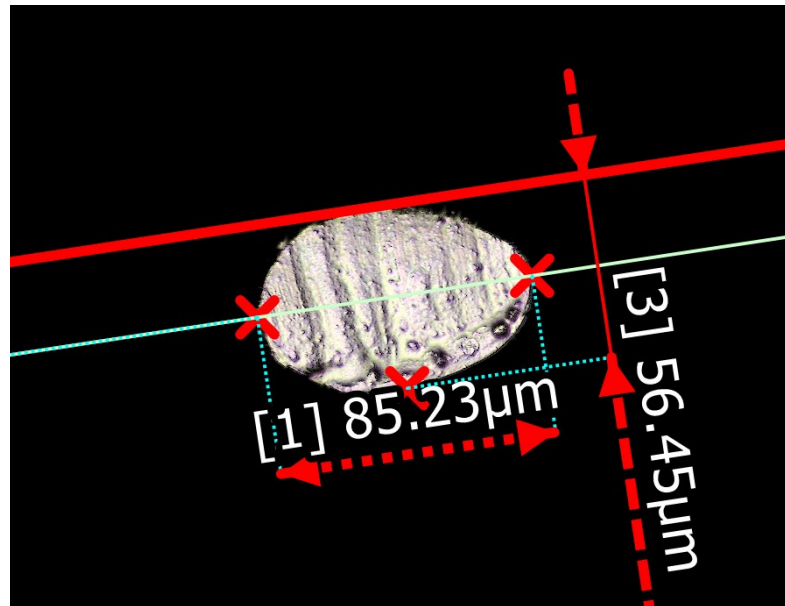
4.2 Metoda vyhodnocování vzorků

Tloušťka vlasu a jeho elipticita jsou základními parametry pro určení etnika jeho původce. Elipticita také může napovědět o jaký typ vlasu se jedná. U každého vzorku byl zkoumán povrch vlasu, kde byly patrné rozdíly v hustotě šupin kutikuly, dále zde bylo možno pozorovat poškození kutikuly a barvu vlasu. Vzorky pro zkoumání povrchu byly za pomoci lepicí pásky napnuty na bílý lesklý fotonapapír. Následně byl vlas rozříznut ve vzdálenosti 10 mm od kořene a v tomto místě bylo provedeno druhé pozorování, které odhalilo tvar průřezu vlasu a následně zde byly změřeny i jeho rozměry. Řez vlasu byl proveden skalpelem na měkké podložce, tak aby se vlas co nejméně zdeformoval. Pro uchycení vlasu pro toto měření byl upraven polymerový kolíček na prádlo, při úpravě byl zbroušen tak, aby stál kolmo k optice mikroskopu a také byl na horní straně barevně rozdělen na sektory pro lepší orientaci při hledání vlasu pod mikroskopem. Na obrázku níže je zobrazen takto uchycený vlas.



Obrázek 10: Měření tloušťky a tvaru průřezu vlasu

Měření tloušťky vlasu bylo prováděno následovně: v nejširším místě vlasového stvolu byla naměřena první hodnota a tím vznikla hlavní osa (maximální tloušťka). Následně byla naměřena druhá hodnota (vedlejší osa), která byla kolmá k hlavní ose a procházela jejím středem (u elipsy je tato osa nejkratším průměrem). Příklad tohoto měření je patrný na obrázku níže. Následně byl v programu Excel vypočítán průměr naměřených hodnot, který udává tloušťku vlasu. Každé měření bylo pětkrát opakováno, všechny výsledné tloušťky vlasu byly zprůměrovány a také byla vypočítána směrodatná odchylka.



Obrázek 11: Příklad měření tloušťky vlasu

Dále byl porovnán poměr maximální tloušťky vlasu a tloušťky kolmo k ní, který určuje jejich elipticitu. Tento údaj je důležitý pro určení etnika. V tabulce níže jsou uvedeny šířky vlasů jednotlivých etnických skupin a elipticita. [26]

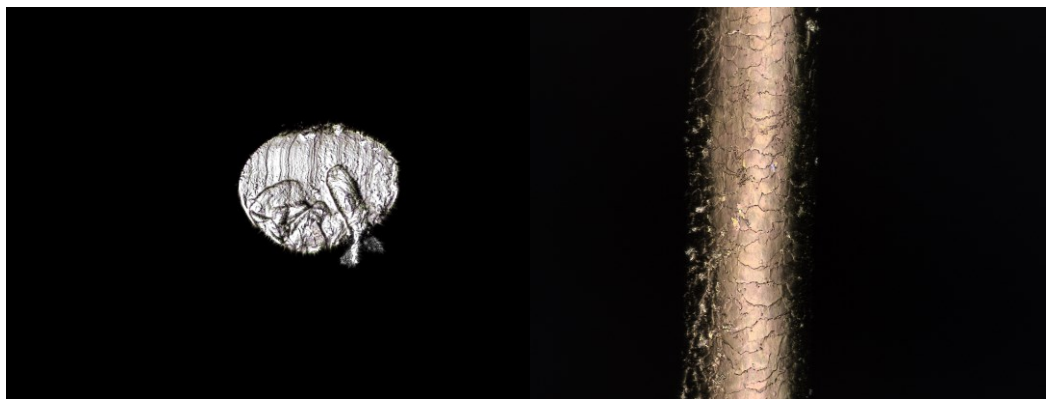
Tabulka 1: Etnické rozdíly v šířce vlasu a elipticitě [26]

Etnický původ	Elipticita	Šířka vlasu [μm]	
		Variační rozpětí	Průměr
Bělošský	1,43–1,56	67–78	72
Asijský	1,21–1,36	69–86	77
Africký	1,67–2,01	54–85	66

4.3 Vyhodnocení vzorků

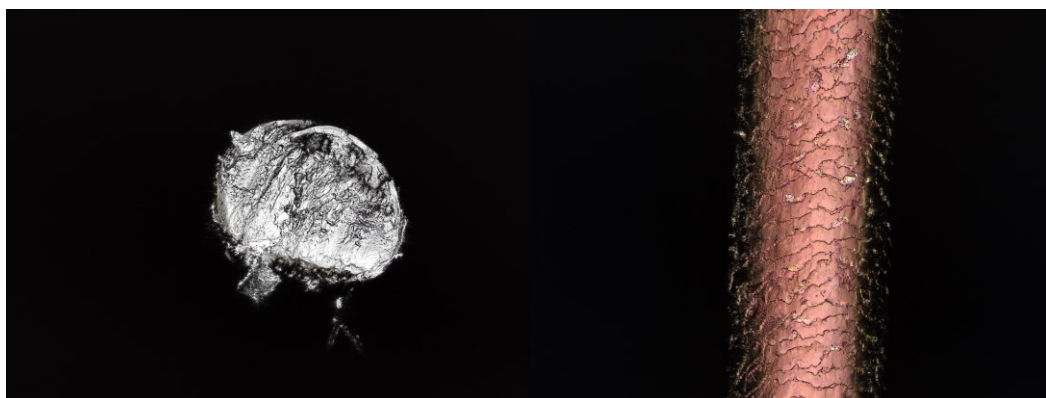
Všechny obrázky níže v této kapitole jsou ve stejném měřítku, aby byly patrné rozdíly v rozměrech jednotlivých vzorků. Toto je patrné především u průřezu vlasovými stvoly, jelikož na obrázcích s povrchem vlasů může být jejich tloušťka neúplná z důvodu omezené hloubky ostrosti použitého mikroskopu.

První vzorek pochází od bělošského muže ve věku 27 let. Jedná se o tmavý vlas. Na obrázku níže v levé části je patrné, že vlas má oválný tvar průřezu, elipticita je 1,29. Maximální tloušťka tohoto vlasu je $84 \pm 1 \mu\text{m}$, vedlejší osa má délku $65 \pm 2 \mu\text{m}$ a průměrná tloušťka je $74 \pm 1 \mu\text{m}$. Dle tabulky výše lze tento vlas zařadit do bělošské či asijské etnické skupiny. V pravé části obrázku mohou být pozorovány výrazné šupiny kutikuly.



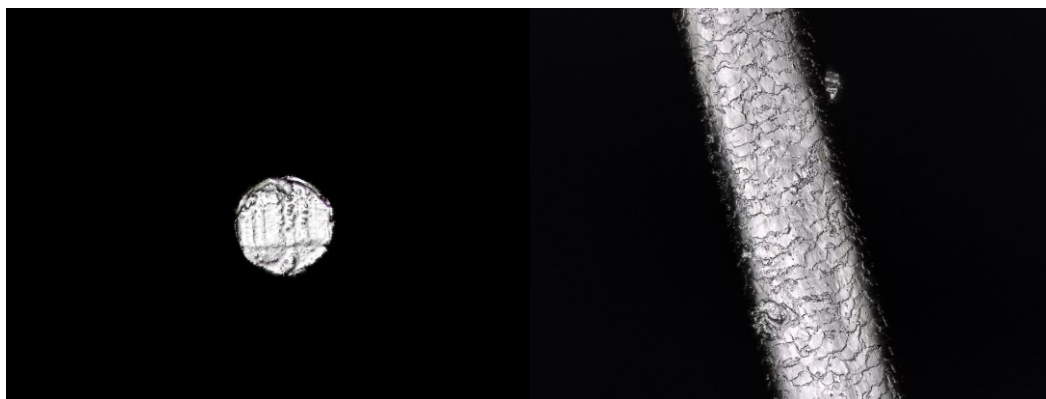
Obrázek 12: Vlas 1 – bělošský

Druhý vzorek je od bělošské ženy, 53 let. Vlas má velmi tmavou až černou barvu a oválný tvar průřezu, elipticita je 1,22. Jeho maximální tloušťka je $105 \pm 1 \mu\text{m}$, vedlejší osa má délku $86 \pm 2 \mu\text{m}$ a průměrná tloušťka je $96 \pm 1 \mu\text{m}$. Dle tabulky by se jednalo o asijský vlas, jelikož jeho tloušťka je nadprůměrná a tvar je jen minimálně oválný. Povrch vlasu má husté výrazné šupiny kutikuly.



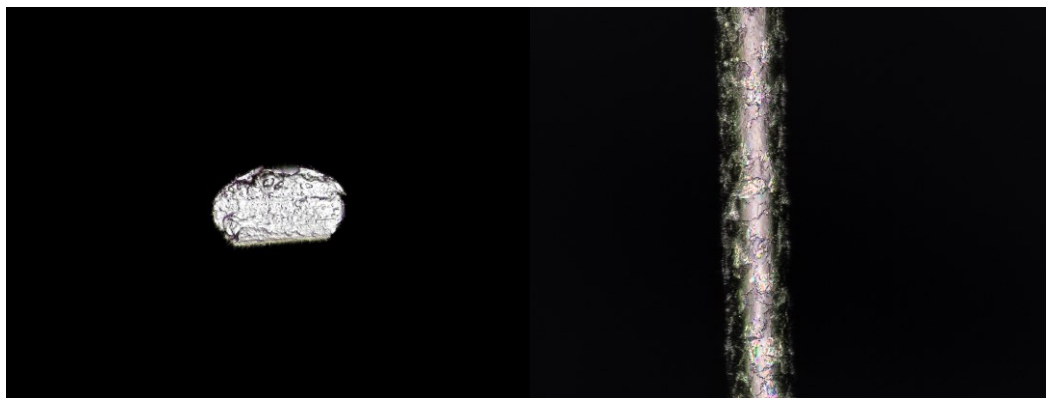
Obrázek 13: Vlas 2 – bělošský barvený

Třetí vzorek pochází od bělošského muže ve věku 57 let. Jedná se o šedivý vlas. Na obrázku níže v levé části je patrné, že vlas má kulatý tvar průřezu, elipticita je 1,02. Maximální tloušťka tohoto vlasu je $52 \pm 1 \mu\text{m}$, vedlejší osa má délku $51 \pm 1 \mu\text{m}$ a průměrná tloušťka je $52 \pm 1 \mu\text{m}$. Tloušťka tohoto vlasu je podprůměrná pro danou etnickou skupinu.



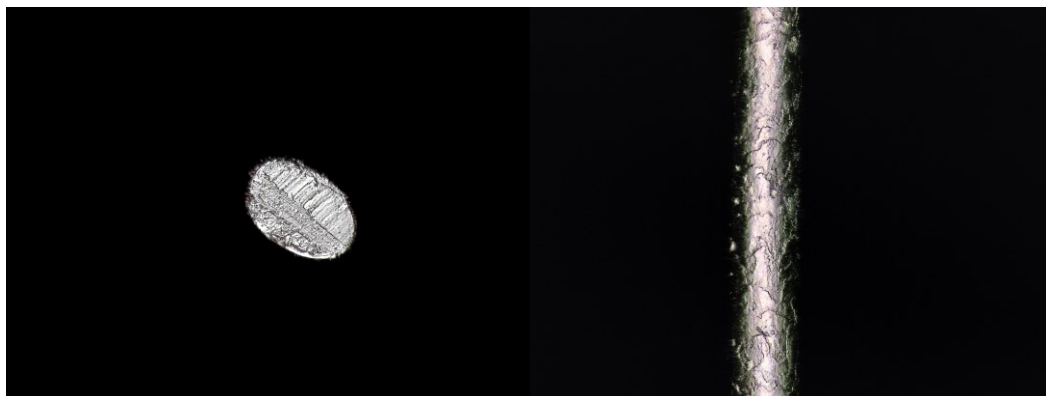
Obrázek 14: Vlas 3 – bělošský šedivý

Vlas číslo 4 je od afrického muže 35 let. Vlas má oválný až zploštělý tvar průřezu, elipticita je 1,73. Rozměry tohoto vlasu jsou $69 \pm 1 \mu\text{m}$ a $40 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $54 \pm 1 \mu\text{m}$. Tloušťkou je na spodní hranici afrických vlasů a jeho tvar průřezu také odpovídá této etnické skupině. Šupiny kutikuly jsou výrazně řidší, než u předchozích vzorků bělošské etnické skupiny.



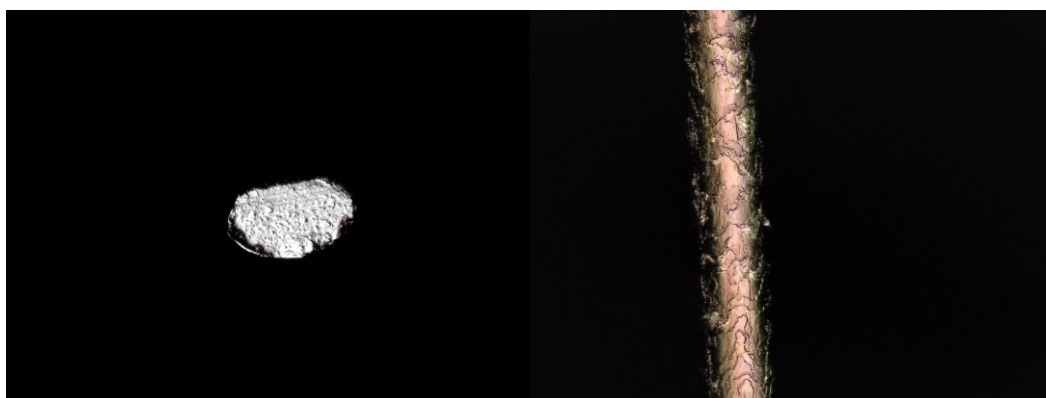
Obrázek 15: Vlas 4 – africký

Pátý vlas je africký, tentokrát od ženy ve věku 33 let. Rozměry tohoto vlasu jsou $64 \pm 1 \mu\text{m}$ a $44 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $54 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita je 1,45, jeho tvar je oválný. Svými parametry odpovídá africké etnické skupině.



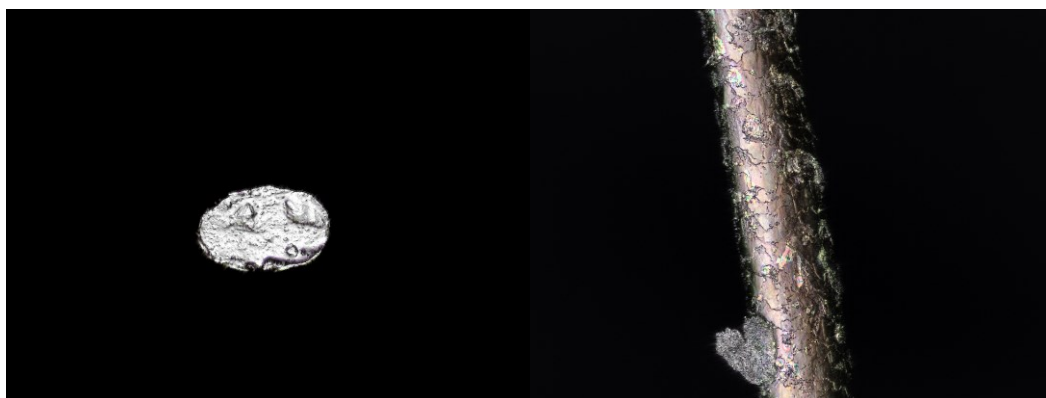
Obrázek 16: Vlas 5 – africký

Šestý vlas je africký, od muže ve věku 36 let. Rozměry vlasu jsou $67 \pm 1 \mu\text{m}$ a $40 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $54 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,68, jeho tvar je oválný až zploštělý. Jeho parametry odpovídají africké etnické skupině.



Obrázek 17: Vlas 6 – africký

Vlas 7 je africký, od muže ve věku 35 let. Rozměry vlasu jsou $70 \pm 1 \mu\text{m}$ a $44 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $57 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita je 1,59, tvar průřezu je oválný. Jeho parametry odpovídají africké etnické skupině.



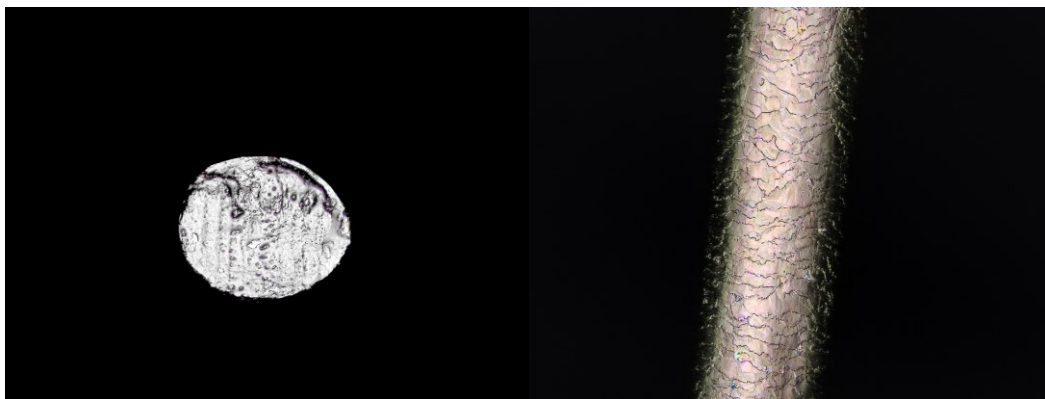
Obrázek 18: Vlas 7 – africký

Osmý vlas je africký, od muže ve věku 40 let. Rozměry vlasu jsou $71 \pm 1 \mu\text{m}$ a $41 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $56 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,73, jeho tvar je oválný až zploštělý. Parametry odpovídají africké etnické skupině.



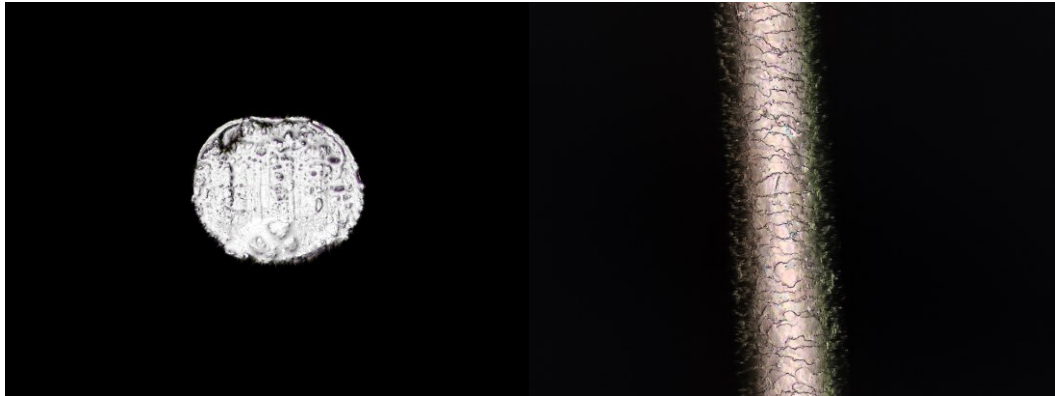
Obrázek 19: Vlas 8 – africký

Vlas 9 zobrazený níže je asijský, od ženy 48 let. Rozměry vlasu jsou $90 \pm 1 \mu\text{m}$ a $75 \pm 2 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $82 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,2, má tedy lehce oválný tvar průřezu. Průměrem i elipticitou odpovídá asijské etnické skupině. Vrchní vrstva kutikuly má velmi husté šupiny.



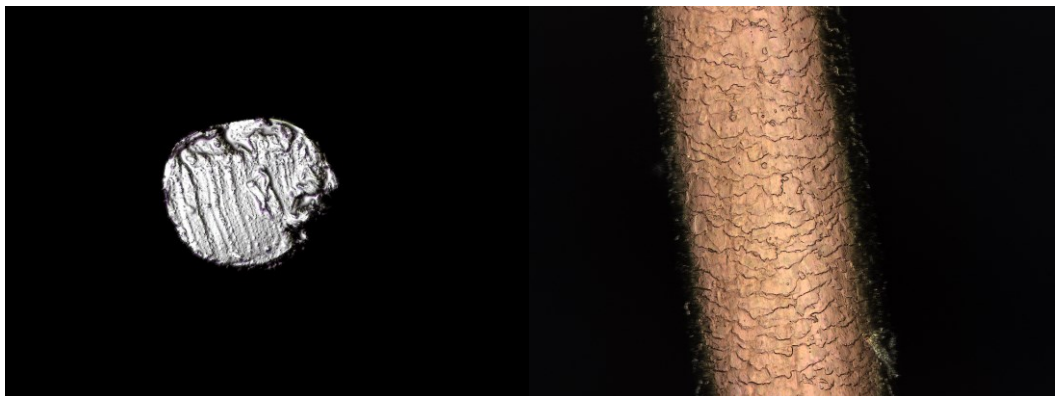
Obrázek 20: Vlas 9 – asijský barvený

Vlas 10 je asijský, od ženy 43 let. Rozměry vlasu jsou $90 \pm 1 \mu\text{m}$ a $77 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $83 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,17, má tedy téměř kruhový tvar průřezu. Parametry spadá do asijské etnické skupiny.



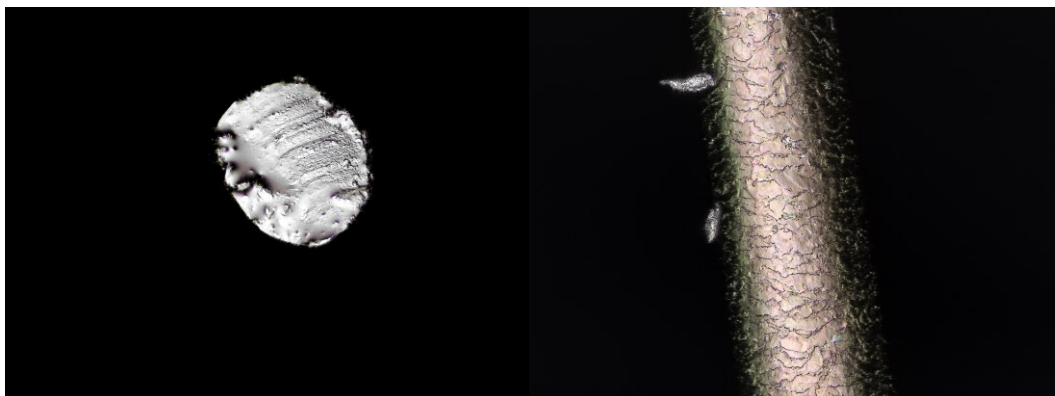
Obrázek 21: Vlas 10 – asijský barvený

Vlas 11 je asijský, od muže 50 let. Rozměry vlasu jsou $88 \pm 2 \mu\text{m}$ a $79 \pm 2 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $83 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,11, má tedy téměř kruhový tvar průřezu. Parametry tento vlas spadá do asijské etnické skupiny.



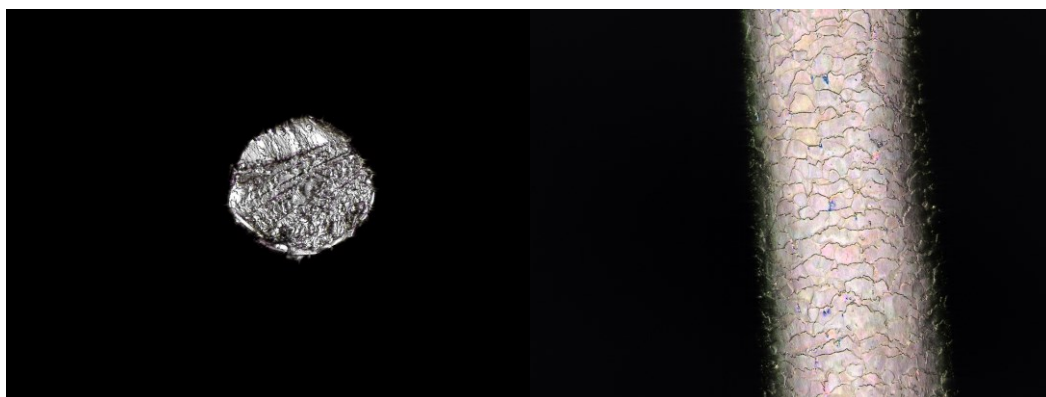
Obrázek 22: Vlas 11 – asijský barvený

Vlas 12 je asijský, od ženy 44 let. Rozměry vlasu jsou $89 \pm 1 \mu\text{m}$ a $75 \pm 2 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $82 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,19, má tedy téměř kruhový tvar průřezu. Parametry spadá do asijské etnické skupiny.



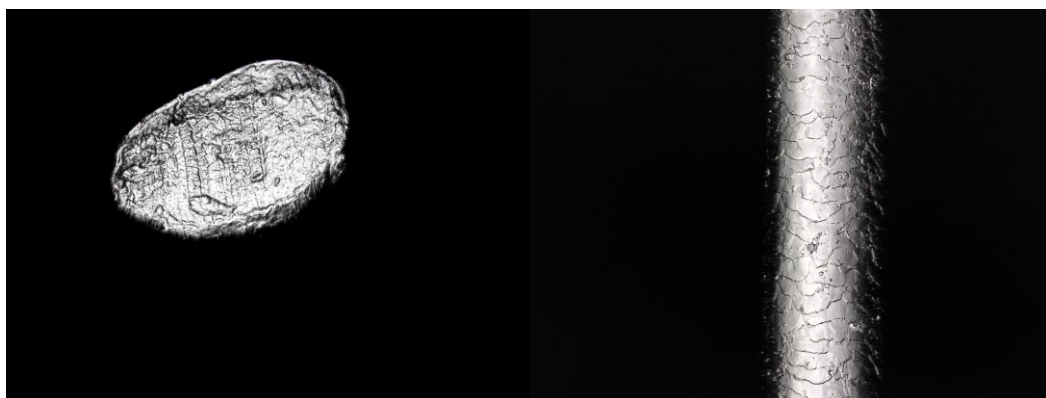
Obrázek 23: Vlas 12 – asijský barvený

Vlas 13 je asijský, od muže 28 let. Rozměry vlasu jsou $77 \pm 1 \mu\text{m}$ a $72 \pm 2 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $74 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,07, má tedy téměř kruhový tvar průřezu.



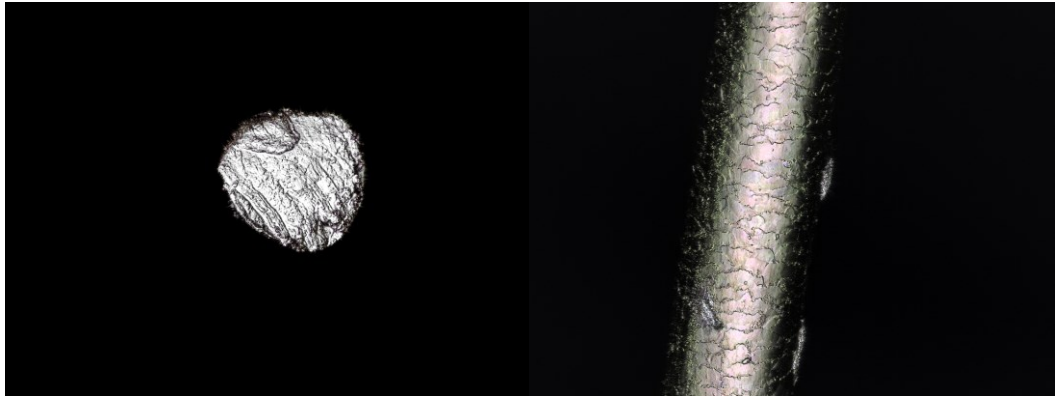
Obrázek 24: Vlas13 – asijský

Vlas 14 je také asijský, od muže 30 let. Barva vlasu je šedivá. Rozměry vlasu jsou $131 \pm 1 \mu\text{m}$ a $82 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $107 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,6, jedná se tedy o velmi tlustý a oválný vlas. Jedná se o jediný vlas z tohoto mikroskopického měření s průměrnou tloušťkou přesahující $100 \mu\text{m}$. V porovnání s ostatními asijskými vlasy má řidší šupiny kutikuly.



Obrázek 25: Vlas 14 – asijský šedivý

Vlas 15 je asijský, od ženy ve věku 46 let. Rozměry vlasu jsou $77 \pm 1 \mu\text{m}$ a $71 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $74 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,08, má tedy téměř kruhový tvar průřezu.



Obrázek 26: Vlas 15 – asijský

Vlas 16 je asijský, od ženy ve věku 44 let. Rozměry vlasu jsou $80 \pm 1 \mu\text{m}$ a $72 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $76 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,11, má tedy lehce oválný tvar průřezu.



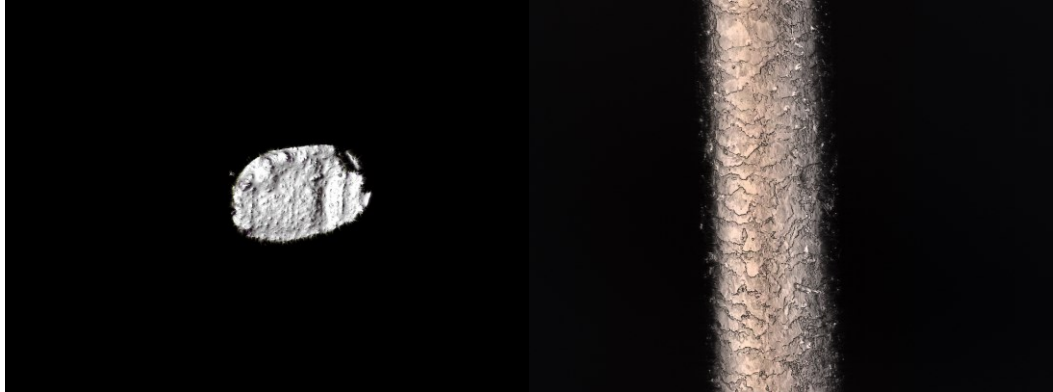
Obrázek 27: Vlas 16 – asijský

Vlas 17 je od Roma ve věku 50 let. Rozměry vlasu jsou $72 \pm 1 \mu\text{m}$ a $50 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $61 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,44, jedná se o vlas s oválným tvarem průřezu.



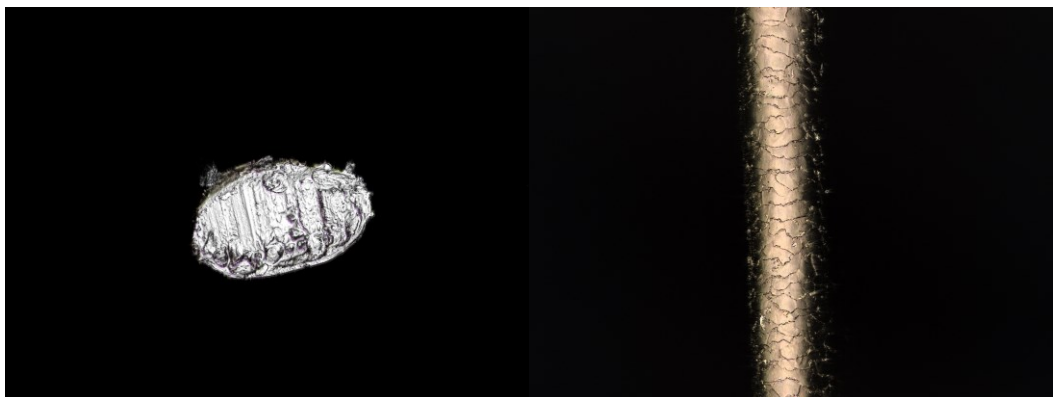
Obrázek 28: Vlas 17 – romský

Vlas 18 je od Roma ve věku 55 let. Rozměry vlasu jsou $73 \pm 1 \mu\text{m}$ a $48 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $61 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,52, jedná se o vlas s oválným tvarem průřezu.



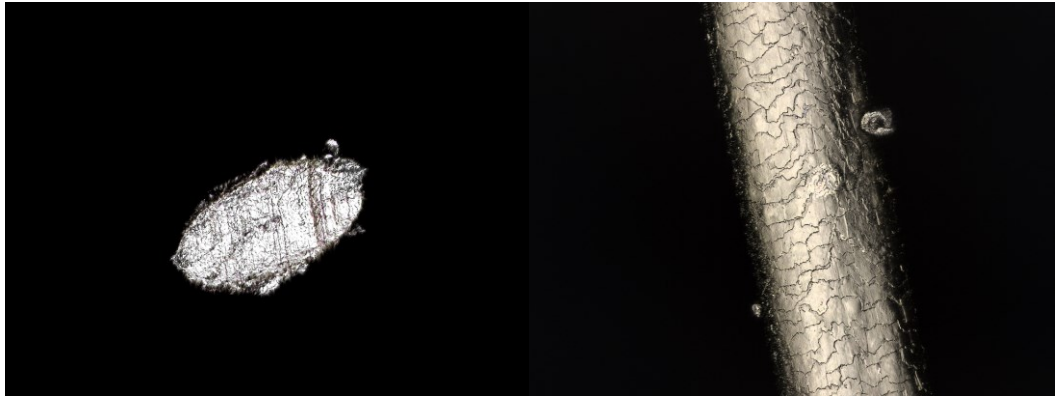
Obrázek 29: Vlas 18 – romský

Vlas 19 je od bělošského muže ve věku 26 let. Rozměry vlasu jsou $97 \pm 1 \mu\text{m}$ a $60 \pm 2 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $78 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,62, jedná se o vlas s velmi oválným tvarem průřezu.



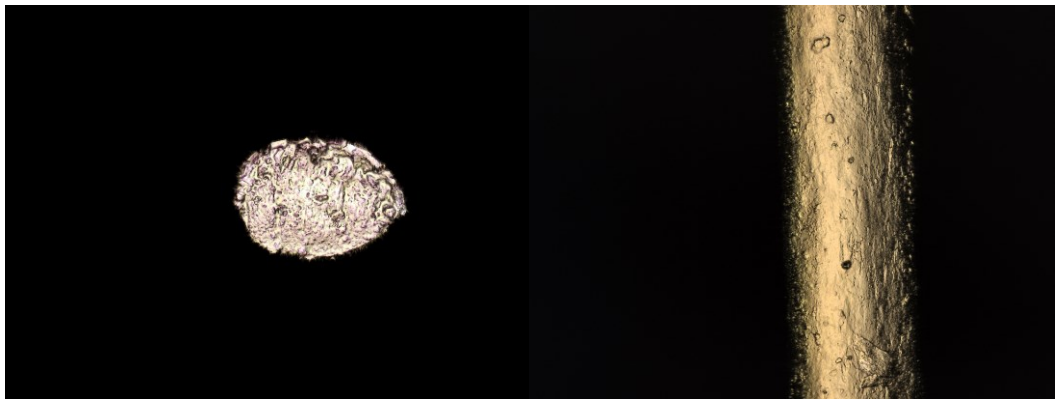
Obrázek 30: Vlas 19 – bělošský

Vlas 20 je od bělošského muže ve věku 26 let. Rozměry vlasu jsou $108 \pm 1 \mu\text{m}$ a $60 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $84 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,8, jedná se o vlas s velmi oválným až zploštělým tvarem průřezu.



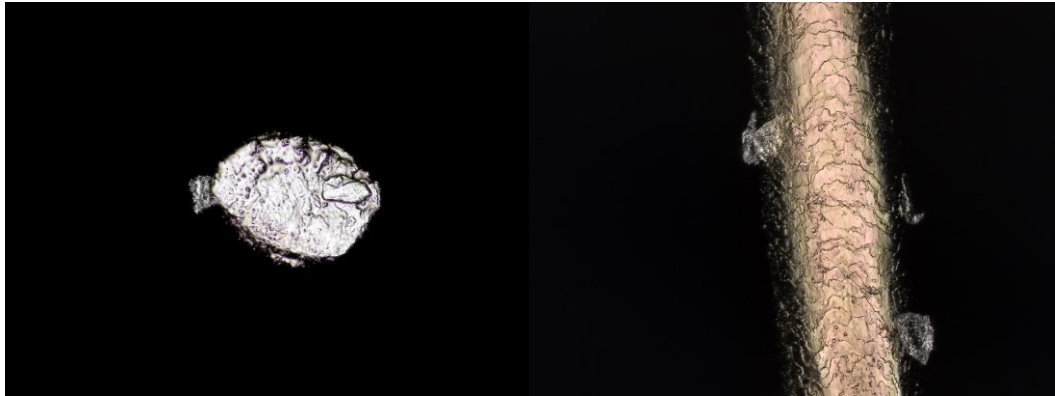
Obrázek 31: Vlas 20 – bělošský barvený

Vlas 21 je od bělošské ženy ve věku 17 let, vlas má zrzavou barvu. Rozměry vlasu jsou $89 \pm 1 \mu\text{m}$ a $62 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $76 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,44. Zajímavostí je, že šupiny kutikuly nejsou pod mikroskopem patrné, jak je možné pozorovat v pravé části obrázku níže, povrch vlasu se jeví jako hladký a jednolitý.



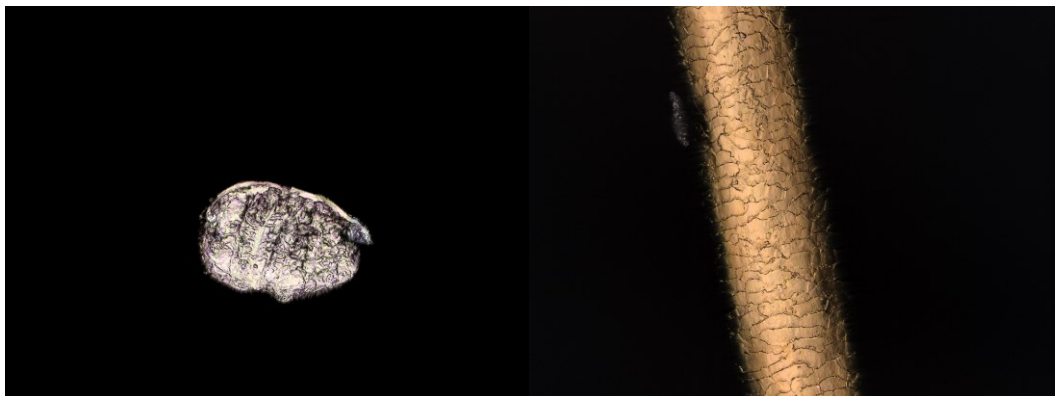
Obrázek 32: Vlas 21 – bělošský zrzavý

Vlas 22 je od bělošského muže ve věku 30 let. Rozměry vlasu jsou $87 \pm 2 \mu\text{m}$ a $67 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $77 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,3, tvar průřezu je tedy lehce oválný.



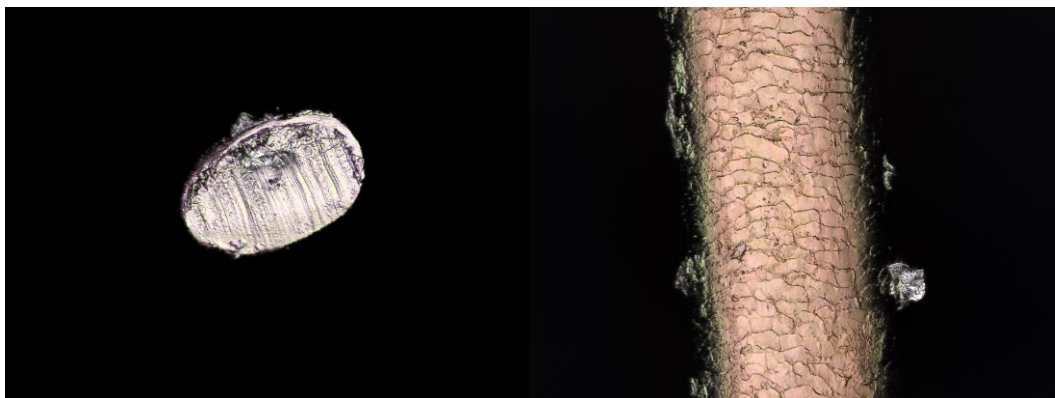
Obrázek 33: Vlas 22 – bělošský

Vlas 23 je od romské ženy ve věku 50 let. Rozměry vlasu jsou $87 \pm 1 \mu\text{m}$ a $57 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $72 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,53, jedná se o vlas s oválným tvarem průřezu.



Obrázek 34: Vlas 23 – romský

Vlas 24 je od bělošská žena ve věku 45 let. Rozměry vlasu jsou $100 \pm 1 \mu\text{m}$ a $66 \pm 2 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $83 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita je 1,52, tvar průřezu tohoto vlasu je tedy oválný.



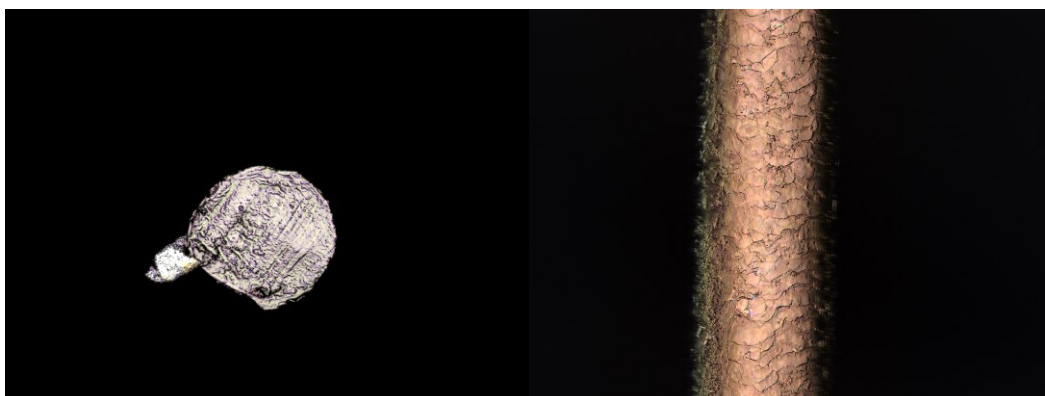
Obrázek 35: Vlas 24 – bělošský barvený

Vlas 25 je od bělošského muže ve věku 13 let. Rozměry vlasu jsou $97 \pm 1 \mu\text{m}$ a $66 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $81 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,47, jedná se o vlas s oválným tvarem průřezu.



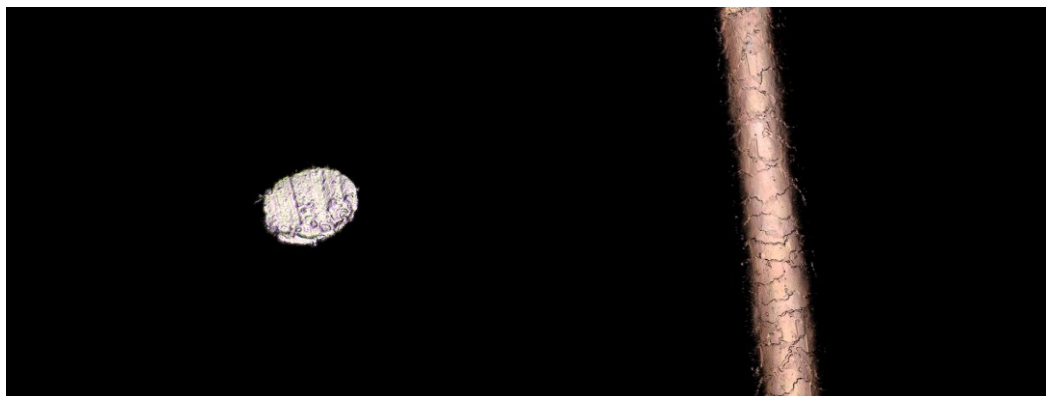
Obrázek 36: Vlas 25 – bělošský

Vlas 26 je od bělošské ženy ve věku 29 let. Rozměry vlasu jsou $77 \pm 1 \mu\text{m}$ a $69 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $73 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,12, průřez má téměř kruhový tvar.



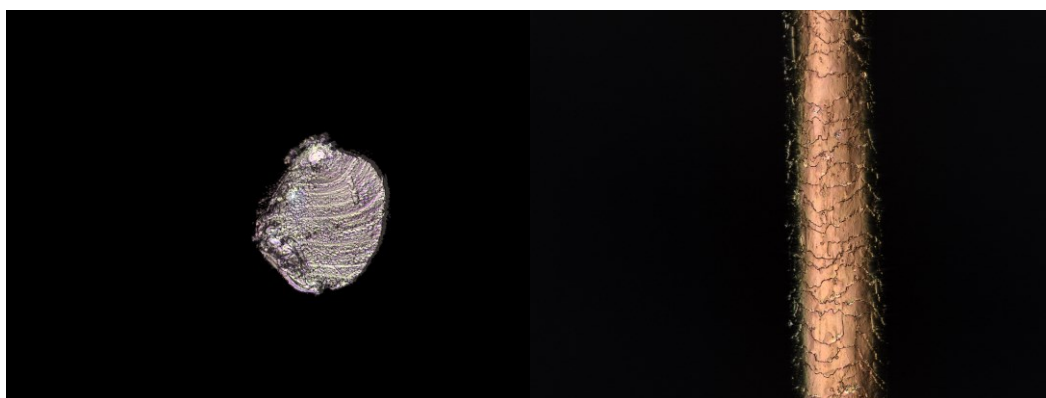
Obrázek 37: Vlas 26 – romský barvený

Vlas 27 je od bělošské ženy ve věku 49 let. Rozměry vlasu jsou $50 \pm 1 \mu\text{m}$ a $38 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $44 \pm 1 \mu\text{m}$. Tloušťka je velmi malá, dokonce je menší než u všech měřených vlasů afrického typu. Elipticita tohoto vlasu je 1,32, průřez má lehce oválný tvar.



Obrázek 38: Vlas 27 – bělošský barvený

Vlas 28 je od bělošské ženy ve věku 59 let. Rozměry vlasu jsou $79 \pm 2 \mu\text{m}$ a $67 \pm 2 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $73 \pm 2 \mu\text{m}$. Eliptičita tohoto vlasu je 1,18, průřez má téměř kruhový tvar.



Obrázek 39: Vlas 28 – bělošský barvený

Vlas 29 je od bělošské ženy ve věku 39 let. Rozměry vlasu jsou $84 \pm 1 \mu\text{m}$ a $62 \pm 2 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $73 \pm 1 \mu\text{m}$. Eliptičita tohoto vlasu je 1,35, tento vlasový stvol má oválný tvar průřezu.



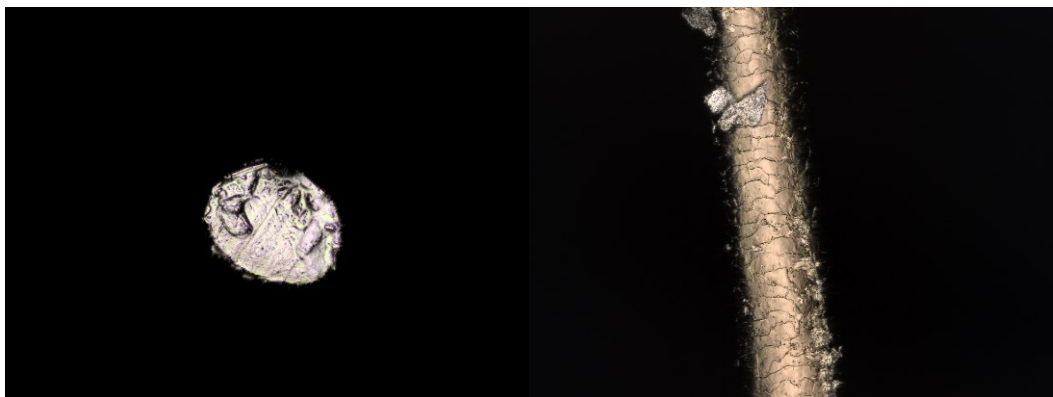
Obrázek 40: Vlas 29 – bělošský barvený

Vlas 30 je od bělošské ženy ve věku 49 let. Rozměry vlasu jsou $87 \pm 1 \mu\text{m}$ a $60 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $74 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,45, jedná se o vlas s oválným tvarem průřezu.



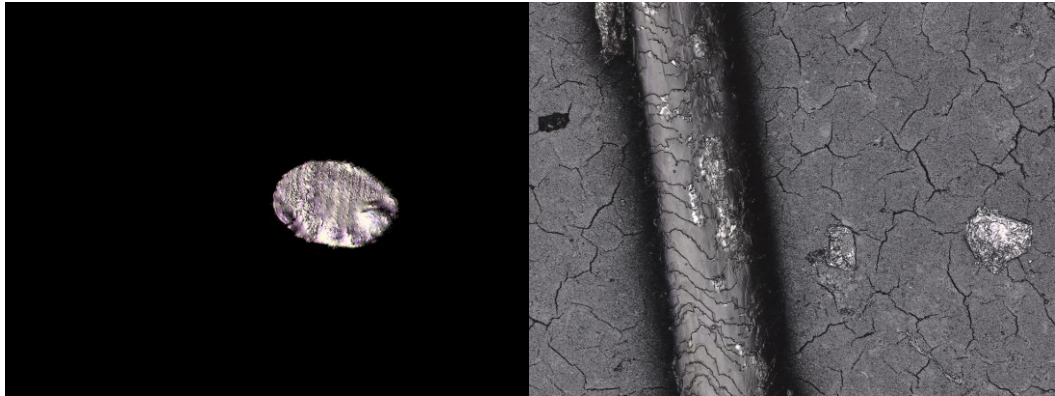
Obrázek 41: Vlas 30 – bělošský barvený

Vlas 31 je od bělošské ženy ve věku 57 let. Rozměry vlasu jsou $75 \pm 2 \mu\text{m}$ a $60 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $68 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,25, jedná se o vlas s lehce oválným tvarem průřezu.



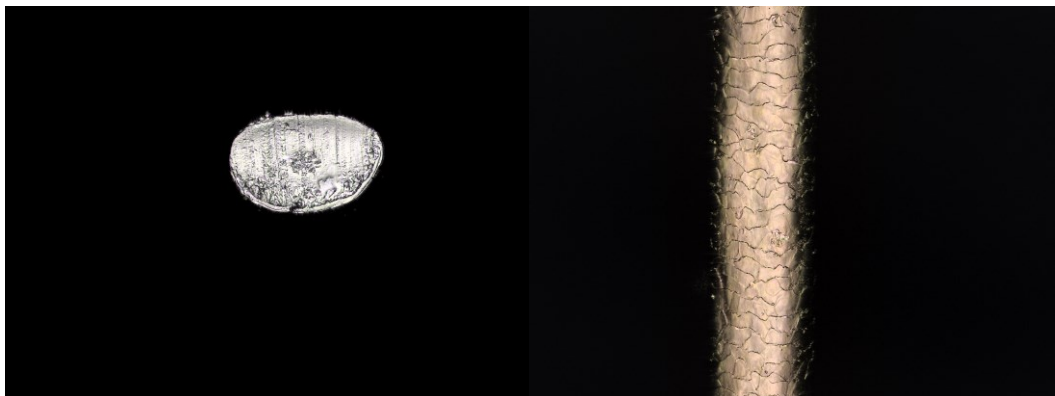
Obrázek 42: Vlas 31 – bělošský barvený

Vlas 32 je od bělošského muže ve věku 71 let. Rozměry vlasu jsou $66 \pm 1 \mu\text{m}$ a $43 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $55 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,53, jedná se o vlas s oválným tvarem průřezu.



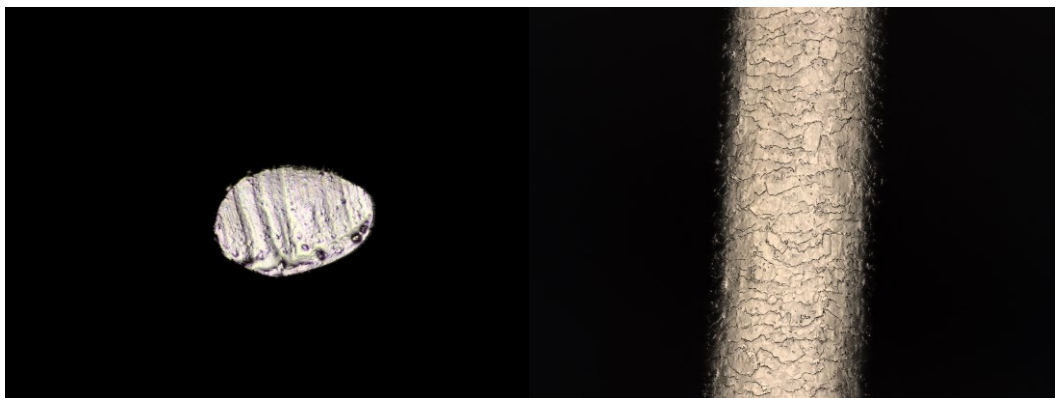
Obrázek 43: Vlas 32 – bělošský

Vlas 33 je od bělošské ženy ve věku 69 let. Rozměry vlasu jsou $81 \pm 1 \mu\text{m}$ a $52 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $66 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,56, jedná se o vlas s oválným tvarem průřezu.



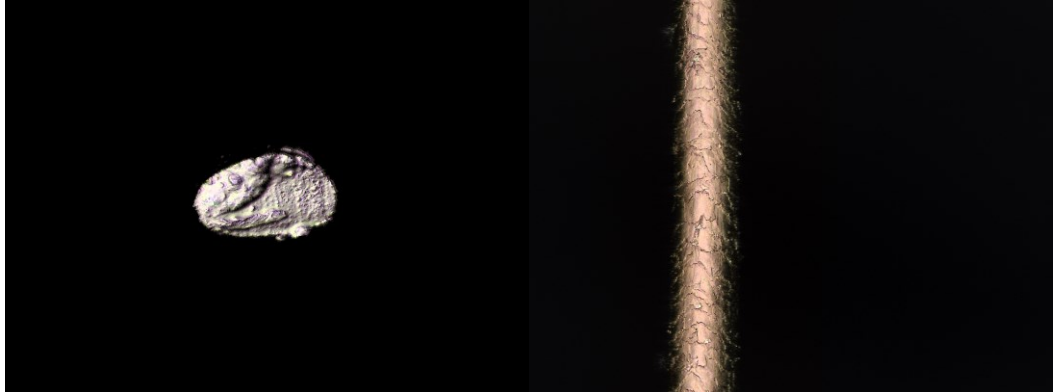
Obrázek 44: Vlas 33 – bělošský

Vlas 34 je od bělošského muže ve věku 27 let. Rozměry vlasu jsou $85 \pm 1 \mu\text{m}$ a $56 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $71 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,52, průřez má oválný tvar.



Obrázek 45: Vlas 34 – bělošský

Vlas 35 je od bělošského muže ve věku 43 let. Rozměry vlasu jsou $74 \pm 1 \mu\text{m}$ a $43 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $59 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,72, jedná se o vlas s velmi oválným až zploštělým tvarem průřezu.



Obrázek 46: Vlas 35 – bělošský

Vlas 36 je od bělošské ženy ve věku 17 let. Rozměry vlasu jsou $66 \pm 1 \mu\text{m}$ a $56 \pm 2 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $61 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,18, jedná se o vlas s téměř kruhovým tvarem průřezu.



Obrázek 47: Vlas 36 – bělošský zrzavý

Vlas 37 je šedivý od bělošského muže ve věku 60 let. Rozměry vlasu jsou $53 \pm 1 \mu\text{m}$ a $36 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $45 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,47, jedná se o vlas s oválným tvarem průřezu.



Obrázek 48: Vlas 37 – bělošský šedivý

Vlas 38 je od bělošského muže ve věku 19 let. Rozměry vlasu jsou $75 \pm 1 \mu\text{m}$ a $57 \pm 1 \mu\text{m}$, průměrná tloušťka je $66 \pm 1 \mu\text{m}$. Elipticita tohoto vlasu je 1,32, jedná se o vlas s oválným tvarem průřezu.



Obrázek 49: Vlas 38 – bělošský

Z měření vyplývá, že mezi vlasy jednotlivých etnických skupin jsou pozorovatelné makroskopické a mikroskopické rozdílnosti. Pro shrnutí naměřených výsledků a jejich porovnání s údaji uváděnými v literatuře poslouží tabulka níže. Platí tedy, že asijské vlasy jsou nejtlustší a tvar jejich průřezu se blíží kruhovému, bělošské vlasy mají střední tloušťku a jsou obvykle lehce oválné až oválné v závislosti na jejich typu, africké vlasy jsou nejtenčí a jejich průřez je velmi oválný až zploštělý, to je příčinou jejich charakteristického kudrnatění.

Rozdílnosti mezi naměřenými údaji a údaji z literatury jsou pravděpodobně způsobeny menším počtem vzorků zkoumaným v této části práce, dá se však předpokládat, že při srovnávání většího počtu vzorků by se naměřené výsledky více přiblížili těm v literatuře. Naměřená průměrná tloušťka se vždy vešla do uváděného variačního rozpětí tlouštěk, elipticita byla ve všech případech menší. Každopádně rozdílnosti mezi jednotlivými etnickými skupinami jsou patrné jak v případě tlouštěk, tak u elipticity vlasů.

Tabulka 2: Porovnání naměřených a v literatuře uváděných údajů [26]

Data z literatury		Bělošské	Africké	Asijské	
		Elipticita	1,43-1,56	1,67-2,01	1,21-1,36
Naměřená data	Tloušťka vlasu [μm]	Variační rozpětí	67-78	54-85	69-86
		Průměr	72	66	77
		Průměrná tloušťka	69 ± 2	55 ± 2	83 ± 2
		Maximální tloušťka	81 ± 2	68 ± 2	90 ± 2
	Délka vedlejší osy	58 ± 2	42 ± 2	75 ± 2	
	Elipticita	1,41	1,64	1,19	

Hodnota maximální tloušťka (hlavní osa) v tabulce označuje průměr maximálních tlouštěk u vlasů dané etnické skupiny v mikrometrech. Délka vedlejší osy udává průměr tlouštěk měřený ve vedlejších osách (kolmo na hlavní osu procházející jejím středem) pro danou etnickou skupinu v mikrometrech. Průměrná tloušťka potom udává průměr tlouštěk hlavních a vedlejších os pro jednotlivé skupiny v mikrometrech. Elipticita byla vypočítána jako poměr délek hlavní osy a vedlejší osy a následně byly tyto hodnoty zprůměrovány pro každou etnickou skupinu a zapsány do tabulky výše.

Největší naměřená tloušťka byla $131 \mu\text{m}$ u asijského vlasu, nejmenší tloušťka v hlavní ose byla zaznamenána u vlasu bělošského a to $50 \mu\text{m}$. Minimální naměřená tloušťka ve vedlejší ose byla $36 \mu\text{m}$ u šedivého bělošského vlasu. Největší elipticitu 1,73 měl vlas africký. Téměř kruhový tvar průřezu potom měl bělošský vlas s elipticitou pouze 1,02.

U vlasů se však vyskytují i kombinace těchto tří základních skupin. Tato skutečnost podstatně ztěžuje určování etnika na základě mikroskopického zkoumání vlasového stvolu, jelikož rozměry mohou být často na rozmezí dvou z výše uvedených skupin. Z tohoto důvodu do měření byla zahrnuta i romská etnická skupina. Zde byly vyhodnocovány vzorky od čtyř původců. Jednalo se o dva muže a dvě ženy dlouhodobě žijící na území České republiky ve věku od 29 do 55 let. Naměřené hodnoty jsou nejbližší k bělošské etnické skupině, konkrétně:

- Průměrná tloušťka – $67 \pm 2 \mu\text{m}$
- Maximální tloušťka – $77 \pm 2 \mu\text{m}$
- Tloušťka kolmo k maximální – $56 \pm 2 \mu\text{m}$
- Elipticita – 1,40

Na závěr této kapitoly je nutné uvést, že v praxi lze na základě mikroskopického šetření vlasu nalezeného na místě činu určit konkrétně jeho původce v případě, že je k dispozici kontrolní vzorek odebraný dané osobě. Komparací těchto dvou vzorků lze určit, zda se podobají a mohou tak pocházet ze stejné kšticce, nebo zda jsou odlišné a určitě pocházejí z odlišných zdrojů. Důležitou roli zde hrají také poškození a nemoci vlasů, kosmetické úpravy vlasů, parazité a znečištění. [21]

4.4 Postup při vyhodnocování náhodného vzorku

Po zajištění a označení trichologického materiálu bude u náhodného vzorku jako první provedeno posouzení makroskopických znaků (barva, délka, typ). Nyní lze odhadnout například tvar a barvu účesu. Následně pod 3D skenovacím laserovým konfokálním mikroskopem bude zkoumána textura povrchu vlasu (kutikuly), dále je nutné provést řez vlasovým stvolem (pokud možno ve vzdálenost cca 1 cm od kořene), kde bude pod mikroskopem pozorován tvar průřezu vlasu a změřena jeho tloušťka obdobným způsobem jako v kapitole 4.2. Získaná data nutno porovnat s údaji uváděnými v literatuře a následně je možno přibližně určit etnickou skupinu. Pokud budou získaná data nedostatečná pro určení etnické příslušnosti a bude dostatečný zůstatek vzorku pro zalití do epoxidové pryskyřice, je možno ještě změřit tloušťku kutikuly způsobem uvedeným v další kapitole. Pro mikroskopické vyhodnocení náhodného vzorku vlasu byl vytvořen také výukový materiál, který bude možno využívat v předmětu Forezní vědy.

5 MĚŘENÍ TLOUŠŤKY KUTIKULY

Tato kapitola měla primárně dokázat, že je možno měřit tloušťku kutikuly u lidského vlasu za použití mikroskopického vybavení na FAI UTB. Jedná se totiž o jeden ze základních markantů zkoumaných mikroskopickými metodami při forenzním vyšetření trichologického materiálu, který může být použit například pro určení etnické příslušnosti původce. Z důvodu náročnosti přípravy tohoto měření byly zkoumány pouze tři vybrané vzorky (africký, asijský, bělošský), proto mohou naměřené výsledky být značně zkreslené individuálními vlastnostmi vybraných vlasů. Očekává se, že největší tloušťka kutikuly bude u vlasu asijského, následovat bude vlas bělošský a nejtenčí kutikula by měla být u afrického vzorku.

Pro změření tloušťky kutikuly bylo potřeba vlasy zalít do čiré dvousložkové epoxidové pryskyřice, která následně tvrdla po dobu 24 hodin převážně ve vakuu (60 kPa), to bylo v pravidelných intervalech přerušováno standardním tlakem vzduchu. Vakuum bylo vytvořeno za pomoci vakuového impregnačního systému POLY'VAC. Touto metodou bylo z pryskyřice odstraněno maximální možné množství vzduchových bublin, které by mohly mít negativní vliv při pozdějším vyhodnocování vzorků. Na spodní část vlasu bylo připevněno olověné závaží, aby vlas nevyplaval na povrch. Po vytvrzení pryskyřice byly připravené vzorky soustředně broušeny a leštěny až na konečnou hrubost s použitím brusiva s velikostí zrna 1 μm .

Takto připravené vzorky byly pozorovány pod 3D laserovým skenovacím konfokálním mikroskopem Keyence VK-X1000, který byl použit i pro vyhodnocení vzorků v předchozí kapitole. Získané snímky byly následně upraveny v programu Zoner Photo Studio pro zvýraznění hranice kutikuly a kůry. Tloušťka kutikuly byla měřena na dvou místech vzorku a měření bylo šestkrát opakováno z důvodu stanovení směrodatné odchylky.

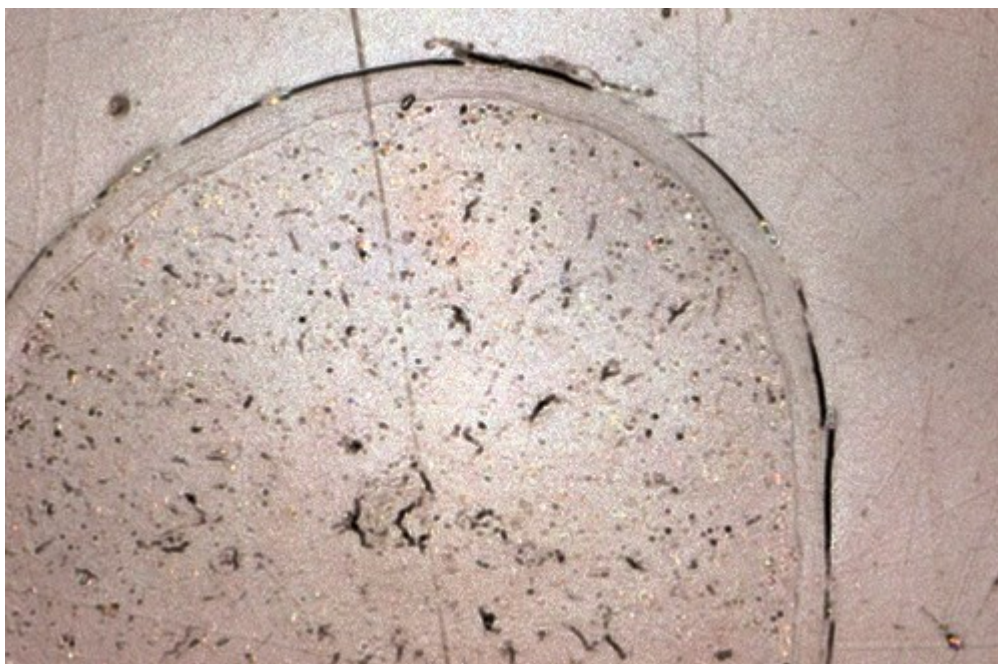
5.1 Vyhodnocení vzorků

Na snímku níže je zobrazen bělošský vlas zalitý v epoxidové pryskyřici, který má téměř kruhový tvar průřezu. Jeho kutikula má průměrnou tloušťku $3,4 \pm 0,2 \mu\text{m}$.



Obrázek 50: Bělošský vlas v epoxidové pryskyřici

Na dalším snímku je zobrazen asijský vlas, který se z důvodu jeho velkých rozměrů, při stanoveném maximálním zvětšení mikroskopu, nevešel na skenovanou plochu celý. Průměrná tloušťka kutikuly tohoto vzorku byla $3,9 \pm 0,2 \mu\text{m}$.



Obrázek 51: Asijský vlas v epoxidové pryskyřici

Posledním vzorkem zkoumaným v této kapitole je vlas africký s typicky velmi oválným tvarem průřezu. Tloušťka kutikuly tohoto vzorku byla v průměru $3,2 \pm 0,2 \mu\text{m}$.



Obrázek 52: Africký vlas v epoxidové pryskyřici

Je tedy patrné, že tloušťka kutikuly se stejně jako tloušťka a tvar průřezu u jednotlivých etnik liší. Asijské vlasy mají největší tloušťku kutikuly, za nimi jsou vlasy bělošské a nejtenčí kutikulu mají vlasy africké. Pro lepší přehlednost jsou naměřená data zobrazena v tabulce níže.

Tabulka 3: Tloušťka kutikuly vlasů

Etnikum	Tloušťka kutikuly [μm]	Směrodatná odchylka [μm]
Bělošské	3,4	0,2
Africké	3,2	0,2
Asijské	3,9	0,2

6 LUMINISCENCE VLASŮ

V této části práce byly použity svítilny se světlem o specifické vlnové délce, za účelem ověření, zda některé typy vlasů jsou díky nim na místech činu snadněji odhalitelné.

Vlnové délky použitých svítilen byly 395 nm (UV) a 625 nm (červená oblast spektra), které jsou pro vyhledávání tohoto biologického materiálu reálně používány viz kapitola o forenzní trichologii.



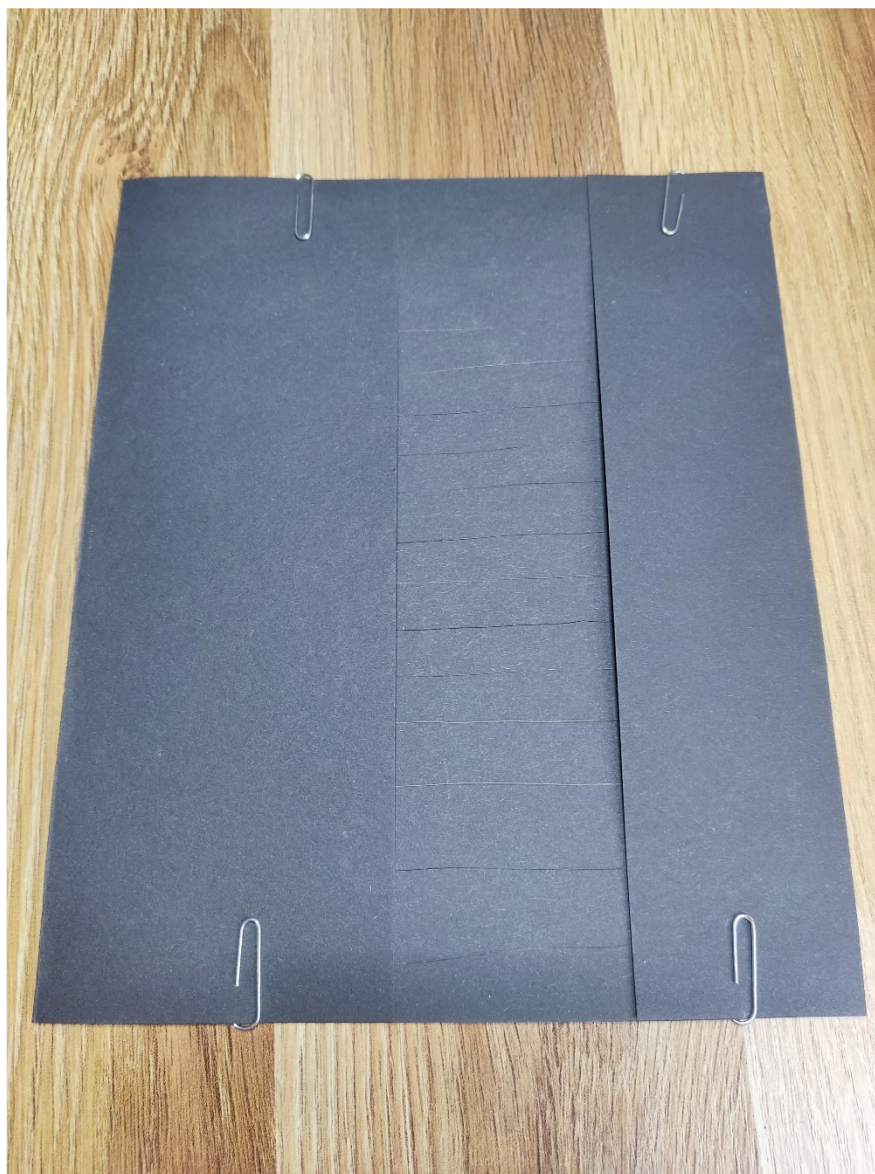
Obrázek 53: Sada svítilen a brýlí megaMAXX 3 [27]

Dále byly použity i ostatní svítilny ze sady megaMAXX 3, která je zobrazena na obrázku výše, v kombinaci s různě barevnými filtry, ke zvýraznění tmavších odstínů vlasů však nedošlo v žádném z prováděných měření. Úspěšnost vyhledávání trichologického materiálu záleží na světelných podmínkách, barvě vlasů a pozadí a v neposlední řadě na zkušenostech osoby vyhledávající vzorky na místě činu. [27]

Použitá sada dohromady obsahuje osm svítilen a čtyři brýle:

- Bílá svítilna
 - Se používá k osvětlení prostoru a ohledání místa činu [27]
- 625 nm
 - Se používá v kombinaci s červenými brýlemi k vyhledávání vlasů, vláken a dalších věcí kriminalistického zájmu [27]
- 590 nm
 - Použití v kombinaci s červenými a oranžovými brýlemi k hledání otisků vyvolaných kyanoakrylátem nebo Rhodaminem 6G, fluorescenčních materiálů a vláken [27]
- 530 nm
 - V kombinaci s červenými a oranžovými brýlemi k odhalení otisků vyvolaných kyanoakrylátem nebo Rhodaminem 6G [27]
- 505 nm
 - Použití s červenými a oranžovými brýlemi k odhalení otisků vyvolaných kyanoakrylátem nebo Rhodaminem 6G [27]
- 470 nm
 - S červenými, oranžovými a žlutými brýlemi k odhalení kyanoakrylátem vyvolané a luminiscenčními prášky naprášené otisky, fluorescenční materiály a základní žlutí opracované otisky [27]
- 455 nm
 - S červenými, oranžovými a žlutými brýlemi k odhalení tělních tekutin, fluorescenčních materiálů a kostních úlomků [27]
- 395 nm
 - Použití s čirými brýlemi k vyhledání vlasů, vláken, tělních tekutin, modřin, fluorescenčních materiálů, nástrahových prostředků a otisků vyvolaných Ardroxem [27]

Jednotlivé vzorky vlasů byly připevněny na tmavý papír, z důvodu minimalizace luminescence pozadí při měření, jak je patrné z obrázku níže.

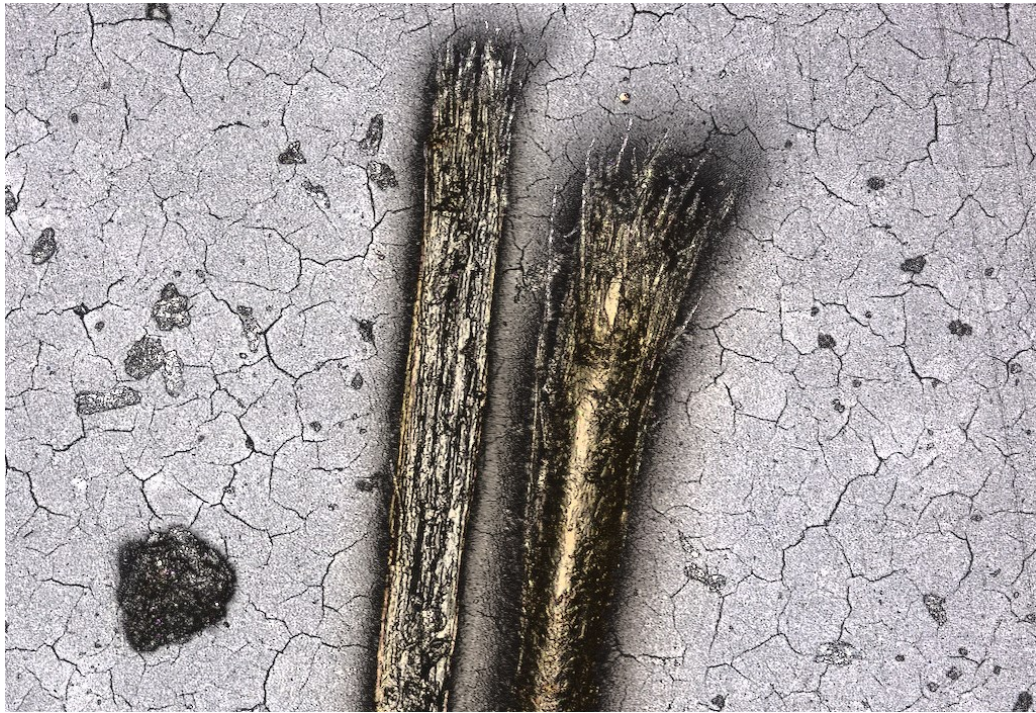


Obrázek 54: Vzorek vlasů připravený pro měření luminescence

V některých případech se vlasy světlejší barvy lehce zvýraznily, to však bylo patrné pouze ve velmi tmavém prostředí a na tmavém až černém pozadí. Vlasy tmavé barvy ani vlasy barvené na tmavší odstíny se touto metodou odhalit nepodařilo. Výsledky měření se nepodařilo zachytit na fotoaparát, z důvodu velmi špatných světelných podmínek.

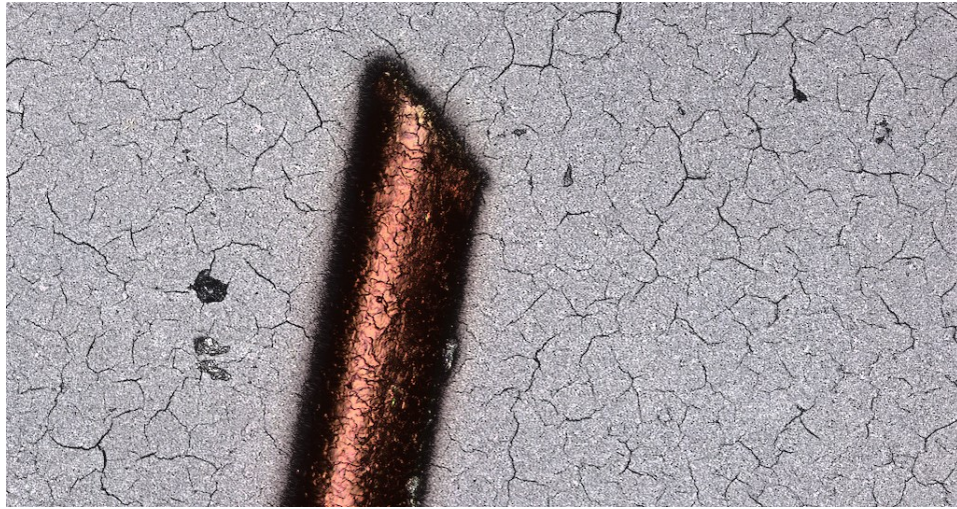
7 DALŠÍ MARKANTY U VLASŮ

Některé vlasy mohou mít další prvky, které jsou užitečné v případě identifikace jejich původce. Proto jsou níže v kapitole popsány další markanty, které byly v průběhu mikroskopického měření zaznamenány. Může se jednat například o specifické typy poškození vlasového stvolu. Koneček vlasu, který nebyl ustrížen je přirozeně zašpičatělý, takovéto vlasy se však na kštici hledají velmi těžko. U nedávno ustríženého či uříznutého vlasu je řezná ploška ostrá a dobře zřetelná. Ulomený vlas pak má koneček nepravidelný a roztřepený s protáhlými fragmenty. Řez vlasovým stvolem se s postupem času obrušuje a zakulacuje nebo třepí. Na snímku níže je zobrazen roztřepený koneček vlasu, ten značí neudržované vlasy, které nebyly delší dobu zastříhovány.



Obrázek 55: Roztřepený koneček vlasu

Na dalším snímku je naopak vlas zastřižený, vzhledem k ostrým hranám došlo k zastřížení vlasu v nedávné době.



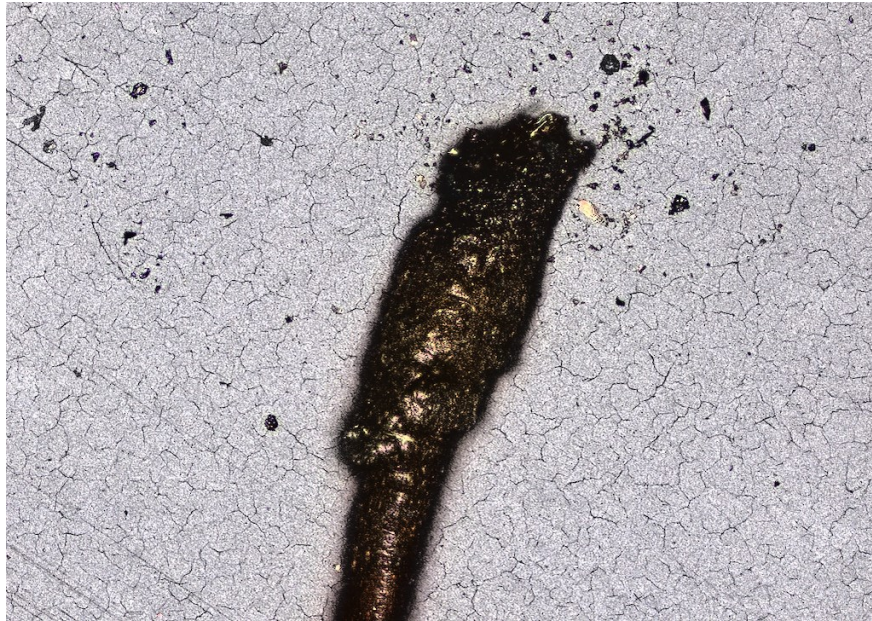
Obrázek 56: ustřižený vlas

Níže je zobrazen nedávno přetržený vlas, opět jsou zde patrné ostré hrany a protáhlé fragmenty.



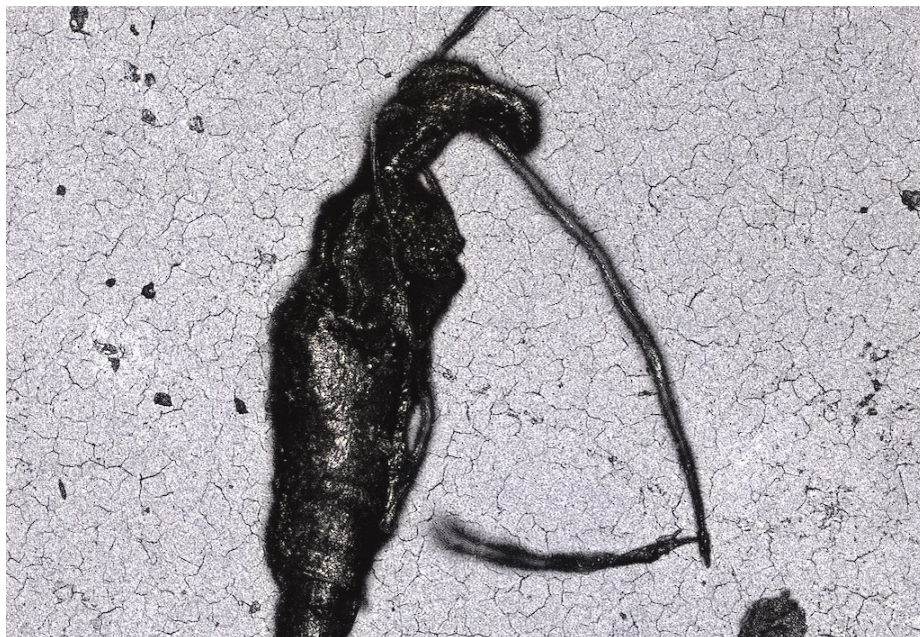
Obrázek 57: Utržený vlas

Na dalším snímku je vlas poškozený plamenem. Takto poškozený koneček je tvořen neprůhlednou spečenou hmotou a je velmi křehký.



Obrázek 58: Vlas poškozený ohněm

Níže je zobrazen vlas vytržený i s kořínkem. Takovéto vlasy jsou pro forenzní účely nejceněnější, jelikož mohou nést mnoho informací o původci.



Obrázek 59: Vlas vytržený i s kořínkem

Dalšími vadami, které se ve forezních vědách u trichologického materiálu hodnotí jsou poškození způsobená plísněmi, hmyzem a pavoukovci a další stopy, které mohou ve vlasech zanechat (například vajíčka vši). Vyhodnocuje se také znečištění vlasů. Při komparaci konečků a dalších úprav vlasů je důležitá uplynulá doba mezi odebráním kontrolního vzorku a zajištěním vzorku na místě činu. [23]

ZÁVĚR

V teoretické části jsou v první kapitole popsány funkce ochlupení, mezi hlavní patří izolační, detekční a filtrační. Dále je zde uveden přehled druhů ochlupení na lidském těle, základní rozdělení může být na ochlupení velusové a terminální.

Druhá kapitola je již zaměřena pouze na lidské vlasy a jejich popis. Vlas je tedy derivátem kůže stejně jako například nehty a vyrůstá z vlasového folikulu. Odhadované množství vlasů ve kštici je asi 80 až 100 tisíc u vlasů tmavých a asi o třetinu více u světlých. Tloušťka vlasu se nejčastěji pohybuje v rozmezí od 40 do 120 mikrometrů a životnost vlasu je 2 až 4 roky. Strukturu vlasu lze rozdělit na dvě hlavní části, a to dermální a epidermální, kdy pro tuto práci je podstatnou právě složka epidermální, ta se skládá ze tří částí, kutikuly, kůry a dřene. Vlasový folikul prochází výraznými změnami v důsledku růstového cyklu vlasu, který je složen ze tří fází. Anagenní neboli růstová fáze je nejdelší a dochází při ní k růstu vlasového stvolu, katagenní fáze je přechodová a dochází při ní k řízenému odumírání buněk vlasové cibulky, poslední je Telogenní fáze, nazývaná také klidová, zde dochází k vypadnutí vlasu. U vlasů rozlišujeme tři základní etnika, kdy asijské vlasy mají největší tloušťku a jsou rovné, bělošské vlasy mají střední tloušťku a lehce oválný až oválný tvar průřezu a africké vlasy jsou nejtenčí a tvar průřezu mají velmi oválný až zploštělý, což zapříčiňuje jejich nadměrné kudrnatění.

Trichologický materiál je velmi cenný pro forenzní účely, spolu se stopami krve, slin a spermatu se jedná o nejčastěji vyšetřované stopy u trestných činů. Díky rozvoji vyšetřovacích metod tohoto materiálu v poslední době je možno z něj získat spoustu užitečných informací o původci, například pohlaví, DNA, etnikum, stopy drog a dopingových látek.

Naměřením vlastních výsledků a jejich porovnáním s odbornou kriminalistickou literaturou byla prokázána funkčnost forenzní laboratoře na Fakultě aplikované informatiky – Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Mikroskopické měření prokázalo značné rozdíly u vlasů různých etnických skupin. Africké vlasy s průměrnou tloušťkou $55 \pm 2 \mu\text{m}$ a elipticitou 1,64 jsou nejtenčí a vlasové stvoly jsou v průřezu velmi oválné až zploštělé, také mají nejmenší hustotu šupin kutikuly při zkoumání povrchu. Průměrná tloušťka kutikuly u afrického vlasu byla $3,2 \pm 0,2 \mu\text{m}$, což byla nejmenší naměřená tloušťka. Asijské vlasy měly průměrnou tloušťku $83 \pm 2 \mu\text{m}$, jsou tedy nejširší ze zmiňovaných skupin. Jejich elipticita je v průměru 1,19, tvar průřezu je tedy téměř kruhový. Při zkoumání povrchu měly tyto vlasy téměř vždy velmi husté šupiny kutikuly, také tloušťka kutikuly u asijského vzorku byla největší a to $3,9 \pm 0,2$

μm . Bělošské vlasy měly průměrnou tloušťku $69 \pm 2 \mu\text{m}$ a elipticitu 1,41. Povrch těchto vlasů byl, co se hustoty šupin kutikuly týče mezi asijskými a africkými vzorky, stejně jako tloušťka, elipticita a tloušťka kutikuly – $3,4 \pm 0,2 \mu\text{m}$. Tyto výsledky byly prezentovány na 27. ročníku soutěže Studentská Tvůrčí a Odborná Činnost v Ostravě, odborná porota toto téma shledala zajímavým a po dokončení prezentace proběhla debata ohledně způsobu měření.

V posledních částech práce je popsán způsob vyhodnocení náhodného vzorku, spektroskopická metoda pro vyhledávání trichologického materiálu na místě činu za pomoci luminescence. Také jsou zde zmíněny a zobrazeny další markanty, které se mohou nacházet na vlasovém stvolu, a tak napomoci k identifikaci původce. K práci je také připojen výukový materiál pro předmět Forezní vědy, který je zaměřen na mikroskopickou analýzu lidského vlasu za použití 3D laserového skenovacího konfokálního mikroskopu.

S ohledem na experimentální vybavení v laboratořích Fakulty aplikované informatiky se práce nezaobírala vyšetřeními sérologickými, genetickými ani chemickými. Případný další postup by mohl být zaměřen na mikroskopické určení barvy vlasů a nedestruktivní spektrální analýzy s ohledem na malou velikost vzorků s členitým povrchem za použití ramanovy a luminescenční spektroskopie.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PETR, Jaroslav. Jsou lidé opravdu „holé opice“? Jaký význam má lidské ochlupení? *Stoplusjednicka* [online]. Brno: Extra Publishing, 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.stoplusjednicka.cz/jsou-lide-opravdu-hole-opice-jaky-vyznam-ma-lidske-ochlupeni>
- [2] K čemu slouží chlupy a vlasy u savců? Lidské jsou odolné jako ocel, kočky je používají místo pláštěnky. *iROZHLAS* [online]. Praha: Český rozhlas, 2019 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/veda-technologie/priroda/chlupy-vlasy-savci-lide-deti-kocky-odolnost-veda_1912230935_dok
- [3] What is the structure of hair and how does it grow? *National Library of Medicine: National Center for Biotechnology Information* [online]. Washington: National Library of Medicine, 2022 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK546248/>
- [4] KOVANDA, Radek. Vlasy, chlupy a dalších 12 druhů lidského osrstění. *G.cz* [online]. Praha: Extra Online Media, 2017 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://g.cz/vlasy-chlupy-a-dalsich-12-druhu-lidskeho-osrsteni/>
- [5] IMAMI HAIR RESTORATION [online]. Melbourne: Nautic Studios, 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.imamihair.com/anatomy-of-hair/>
- [6] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5636-3.
- [7] Ostatní ochlupení lidského těla. *Vlasy.cz* [online]. Praha: Hair Centrum Praha, 2015 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.vlasy.cz/ostatni-ochlupeni-lidskeho-tela/>
- [8] Anatomie vlasů. *Clinical* [online]. Praha: Clinical nutricosmetics [2023] [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://clinical.cz/o-vlasech>
- [9] Zajímavosti o vlasech. *Vlasy.cz* [online]. Praha: Hair Centrum Praha, 2015 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.vlasy.cz/zajimavosti-o-vlasech/>
- [10] AGUH, Crystal a Ginette OKOYE, ed. *Fundamentals of Ethnic Hair: The Dermatologist's Perspective* [online]. Cham (Switzerland): Springer International Publishing, 2017 [cit. 2022-10-03]. ISBN 978-3-319-45695-9. Dostupné z: DOI: 10.1007/978-3-319-45695-9

- [11] LÜLLMANN-RAUCH, Renate. *Histologie*. 3. vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-802-4737-294.
- [12] PÉČE O VLASY. REVALID: *SWISS HAIR CARE* [online]. Praha: Ewopharma, 2022 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.revalid.cz/pece-o-vlasy>
- [13] Desmozom. *Multimediaexpo* [online]. Praha: Multimediaexpo, 2014 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <http://www.multimediaexpo.cz/mmecz/index.php/Desmozom>
- [14] Vlasový cyklus. *DUCRAY* [online]. Boulogne: Dermatologické laboratoře Ducray, 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.ducray.com/cz-cz/vypadavani-vlasu-alopecie/definice/vlasovy-cyklus>
- [15] UNDERSTANDING DIFFERENT HAIR TYPES: The different types of hair to be treated will affect the choice of modality, current intensity and timing of treatment. *Sterex* [online]. Birmingham: STEREX [2023] [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.sterex.com/resources/understanding-different-hair-types/>
- [16] BALKO, Jan, Zbyněk TONAR a Ivan VARGA. *Memorix histologie*. Praha: Triton, 2016. ISBN 978-80-7553-009-7.
- [17] RADHAKRISHNAN, Rohini. What Are the Four Types of Hair? *MedicineNet* [online]. San Clemente: MedicineNet, 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://www.medicinenet.com/what_are_the_four_types_of_hair/article.htm
- [18] Curl pattern chart: How to find your hair type. *Pantene* [online]. Ohio: Procter & Gamble, 2023 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://pantene.com/en-us/curly-hair-types>
- [19] LIU, Zhiyong. DNA and protein analyses of hair in forensic genetics. *Springer* [online]. Basilej: Springer Nature Switzerland, 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00414-023-02955-w>
- [20] RAMAN, Raji. Mixed-methods research in the age of analytics, an exemplar leveraging sentiments from news articles to predict firm performance. *ScienceDirect* [online]. Amsterdam: Elsevier, 2021 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401221001444?via=ihub>
- [21] TOMANOVÁ, Milada. Forezní trichologie. *Docplayer* [online]. DocPlayer, 2017 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/46075912-Forezní-trichologie-text-pro-vyuku.html>

- [22] LANDRON, Amanda. Trichology: A Study of Hair and its Uses as Trace Evidence. In: *UNC* [online]. Colorado: University of Northern Colorado, 2019 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://digscholarship.unco.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1214&context=urj>
- [23] OGLE, Robert R. a Michelle J. FOX. *Atlas of Human Hair: Microscopic Characteristics*. CRC Press, 1999. ISBN 0-8493-8134-7.
- [24] METTRIE, Roland De La, Didier SAINT-LÉGER, Genevieve LOUSSOUARN, Annelise GARCEL, Crystal PORTER a André LANGANEY. *Shape Variability and Classification of Human Hair: A Worldwide Approach*. BioOne Digital Library [online]. Washington: BioOne, 2007 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://bioone.org/journals/human-biology/volume-79/issue-3/hub.2007.0045/Shape-Variability-and-Classification-of-Human-Hair--A-Worldwide/10.1353/hub.2007.0045.full>
- [25] 3D laserový skenovací mikroskop VK-X1000. *KEYENCE CORPORATION* [online]. Mechelen: KEYENCE CORPORATION, 2023 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/landing/lpc/18072-vk-skenovaci-mikroskop.jsp>
- [26] VASHI, Neelam a Howard MAIBACH, ed. *Dermatoanthropology of Ethnic Skin and Hair* [online]. Cham (Switzerland): Springer International Publishing, 2017 [cit. 2022-10-03]. ISBN 978-3-319-53961-4. Dostupné z: DOI: 10.1007/978-3-319-53961-4
- [27] Souprava světel megaMAXX 300, 3 W. *LT Sezam* [online]. Praha: BlueGhost [2023] [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.krimi-ltsezam.cz/cs/souprava-svetel-megamaxx-300-3w/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CMC Cell Membrane Complex

CMOS Complementary Meta-Oxide-Semiconductor

DNA Deoxyribonukleová kyselina

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Struktura vlasu [11].....	16
Obrázek 2: Vlasový stvol [12].....	17
Obrázek 3: Kutikula vlasu [10].....	18
Obrázek 4: Vlasový folikul (upraveno z: [10]).....	20
Obrázek 5: Růstový cyklus vlasu [12].....	23
Obrázek 6: Typy vlasů [18]	24
Obrázek 7: Rozdíly v průměru a průřezu u vlasů (upraveno z: [10]).....	25
Obrázek 8: Šablona pro vyhodnocování kudrnatosti [24]	29
Obrázek 9: 3D laserový skenovací konfokální mikroskop Keyence VK-X1000.....	35
Obrázek 10: Měření tloušťky a tvaru průřezu vlasu	37
Obrázek 11: Příklad měření tloušťky vlasu	38
Obrázek 12: Vlas 1 – bělošský	39
Obrázek 13: Vlas 2 – bělošský barvený.....	39
Obrázek 14: Vlas 3 – bělošský šedivý	40
Obrázek 15: Vlas 4 – africký	40
Obrázek 16: Vlas 5 – africký	41
Obrázek 17: Vlas 6 – africký	41
Obrázek 18: Vlas 7 – africký	41
Obrázek 19: Vlas 8 – africký	42
Obrázek 20: Vlas 9 – asijský barvený	42
Obrázek 21: Vlas 10 – asijský barvený	43
Obrázek 22: Vlas 11 – asijský barvený	43
Obrázek 23: Vlas 12 – asijský barvený	43
Obrázek 24: Vlas13 – asijský	44
Obrázek 25: Vlas 14 – asijský šedivý.....	44
Obrázek 26: Vlas 15 – asijský	45
Obrázek 27: Vlas 16 – asijský	45
Obrázek 28: Vlas 17 – romský	45
Obrázek 29: Vlas 18 – romský	46
Obrázek 30: Vlas 19 – bělošský	46
Obrázek 31: Vlas 20 – bělošský barvený.....	47
Obrázek 32: Vlas 21 – bělošský zrzavý.....	47

Obrázek 33: Vlas 22 – bělošský	48
Obrázek 34: Vlas 23 – romský	48
Obrázek 35: Vlas 24 – bělošský barvený.....	48
Obrázek 36: Vlas 25 – bělošský	49
Obrázek 37: Vlas 26 – romský barvený.....	49
Obrázek 38: Vlas 27 – bělošský barvený.....	50
Obrázek 39: Vlas 28 – bělošský barvený.....	50
Obrázek 40: Vlas 29 – bělošský barvený.....	50
Obrázek 41: Vlas 30 – bělošský barvený.....	51
Obrázek 42: Vlas 31 – bělošský barvený.....	51
Obrázek 43: Vlas 32 – bělošský	52
Obrázek 44: Vlas 33 – bělošský	52
Obrázek 45: Vlas 34 – bělošský	52
Obrázek 46: Vlas 35 – bělošský	53
Obrázek 47: Vlas 36 – bělošský zrzavý.....	53
Obrázek 48: Vlas 37 – bělošský šedivý	54
Obrázek 49: Vlas 38 – bělošský	54
Obrázek 50: Bělošský vlas v epoxidové pryskyřici.....	58
Obrázek 51: Asijský vlas v epoxidové pryskyřici	58
Obrázek 52: Africký vlas v epoxidové pryskyřici	59
Obrázek 53: Sada svítlen a brýlí megaMAXX 3 [27]	60
Obrázek 54: Vzorek vlasů připravený pro měření luminiscence.....	62
Obrázek 55: Roztřepený koneček vlasu.....	63
Obrázek 56: ustřižený vlas.....	64
Obrázek 57: Utržený vlas	64
Obrázek 58: Vlas poškozený ohněm	65
Obrázek 59: Vlas vytržený i s kořínkem	65

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Etnické rozdíly v šířce vlasu a elipticitě [26]	38
Tabulka 2: Porovnání naměřených a v literatuře uváděných údajů [26]	55
Tabulka 3: Tloušťka kutikuly vlasů	59

SEZNAM PŘÍLOH

P I. CD s výukovým materiálem a naměřenými daty z laboratoří