Analýza lidských vlasů ve forenzních vědách

Bc. Lukáš Kopa

Diplomová práce
2020

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektroniky a měření

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Bc. Lukáš Kopa**
Osobní číslo:	**A17325**
Studijní program:	**N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor:	**Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia:	**Kombinovaná**
Téma práce:	**Analýza lidských vlasů ve forenzních vědách**
Téma práce anglicky:	**Human Hair Analysis in Forensic Sciences**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na téma analýza lidských vlasů pro forenzní účely.
2. Vyberte analytické metody, které lze realizovat v laboratořích FAI Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.
3. Podrobně specifikujte proces, který souvisí s analýzou lidských vlasů: sběr, příprava, metody charakterizace?
4. V praktické části proveďte analýzu vybraných vzorků, zhodnoťte výhody a nevýhody vybrané metody.
5. Navrhněte způsoby pokračování analýzy

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

Seznam doporučené literatury:

1. SIEGEL, Jay A., Pekka SAUKKO a Max M. HOUCK, ed. *Encyclopedia of forensic sciences*. Second edition. Amsterdam: Elsevier, [2013]. ISBN 978-0-12-398365-7
2. STUART, Barbara. *Forensic analytical techniques*. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2013. ISBN 9780470687284.
3. WHEELER, Barbara a Lori WILSON. *Practical forensic microscopy: a laboratory manual*. Hoboken, NJ: John Wiley, c2008. ISBN 9780470031766.
4. JAMES, Stuart H., Jon J. NORDBY a Suzanne BELL. *Forensic science: an introduction to scientific and investigative techniques*. Fourth edition. Boca Raton, Florida: CRC Press/Taylor & Francis Group, [2014]. ISBN 9781439853832.
5. PORADA, Viktor. *Kriminalistika: technické, forenzní a kybernetické aspekty*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2016. ISBN 9788073805890.
6. PORADA, Viktor. *Kriminalistické, forenzní a právní souvislosti identifikace osob podle funkčních a dynamických znaků*. Praha: Vysoká škola Karlovy Vary, 2010. ISBN 9788087236024.
7. LOMBROSO, Cesare. *Nejnovější objevy a aplikace psychiatrie a kriminalistické antropologie*. Přeložil Hana KNIEŽOVÁ. Praha: Academia, 2017. Europa (Academia). ISBN 9788020026040.
8. SAFERSTEIN, Richard. *Forensic science: from the crime scene to the crime lab*. Third Edition. Upper Saddle River: Pearson, 2016. ISBN 978-0133591286.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Martínek**
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce: **9. prosince 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **29. května 2020**

L.S.

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

Ing. Milan Navrátil, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 9. prosince 2019

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/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou 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/bakalářské 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 14.08.2020 …….

podpis diplomanta

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřená na problematiku analýzy lidských vlasů ve forenzních vědách. Teoretická část je rozdělena do dvou kapitol. V první kapitole je popsána anatomie lidského ochlupení (vlasy, vousy apod.) a histologie vlasu, tedy makroskopická a mikroskopická struktura, a růstový cyklus vlasu. Druhá kapitola popisuje forenzní vědy a jejich rozdělení. Zejména je zaměřena na analýzu lidských vlasů jako trichologického materiálu ve forenzní antropologii.

Praktická část je také rozdělena na dvě kapitoly. V první kapitole praktické části jsou popsány použité mikroskopy a následně samotný proces analýzy lidských vlasů, který se skládá ze sběru a uchovávání vzorků, jejich analýzy a porovnání. Druhá kapitola praktické části navrhuje způsoby pokračování analýzy.

V závěru práce jsou porovnány výhody a nevýhody elektronového a optického mikroskopu pro analýzu lidských vlasů ve forenzních vědách.

Klíčová slova: Vlas, ochlupení, anatomie, histologie, analýza, forenzní vědy, forenzní analýza, forenzní antropologie, trichologický materiál, optický mikroskop, elektronový mikroskop, PCR

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on the analysis of human hair in forensic sciences. The theoretical part is divided into two chapters. The first chapter describes the anatomy of human hairs (hair, beard, etc.) and histology of the hair, macroscopic and microscopic structure and growth cycle of the hair. The second chapter describes forensic sciences and their division. In particular, the analysis of human hair as a trichological material in forensic anthropology is described.

The practical part is also divided into two chapters. The first chapter of the practical part describes the used microscopes and then the process of analysis of human hair, which consists of collecting and storing samples, their analysis and comparison. The second chapter suggests ways to continue the analysis.

At the conclusion of the work, the suitability of electron and optical microscopes for the analysis of human hair in forensic sciences are compared.

Keywords: Hair, pubic hair, anatomy, histology, analysis, forensic science, forensic analysis, forensic anthropology, trichological material, optical microscope, electron microscope, PCR

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Tomáši Martínkovi, PhD. Za odbornou a velmi profesionální pomoc při zpracovávání této diplomové práce a jeho flexibilitu a ochotu při řešení jakýchkoliv problémů. Dále bych rád poděkoval své přítelkyni a přátelům za jejich námitky, připomínky a návrhy v závěrečném stádiu zpracovávání diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD **10**
I TEORETICKÁ ČÁST **11**
1 LIDSKÉ OCHLUPENÍ **12**
1.1 DRUHY OCHLUPENÍ 12
1.1.1 Lanugo 12
1.1.2 Velusové chlupy 12
1.1.3 Terminální chlupy 12
1.2 VÝVOJ OCHLUPENÍ BĚHEM LIDSKÉHO ŽIVOTA 12
1.2.1 Primární ochlupení 12
1.2.2 Sekundární ochlupení 13
1.2.3 Terciální ochlupení 13
1.2.3.1 Lokální terciální ochlupení 14
1.3 VLASY 15
1.3.1 Typy vlasů 16
1.3.1.1 Vlasy rovné 16
1.3.1.2 Vlasy vlnité 16
1.3.1.3 Vlasy kudrnaté 17
1.3.1.4 Ostatní typy vlasů 17
1.3.2 Stavba vlasu 18
1.3.2.1 Vlasový stvol 19
1.3.2.2 Kořen vlasu 19
1.3.2.3 Musculus arrector pili 20
1.3.3 Mikroskopická struktura 20
1.3.3.1 Melanocyty 21
1.3.3.2 Vlasový folikul 21
1.3.4 Růst vlasu a jeho zakotvení ve vlasovém folikulu 23
1.3.4.1 Růstový cyklus vlasu 23
1.4 DALŠÍ DRUHY OCHLUPENÍ 24
1.4.1 Řasy (lat. *cilia*) 25
1.4.2 Obočí (lat. *supercilium*) 25
2 FORENZNÍ VĚDY **26**
2.1 PŘEHLED FORENZNÍCH VĚD 26
2.1.1 Forenzní daktyloskopie 26
2.1.2 Forenzní antropologie 26
2.1.3 Forenzní balistika 27
2.1.4 Forenzní entomologie 27
2.1.5 Forenzní chemie 27
2.1.6 Forenzní medicína 28
2.1.7 Forenzní psychologie 28
2.1.8 Forenzní genetika 29
2.1.9 Forenzní písmoznalectví 29
2.2 FORENZNÍ TRICHOLOGIE 30
2.2.1 Vyhledávání trichologického materiálu 31
2.2.2 Zajišťování trichologického materiálu 31
2.2.3 Depozice trichologických stop 32

2.2.4 Lidský trichologický materiál 32
2.2.4.1 Variabilita trichologického materiálu 32
2.2.4.2 Vliv vnějších faktorů na trichologický materiál 33
2.2.4.3 Chemické složení trichologického materiálu 36
2.2.5 Laboratorní metody zkoumání lidského trichologického materiálu 36
2.2.5.1 Makroskopické a předběžné mikroskopické vyšetření 37
2.2.5.2 Mikroskopické zkoumání 37
2.2.6 Srovnání lidského a zvířecího trichologického materiálu 41
II PRAKTICKÁ ČÁST 43
3 PRŮBĚH ANALÝZY VZORKU 44
3.1 POUŽITÉ MIKROSKOPY 44
3.1.1 Optický mikroskop AXIO SCOPE.A1 45
3.1.2 Elektronový mikroskop ZEISS EVO 15 46
3.1.2.1 Princip elektronového mikroskopu 46
3.1.3 Výhody a nevýhody použitých typů mikroskopu 47
3.2 SBĚR VZORKŮ A JEJICH UCHOVÁNÍ 47
3.2.1 Sběr vzorků 48
3.2.2 Uchovávání vzorků 50
3.3 ANALÝZA POMOCÍ MIKROSKOPŮ 50
3.3.1 Analýza optickým mikroskopem 50
3.3.1.1 Tloušťka vlasu 51
3.3.1.2 Barva vlasu 57
3.3.1.3 Struktura vlasu 60
3.3.1.4 Rozpoznání části vlasu 61
3.3.2 Analýza elektronovým mikroskopem 64
3.3.2.1 Struktura vlasu 64
3.3.2.2 Rozpoznání části vlasu 65
3.3.2.3 Analýza tvaru vlasu 67
4 ZPŮSOBY POKRAČOVÁNÍ ANALÝZY 69
4.1 STATISTIKA 69
4.2 ANALÝZA DNA 69
4.2.1 Metoda PCR 69
4.2.2 Metodika analýzy DNA 69
ZÁVĚR 71
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 74
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 77
SEZNAM OBRÁZKŮ 78
SEZNAM TABULEK 80

ÚVOD

V současné době jsou forenzní vědy hojně využívány při objasňování trestných činů, nehod a při hledání pohřešovaných osob. To obnáší zkoumání různorodých materiálů a stop, od otisku nohy či podrážky bot přes otisk prstu až po analýzu DNA. Z toho důvodu jsou forenzní vědy rozděleny do devíti odvětví: forenzní daktyloskopie, antropologie, balistika, entomologie, chemie, medicína, psychologie, genetika a písmoznalectví. Oblastí zájmu této diplomové práce je forenzní trichologie, věda zaměřená na lidské ochlupení, která spadá pod forenzní antropologii.

Na mnoha místech trestného činu mohou být vlasy či celkově ochlupení nejčastěji získaným forenzním důkazem. Mohou nastat i situace, kdy bude trichologický materiál jediným forenzním důkazem. V těchto případech se jedná o velmi důležitý materiál, se kterým se stejně tak musí nakládat. A to od sběru tohoto důkazního materiálu přes jeho uchovávání až po samotné testování.

Pro správné vyhodnocení trichologického materiálu zkoumaného pomocí mikroskopu je třeba znát anatomii a histologii lidského ochlupení. Díky tomu je možné rozlišit jednotlivé druhy ochlupení (zda se jedná o vlasy, vousy či řasy), ale také odlišit lidské ochlupení od zvířecí srsti.

Cílem této diplomové práce je popis použitých metod analýzy vlasů, tedy v tomto případě použití optického a elektronového mikroskopu, a vyhodnocení jejich účinnosti se srovnáním, který z těchto mikroskopů je vhodnější pro použití k mikroskopické analýze lidského vlasu. V závěru práce budou navrženy další možné navazující postupy analýzy lidských vlasů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 LIDSKÉ OCHLUPENÍ

Ochlupení se řadí mezi kožní orgány a vyskytuje se po celém těle každého zdravého člověka, ať už se jedná o jemné, téměř neviditelné chloupky nebo například vlasy. Výjimku tvoří dlaně, chodidla, mediální a laterální plochy prstu, rty (červeň rtů), prsní bradavky, malé stydké pysky, *glans clitoris* (klitoris) a *glans penis* (žalud). Jsou určité rozdíly mezi vlasy, vousy, chloupky na rukou, ale základní struktura ochlupení je stejná. [1]

Na povrchu těla je hustota ochlupení přibližně 60 chlupů na cm^2. Vlasy jsou nejdelší chlupy na lidském těle, vyrůstají na vlasaté části hlavy v množství až 320 vlasů na 1 cm^2. Charakter vlasu (barva a tloušťka) se liší v závislosti na lokalizaci a etnickém původu a může se měnit dle věku a pohlaví. [1]

1.1 Druhy ochlupení

1.1.1 Lanugo

Tenké, měkké a jemné, narůstá mezi 4. a 6. měsícem při vývoji plodu v děloze, maximálně je vyvinuto v 7. a 8. měsíci, kdy kromě dlaní, chodidel, palmární strany prstu (dlaňové), dále kromě očních víček, rtů, prsních bradavek a zevních pohlavních orgánů pokrývá celý povrch těla plodu. [2]

1.1.2 Velusové chlupy

Jemné, tenké a krátké (srovnatelné s fetálním lanugem), u dětí a žen pokrývají většinu tělesného povrchu. Nejsou téměř pigmentovány. Folikuly mají v *dermis* (škára – vrstva kůže). [3]

1.1.3 Terminální chlupy

Dlouhé, silné a pigmentované. Jejich folikuly, na rozdíl od velusových chlupů, zasahují až do *subcutis* (podkožní vazivo). Mezi terminální chlupy patří vlasy, řasy, obočí, pubické ochlupení a vousy. [3]

1.2 Vývoj ochlupení během lidského života

1.2.1 Primární ochlupení

Když je lidský zárodek starý 4 až 6 měsíců, jeho trup se začíná pokrývat drobným ochlupením zvaným lanugo. To je maximálně vyvinuto v sedmém až osmém měsíci, kdy kryje

celé tělo s výjimkou dlaní, chodidel, konečných částí prstů na dorzální (zadní) straně, rtů, očních víček, prsních bradavek a zevních pohlavních orgánů.

Lanugo tvoří na těle proudy a víry. Tyto proudy i víry se tvoří i v srsti zvířat, a i když pro toto tvrzení postrádáme jasné důkazy, považuje se, že odpovídají směrům tekoucí vody. Před narozením lanugo odpadá do plodové vody. Část lanuga plod před narozením spolyká a část spolu se sekretem mazových žláz a odpadlými buňkami kůže tvoří bělavý maz, který je na povrchu kůže dítěte při jeho narození. [2]

1.2.2 Sekundární ochlupení

Je typické pro období po narození člověka a patří k němu chloupky (*pili*), vlasy (*capili*), řasy (*cilia*) a obočí (*supercilium*). Chloupky jsou silnější než lanugo a jsou rozptýlené po celém těle, přesně kopírující rozložení lanuga. To znamená, že nerostou tam, kde dříve nebylo lanugo. [2]

1.2.3 Terciální ochlupení

Terciální ochlupení lze pozorovat počátkem puberty a v dospělosti ho u mužů i u žen přibývá. Je tvořeno silnějšími, delšími chloupky, které jsou zpravidla tmavší než sekundární. Jeho růst souvisí s činností žláz s vnitřní sekrecí a také závisí na přítomnosti testosteronu a buněčných receptorů na testosteron v organismu. [2]

„Terciální ochlupení se začíná objevovat na typických místech těla, později rozptýlené po celém těle. Je nápadnější a rozsáhlejší u mužů než u žen. Začíná se objevovat se začátkem puberty, zřetelnější je po 25. roce. U mužů narůstá ve sternální krajině, nad prsními bradavkami, na břiše a končetinách (na paži, na dorsální straně předloktí a ruky, na stehnech a bércích); na končetinách má – tak jako sekundární pili – průběh ve *flumina pilorum* (vlasové proudy); méně časté je v *regio deltoidea* (oblast ramenního kloubu). U žen se terciální ochlupení objevuje v dolních částech stehen a na bércích, ojediněle okolo areola *mammae* (prsní bradavka) a na *sternu* (oblast hrudní kosti). Boční partie břicha a hýždí zůstávají u obou pohlaví bez ochlupení. Celkový nadměrný vývoj terciálního ochlupení se označuje jako *hypertrichosis vera*.“ [2]

1.2.3.1 Lokální terciální ochlupení

Lokální terciální ochlupení se objevuje na několika krajinách těla.

Chlupy v podpaží (lat. *hirci*)

Objevují se v pubertě, u ženy jako ohraničený pás, u muže bez přesného ohraničení. Tyto chlupy bývají zpravidla zvlněné a jsou spojeny s podpažními potními žlázami, které ústí do pochev těchto chlupů. [2]

Chlupy v krajině stydké (lat. *pubes seu crines*)

Jedná se o velmi silné, spirálovitě stočené a zprohýbané chlupy. U mužů se objevují mezi 12. a 14. rokem v *regio pubica* (nejspodnější část podbřišku) a později se šíří až ke kořeni penisu. U žen vyrůstají chlupy na podbřišku a na pohlavních orgánech mezi 10. a 11. rokem. Plně je toto terciální ochlupení vyvinuto v pubertě. [2]

Tvar pubického ochlupení je u obou pohlaví rozdílný. U mužů ve střední části dosahuje až k pupku, kdežto u žen končí náhle v horizontální linii na horním okraji *mons pubis* (stydký pahorek). [2]

Vous (lat. *barba*)

Vousy se objevují převážně u mužů. Jsou to nejsilnější chlupy u člověka. Začínají růst cca od 16. roku. Ze začátku jsou řídké a rostou pomalu a od 20. roku začínají růst hustě a rychle. Vousy pokrývají rty (kromě červené části rtů), bradu, tvář a zasahují také na krk. [2]

U žen, zejména u tmavovlasých, se také objevují náznaky vousů (nejčastěji v menopauze) v podobě řidších, černých, silnějších chloupků hlavně v oblasti horního rtu a jednotlivých chloupků také podél těla dolní čelisti až k bradě. [2]

Tragi

Jsou to silné chlupy, které rostou ve vchodu do zevního zvukovodu. V mladším věku jsou tyto chlupy řidší a nejsou příliš zbarveny, na barvě a síle nabývají až v dospělosti. U žen jsou tyto chlupy nenápadné, kdežto u mužů jsou v dospělém věku podstatně výraznější. [2]

Vibrissae

Silné kratší chlupy, které rostou na kůži uvnitř *vestibulum nasi* (vnitřní část nosní dírky). Tyto chlupy vyrůstají až po pubertě a slouží především k zachytávání prachu z vdechovaného vzduchu. [2]

Sinusové (hmatové) chlupy

„Představují u savců, zejména nočních, zvláštní typ chlupů. Jsou to silné, tvrdé a poměrně dlouhé jednotlivě vyrůstající chlupy; jejich vlasové pochvy mají bohatá nervová zakončení a jsou obklopeny sítí žilních splavů – sinusů. Fungují jako detektory jemného dotyku při kontaktu organismu s okolím. Pro řadu savců jsou to významné hmatové orgány.

U člověka se nacházejí obdobné ojedinělé nápadné chlupy, nemají však cévní sinusy a zmnožená nervová zakončení; zachovaly ale typickou lokalizaci, nápadnou délku a tloušťku vlasového stvolu.

Vyskytují se na typických místech; na hranici vnitřní a střední třetiny obočí, na tváři pod dolním víčkem, na dolní straně tváře pod *m. masseter (žvýkací sval)*, na zadním obvodu boltce (kde rostou kraniálním směrem), někdy na zevním okraji horního rtu a na ulnární straně distálního konce předloktí (v oblasti hlavice *ulny* – kost loketní). Mohou se najít jen v některých z uvedených lokalit. Vyrůstají (převážně u mužů) až po 40. roce věku.“ [2]

1.3 Vlasy

„Lidské vlasy pokrývají hlavu; vpředu začínají ostrou hranicí nad čelem, vzadu se vytrácejí do šíjní krajiny. Ve spánkové krajině je hranice neostrá, okolo boltce je hranice ostrá (asi ½ cm od úponu boltce) a neostrá je na *processus mastoideus* (bradavkový výběžek). V zadní části parietální krajiny je zpravidla vlasový vír, od něhož se vlasy rozbíhají všemi směry.“ [2]

Vlasy se řadí mezi terminální chlupy, spolu s řasami, vousy, obočím a pubickým ochlupením. [3]

„Tloušťka lidského vlasu je v průměru 42–95 μm a je různá i podle umístění vlasu: vlasy jsou silnější u týlu, u žen bývají silnější než u mužů.

Počet vlasů je 180–320 na 1 cm^2, tenčí vlasy jsou hustší: průměrný počet vlasů na hlavě se udává u černých a hnědých vlasů 80–100 tisíc, u světlých vlasů asi o 1/3 více.

Životnost vlasu je 2–4 roky, průměrná denní ztráta je 13–90 vlasů. Při postupném ubývání vlasů (častější u mužů) je jejich novotvorba pomalejší než rychlost ztrát.

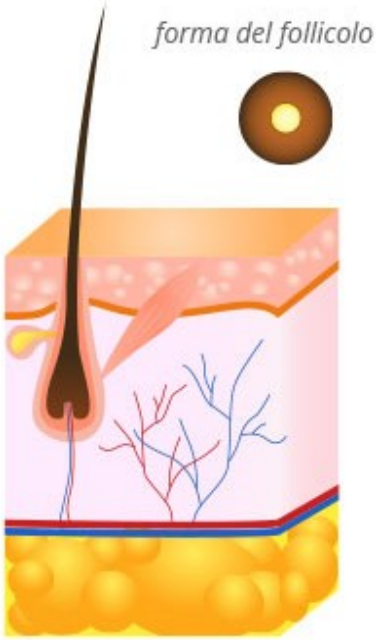
Růst vlasu činí denně 0,30–0,45 mm, tj. kolem 1 cm za měsíc.“ [2]

1.3.1 Typy vlasů

Tvar vlasů je součástí lidské identity a má spojitost se zařazením do etnické skupiny. Například pro evropské obyvatelstvo jsou typické rovné vlasy, pro afroameričany kudrliny. Zda jsou vlasy rovné či kudrnaté, závisí na počtu disulfidových chemických vazeb mezi vlasovými proteiny. Čím více vazeb, tím jsou vlasy kudrnatější. Kudrnatost se odráží na průřezu folikulem: čím plošší folikul, tím kudrnatější vlas. [4]

1.3.1.1 Vlasy rovné

Capili lissotrichi (z řeckého *lissos*, hladký) je na průřezu kulatý a vyrůstá z rovných vlasových pochev. Mohou být značně dlouhé. [2]

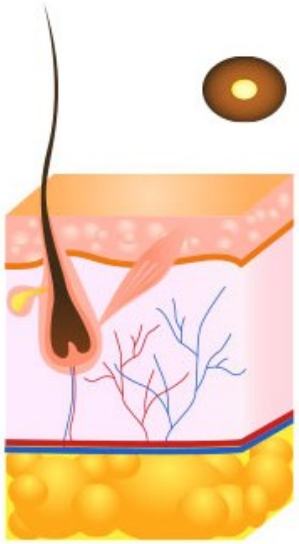


Obrázek 1 Průřez *capili lissotrichi* [3]

1.3.1.2 Vlasy vlnité

Capili kymotrichi (z řeckého *kyma*, vlna) jsou v průřezu mírně oválné, vyrůstají také z rovných vlasových pochev a mohou též dorůstat značné délky. [2]

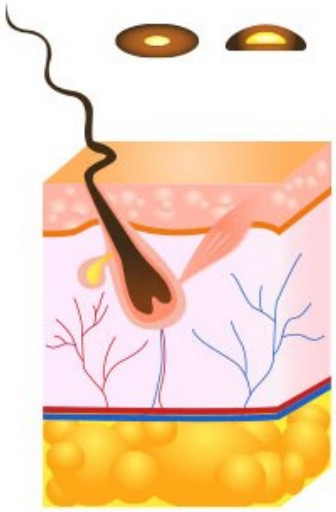
Tento druh vlasů převažuje u evropské populace společně s vlasy rovnými nad vlasy kudrnatými.



Obrázek 2 Průřez *capili kymotrichi* [3]

1.3.1.3 Vlasy kudrnaté

Capili ulotrichi (z řeckého *ulos*, kudrnatý) jsou na průřezu silně oválné až ledvinovité a vyrůstají ze zahnutých vlasových pochev. [2]



Obrázek 3 Průřez *capili ulotrichi* [3]

1.3.1.4 Ostatní typy vlasů

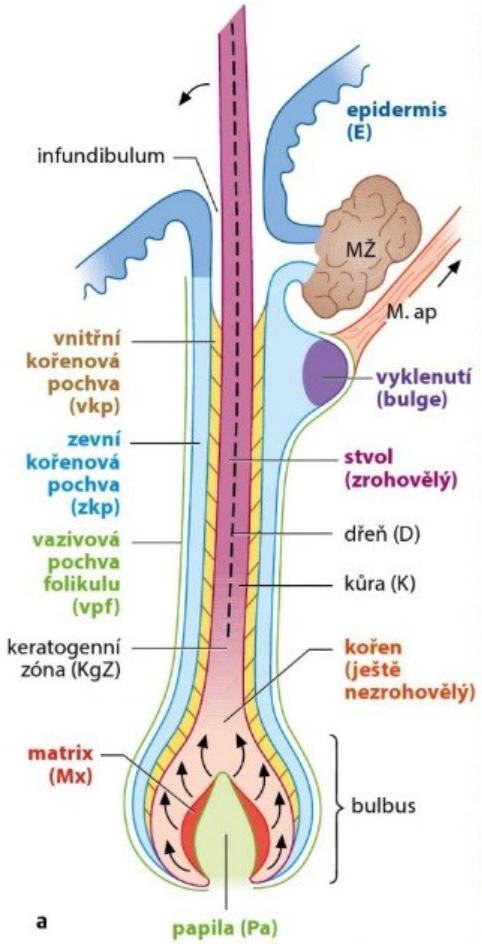
Mimo již zmíněné typy vlasů se u některých neevropských populací vyskytují také:

Vlasy pepřovité – vlasy typu fil-fil – mají tvar vlasů kudrnatých, ledvinovitý průřez a vyrůstají ze zahnutých vlasových pochev v chomáčcích a trsech.[2]

Vlasy spirálovité – vyrůstají ze zahnutých vlasových pochev, mají oválný průřez a místo dřeně dutinu, takže mají vzhled jemných dlouhých trubiček. [2]

1.3.2 Stavba vlasu

Lidský vlas se skládá ze dvou základních částí, a to vlasového stvolu a kořene vlasu. Vlasový stvol vyčnívá nad pokožku, kořen vlasu je ukotven v pokožce. Nejhlubší částí kořene je tzv. vlasová cibulka, která je obalena vlasovými pochvami, dohromady pak vytvářejí vlasový folikul. Součástí vlasového folikulu jsou také potní žlázy. Na jednu z vlasových pochev je ukotven *musculus arrector pili* (vzpřimovač chlupů) a mazová žláza. [2][3]



Obrázek 4 Vlasový folikul – podélný řez [3]

1.3.2.1 Vlasový stvol

„Vlasový stvol je kompletně zrohovatělá část vlasu. Jeho dolní konec je zanořen ve vlasovém folikulu: jeho větší část je na kožním povrchu jako vlas nebo chlup. Největší část vlasového stvolu tvoří kůra, tvořená podlouhlými, hustě uloženými zrohovatělými buňkami, které obsahují melanosomy (zodpovědné za barvu vlasů). Povrch kůry kryje kutikula vlasu, složená z plochých buněk uspořádaných jako tašky na střeše směrem ke špičce vlasu. Dřeň (tenká nesouvislá vlákna tvořená z řídce uložených zrohovatělých buněk se vzduchovými štěrbinami) je vytvořena pouze v terminálních chlupech.“ [3]

1.3.2.2 Kořen vlasu

„Kořen vlasu má stejný cylindrický tvar a stejné složky jako vlasový stvol. Jeho buňky však nejsou dosud zrohovatělé. Na hranici kořene a stvolu se nachází keratogenní zóna, ve které probíhá zrohovění buněk.“ [3]

Vlasová cibulka

„Vlasová cibulka je paličkovitě ztluštělý epithelový začátek na spodině folikulu. Cibulka obsahuje mitoticky se dělící buňky *matrix*, které jsou zodpovědné za růst vlasu. Dceřiné buňky *matrix* se posouvají nahoru a diferencují se podle své polohy v buňky dřeně, kůry nebo kutikuly, právě tak jako v buňky vnitřní kořenové pochvy (viz níže). Na bazální membráně *matrix* leží melanocyty, které dodávají budoucím buňkám kůry melanosomy.“ [3]

Vlasová papila

„Vlasová papila je tvořena vchlípením vaziva *dermis* (škára – vrstva kůže), bohatého na buňky, do vlasové cibulky. Papila obsahuje kapilární kličku důležitou pro cévní zásobení vlasové cibulky. Fibroblasty ve vlasové papile produkují a parakrinně uvolňují dosud jen částečně známé faktory, které řídí dělení buněk vlasové *matrix* a tím růst vlasu. Bez papily není tvorba vlasu možná.“ [3]

Infundibulum

„Infunfibulum je horní část folikulu, kterou se folikul otevírá na povrch kůže. Ve spodině infundibula ústí mazová žláza a nad ní případně ústí vývod apokrinní žlázy, pokud je přítomna.“ [3]

Epitelové kořenové pochvy

„Epithelové kořenové pochvy tvoří uvnitř folikulu koncentrické obaly kořene a vlasového stvolu. Vnitřní kořenová pochva rohoví brzo (již před rohověním buněk vlasu). Tvoří s vlasovým kořenem nebo vlasovým stvolem pevný komplex až po spodinu infundibula, kde se její buňky odlupují. Vnitřní kořenová pochva je z hloubky k povrchu tvořena těmito vrstvami – kutikula pochvy, Huxleyova vrstva a Henleova vrstva. Zevní kořenová pochva je tvořena z více vrstev světlých nezrohovělých buněk (jsou bohaté na glykogen), které rohovějí teprve v infundibulu a přecházejí v povrch epidermis. Biologicky významnou částí zevní kořenové pochvy je její vyklenutí v oblasti pod infundibulem (v angličtině *bulge*). V tomto vyklenutí se nacházejí kmenové buňky epidermis, ze kterých pocházejí buňky *matrix*, které tvoří nový vlas. Z těchto kmenových buněk vznikají také nové bazální buňky mazové žlázy a při větších poranění kůže také nové buňky *epidermis* (pokožka).“ [3]

Vazivová pochva

„Vazivová pochva se nachází kolem vnější epitelové pochvy a obaluje vlasový folikul. Je složena z vnitřních cirkulárně a vnějších longitudinálně uspořádaných elementů vazivové tkáně, mezi oběma vrstvami jsou uloženy kapiláry a nervová vlákna. Na rozhraní mezi epitelem zevní kořenové pochvy a vazivovou pochvou je vytvořena tlustá bazální membrána.“ [3]

1.3.2.3 Musculus arrector pili

„*M. arrector pili* je sval z hladkých svalových buněk inervovaný sympatikem. Vychází ze *stratum papillare dermis* (vrstva škáry) a upíná se do vazivové pochvy vlasového folikulu pod mazovou žlázou. Sval i mazová žláza leží vždy na straně folikulu skloněné k povrchu kůže. *M. arrector pili* napřimuje šikmo skloněný folikul s vlasem, kdy střed náklonu je ve výši infundibula. Spolu s napřímením horní části vlasového folikulu se vyprázdní mazová žláza.“ [3]

1.3.3 Mikroskopická struktura

Kutikula

Jedná se o šupinatou vrstvu, která chrání vlas před vnějšími vlivy. Jestliže mazová žláza správně funguje, je kutikula konzervována vlasovým mazem a vlas tak méně propouští škodliviny a vodné roztoky. Tato vrstva se skládá z 5–10 odumřelých buněk (šupin) uspořádaných stříškovitě, které k sobě přiléhají. Tyto buňky se překrývají cca do 1/7 délky a

tvoří úhel 18° s osou vlasu. Jednotlivé vrstvy jsou pokryty membránou a spojeny lipidovým a proteinovým tmelem. [3][2]

Kortex

Neboli kůra (vláknitá vrstva), která tvoří 75–80 % vlastní vlasové hmoty, se skládá z protáhlých neživých buněk (vlákna kreatinu). Tato vlákna tvoří nejnižší stavební jednotku mikrofibrilu. Mikrofibrily se kruhovitě seskupují tak, že vytvářejí snopečky, a tím tvoří další stavební jednotku makrofibrilu. Při pravidelném uspořádání vlasového kortexu jej nazýváme *ortokortex*. při nepravidelném uspořádání jej nazýváme *parakortex*. Nepravidelné uspořádání vzniká především u vlasů upravovaných barvením či odbarvováním. *Ortokortex* a *parakortex* můžeme odlišit podle fyzikálních rozdílů, podle rozdílného chemického složení aminokyselin a podle různé chemické reaktivity. Jednotlivé makrofibrily jsou vzájemně spojeny buněčnými membránami a proteinovým tmelem. V kortexu se nacházejí shluky pigmentových skvrn, které vypadají jako tmavé skvrny mezi fibrilami. [3][2]

Medula

Neboli dřeň je středová část folikulu. Není pravidlem, že se dřeň nachází po celé délce vlasu, u dlouhých vlasů se nachází jen u kořínků. Keratin meduly má houbovitou strukturu s mnoha dutinami a má jiné chemické složení než keratin kortexu. [3][2]

1.3.3.1 Melanocyty

Melanocyty jsou buňky uložené mezi epitelovými buňkami na bázi *bulbus pili* (vlasová cibulka). Tyto buňky tvoří melanin a na jejich aktivitě závisí barva vlasu. Pigment je předávaný buňkám kůry a dřeně vlasu – stejným způsobem jako keratinocytům v epidermis. [1]

1.3.3.2 Vlasový folikul

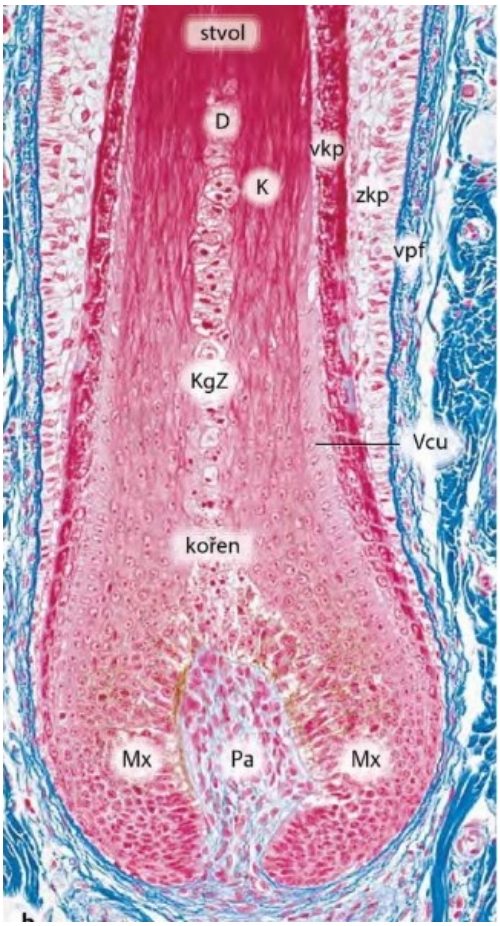
Je tvořen kořenem, který je obalený vnější a vnitřní epitelovou pochvou. Vnější epitelová pochva je vrstva buněk okolní kůže, která se zanořuje do *dermis* (škára – vrstva kůže) okolo kořene vlasu a jeho vnitřní epitelové pochvy. [1]

Vnitřní epitelová pochva se diferencuje z okraje *bulbus pili* (vlasová cibulka) a kompletně obaluje počáteční úsek *radix pili* (kořen vlasu). Její buňky postupně degenerují a deskvamují (ztrácí se na úrovni, kde do vlasového folikulu ústí mazová žláza). Vnitřní epitelová pochva se skládá ze tří vrstev:

- **Kutikula pochvy** – obdobná struktura jako kutikula vlasu, avšak volné konce směřují opačně, tedy směrem k *bulbus pili* (škára – vrstva kůže); buňky obou kutikul jsou do sebe zaklíněné a společně jsou posouvány apikálním směrem.
- **Huxleyova vrstva** – 1–3 řady oploštělých kubických buněk, které mají v cytoplazmě výrazné eosinofilní trichohyalinové granule.
- **Henleyova vrstva** – ploché epitelové buňky, které mají charakter *stratum lucidum epidermis* (tenká vrstva epidermis).

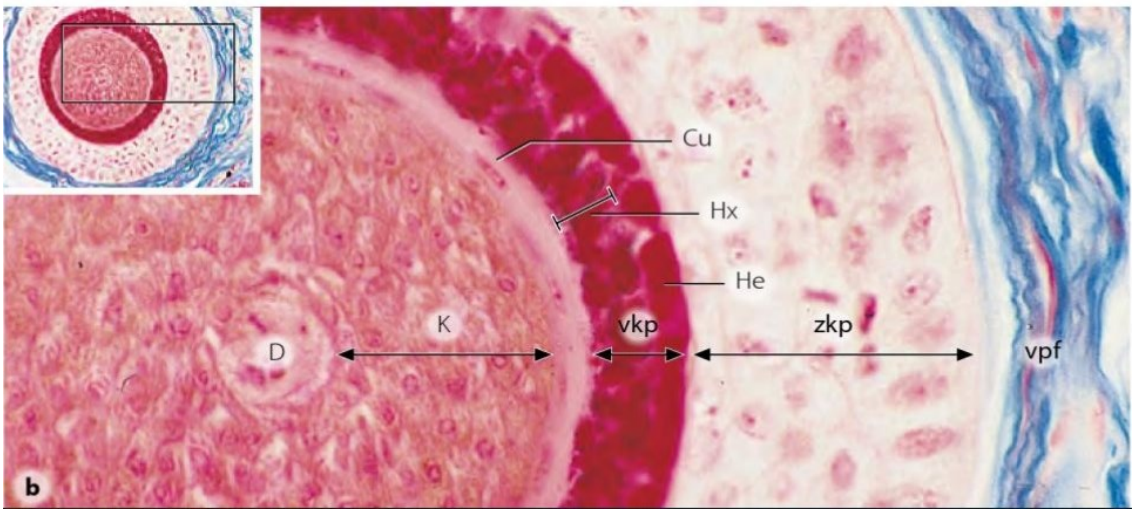
V okolí apikální oblasti folikulu se nachází plně vyvinutá epidermis, která se v hlubších partiích ztenčuje, a nacházíme zde vrstvy odpovídající *stratum germinativum epidermis* (zárodečná vrstva epidermis). Buňky *epidermis* jsou velké, světlé a bohaté na glykogen.

Po vypadnutí vlasu se na konci provazců buněk vnější epitelové pochvy vytvoří nový *bulbus pili* (vlasová cibulka), do této struktury vroste nově vytvořená vazivová papila s cévami a je zahájen růst nového vlasu.[1]



Obrázek 5 Mikroskopická struktura vlasu – podélný řez [3]

Na obrázku číslo 5 je vlasový folikul řasy. Schéma: **D**, dřeň, **K**, kůra, **vkp**, vnitřní kořenová pochva, **zkp**, zevní kořenová pochva, **vpf**, vazivová pochva folikulu, **KgZ**, keratogenní zóna, **Vcu**, nezrohovělá kulikula vlasu, **Mx**, *matrix*, **Pa**, papila.[3]



Obrázek 6 Mikroskopická struktura vlasu – příčný řez[3]

Na obrázku číslo 6 je zobrazen vlasový folikul (kštice, člověk). Příčný řez v oblasti kreatogenní zóny. V malém vloženém obrázku je výřez znázorněn obdélníkem. Schéma: **He**, Henleho vrstva, **Hx**, Huxleyho vrstva, **Cu**, kořenová pochva. Zbylé zkratky v obrázku číslo 6 stejné jako v obrázku číslo 5. [3]

1.3.4 Růst vlasu a jeho zakotvení ve vlasovém folikulu

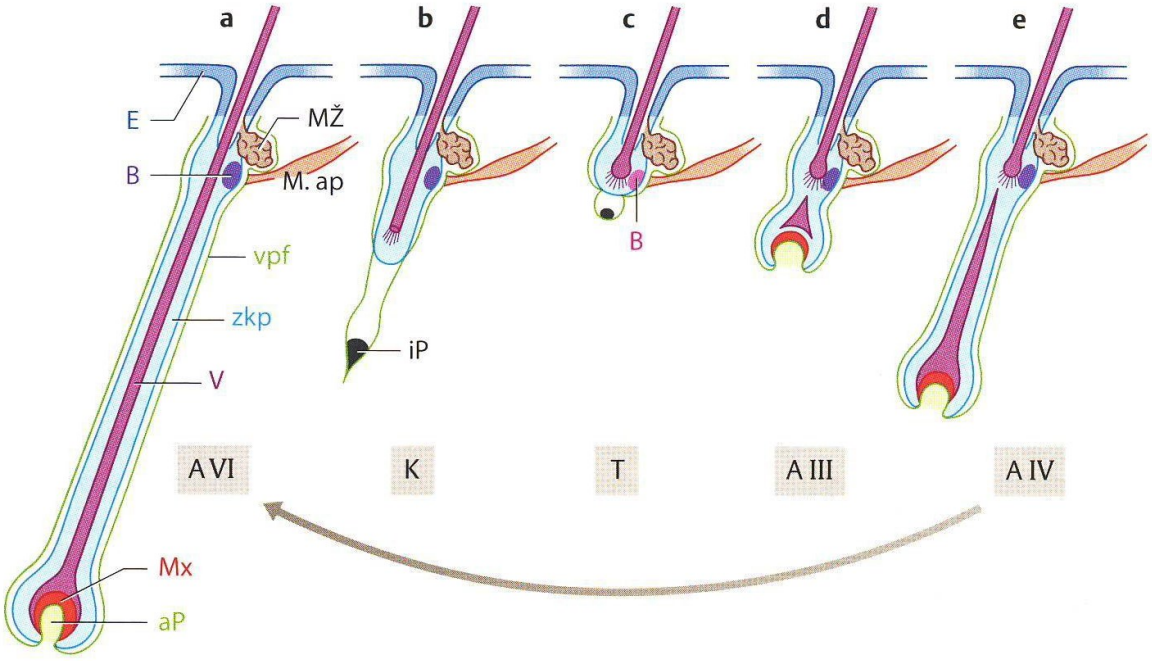
Na zakotvení vlasu ve folikulu se podílejí obě kutikuly: taškovité uspořádání buněk kutikuly vlasu a pochvy je protisměrné, takže oba povrchy jsou do sebe zaklíněné. Vlasový stvol vyroste zhruba o 1 cm za měsíc. Základem růstu je mitotická aktivita buněk *matrix* a diferenciační děje, při kterých buňky vlasu zrohovatí. Rostoucí vlas společně s vnitřní kořenovou pochvou pomalu klouže po pevně ukotvené zevní kořenové pochvě směrem k povrchu kůže. Podrobnosti o mechanismu tohoto posunu nejsou zcela objasněny. [2][3]

1.3.4.1 Růstový cyklus vlasu

Každý vlas prochází třemi stádii vývoje, od růstu vlasu až po jeho vypadnutí. První stádium se nazývá *anagen*, neboli růst, který trvá 3–8 let. Další stádium cyklu se nazývá *katagen*, který má trvání cca 3 týdny a jde o stádium involuce (atrofie, zánik). Třetím stádiem je cyklus *telogen*, což je období klidu, které trvá cca 3 měsíce. Celý tento cyklus je zakon-

čen vypadnutím vlasu a následně začíná nový cyklus opět *anagenem*. U člověka se v *anagenu* nachází asi 90 % vlasů.[3]

U člověka nejsou tyto cykly synchronizovány tak, jako je to u celé řady jiných savců. U nich můžeme pozorovat výměnu srsti (línání), kdežto u člověka ne. [2]



Obrázek 7 Cyklus vlasového folikulu[3]

Na obrázku číslo 7 je zobrazen růstový cyklus vlasu, kde **V**, vlas, **A**, *anagen*, **K**, *katagen*, **T**, *telogen*. V částech obrázku 7 b a c nemá folikul buňky *matrix*. **aP**, aktivní dermální papila, která je v části obrázku 7 a, **iP**, inaktivní dermální papila, která je zobrazena v obrázku 7 b. **B**, kmenové buňky, které jsou v části obrázku 7 c, jsou aktivovány a generují buňky nové *matrix* (zobrazena růžově), v ostatních částech obrázku 7 a, b, d, e jsou buňky v klidu (zobrazeny modře). V částech obrázku 7 d a e už je zřetelný vyrůstající nový vlas pod vypadávajícím starým vlasem. [3]

1.4 Další druhy ochlupení

Další druhy ochlupení jsou z pohledu trichologie také významné, i když ne až tolik jako vlasy. Vlasů člověk ztratí denně 13–90, kdežto například řasy vypadávají pouze v průměru jedna denně. Stejně tak při konfliktu (násilný trestný čin) je větší pravděpodobnost, že oběť chytí pachatele za vlasy než za chloupky na rukou. To jsou důvody, proč je větší šance objevit na místě činu vlasy než jiné ochlupení. [2]

1.4.1 Řasy (lat. *cilia*)

Jedná se o kratší tužší chloupky, které vyrůstají z okrajů očních víček ve 3–4 řadách, ale konce řas jsou sestaveny do jedné řady. Na horním víčku je řas od 150 do 200, na dolním víčku pouze 70–100. Životnost jedné řasy je 100–150 dní. V průměru vypadává jedna řasa za den, stejně tak se jedna řasa denně obnovuje. [2]

Řasy slouží jako ochrana pro oko. Jsou to nejvíce pigmentované chloupky a šedivějí velmi vzácně a v pozdním věku. Jsou velmi silné, proto mají dřeň. Řasy jsou na horním víčku delší než na dolním a jsou konvexně prohnuté. [2]

Řasy se řadí do skupiny sekundárního ochlupení. [2]

1.4.2 Obočí (lat. *supercilium*)

Obočí je soubor brv, sestavený v mírném oblouku nad horním okrajem očnice. Chloupky obočí směřují laterálně (zevně), ale na vnitřní straně stojí spíše kolmo a může se zde objevovat i chlupový vír. [2]

Tvar a poloha obočí ovlivňují výraz v obličeji. V antropologii se rozeznávají různé typy obočí podle tvaru. Zjišťuje se, zda je obočí stejnoměrně široké či ne, jaký je jeho průběh apod. [2]

Ze všech sekundárních chloupků se obočí objevuje jako první, a to už prenatálně (u plodu v děloze matky). V růstovém období je obočí tenké, ale v dospělosti mohutní.

Obočí se řadí, stejně jako řasy, do skupiny sekundárního ochlupení. [2]

2 FORENZNÍ VĚDY

Forenzní věda je aplikace přírodních věd ve věcech zákona. V praxi forenzní věda vychází z fyziky, chemie, biologie a dalších vědeckých principů a metod. Forenzní věda se zabývá rozpoznáváním, identifikací, individualizací a hodnocením fyzických důkazů. Forenzní vědci mohou prezentovat svá zjištění jako soudní znalci. [5]

2.1 Přehled forenzních věd

2.1.1 Forenzní daktyloskopie

„Daktyloskopie je charakterizována jako nauka o obrazcích papilárních linií vytvořených na vnitřní straně článků prstů, na dlaních, na prstech nohou a chodidlech.

Daktyloskopie je druhou nejstarší metodou využívanou v kriminalistické praxi pro identifikaci osob. O rozvoj daktyloskopie se významně zasloužil Jan Evangelista Purkyně, který jako první provedl rozdělení kresby papilárních linií posledních článků prstů do devíti základních vzorů. Na zavedení daktyloskopie do kriminalistické praxe se podílela řada anglických přírodovědců a lékařů (Galon, Herschel, Faulds, Henry).

V Praze od roku 1891 koncipista František Protivenský pokusně snímal otisky prstů vězňů pro studijní účely a od roku 1903 na své náklady pořizoval daktyloskopické otisky a zakládal je do soukromé sbírky. Dne 9. 9. 1908 byla v českých zemích oficiálně zavedena daktyloskopie jako jediný identifikační prostředek. Do roku 1994 se postupně vystřídaly čtyři deka daktyloskopické identifikační systémy a pět mono daktyloskopických identifikačních systémů. Klasifikace jedné daktyloskopické karty trvala kolem půl hodiny a za jeden den byl pracovník schopen zpracovat kolem dvanácti daktyloskopických karet. V současnosti Ústřední daktyloskopickou sbírku vedenou na odboru daktyloskopie KÚ Praha tvoří sbírka otisků prstů, sbírka stop z míst dosud neobjasněných trestných činů a sbírka stop z objasněných trestných činů.“ [6]

2.1.2 Forenzní antropologie

Problematiku forenzní antropologie lze rozdělit do tří oblastí: osteologická expertiza, fotokomparativní zkoumání a trichologická expertiza.

Antropologická osteologická expertiza je zaměřena na zkoumání a identifikaci lidských pozůstatků. Její relevance je zřejmá zejména v těch případech, kdy nelze využít

k identifikaci (rekognici) DNA analýzu nebo daktyloskopii, tj. takové postupy, jejichž výpovědní hodnota se blíží vysokému stupni pravděpodobnosti až jistotě.

Antropologická portrétní komparace je významná metoda využívaná při ověřování totožnosti osob podle dokladů, identifikaci mrtvých jedinců, identifikaci pachatelů loupežných přepadení peněžních ústavů, osob realizujících neoprávněný výběr peněz v bankomatech apod.

Do rámce antropologických expertiz patří také zkoumání lidského trichologického materiálu, tj. vlasů a chlupů, zajištěných v souvislosti s trestnou činností. Vzorky vlasů neznámého mrtvého těla mohou v některých případech přispět k identifikaci. [7]

2.1.3 Forenzní balistika

„Kriminalistická balistika jako interdisciplinární věda se zabývá mechanismem výstřelu, pohybem střely v hlavni zbraně, dráhou střely při letu na cíl a účinky střely v cíli. Objekty zkoumání kriminalistické balistiky jsou střelné zbraně, jejichž pomocí lze dopravit střelu na cíl. Druhou skupinu tvoří střelivo (náboje) všech druhů a jeho jednotlivé části, především vystřelené střely a nábojnice. Třetí skupinu tvoří předměty zasažené střelou a povýstřelové zplodiny.“ [8]

2.1.4 Forenzní entomologie

„Forenzní entomologie využívá znalostí o hmyzu a ostatních bezobratlých při vyšetřování skutečností a ověřování důkazů v rámci občanského a trestního práva. V praxi lze tento obor rozdělit do tří základních kategorií: problematika potravinářských škůdců, oblast parazitů lidí a zvířat a stanovení doby smrti u nalezených lidských těl. Patrně nejčastěji se využívá pro určení délky intervalu mezi úmrtím člověka a nalezením jeho mrtvoly. Rozklad podléhá přirozeným procesům degradace velkých obratlovců v přírodě, proto i mrtvé lidské tělo se stává součástí daného biotopu a v procesu sukcese je postupně kolonizováno jednotlivými skupinami bezobratlých. Pochopení a zhodnocení všech zákonitostí degradačního procesu dává možnost zpětně reprodukovat časovou osu, a tím odpovědět na otázky důležité pro kriminalistické vyšetřování.“ [9]

2.1.5 Forenzní chemie

„Forenzní chemie, nazývána také jaké soudní chemie či detektivní chemie, je druh analytické chemie. Analytická chemie se zabývá zkoumáním chemického složení vzorků látek a

směsí. V zásadě se dělí na dva podobory: analytickou chemii kvalitativní a kvantitativní. Metody či způsob práce se u kvalitativní a kvantitativní analytické chemie dělí dle mnoha kritérií. Podle způsobu práce se zkoumanou látkou může jít o metodu chemickou (je založená na chemických reakcích) nebo instrumentální, ve které jsou využity přístrojové a výpočetní techniky. Podle hmotnosti zkoumané látky je můžeme dělit na metody makroanalytické (více než 100 mg vzorku), semimikroanalytické (mezi 10 až 100 mg vzorku) a mikroanalytické (méně než 10 mg vzorku).“ [10]

2.1.6 Forenzní medicína

Jinak nazývaná soudní lékařství, se zabývá zjišťováním příčiny úmrtí a dalších ze zdravotního hlediska důležitých okolností úmrtí u osob zemřelých náhlým, neočekávaným nebo násilným úmrtím, včetně sebevraždy. Dále se zabývá prováděním soudních pitev při podezření, že smrt člověka byla způsobena trestným činem, laboratorními vyšetřeními biologického materiálu na přítomnost toxikologicky významných látek (včetně alkoholu) pro forenzní účely, a to jak z materiálu odebraného přímo při pitvě, tak od živých jedinců. Soudní lékařství je také zaměřeno na výukovou, vědeckovýzkumnou, konzultační a znaleckou činnost a účastní se v nezávislých odborných komisích v oblasti zdravotnictví. [11]

2.1.7 Forenzní psychologie

„Psychologie se zabývá zkoumáním chování a prožívání. Tak, jak se vyvíjel výzkum chování a prožívání, objevovaly se nové otázky, otevírala se nová pole problematiky a vznikala nová hlediska a přístupy. Původně celistvá psychologická věda se začíná vnitřně diferencovat a vznikají různé psychologické disciplíny, které jsou integrovány do jednotného systému, tj. oboru psychologie.

V našich podmínkách se pro forenzní psychologii vžilo označení soudní psychologie. I když jde o označení velmi běžné a vžité, je třeba zdůraznit, že z odborného hlediska se jedná o překlad nepřesný, ba i zavádějící, protože soudní psychologie reprezentuje pouze část problematiky forenzní psychologie. Přesnějším a věcně správným ekvivalentem je termín právní psychologie, který se ovšem v praxi zcela nevžil a zdá se, že široké veřejnosti není příliš srozumitelný.“ [12]

2.1.8 Forenzní genetika

Forenzní genetika se dělí na tato odvětví:

1. **kriminalistická genetika** – genetické zkoumání biologických stop nalezených na místě trestného činu za účelem jednoznačné identifikace jejich původce,
2. **identifikační genetika** – identifikace osob analýzou DNA prováděná pro nejrůznější účely (identifikace neznámých mrtvol, identifikace obětí hromadných neštěstí, ověření totožnosti osob, …),
3. **kognativní genetika** – genetické zkoumání biologických příbuzenských vztahů, zpravidla pro občansko-právní jednání (např. paternitní analýza neboli „určení otcovství"). [13]

„Kromě těchto základních oblastí se forenzní genetika zaměřuje též na forenzní využití analýz non-humánní DNA (zvířecí, rostlinné i virové a bakteriální). Postupy a znalosti forenzní genetiky se dále uplatňují například v tzv. paleogenetice a biomolekulární archeologii, tedy oborech, jež se zabývají analýzou DNA z paleontologického a archeologického biologického materiálu. Velkou popularitu v současné době získává další z podoblastí forenzní genetiky, a to geno-genealogie a geno-geografie, jež se zabývají využitím genetických analýz při zkoumání rodových příbuzností a historických geografických pohybů lidstva. Úzce příbuznými obory forenzní genetiky jsou zejména některé další forenzní vědy, např. forenzní biologie, forenzní antropologie a soudní lékařství.“ [13]

2.1.9 Forenzní písmoznalectví

Písmoznalectví (kriminalistická expertiza ručního písma) řeší otázky identifikace pisatele ručně psaného textu (písma) a pravost podpisů. Jedná se o forenzní disciplínu, která je experimentálně ověřená spolehlivostí (tzv. reliabilitou) a platností (tzn. validitou).

Identifikaci pisatele umožňují především jedinečné odchylky rukopisu člověka od písařské normy vyučované ve školách. Samotná identifikace je založena na teorii dynamických stereotypů, které jsou vytvářeny podmíněnými reflexy, a vznikají a upevňují se v průběhu života. Je nutné vysvětlit, co vlastně vyjadřuje samotné slovo „ruční“ – označuje především ruku (neboli kostro-svalový aparát), která se podílí na psaní. Matematická pravděpodobnost výskytu dvou zcela shodných rukopisů je uváděna v poměru 1 : 68 triliónům. Vlastní proces psaní je řízen dynamickými stereotypy a písmoznalectví vychází z důležitého předpokladu, že pisatel si nemůže osvojit dynamický stereotyp jiné osoby.

Dynamické stereotypy jsou využívány i v jiných odvětvích zkoumání, např. ve forenzní identifikaci osob podle chůze. Ke zkoumání v písmoznalectví jsou užívány především kvalitativní metody, protože individualita rukopisu jedince nedovoluje většinu pozorovaných znaků hodnotit kvantitativně. Individualita rukopisu umožňuje identifikaci pisatele, která je ale možná jen díky dlouhodobému procesu vývoje a následné stabilizace rukopisu. Přesnou hranici ukončení vývoje procesu psaní nelze stanovit, protože se jedná o výhradně individuální vývoj. Obecně platí, že tento vývoj bývá ukončen mezi dvacátým až pětadvacátým rokem života. Relativně stabilní je pak až do pětapadesátého až šedesátého roku života jedince. V tomto období však rukopis může být ovlivněn tzv. vnějšími (např. druh psacího prostředku, osvětlení apod.) a vnitřními (momentální psychický či zdravotní stav) podmínkami. [14]

2.2 Forenzní trichologie

„Forenzní trichologie (z řec. *thrix* – vlas, chlup) je zaměřena na zkoumání živočišného trichologického materiálu v kontextu policejního vyšetřování, např. při objasňování násilných a majetkových trestných činů, dopravních nehod, havárií, krádeží, nedovoleného exportu a importu zvěře, pytláctví apod.“ [15]

Trichologický materiál představuje lidské ochlupení a zvířecí chlupy. Jedná se o významné biologické stopy, které bývají pachateli zanechány na místě činu, na oběti nebo na samotném pachateli či na předmětech, které souvisí s trestnou činností. K přenosu trichologického materiálu dochází vzájemným kontaktem dvou objektů (tzv. Locardův princip). Ve stopě se tedy může objevit jak materiál, který bezprostředně souvisí s trestnou činností (např. vytržené vlasy), tak i materiál, který s trestným činem úplně nesouvisí, pocházející od jedince, který nemá s trestným činem nic společného, tzv. sekundární transfer. Vlasy a chlupy jsou často využívanými a vyhledávanými stopami, protože jsou jednoduše zanechatelné a jsou relativně rezistentní vůči exogenním (vnějším) vlivům okolí. [15][16]

„Expertíza lidských vlasů a chlupů může jedince identifikovat nebo alespoň podat informace o původci stopy – naznačit etnickou příslušnost, poukázat na věkovou kategorii u dětí, upozornit na patologický stav, vypovědět leccos o kosmetických úpravách vlasů, stanovit, zda osoba užívala nějaké léky, či drogy, apod.“ [15]

Výpovědní, resp. identifikační hodnota lidského trichologického materiálu je dána zachovalostí stop a významností zastoupených znaků. Ve většině případů má komparace stopy

versus srovnávací charakter skupinové shody nebo potvrzení rozdílného původu. Výpovědní hodnotu zvyšuje výskyt unikátních znaků, individuální identifikaci umožňuje izolace nuDNA (nukleární DNA). [15]

„Předpokladem úspěšnosti zjištění všech důležitých informací k objasnění trestného činu nebo k identifikaci původce trichologického materiálu je vyhledat a správně zajistit relevantní stopy. V laboratoři pak následuje zkoumání trichologického materiálu ve stopě, tj. zda se jedná o lidské vlasy a chlupy, zvířecí chlupy nebo vlákna rostlinného, anorganického či syntetického původu. V případě lidského materiálu následuje podrobná analýza a případně i komparace se vzorky relevantních osob, u zvířecích chlupů se provede jejich taxonomická determinace.“ [15]

2.2.1 Vyhledávání trichologického materiálu

„Materiál k trichologické expertize se vyhledává a zajišťuje na místě činu, v automobilech na sedačkách a opěrkách, v kufru, na podvozku, na předmětech souvisejících s objasňovanou trestnou činností (nože, sekery, …), na oděvních součástkách a tělech osob zraněných, usmrcených či podezřelých, v přepravkách zvířat apod.

Trichologické stopy jsou vyhledávány vizuálně, v některých případech vyžaduje povrchová struktura a barva podkladu použití šikmého osvětlení anebo světelného zdroje o vlnové délce 395 nm (UV) a v oblasti červené části spektra kolem 625 nm (např. Megamaxx, Crime Lite).

V závažných případech jsou trichologické stopy před zajištěním fotograficky zdokumentovány s číselným označením a grafickým ohraničením, event. ukazatelem (papírová šipka).“ [15]

2.2.2 Zajišťování trichologického materiálu

„Stopy – Trichologický materiál zajišťuje kriminalistický technik nebo znalec pomoci entomologické pinzety nebo pinzety s gumovými či plastikovými koncovkami. Stopy se vkládají odděleně do papírových nebo umělohmotných obalů, které se nezaměnitelně označí (číslo stopy, místo nálezu). Nedoporučuje se zajišťovat trichologický materiál do skleněných obalů nebo na adhezní plochu daktyloskopické folie či izolepy, protože může dojít k separaci epiteliálních buněk pochvy kořínků u vlasů vytržených nebo vyčesaných.

Srovnávací materiál – Reprezentativní srovnávací vzorky vlasů živých či mrtvých relevantních osob (např. oběti, podezřelého, domácí osoby) se zajistí odstřižením vlasů (cca po

5–10 ks) z pěti míst hlavy, a to z místa nad čelem, z temene, týlu a z obou spánkových oblastí. Vzorek se doplní o vlasy vyčesané a několik vlasů vytržených. V případě paruk, příčesků nebo „lepených“ vlasů se zajistí reprezentativní vzorky tak, aby byla postižena variabilita těchto vlasových doplňků. U mrtvol jsou vlasy separovány vytržením z pěti míst hlavy, resp. pouze z těch míst, kde se vlasy zachovaly. V terénu, při nálezu mrtvoly, může být skalp zavlečen zvěří do relativně větší vzdálenosti od mrtvoly. V tomto případě se ze zachované části skalpu zajistí vzorek vlasů k expertíze až v laboratoři.

Množství zvířecích chlupů ve srovnávacím vzorku je dáno barevnou, tvarovou a délkovou variabilitou srsti zvířete nebo části kožešiny.“ [15]

2.2.3 Depozice trichologických stop

„Trichologický materiál se před analýzou archivuje v papírových obalech za standardních laboratorních podmínek, v suchém prostředí. Pokud je materiál vlhký, znečištěný (např. krví, sekrety, exkrety), pak se před zkoumáním skladuje v chladicím, resp. mrazicím boxu.

Po expertíze je čistý trichologický materiál, který se nespotřeboval při analýzách, uložen v depozitáři v papírových obálkách, jež se označí příslušným číslem jednacím a rokem zpracování. Irelevantní trichologický materiál je zlikvidován v souladu se zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých zákonů.“ [15]

2.2.4 Lidský trichologický materiál

„Lidské vlasy a chlupy obsahují množství důležitých informací, které lze extrahovat jen tehdy, pokud znalec ke zkoumání přistupuje explicitně. Kriminalistická znalecká činnost v odvětví trichologie předpokládá komplexní znalost trichologického materiálu z hlediska morfologického, ontogenetického, genetického, biochemického, fyzikálně-chemického, klinického atd. a spolupráci se znalci v hraničních oborech, jako jsou např. genetika, sérologie a chemie.“ [15]

2.2.4.1 Variabilita trichologického materiálu

„Trichologický materiál je velmi variabilní z hlediska ontogenetického, intraindividuálního, interindividuálního a etnického. Počet a distribuce folikulů založených během embryonálního vývoje jsou u všech lidí přibližně stejné, avšak genetické faktory determinují širokou škálu fenotypických variací.

Základní rozdělení vlasů na prenatální *lanugo*, postnatální *vellus*, intermediální a terminální vlasy a chlupy respektuje jak tvarové variace, tak časový faktor růstu vlasů a ochlupení u jedince.

Podle specifických morfologických a metrických charakteristik lze určit somatickou lokalizaci terminálních lidských chlupů. Jednoznačně lze determinovat chlupy pubické, axilární, vousy a řasy. Variační rozpětí znaků zbývajícího somatického ochlupení se více či méně překrývá.

Stanovit etnikum podle vlasů na základě morfologických vlastností jednoznačně nelze, protože variační rozpětí projevů znaků se u mnoha etnických skupin překrývá. Rovněž migrace obyvatel má za následek genetické ovlivnění fenotypického projevu trichologického materiálu. Největší intraindividuální a interindividuální variabilita byla prokázána u kavkazoidní rasy.“ [15]

2.2.4.2 Vliv vnějších faktorů na trichologický materiál

Některé významné identifikační charakteristiky, které jsou patrné na trichologickém materiálu, jsou způsobeny vlivem environmentálních, kosmetických či patologických faktorů. Tyto charakteristiky mohou pomoci blíže identifikovat jedince (např. vzácně se vyskytující syndromy, životní styl) nebo objasnit příčinu vzniku související s trestnou činností, a to na základě poškození (např. násilí, žhářství apod.). [15]

Vliv exogenních faktorů

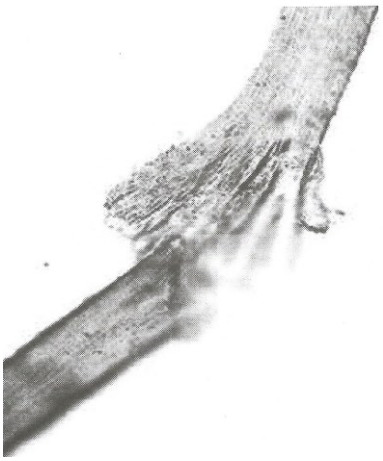
Mechanické a fyzikální poškození představuje například stříhání, řezání, střelba, tlakové působení, vliv vyšší teploty či ohně. K chemické destrukci trichologického materiálu dochází např. při potřísnění chemikáliemi, v souvislosti s mařením identity v období *peri mortem* (v procesu umírání) a *post mortem* (po smrti; polití kyselinou, louhem) anebo při kosmetických úpravách kapilicia, jako je barvení, odbarvování, trvalá ondulace apod. Biologickým destrukčním faktorem jsou keratinofilní organismy, které rozšiřují strukturu vlasů vypadlých či *post mortem*. V mnoha případech se nalezne kombinace působení několika faktorů. [15]

Mechanické a fyzikální faktory:

Údery neostrými předměty způsobí na vlasech cylindrické rozšíření, údery ostrým předmětem vedou k přetnutí vlasu nebo jeho nalomení. Vlasy mohou po úderu uvíznout i v lebečních kostech. [15]

„Vlasy poškozené střepy skla vykazují ostré zářezy, holicí strojek zanechává charakteristické řezy podle počtu břitů, efilační nůžky poškozují vlasové stvoly nepravidelně v podélné ose stvolu.“ [15]

Vlasy poškozené střelbou jsou přetržené, na koncích rozšířené, v kůře i ve dřeni jsou někdy patrné vakuoly, viz obrázek číslo 8. Na povrchu vlasů lze prokázat povýstřelové zplodiny.



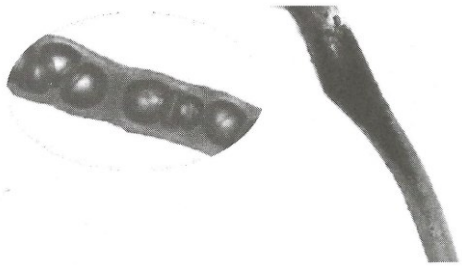
Obrázek 8 Vlas poškozený výstřelem [15]

„Vlasy poškozené tlakem (přejetí autem, vlakem) jsou v místě tlaku výrazně rozšířené, oploštělé s četnými fisurami, často je do nich vtlačen prach; vlasy mohou být i přetržené a roztřepené.“ [15]

Tepelné změny:

- „-270 °C – účinek tekutého dusíku – vlasy jsou křehké, snadno se lámou, tvar lomné plochy je téměř rovný; nejsou patrné žádné mikroskopické změny.
- Do 60 °C – nedochází k žádným markantním viditelným změnám, vlasy zachovávají konstantní délku.
- 60–100 °C – délka vlasů se zmenšuje, mění se refrakční index trichologického materiálu.
- Nad 100 °C – snižuje se hmotnost vlivem ztráty vody; morfologická struktura se výrazně nemění.
- 120–150 °C – v optickém mikroskopu nejsou patrné žádné výrazné morfologické změny; depigmentované vlasy mírně zežloutnou.
- 180 °C – vlasy získávají rutilní odstín.

- 190–215 °C – ve dřeni a kůře vlasů se objevují vzduchové vakuoly, viz obrázek číslo 9.
- 240–250 °C – dochází ke zvlnění vlasů, zůstávají červené a červenohnědé/černé, dotykem se lámou, obsahují velké množství vzduchových vakuol.
- 300–400 °C – nastává zuhelnatění vlasů, zůstává pouze anorganický podíl vlasů.“ [15]



Obrázek 9 Vzduchové vakuoly ve vlasu zahřátém na 190–215 °C [15]

Chemické faktory

Redukční činidla jako sulfity, sulfidy a merkaptany, obsažené zejména v depilačních prostředcích, rozštěpí disulfidické vazby keratinu, následkem čehož dochází k degradaci vlasů. [15]

Kyseliny a louhy způsobují bobtnání trichologického materiálu a následnou kompletní destrukci. [15]

Biologické faktory

Keratinofilní plísně způsobují *post separation* (po oddělené) a *post mortem* ve vlasech longitudinální (podélné) a transverzální (příčné) tunýlky nebo kavity – keratinolytický efekt způsobený enzymem keratinázou. [15]

Hmyz a roztoči poškozují trichologický materiál okusem. [15]

Tafonomické změny

„Jsou výsledkem kombinace působení diagenetických faktorů působících na trichologický materiál pohřbeného jedince.“ [15]

V půdě může vlivem huminových kyselin docházet ke změně zbarvení vlasů (většinou v rutilní – zrzavý, odstín). [15]

Vlivem agresivního půdního prostředí (abrazivně chemické prostředí) dochází k poškození a separaci kutikulárních šupin, k rozvolnění buněk kůry a následuje celková degradace vlasového stvolu. [15]

Klimatické faktory

„Při fotochemické degradaci dochází k rozkladu vlasových pigmentů a proteinů. Eumelanin a feomelanin jsou fotochemicky excitovány, dochází k připojení volného radikálu kyslíku a k otevření eumelaninového, respektive feomelaninového kruhu. Nastává odbarvení vlasů.“ [15]

Dlouhodobé fyzikální a chemické trauma

Trichorrhexis nodosa – je odpovědí vlasového stvolu na fyzikální nebo chemické trauma, které se projevuje uzlovitými zduřeninami, v nichž se stvol snadno láme. [15]

„Trichonodosis – jedná se o traumatizaci vlasů vyskytující se u jedinců se zohýbanými nebo kudrnatými vlasy. Na vlasových stvolech jsou uzlíčky, na kterých je patrné longitudinální štěpení kůry a poškození kutikuly.

Trichoptilosis – stvol je longitudinálně rozlomený a rozštěpený, většinou následkem kosmetických zásahů.“ [15]

2.2.4.3 Chemické složení trichologického materiálu

Převládající složkou trichologického materiálu je alfa-keratin (tvoří 90–96 % hmotnosti suchých vlasů). Množství anorganického podílu (popela) získaného spálením vlasů kolísá od 0,26 % do 0,94 % původní hmotnosti trichologického materiálu. V popelu lze stanovit stopové prvky, jejichž zastoupení může být ovlivněno metabolismem, aplikací kosmetických prostředků, vnějším znečištěním a podobně. Z forenzního hlediska je významná zejména environmentální kontaminace toxickými těžkými kovy, například olovem, kadmiem či rtutí, přítomnost metabolitů různých drog, léků a jedů. [15]

2.2.5 Laboratorní metody zkoumání lidského trichologického materiálu

„Při zkoumání trichologického materiálu se využívají metody nedestruktivní (mikroskopické hodnocení), semidestruktivní (odebrání části vzorku k destruktivnímu zkoumání, např. část vlasového stvolu pro sérologické vyšetření anebo bazální zakončení vlasů pro genetické vyšetření) a metody destruktivní, které kompletně zničí celý vzorek.“ [15]

„V rámci trichologického zkoumání jsou ve forenzní praxi aplikovány tyto metody:

- makroskopické zkoumání,
- mikroskopické zkoumání,
- sérologické vyšetření,
- genetické vyšetření,
- chemická analýza.“ [15]

2.2.5.1 Makroskopické a předběžné mikroskopické vyšetření

Trichologický materiál se vyšetří za použití stereolupy na přítomnost povrchového znečištění biologickým materiálem (např. krev, sperma, sliny, plísně apod.), dále na znečištění organickým či anorganickým materiálem (např. olej) a poté je provedena separace povrchových nečistot pro biologickou nebo chemickou analýzu. Následně jsou vzorky převedeny do mikroskopických preparátů (uzavírací médium destilovaná voda). [15][17]

Pomocí mikroskopického vyšetření je možno určit typ materiálu (vlas, chlup) a původ materiálu (lidský, zvířecí). Jedná-li se o lidské ochlupení, posuzuje se vhodnost bazálního zakončení pro genetickou analýzu. Jestliže je kořínek vhodný pro analýzu DNA, zajistí se ke genetickému zkoumání (při manipulaci s trichologickým materiálem je z důvodu možné kontaminace vzorku nutné používat ústní roušku, jednorázové rukavice a dezinfikované preparační náčiní). [15][17]

Před vlastním mikroskopickým vyšetřením (se zaměřením na vyhodnocení mikromorfologických znaků) je nutné z trichologického materiálu odstranit všechny zbytky nečistot, a to nejlépe ve vodě s detergentem. Poté se trichologický materiál opláchne vodou a případně odmastí směsí acetonu a éteru v poměru 1:1 a následně vysuší filtračním papírem. Dále se změří délka jednotlivých vzorků (v mm ±0,5 mm) a makroskopicky se posoudí tvar vlasového stvolu. [15][17]

2.2.5.2 Mikroskopické zkoumání

„Povrchová struktura vlasů (kutikula) se vyšetřuje pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu nebo v dopadajícím světle optického mikroskopu.

Vnitřní struktura trichologického materiálu se zkoumá mikroskopicky v procházejícím světle optického mikroskopu (viditelné světlo, polarizované světlo, fázový kontrast) při 200–400násobném zvětšení. Polarizované světlo umožňuje detekovat anomálie a poškození vlasových stvolů, fázový kontrast zvýrazní např. jemné struktury dřeně, případně některých patologických lézí.

Pro mikroskopické zkoumání trichologického materiálu v procházejícím světle se připraví dočasné nebo trvalé preparáty. Nejvhodnější uzavírací média pro preparáty jsou ta, jejichž refrakční index má hodnotu přibližně stejnou jako trichologický materiál, a to 1,52. Pro dočasné preparáty se doporučuje např. parafínový olej či imerzní olej, pro trvalé preparáty např. kanadský balzám nebo syntetické pryskyřice.

Mikroskopickým zkoumáním v procházejícím světle optického mikroskopu se určí ontogenetická variace lidských vlasů (např. *lanugo*, *vellus*, terminální vlas), u terminálních chlupů se stanoví jejich somatická lokalizace.

Následně jsou vyhodnoceny a zaznamenány do protokolů metrické a morfologické charakteristiky jednotlivých vzorků trichologického materiálu. Maximální a minimální šířka stvolu a šířka dřeně jsou změřeny pomocí kalibrovaného okulárového mikrometru. K mikromorfologickým charakteristikám trichologického materiálu patří např. původní barva, artificiální barvení nebo odbarvování, distribuce kortexového pigmentu, velikost a tvar pigmentových zrn a pigmentových shluků, přítomnost ovoidních tělísek, forma dřeně, typ apikálního a bazálního zakončení, poškození, patologické markanty a anomálie, přítomnost parazitů. V některých případech (podezření na patologie či anomálie, určení etnika) jsou u některých vlasů hodnoceny příčné průřezy stvolu.“ [15]

Tabulka 1 Přehled znaků hodnocených v rámci zkoumání lidských vlasů [15]

Makroskopické charakteristiky	
délka vlasů (v mm ± 0,5mm)	
tvar stvolu (orientačně)	rovný, zvlněný, vlnitý, kadeřavý, kudrnatý, spirálovitý, fil-fil
Mikroskopické charakteristiky	
minimální šířka stvolu (µm)	
maximální šířka stvolu (µm)	
index zvlnění: minimální šířka stvolu/maximální šířka stvolu × 100	
maximální šířka dřeně (µm)	
dřeňový index: šířka dřeně/maximální šířka stvolu × 100	
anomálie	např. změny šířky v průběhu délky stvolu
tvar stvolu (na základě hodnoty indexu vlnění)	rovný, zvlněný, vlnitý, kadeřavý, kudrnatý, spirálovitý, fil-fil
příčný průřez	kulatý, oválný, oploštělý ovál, trojúhelníkovitý; anomálie
bazální část stvolu	
kořínek přítomen	anagen, katagen, telogen; epiteliální pochvy, epiteliální vak; změny post mortem

absence kořínku	stříhaný, seříznutý, roztřepený; nepravidelný, abradovaný s nečistotami; poškozený keratinofilními organismy
apikální konec	hrot, stříhaný, seříznutý; mírně abradovaný, silně abradovaný (zaoblený), rozdvojený (trichoptilosis), roztřepený, poškození kreatinofilními organismy aj.
barva/barevný odstín	depigmentace; světle plavá, plavá, světle hnědá, středně hnědá, tmavě hnědá, černohnědá, rutilní
artificiální zbarvení	barvení, odbarvování
distribuce pigmentu	stejnoměrná, centripetální, asymetrická
velikost pigmentových zrn	malá, střední, velká
hustota pigmentových zrn	malá, střední, velká
agregace pigmentových zrn	malá, střední, velká
hustota agregace pigmentových zrn	malá, střední, velká
tvar agregací pigmentových zrn	pruhy, shluky pravidelné, shluky nepravidelné
kutikula	
tloušťka kutikuly	tenká, střední, silná
vnější strana kutikuly	hladká, zvlněná, odchlípené kutikulární buňky, poškození/destrukce kutikuly
vzhled (zbarvení) kutikuly	průhledná, průsvitná, nažloutlá
anomálie, patologie	praskliny a otvory – následek artificiálního poškození, patologických stavů aj.
absence kutikuly	přítomná v celé délce stvolu, místy chybí, zcela chybí
kůra	
buněčná textura	hladká, fibrilární
ovoidní tělíska	velikost v µm, distribuce, hustota
fusi (dutinky mezi buňkami kůra)	přítomná v celé délce stvolu, místy chybí, zcela chybí
dřeň	
forma dřeně	chybí, souvislá, přerušovaná, ostrůvkovitá
vzhled dřeně	průhledná, neprůhledná (vyplněná vzduchem)
šířka dřeně	úzká, široká, zdvojená
artificiální vlivy	trvalá ondulace, dredy, laky, tužidla, trichorrhexis odosa atd.
environmentální vlivy	parazité (vši, hnidy), plísně, keratinolstický efekt (tunely), okus keratinofilními organismy, nečistoty – krev, povýstřelové zplodiny atd.
patologie	např. pianulati, vykřičníkovité vlasy, trichorrhexis invaginata, pili torti atd.

„V případě, že mikroskopické zkoumání trichologického materiálu nevyloučí jeho irelevantnost k danému případu, přistupuje se ke vzájemné komparaci stop nebo stopy se vzorkem trichologického materiálu relevantní osoby.

Morfoskopická komparace vlasů ze stop se srovnávacími vzorky vlasů relevantních osob může prokázat typovou (skupinovou shodu) nebo shodu vyloučit. Identifikační hodnotu zvyšuje přítomnost znaků vyskytujících se v populaci jen sporadicky. Jedná se zejména o doprovodné projevy málo frekventovaných syndromů nebo specifická poškození.

V některých případech, zvláště důležitých, se ze stvolů stanoví a porovnává sérologická aktivita antigenů v krevním systému AB0 (H) nebo mitochondriální DNA. Tyto dvě zmíněné metody jsou destruktivní a přistupuje se k nim teprve tehdy, kdy se už nepředpokládá morfoskopická komparace s dalšími srovnávacími vzorky. Destruktivní metodou je také stanovení genetického profilu z kořínků vlasů.“ [15]

Sérologické vyšetření

„Trichologický materiál lze podrobit sérologickému vyšetření za účelem stanovení aktivity antigenů A a B v krevním skupinovém systému AB0 (H), avšak vzhledem k tomu, že sérologická aktivita antigenů ve vlasech je velmi variabilní, provádí se toto vyšetření velmi sporadicky.“ [15]

Jako příklad může sloužit jedinec, který má krevní skupinovou vlastnost AB. V tomto případě je možno u tohoto jedince nalézt vlasy sérologicky inaktivní, ale také vlasy vykazující aktivitu obou antigenů (tedy A i B) nebo jen jednoho z nich. [15]

Genetické vyšetření

„Ke genetickému vyšetření jsou předávány původní bazální zakončení lidských vlasů či chlupů, tj. kořínky s epiteliálními pochvami nebo jejich fragmenty (vývojová fáze *anagen*, *katagen*, popř. časný *telogen*), které jsou zdrojem jaderné DNA (nuDNA). Z vlasového stvolu (minimální délky 1 cm) se získává mitochondriální DNA (mtDNA). Jaderná DNA slouží k individuální identifikaci jedince, haplotyp mtDNA k určení skupinové shody (po mateřské linii).“ [15]

Chemická analýza

Chemická analýza trichologického materiálu spočívá v determinaci povrchových nečistot, průkazů akcelerantů hoření a dále v určení obsahu prvků ve vlasech, zejména toxických. Ve vlasech lze diagnostikovat xenobiotika (tj. látky cizorodé organismu: v organismu mů-

že docházet k jejich biotransformaci). Jsou to například psychotropní látky (drogy – heroin, kokain, marihuana, LSD), léky (sedativa, antidepresiva) a jedy (arzen, thalium). Kupříkladu arzen lze zjistit z vlasů už 5–6 dní poté, kdy pronikl do organismu. Thalium se hromadí v anagenních folikulech, kde jsou zjistitelná jeho depozita. Thalium porušuje keratinizaci, do kůry proniká vzduch a vlasy se lámou ve folikulu. [15] [17]

Chemické vyšetření trichologického materiálu zahrnuje komplexní a segmentální analýzu markerů. Komplexně se diagnostikuje užití dané látky v průběhu posledních několika týdnů a měsíců. Segmentální analýza umožňuje odhalit opakující se užívání látky. V případě chronických otrav lze v závislosti na vzdálenosti těžkého kovu od kořínku vlasu určit délku expozice tímto kovem. [15] [17]

2.2.6 Srovnání lidského a zvířecího trichologického materiálu

Komplex makroskopických a mikroskopických markerů významně rozlišuje zvířecí chlupy od lidského trichologického materiálu. V následujícím přehledu, viz tabulka 2, jsou uvedeny významné znaky pro rozlišení zvířecích chlupů od lidského trichologického materiálu. [15]

Tabulka 2 Srovnání znaků lidského a zvířecího trichologického materiálu [15]

	Lidský trichologický materiál	Zvířecí trichologický materiál
kořínek (telogenní)	jeden typ telogenního kořínku	variabilní tvary telogenních kořínků
počet chlupů ve folikulu	jeden, u vousů někdy zdvojený folikul	jeden chlup (stvol) nebo svazek chlupů
šířka stvolu (tvar stvolu)	maximální a minimální šířka daná tvarem příčného průřezu se v průběhu stvolu nemění – s výjimkou apikální (nestříhané části)	proměnlivá, střídají se konstrikce a rozšíření, v případě přítomnosti osiny je maximální šířka lokalizovaná v osině
barva stvolu	stejná, s výjimkou světlejší apikální části a v případě telogenu světlé části stvolu v blízkosti kořínku	může být stejná, většinou vysoká variabilita intraindividuálně, intradruhově; specifický barevný vzor v axiálním směru jednotlivých chlupů
kutikula	v průběhu stvolu stejný kutikulární vzor	kutikulární vzor, tvar a vzdálenost okrajů kutikulárních buněk, morfologie povrchu kutikulárních buněk – vysoká variabilita mezidruhová, v rámci jednoho chlupu

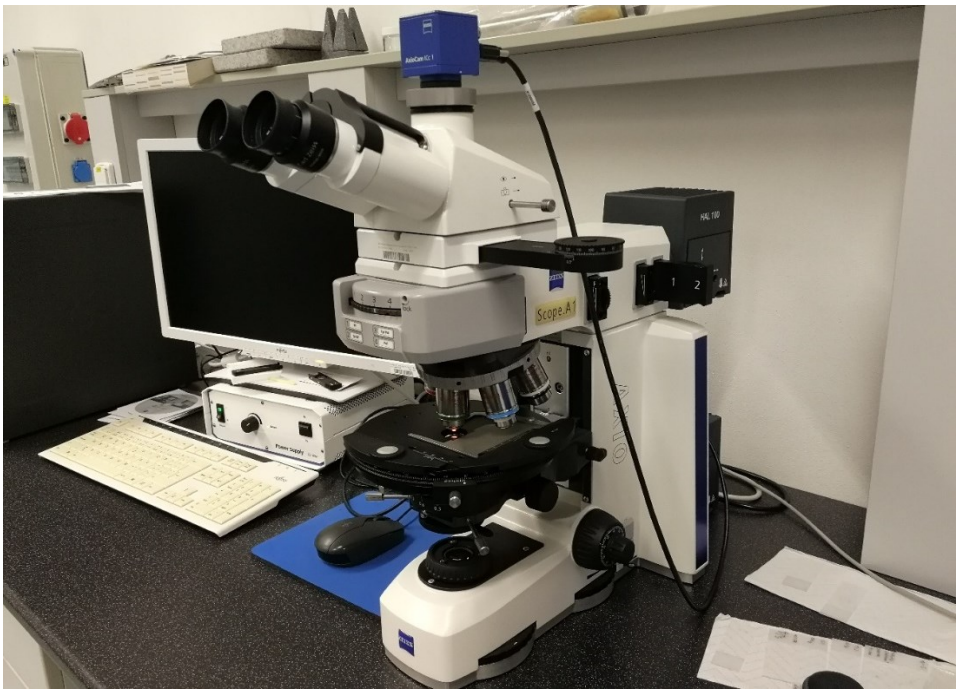
distribuce pigmentu	v celé šíři stvolu přibližně stejnoměrná, někdy vyšší hustota u kutikuly	v celé šíři stvolu stejnoměrná, centripetální, centrifugální asymetrická
pigmentová zrna	difuzní, nepravidelné shluky různé velikosti	difuzní, nepravidelné shluky různé velikosti, řetízky různé délky
ovoidní tělíska	nepřítomná, ojediněle přítomná	nepřítomná, ojediněle se vyskytující, velký počet
dřeň	jeden typ dřeně - nepravidelná, amorfní šířka dřeně nepřesahuje třetinu šířky vlasu/chlupu	vysoká morfologická a šířková variabilita šířka dřeně nepřesahuje třetinu šířky chlupu, ve většině případů přesahuje třetinu šířky chlupu (např. u čeledi Cervidae dosahuje až 14/15 šířky chlupu)

II. PRAKTICKÁ ČÁST

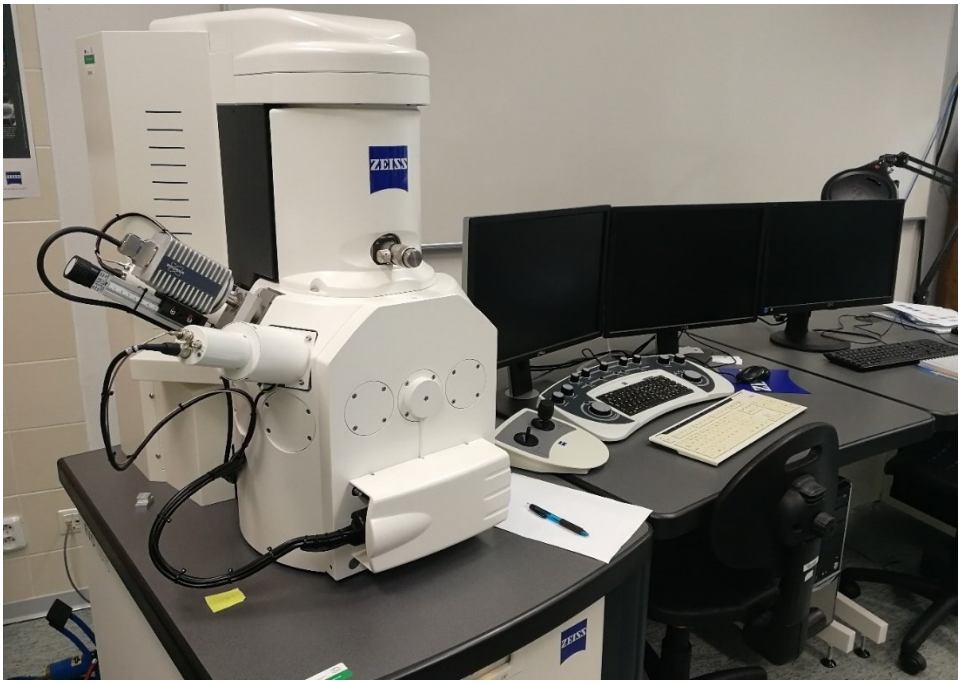
3 PRŮBĚH ANALÝZY VZORKU

3.1 Použité mikroskopy

Pro analýzu lidských vlasů byly použity dva mikroskopy, optický polarizační mikroskop AXIO SCOPE.A1 a skenovací elektronový mikroskop ZEISS EVO 15.



Obrázek 10 Optický mikroskop AXIO SCOPE.A1 v laboratoři FAI



Obrázek 11 Elektronový mikroskop ZEISS EVO 15 v laboratoři FAI

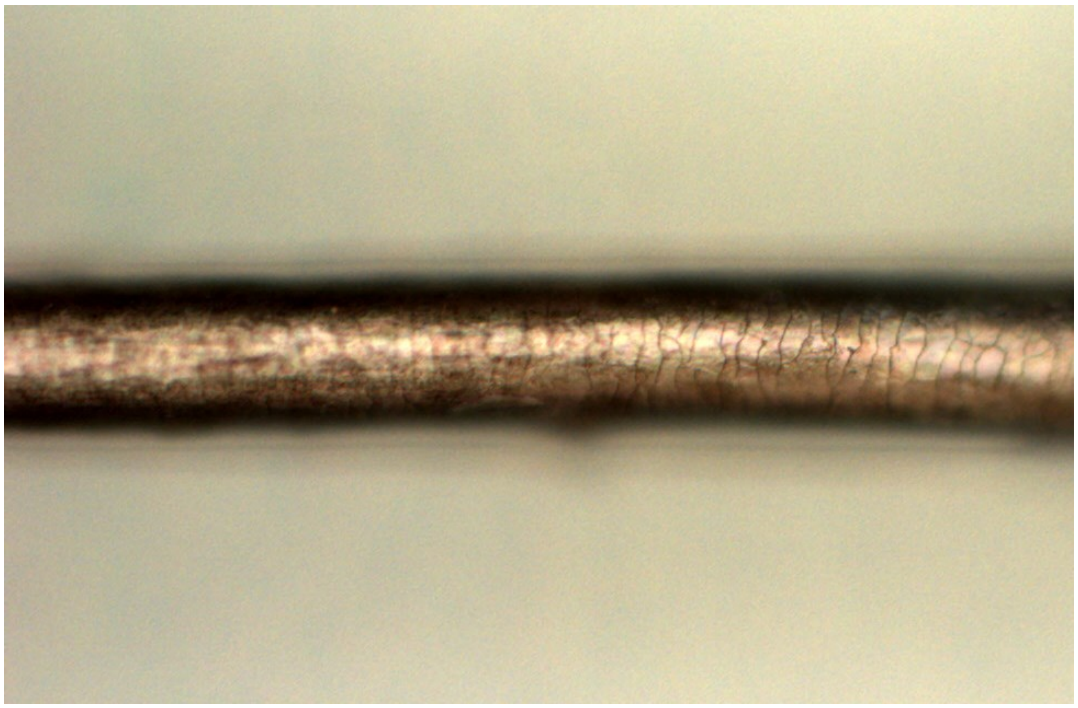
3.1.1 Optický mikroskop AXIO SCOPE.A1

Pro zjištění prvotních informací o trichologickém materiálu je optický polarizační mikroskop ideální volbou. Dá se pomocí něj zjistit barva daného trichologického materiálu, zda byl tento materiál barvený či nikoliv (zejména u vlasů), dále míra poškození povrchu, a to především u porovnávání mezi vypadnutým a vytrženým vlasem. Také lze zjistit tloušťku analyzovaného materiálu.

Pro potřeby této diplomové práce byly použity objektivy s pětinásobným a dvacetinásobným zvětšením. Pětinásobné zvětšení bylo používáno pro lokalizaci vzorku a vyhledávání zájmové části, protože je pro zjištění přesnějších informací nedostačující. Podstatně využívanějším bylo zvětšení dvacetinásobné: dává vyniknout struktuře vlasu a na jemné části lze dobře zaostřit. Objektivy s větším přiblížením použity nebyly, a to z důvodu nízké hloubky ostrosti a nutnosti použití imerzního oleje (kvůli indexu lomu), což by způsobilo kontaminaci vzorku.

Optickým mikroskopem bylo měřeno ve čtyřech základních režimech. Odražené světlo bez polarizace, odražené světlo s polarizací, průchozí světlo bez polarizace a průchozí světlo s polarizací.

Pro analýzu byly použity objektivy EC Plan-NEOFLUAR 5x a 20x a kamera AxioCam ICc1.

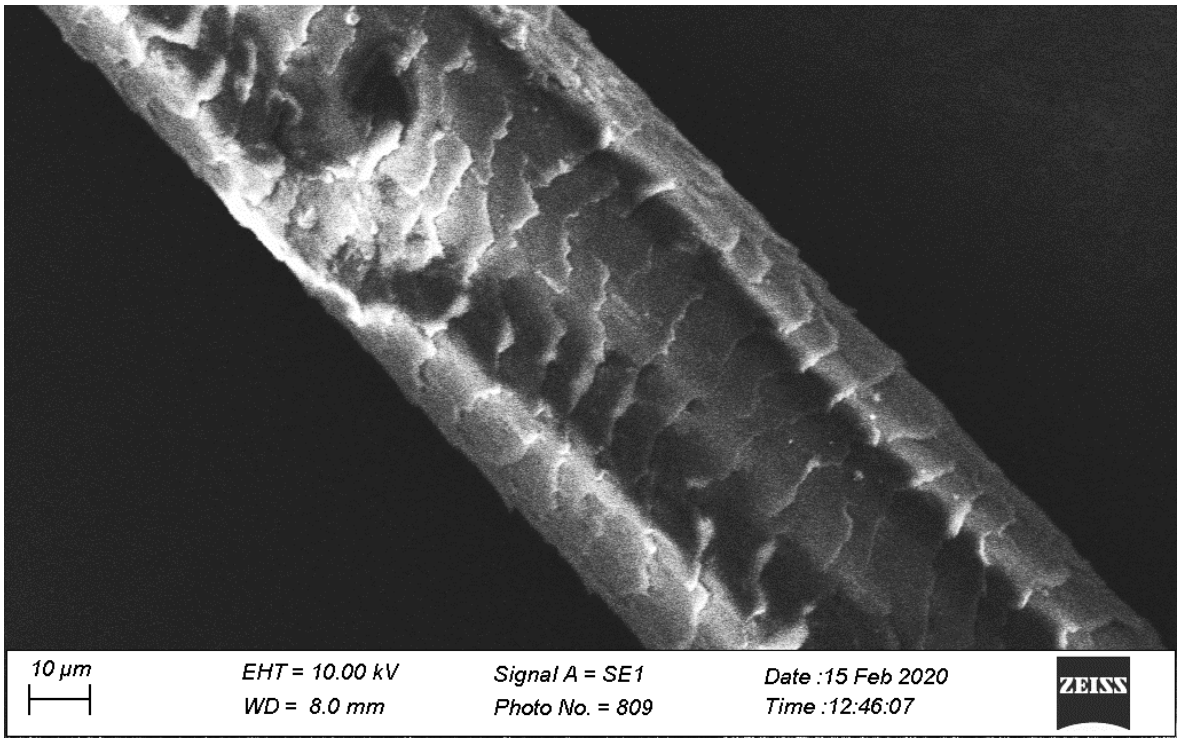


Obrázek 12 Struktura vlasu v optickém mikroskopu

3.1.2 Elektronový mikroskop ZEISS EVO 15

Elektronový mikroskop lze použít pro změření šířky nebo například pro zjištění tvaru průřezu (oválný, plochý, kulatý – pro zjištění tvaru vlasů, viz kapitola 1.3.1 – Typy vlasů), případně pro zkoumání struktury vlasu.

Co tento mikroskop však nezobrazuje, je barva vlasu, která může být v mnoha ohledech rozhodující. Asi největší nevýhodou tohoto mikroskopu je deformace zkoumaného vzorku způsobená vakuem. Ve chvíli, kdy je vzorek zkoumán, na něj dopadá velké množství urychlených elektronů, které generují různé interakční signály a kumulují se na povrchu měřeného vzorku, jelikož je nevodivý. Vakuum způsobuje var zbytkové vody přítomné ve vzorku, což vede k implozi vzorku, viz obrázek 13.



Obrázek 13 Deformace způsobená snímáním vzorku ve vakuu

3.1.2.1 Princip elektronového mikroskopu

Elektronový mikroskop funguje tak, že termoemisí wolframového vlákna se vytvoří elektrony (průchodem proudu se vlákno zahřívá a z hrany se uvolňují termoemisní elektrony), které jsou urychleny napětím směrem ke vzorku a soustavou cívek jsou vychylovány do požadovaného bodu. U vzorku je kamera a detektor. Kamera slouží pouze pro nastavení (pozicování) rotačního modulu se vzorky. Pro snímání obrazu slouží detektor sekundárních elektronů, který zachytává právě vyražené elektrony z orbitalu elektronového obalu atomu.

Obraz se vytváří v závislosti na intenzitě signálu, tedy množství zachycených elektronů. Paprsek je vychylován v rastru po vzorku (skenování), čímž se vytváří 2D obraz.

3.1.3 Výhody a nevýhody použitých typů mikroskopu

Tabulka 3 Porovnání optického a elektronového mikroskopu

Optický mikroskop		**Elektronový mikroskop**	
Výhody	**Nevýhody**	**Výhody**	**Nevýhody**
Rozpoznání struktury vlasu	Obtížné ostření z důvodu hloubky ostrosti	Velmi detailní struktura vlasu	Nelze rozpoznat barvu (černobílý obraz)
Rozpoznání barvy vlasu	Lze určit pouze vzhled vlasu	Možnost zkoumání průřezu vlasu	Deformace vzorku (imploze způsobená vakuem)
Odhalení barvených vlasů		Možnost určení, zda se jedná o kořínek či špičku vlasu	Velmi vysoká pořizovací cena
Možnost určení, zda se jedná o kořínek či špičku vlasu		Lze rozeznat tloušťku vlasu	Složitější ovládání
Vlas se zkoumáním zachová a nezničí		Lze poznat deformaci vlasu (utržení, ustřižení)	
Lze rozeznat tloušťka vlasu		Vysoká ostrost a kvalita obrazu	
Lze poznat deformaci vlasu (utržení, ustřižení)			
Relativně nízká pořizovací cena			
Jednoduché ovládání (i pro laika)			

3.2 Sběr vzorků a jejich uchování

Správné provedení sběru vzorků a jejich následného uchovávání hraje v celém procesu analýzy trichologického materiálu důležitou roli. Tato část může ovlivnit výsledky pokračující analýzy. Je potřeba, aby byly vzorky uchovávány tak, aby nedošlo k poškození nebo

znehodnocení důkazního materiálu a stejně tak by se s ním mělo nakládat i v průběhu samotného testování, pokud se nejedná o destruktivní zkoušky.

3.2.1 Sběr vzorků

V této diplomové práci jsou hodnoceny vzorky, které byly získány přímo od individuálních dobrovolníků. Nejedná se o vzorky z místa činu či vzorky spojené s trestnými činy. I přes to jsou ale veškeré vzorky anonymní (na žádost některých dárců).

Sběr probíhal zejména pomocí sociálních sítí. Na sociálních sítích byli požádáni lidé, převážně různých etnických skupin, o darování vzorků vlasů, případně vousů. Jednalo se o velké množství různorodých vzorků, zástupců následujících etnických a národnostních skupin: turecký, řecký, indický, syrský, arabsko-evropský, kolumbijský a romský. Všichni tito lidé darovali své vlasy dobrovolně a byli seznámeni s průběhem a účelem výzkumu, ke kterému měl být jejich vzorek použit.

Dále byla pro tuto diplomovou práci zapůjčena sada svítilen o různých vlnových délkách pro vyhledávání stop na místech trestného činu Sirchie megaMAXX III, viz obrázek 14.

Obrázek 14 Sada svítilen Sirchie megaMAXX III

Jedná se o sadu, která obsahuje svítilny s vlnovými délkami: 395nm (UV), 455nm, 470nm, 505nm, 530nm, 590nm, 625nm a bílé světlo. Při používání svítilen je třeba chránit se brýlemi, v tomto případě jsou v sadě brýle čiré, žluté, oranžové a červené.

Aby svítilny správně fungovaly, musí se zkombinovat vlnová délka s konkrétní barvou brýlí. Při správné kombinaci pak mohou svítilny ozřejmit stopy, které nejsou viditelné běžným okem v normálním světle. Používané kombinace jsou ukázány v následující Tabulce 4.

Tabulka 4 Kombinace svítilen o různých vlnových délkách s různými brýlemi [18]

POUŽITÍ	**SVĚTLO**	**BARIÉROVÝ FILTR (BRÝLE)**
Tělní tekutiny, sperma	395nm (UV), 455nm	Čirý, oranžový, žlutý
Úlomky kostí	395nm (UV), 455nm	Čirý, oranžový
Krevní stopy	395nm (UV)	Čirý
Mastné stopy (tuk, olej)	455nm	Žlutý
Otisky vyvolané kyanoakrylátem se základní žlutí	395nm (UV), 455nm	Oranžový, žlutý
Otisky vyvolané kyanoakrylátem s Rodaminem 6G	505nm, 530nm	Červený, oranžový
Otisky vyvolané DFO (prášek pro vyvolání otisků)	455nm, 505nm	Červený, oranžový
Trasologické otisky na modrém nebo zeleném pozadí	595nm	Červený, oranžový
Luminol, některé trasologické otisky	625nm	Bez filtru, červený

Nejlepší metodou k vyhledávání vzorků osobou bez předchozích zkušeností se ukázala být metoda vizuální, tj. bez použití světelného zdroje o různých vlnových délkách. Použití takových světelných zdrojů vyžaduje praxi a speciální podmínky, které se při výzkumu pro účely této práce nepodařilo napodobit.

3.2.2 Uchovávání vzorků

Po doručení vzorků byly vzorky roztříděny a rozděleny do očíslovaných vzorkovacích sáčků, vzduchotěsně uzavíratelných, viz obrázek 15. Dále byl vytvořen soubor, který přiřazuje k jednotlivým očíslovaným sáčkům základní informace o původu vzorku, tedy pohlaví, orientační věk, popis vlasu (barva, délka, tvar, barvení) a etnický původ majitele vlasu.

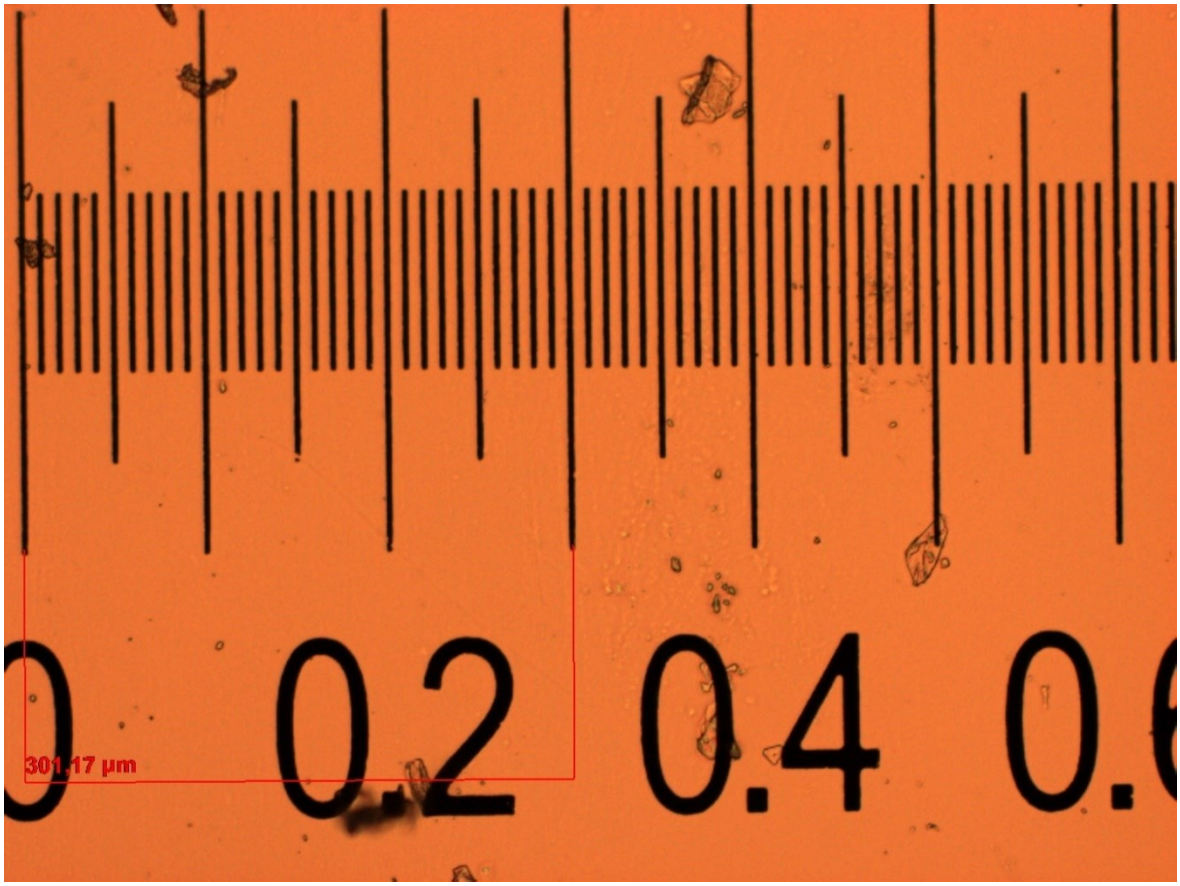
Obrázek 15 Sáček na uchovávání vzorků

3.3 Analýza pomocí mikroskopů

Při analýze pomocí mikroskopů byl použit následující postup: nejprve byly změřeny vzorky s českým původem, kde nebyly zjištěny téměř žádné rozdíly. Z tohoto důvodu následovala analýza vzorků různých etnických původů, které byly následně porovnány se vzorky původu českého.

3.3.1 Analýza optickým mikroskopem

Pro analýzu s využitím optického mikroskopu bylo nejprve potřeba provést kalibraci zobrazení pomocí kamery připojené k přístroji. To bylo provedeno za pomoci objektivového mikrometru se stupnicí o rozsahu 1 mm s krokem 1 μm.



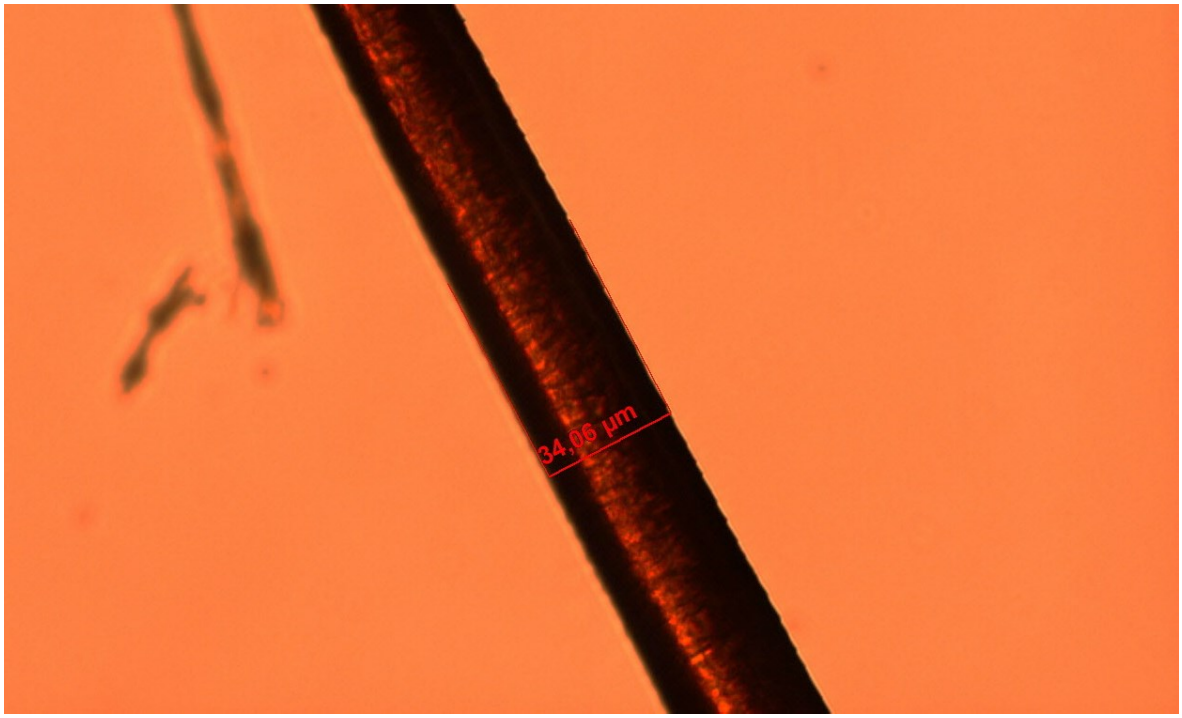
Obrázek 16 Ověření správnosti měření šířky

Po kalibraci bylo možné provést analýzu vzorku. Zkoumaný materiál byl vložen na podložní sklíčko (dále jen sklíčko) a to se následně umístilo do mikroskopu. Pro nalezení vzorku byl použit objektiv s pětinásobným zvětšením. Pro následnou analýzu byl použit objektiv s dvacetinásobným zvětšením.

Celkem bylo posbíráno 20 vzorků vlasů. Zkoumáním těchto vzorků bylo zjištěno, že největší rozdíly jsou v tloušťce a zbarvení vlasu.

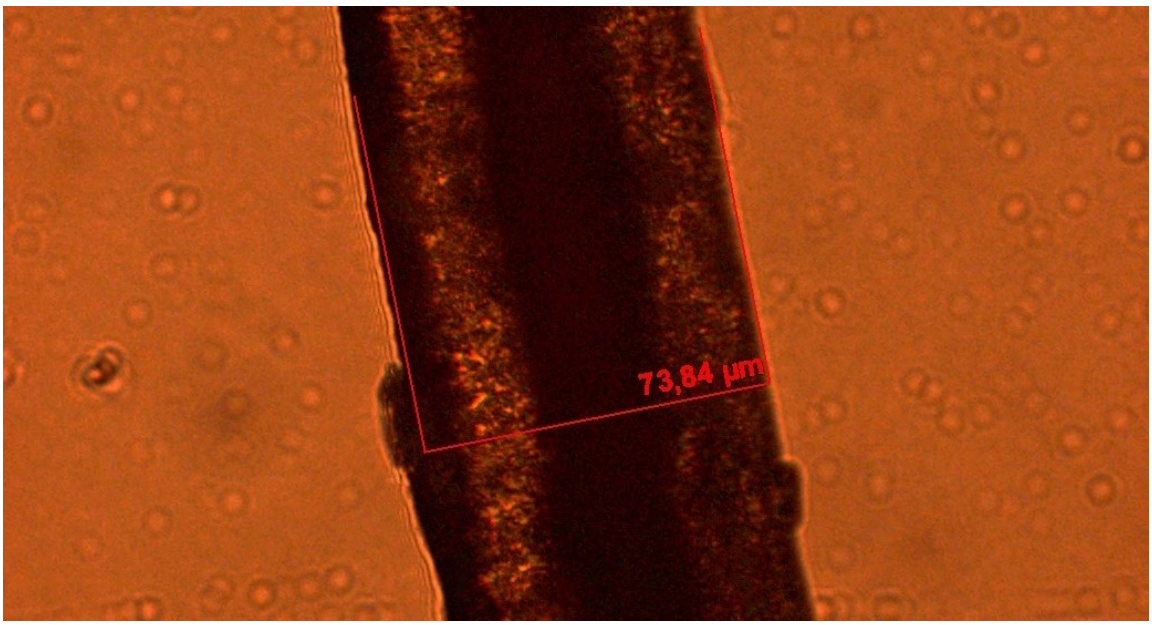
3.3.1.1 Tloušťka vlasu

Tloušťka vlasu byla měřena v procházejícím světle bez polarizace. Byly měřeny jen některé vzorky, zejména pro zjištění rozdílů v tloušťce mezi etnickými skupinami. Z tohoto důvodu byly vybrány vzorky číslo 1, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18 a 19. Jedná se vzorky s původem Česká republika (vzorek číslo 1), Sýrie (vzorek číslo 11), Turecko (vzorek číslo 13 a 14), Řecko (vzorek číslo 15), arabsko-evropský (vzorek číslo 16), Indie (vzorek číslo 17), Kolumbie (vzorek číslo 18) a původ romský (vzorek číslo 19).



Obrázek 17 Vzorek číslo 1 – tloušťka

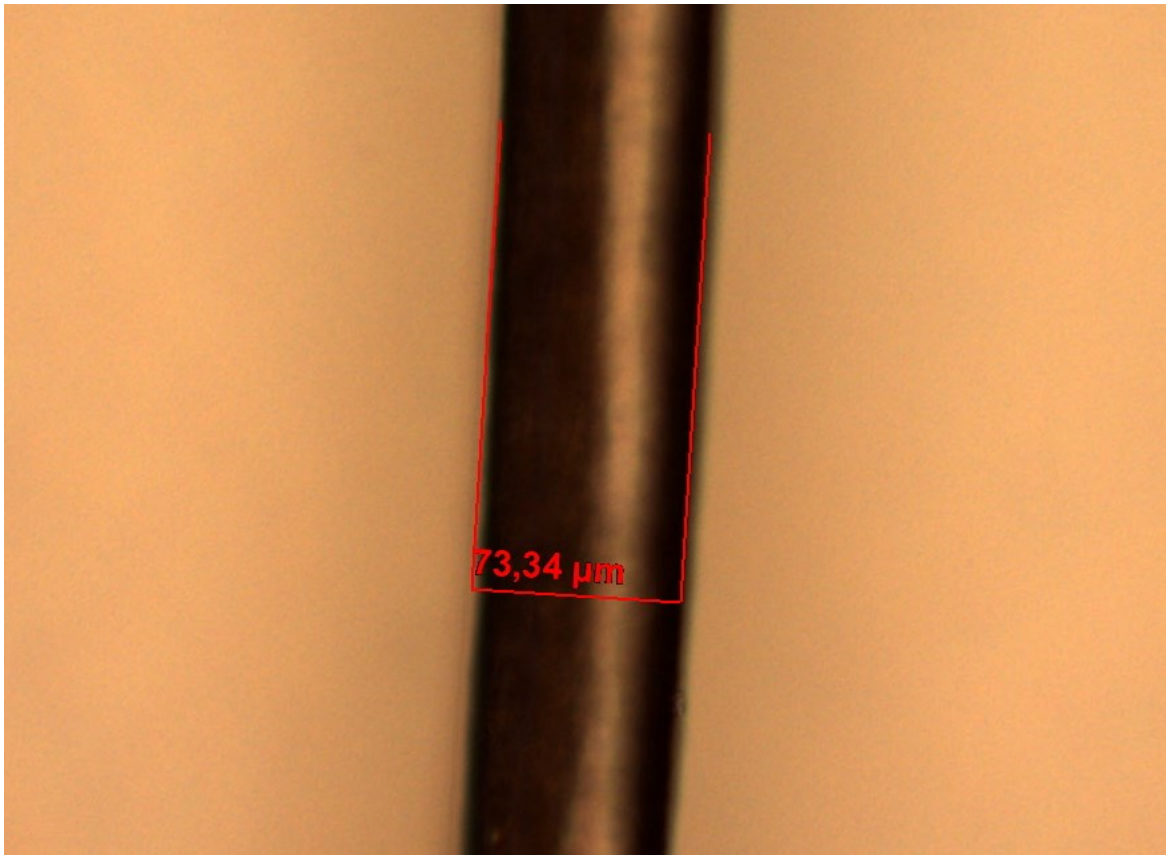
Vzorek číslo 1 je vlas ženy ve věku 30 let s českým původem. Jedná se o vlas tmavý až černý. Při porovnání tloušťky měřeného vlasu s průměrnou hodnotou tloušťky lidského vlasu (42 – 95 µm) je tento vzorek se svou tloušťkou 34,1 µm pod tímto průměrem. K podobnému zjištění se došlo i u dalších vlasů českého původu, které nepřekročily hodnotou tloušťky 40 µm. Naměřené hodnoty tloušťky těchto vzorků byly 40 µm, 28,2 µm, 23,8 µm, 28,9 µm,



Obrázek 18 Vzorek číslo 4 – tloušťka

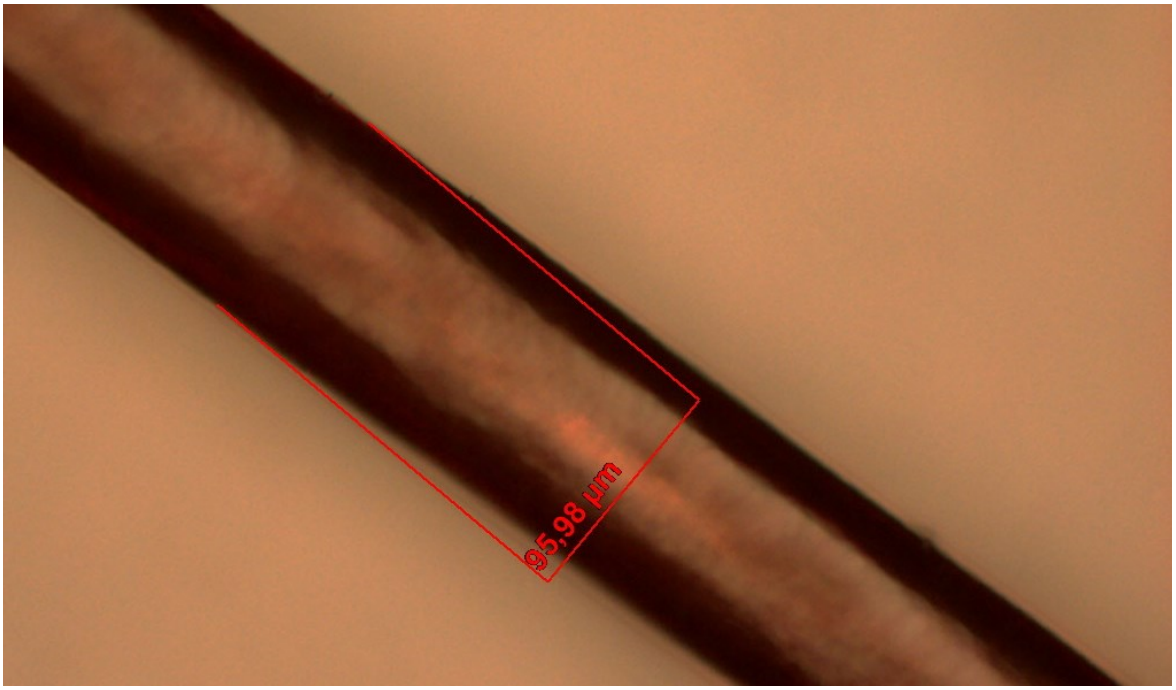
Vzorek číslo 4 má výrazně větší tloušťku, protože se jedná o vzorek vousu. U vousu je typickým poznávacím znakem zejména jeho šířka, která je v porovnání s vlasy stejné osoby téměř dvojnásobná.

Další měření obsahovalo vzorky vlasů různých etnických skupin. Při tomto měření se došlo ke zjištění, že se tloušťka vlasů v jednotlivých skupinách liší.



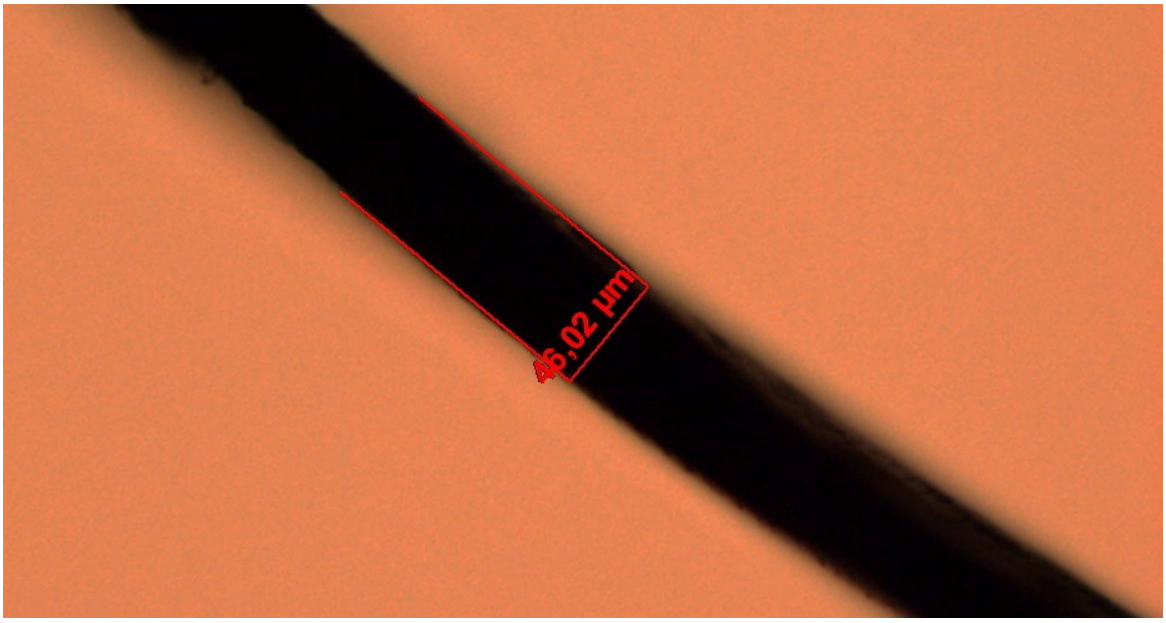
Obrázek 19 Vzorek číslo 11 – tloušťka

Vzorek číslo 11 je vlas muže ve věku 25–30 let s původem ze Sýrie. Jedná se o vlas hnědý. Tloušťka vlasu syrského původu je 73,3 µm, podobá se tak tímto parametrem spíše vzorku vousu s českým původem než vlasu.



Obrázek 20 Vzorek číslo 15 – tloušťka

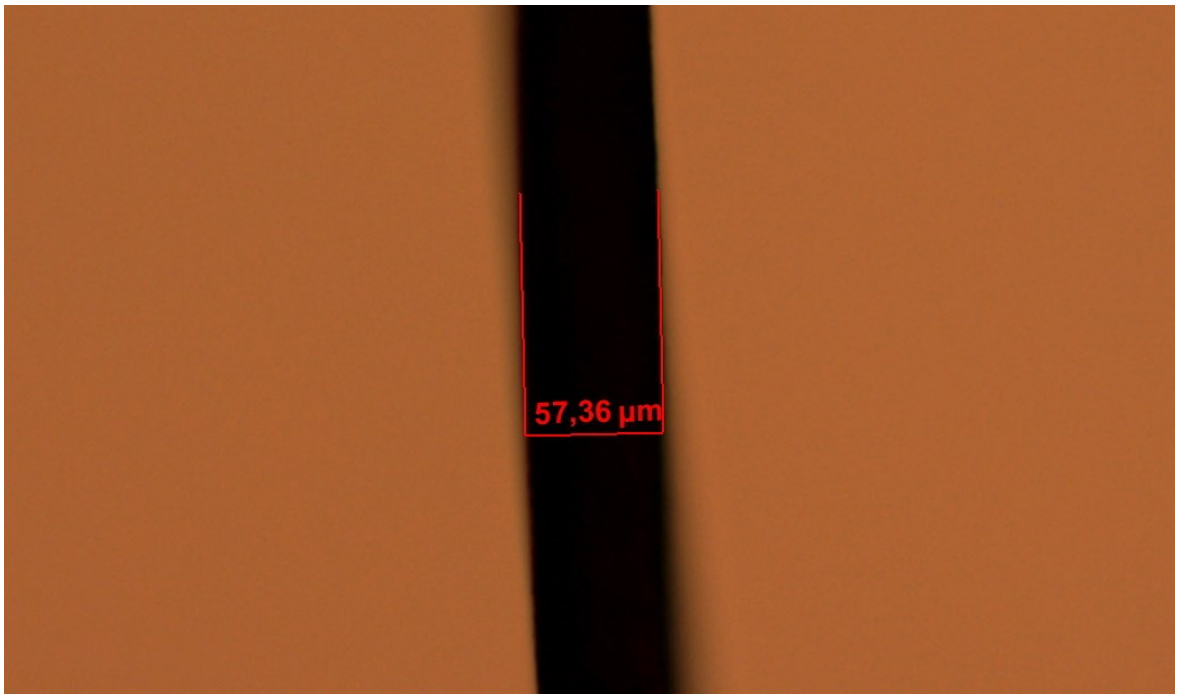
Vzorek číslo 15 je vlas ženy ve věku cca 35 let s řeckým původem. Jedná se o vlasy hnědé a barvené tmavě červeně. Tloušťka tohoto vzorku je 96 µm, což zasahuje mírně nad průměr. Jedná se o druhou nejvyšší hodnotu tloušťky vlasu ze všech zkoumaných vzorků.



Obrázek 21 Vzorek číslo 16 – tloušťka

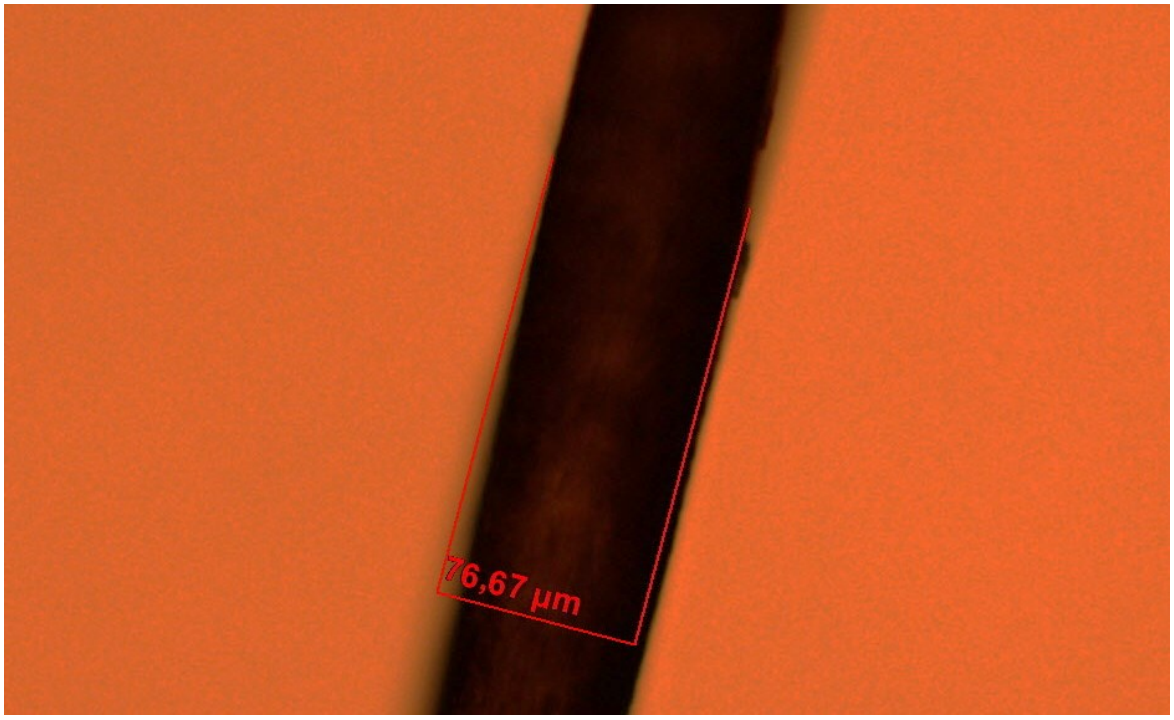
Vzorek číslo 16 je vlas ženy ve věku 25 let s původem arabsko-evropským. Jedná se o tmavě hnědé vlasy. Do tohoto vlasu je viditelně vepsán evropský původ, protože arabské

vlasy jsou podobně jako turecké velice široké, kdežto tento vlas má tloušťku pouhých 46 µm, což není typické skupiny vlasů arabského původu.



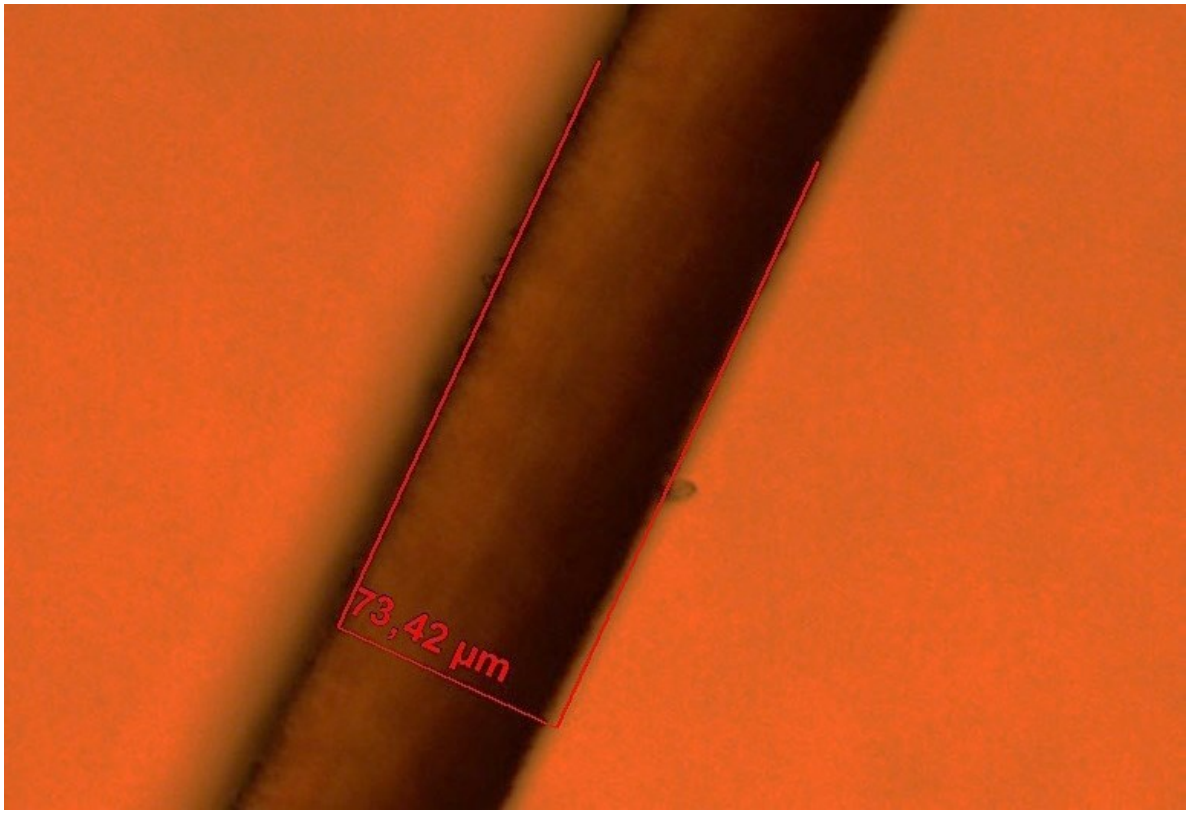
Obrázek 22 Vzorek číslo 17 – tloušťka

Vzorek číslo 17 je vlas muže ve věku cca 30–40 let s indickým původem. Jedná se o vlasy černé. Šířka tohoto vlasu je 57,4 µm.



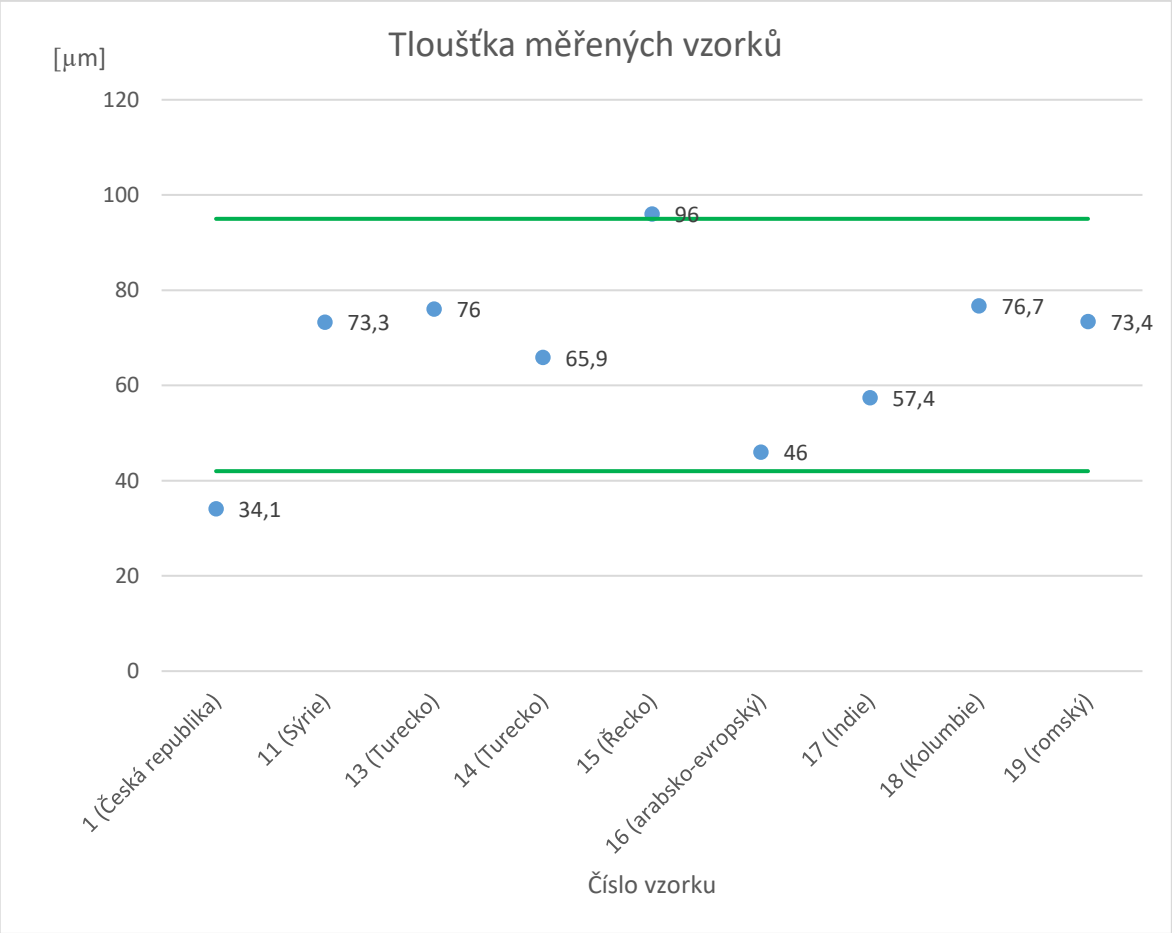
Obrázek 23 Vzorek číslo 18 – tloušťka

Vzorek číslo 18 je vlas muže ve věku 30–40 let s kolumbijským původem. Jedná se o vlasy tmavě hnědé. Tento vlas je svou tloušťkou 76,7 µm velice podobný vzorku číslo 11, který je původem ze Sýrie.



Obrázek 24 Vzorek číslo 19 – tloušťka

Vzorek číslo 19 je vlas ženy ve věku 25–30 let s romským původem. Jedná se o vlasy hnědé. Romský vlas se liší od těch českých především svou dvojnásobnou šířkou, která je 73,4 µm. Je tedy velmi podobný jak vlasům původem ze Sýrie, tak těm s původem kolumbijským.



Obrázek 25 Graf tloušťky měřených vzorků

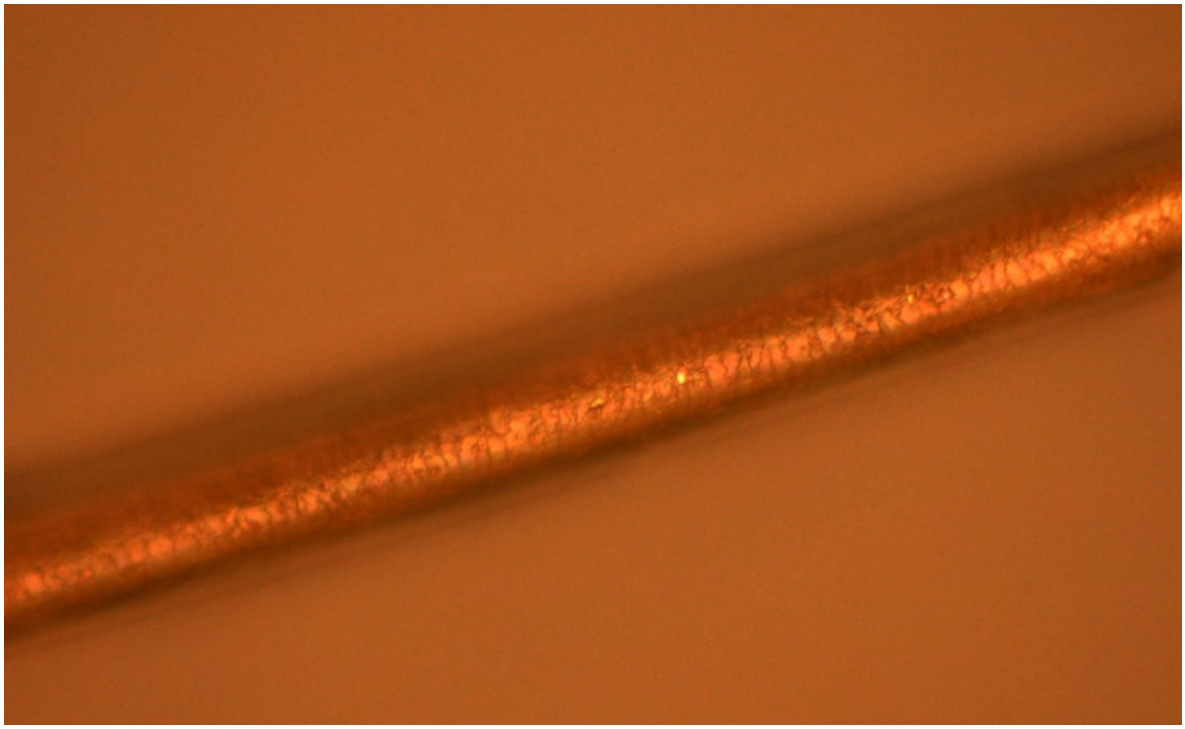
Z grafu vyplývá, že ze všech měřených vzorků jsou vzorky s českým původem těmi s nejmenší tloušťkou vlasu. Ostatní vzorky se pohybují buď v rozmezí průměrné tloušťky vlasu, nebo dokonce tuto hranici překračují. Aby bylo možné výsledky této analýzy generalizovat, musela by být zpracována důkladná statistika tloušťky vlasu podle etnického původu.

3.3.1.2 Barva vlasu

Analýzou barvy lidského vlasu lze rozeznat nejen to, jakou má vlas barvu, ale i skutečnost, zda byl barven či nikoliv.

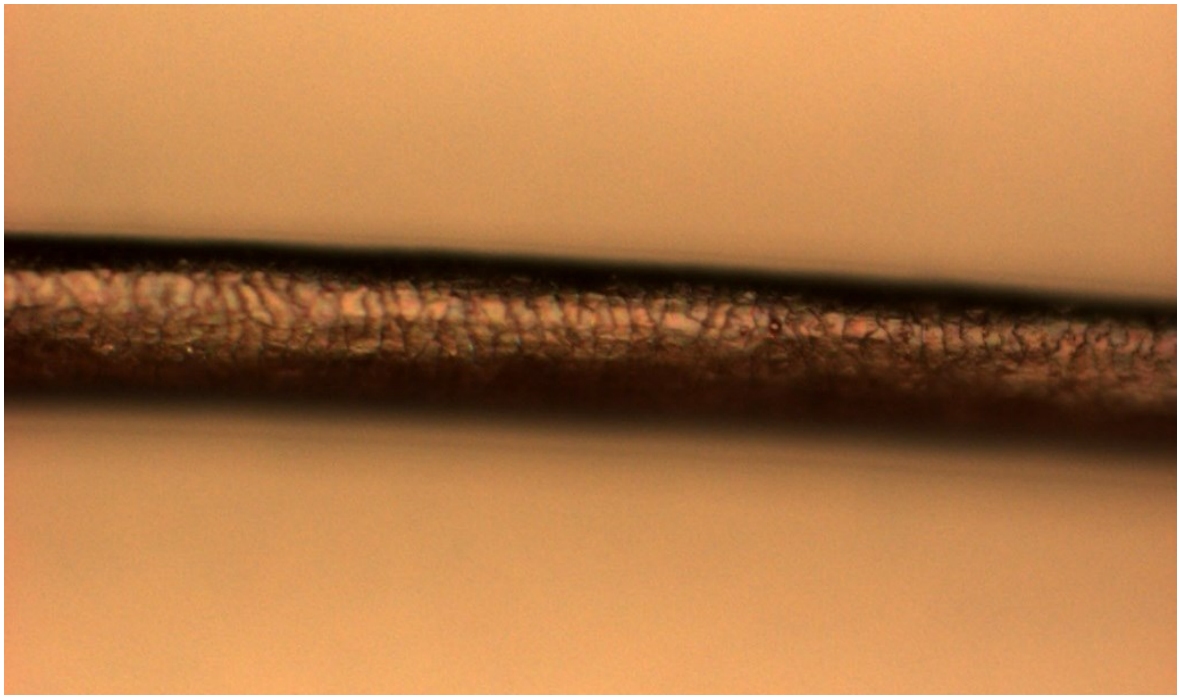
Pro zjištění barvy vlasu je potřeba použít odražené světlo bez polarizace. V takovém případě bude obraz zkoumaného vzorku zobrazen v reálných barvách.

Pro zjištění, zda se jedná o barvený vlas, musí být použito odražené světlo s polarizací. Při polarizaci vynikne barva vlasu a v případě, že byl vlas barvený, bude barva vlasu velmi výrazná.



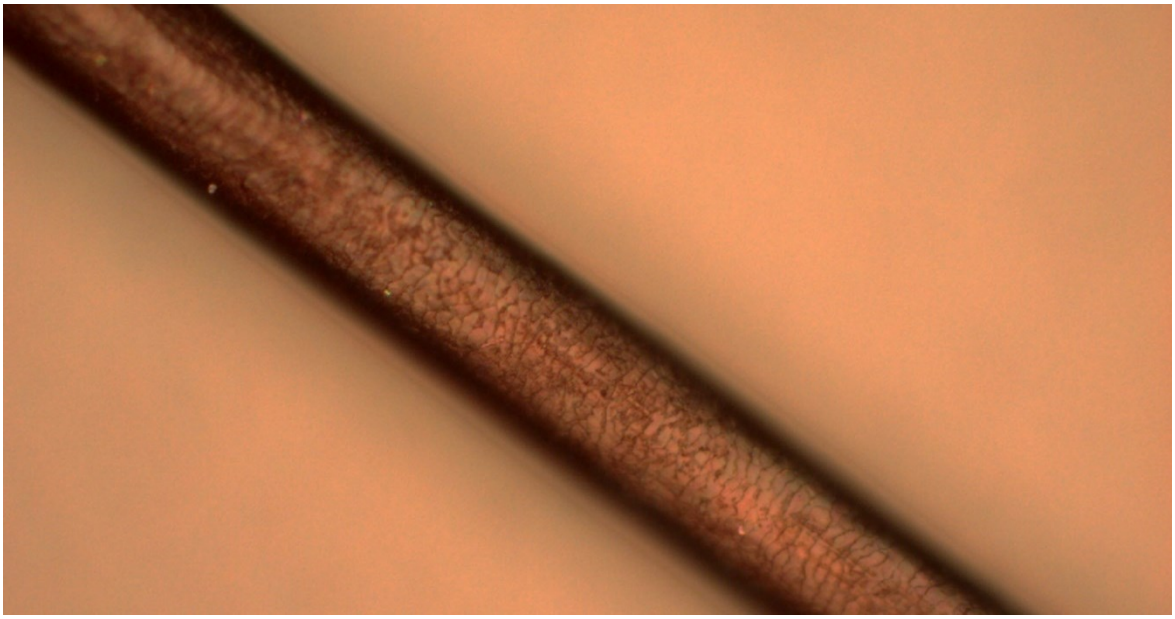
Obrázek 26 Vzorek číslo 7 – barva

Vzorek číslo 7 je vlas ženy ve věku 25 let. Jedná se o vlasy dlouhé, rovné a blonďaté. Na tomto snímku vynikla zlatá barva s mírnou příměsí hnědé, což odpovídá reálné barvě vlasů, které mají barvu „špinavá blond“.



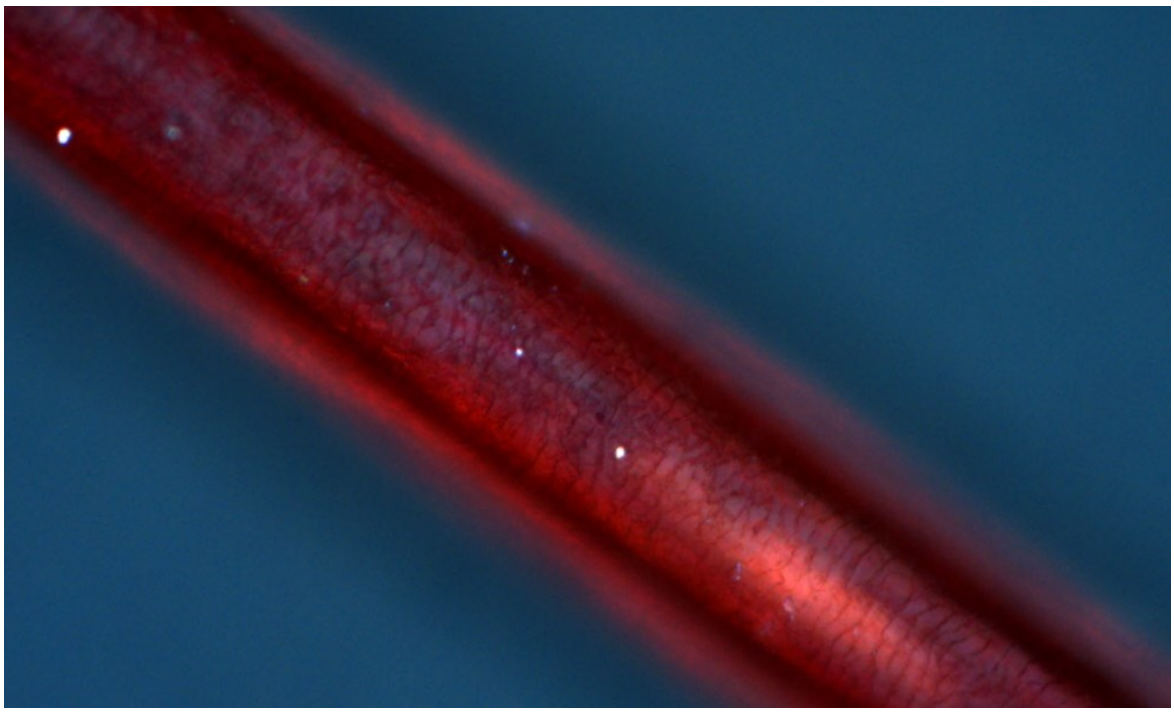
Obrázek 27 Vzorek číslo 11 – barva

Vzorek číslo 11 je již zmiňovaný muž ve věku 25–30 let ze Sýrie. Jeho vlasy jsou krátké, rovné a tmavé, ne však černé. Na snímku je vidět přesná barva vlasu, která odpovídá skutečné barvě vlasů muže.



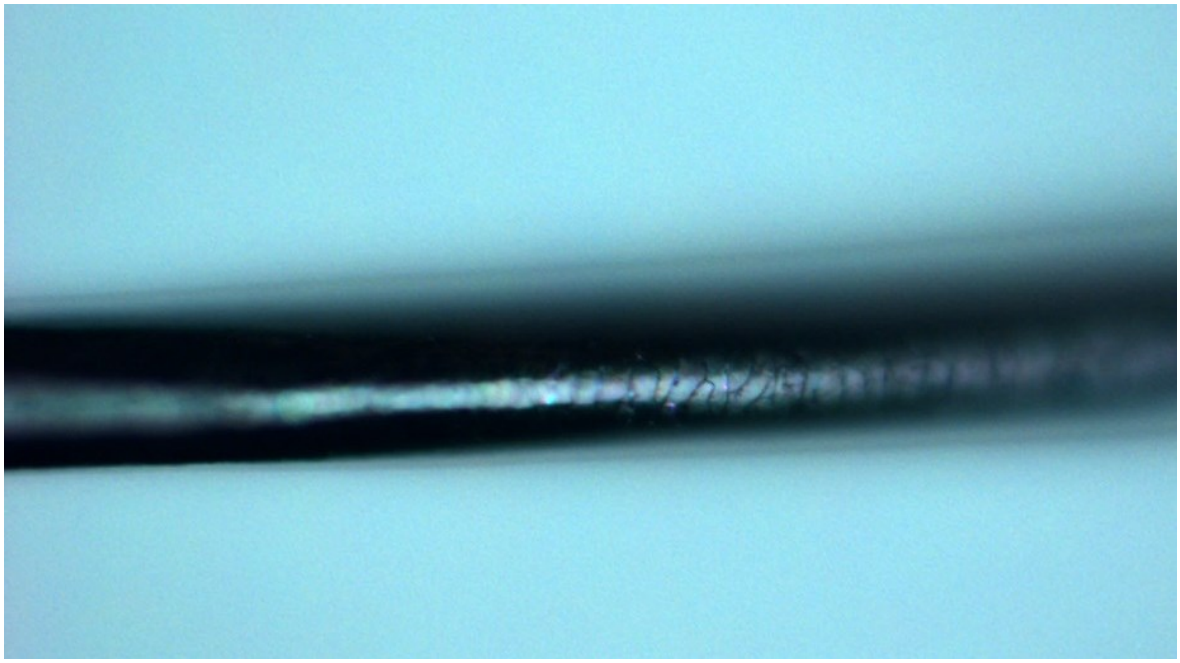
Obrázek 28 Vzorek číslo 15 – barva

Vzorek číslo 15 je vlas ženy z Řecka. V jejím případě se jedná o vlasy dlouhé, mírně vlnité a barvené na tmavě červenou. Její přírodní barva je hnědá, což je vidět pod mikroskopem při odraženém světle bez polarizace, viz obrázek 28.



Obrázek 29 Vzorek číslo 15 – barva (polarizace)

Při zkoumání stejného vzorku při odraženém světle s polarizací je vidět, že je vlas zbarven do červena, viz obrázek 29. Kdyby se jednalo o přirozenou barvu vlasu, byla by mimo jiné viditelná pod mikroskopem při odraženém světle bez polarizace. Takto se dá tedy usuzovat, že se jedná o vlas barvený.

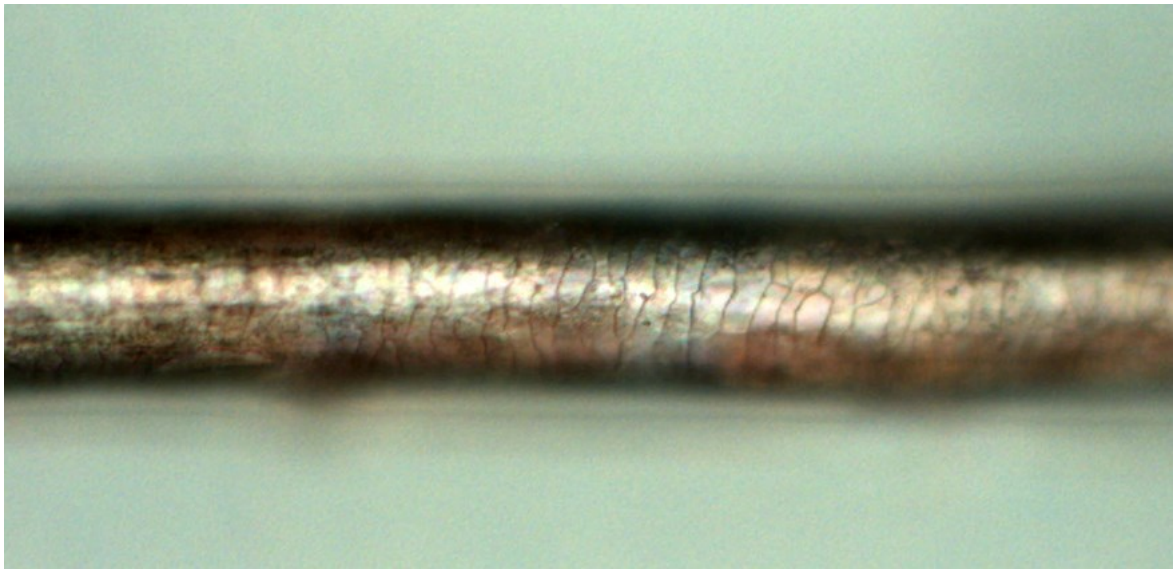


Obrázek 30 Vzorek číslo 17 – polarizace

Na vzorku číslo 17 je vidět rozdíl oproti barveným vlasům. Na vzorku číslo byla při polarizaci velmi zřetelně vidět červená barva barveného vlasu. Na vzorku číslo 17 je barva tmavá a stejnoměrná po celém vzorku a je stejná, jako reálná barva příslušného dobrovolníka.

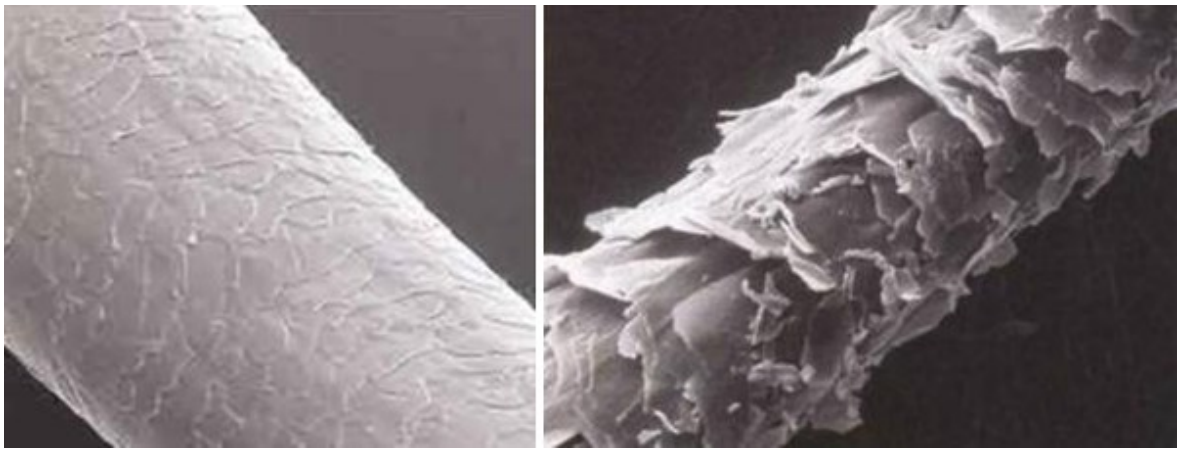
3.3.1.3 Struktura vlasu

Vlas je na svém povrchu typicky tvořen šupinkami, které se překrývají a tvoří typickou šupinovitou strukturu. Tato struktura je pod optickým mikroskopem vidět velmi ostře. Tato struktura se mezi lidmi příliš neliší, tudíž se její porovnávání ve forenzní praxi nepoužívá.



Obrázek 31 Vzorek číslo 14 – struktura

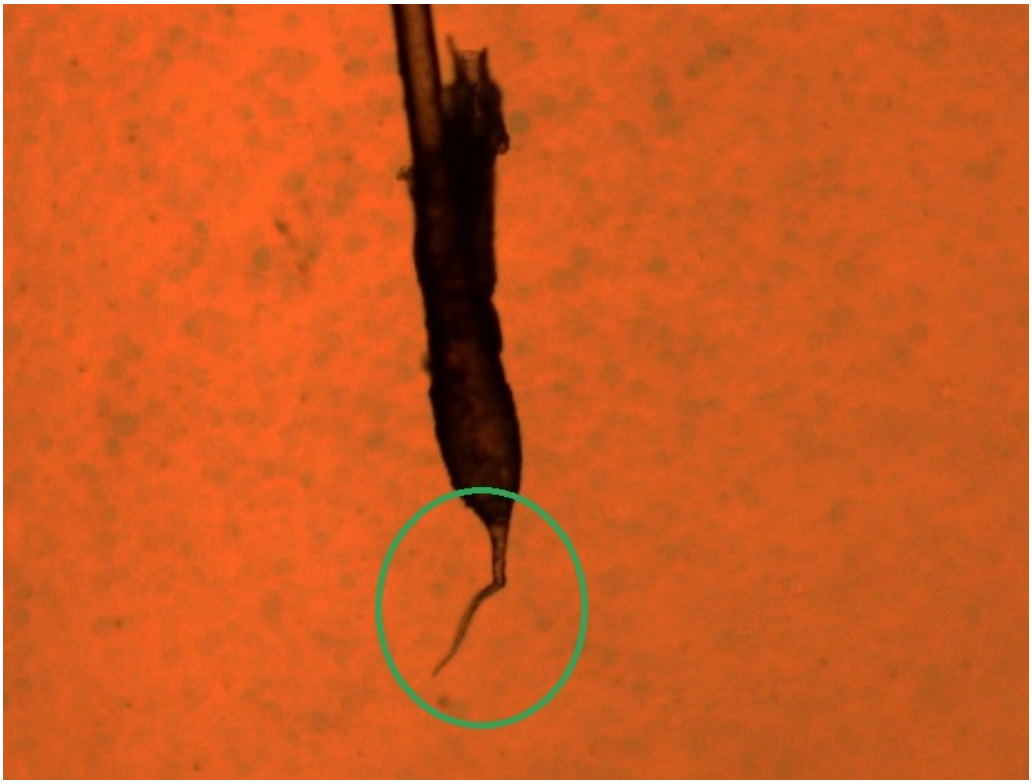
Na vzorku 14 je vidět šupinatá struktura vlasu. Struktura je velice souměrná a šupiny jsou velmi těsně přilehlé, což značí zdravý vlas. V případě poškozeného vlasu jsou rozšířené mezery mezi šupinami, případně jsou některé šupiny odchlíplé.



Obrázek 32 Porovnání zdravého (vlevo) a poškozeného (vpravo) vlasu [20]

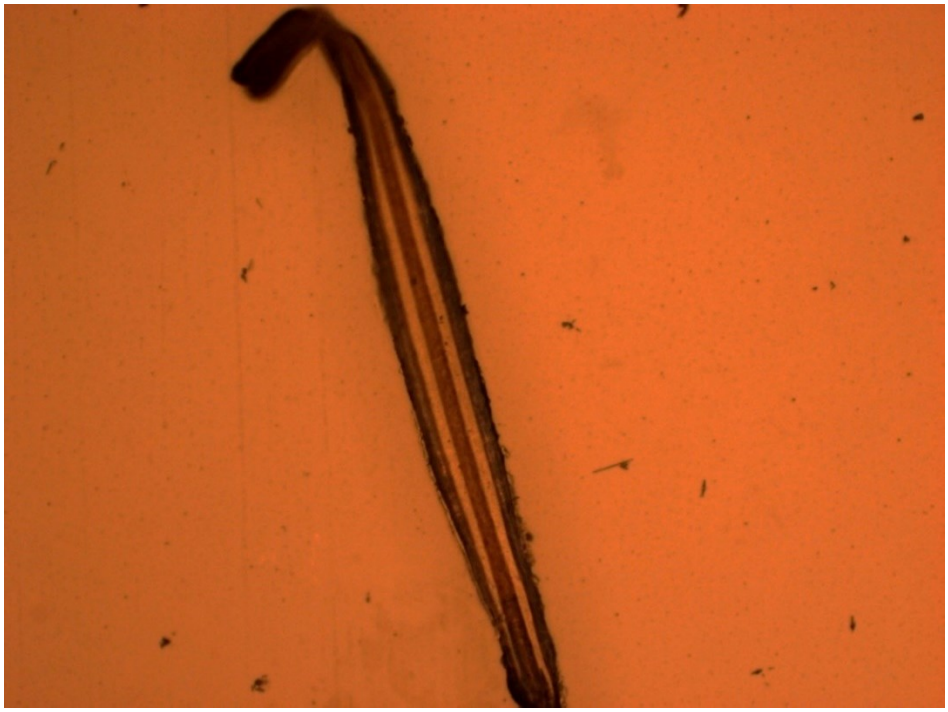
3.3.1.4 Rozpoznání části vlasu

Pomocí optického mikroskopu lze určit, zda se u zkoumaného vzorku jedná o kořínek, či konec vlasu nebo zda se jedná o vlas ustřižený, či utržený.



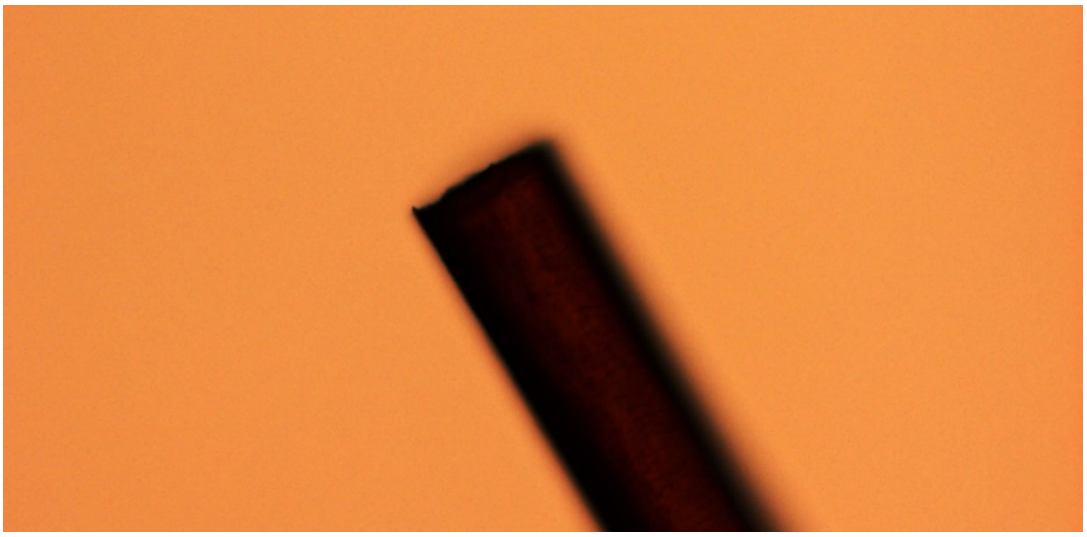
Obrázek 33 Vzorek číslo 14 – kořínek s vyznačenou inaktivní dermální papilou

Na obrázku číslo 33 je kořínek vzorku číslo 14. Jedná se o vlas ve stádiu katagen, protože ve spodní části je vidět inaktivní dermální papila, což je charakteristické pro tuto fázi růstu vlasu.



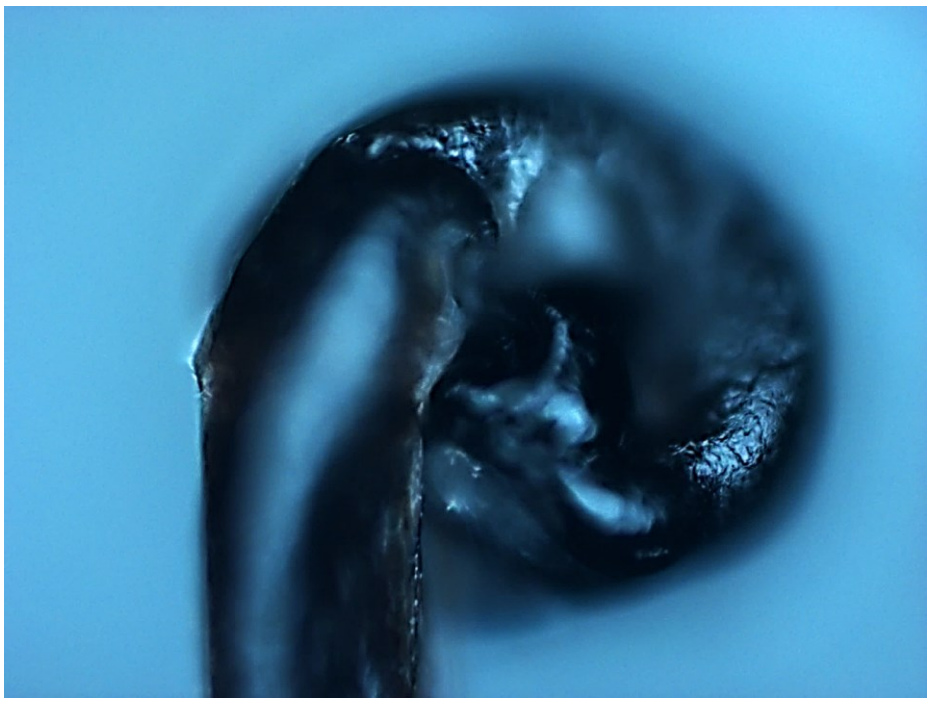
Obrázek 34 Vzorek číslo 10 – kořínek

Na obrázku číslo 34 je vzorek vlasu s kompletním kořínkem. V tomto případě je kořínek ve stádiu anagen, kdy je kořínek včetně celé zevní kořenové pochvy. V tomto případě se dá s jistotou říci, že se jedná o vlas vytržený. Vypadnutý vlas již nemá zevní kořenovou pochvu, tedy v místě kořínku se nachází jen malý kulatý útvar, což je vlasová cibulka.



Obrázek 35 Vzorek číslo 15 – ustřižený konec

Vzorek číslo 15 je ustřižený vlas. Ustřižený vlas je charakteristický tím, že má ostré hrany a nemá zaoblený konec. Konec každého vlasu se zužuje do špičky, což znamená, že pokud to takto není, není vlas kompletní.



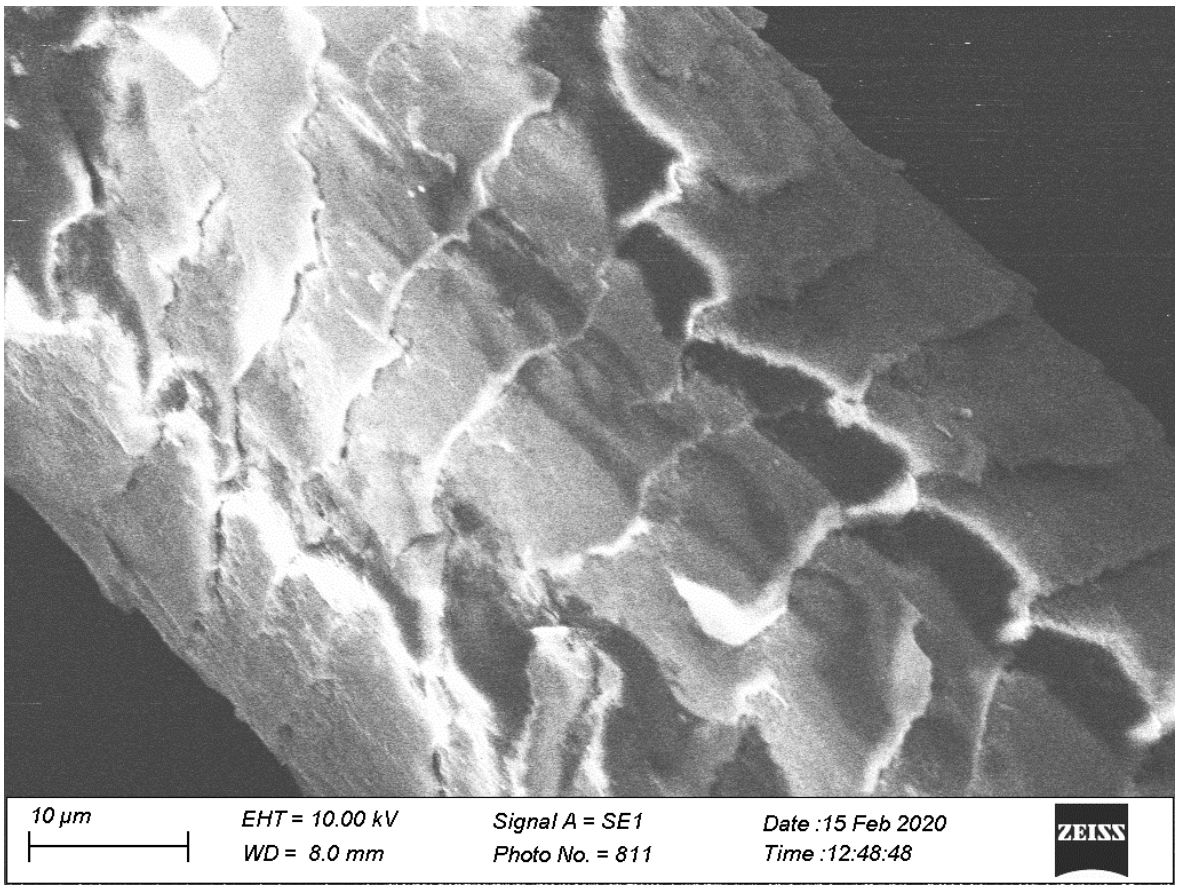
Obrázek 36 Vzorek číslo 13 – kořínek

Na obrázku číslo 36 je vzorek číslo 13. Jedná se o kořínek, který je zatočený. Zatočení kořínku svědčí o tom, že byl kořínek vytržený, tentokrát se na něm ale nezůstala uchycena zevní kořenová pochva.

3.3.2 Analýza elektronovým mikroskopem

Pro analýzu lidských vlasů elektronovým mikroskopem je potřeba delšího procesu přípravy než u optického mikroskopu. Vzorky se musí umístit na lepicí uhlíkovou podložku, která je připevněna k osmimístnému rotačnímu modulu. Celý tento modul se následně vloží do elektronového mikroskopu, který se uzavře a je z něj odsán vzduch na hodnotu pracovního vakua, která je 10^{-3} Pa. Následně je možné celý modul natočit do požadované polohy. Po nastavení správné polohy se začne snímat hodnota signálu způsobená interakcemi mezi primárním svazkem elektronů a vzorkem.

3.3.2.1 Struktura vlasu

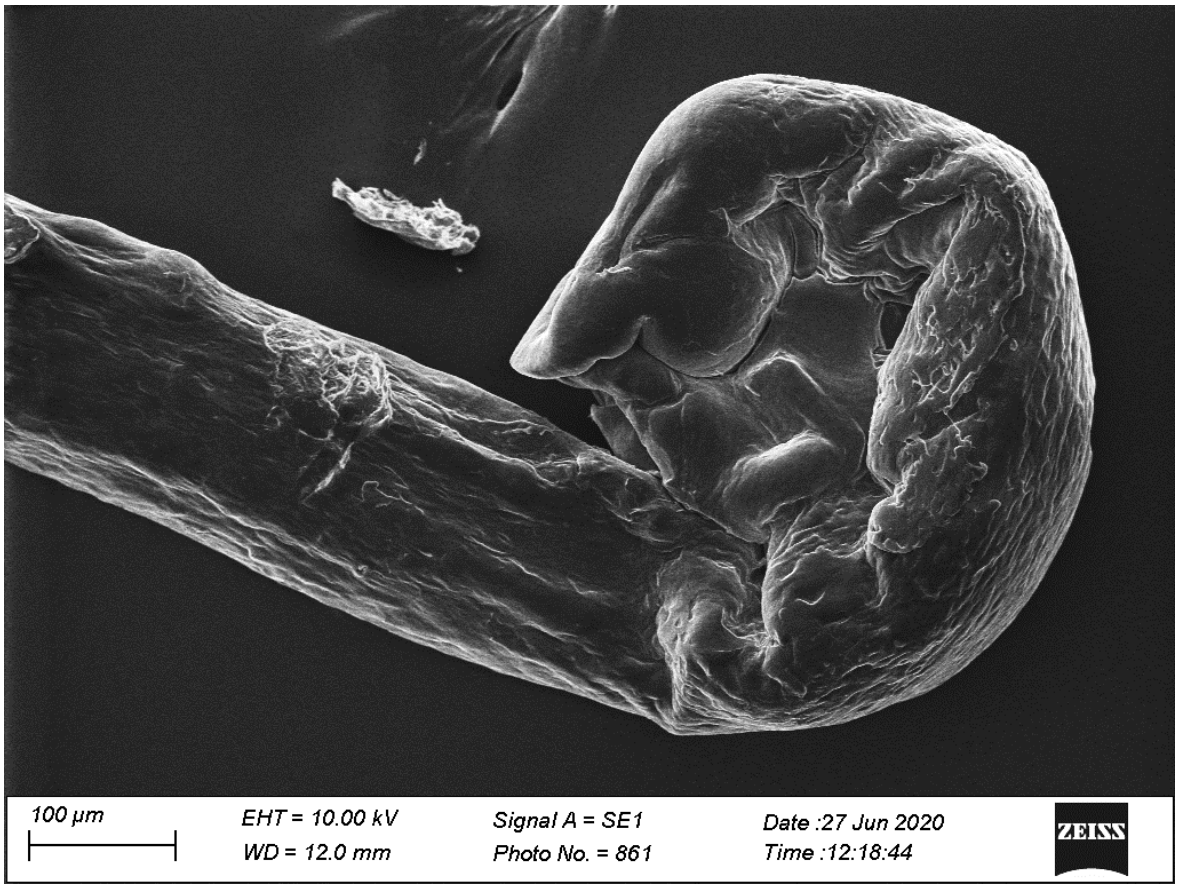


Obrázek 37 Vzorek číslo 1 – struktura vlasu

Na obrázku číslo 37 je detailně viditelná šupinatá struktura vlasu, kdy na sebe těsně přilehají šupinky na povrchu vlasu. Dále je vidět velká nevýhoda elektronového mikroskopu, a

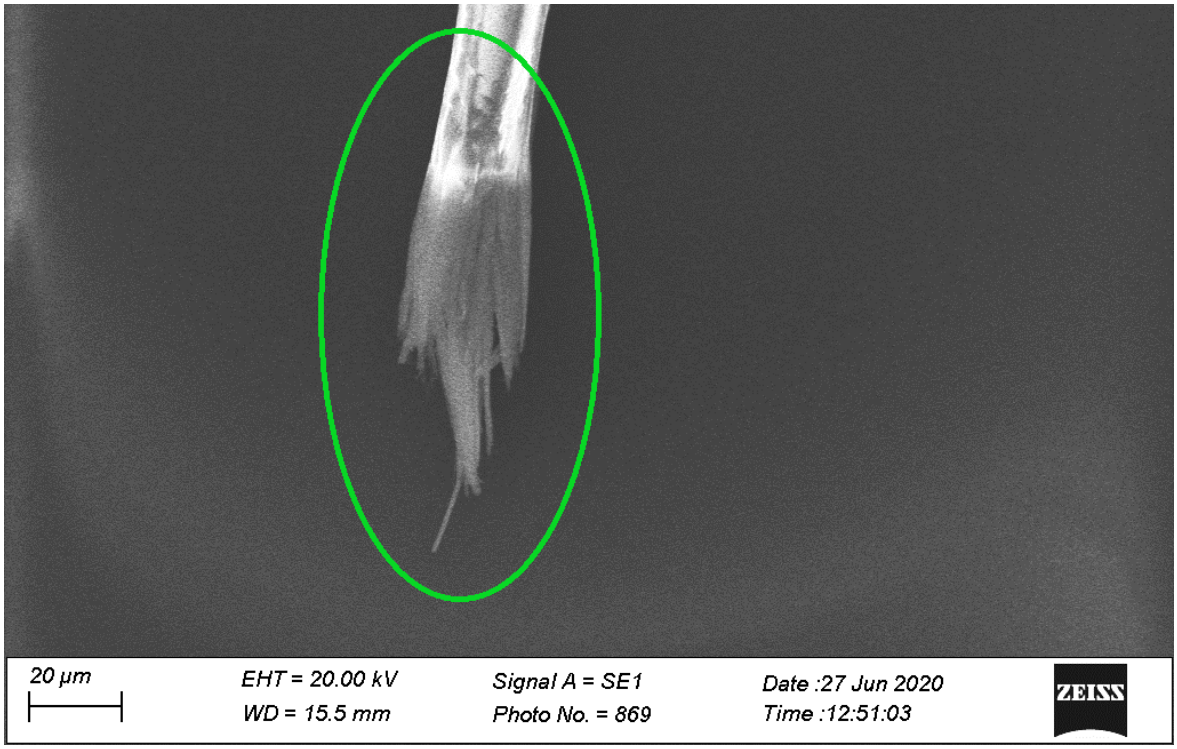
to imploze vlasu, kdy je střed vlasu propadlý, protože vakuum v elektronovém mikroskopu způsobuje var vody, kterou vlas obsahuje, a tím se voda z vlasu vypaří a způsobí implozi.

3.3.2.2 Rozpoznání části vlasu



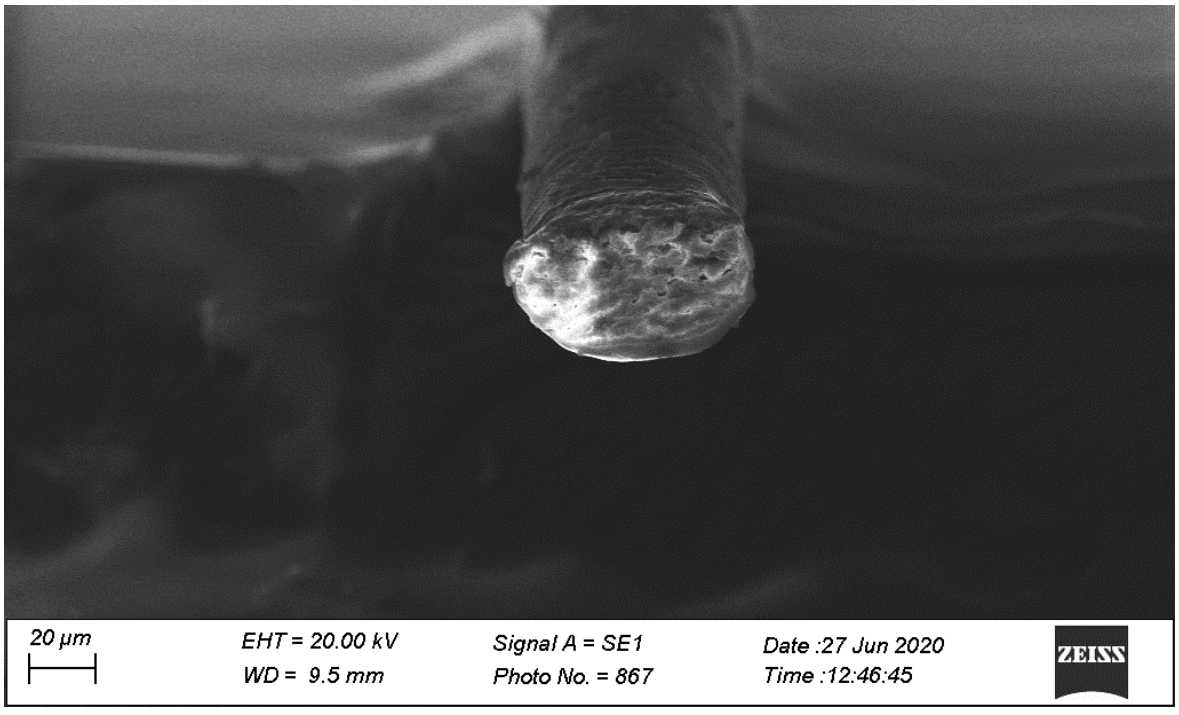
Obrázek 38 Vzorek číslo 13 – kořínek vlasu

Podobně jako u optického mikroskopu, u elektronového mikroskopu je možné určit, o jakou část zkoumaného vlasu se jedná. Na obrázku číslo 38 je opět zobrazen kořínek vzorku číslo 13. Kořínek se příliš nepropadal, s největší pravděpodobností z důvodu nižšího obsahu vody.



Obrázek 39 Vzorek číslo 18 – přetržený vlas

Obrázek číslo 39 je přetržený vzorek číslo 18. U přetrženého vlasu jsou vidět vlasové nitě, což značí silové napětí, které způsobilo přetrhnutí.

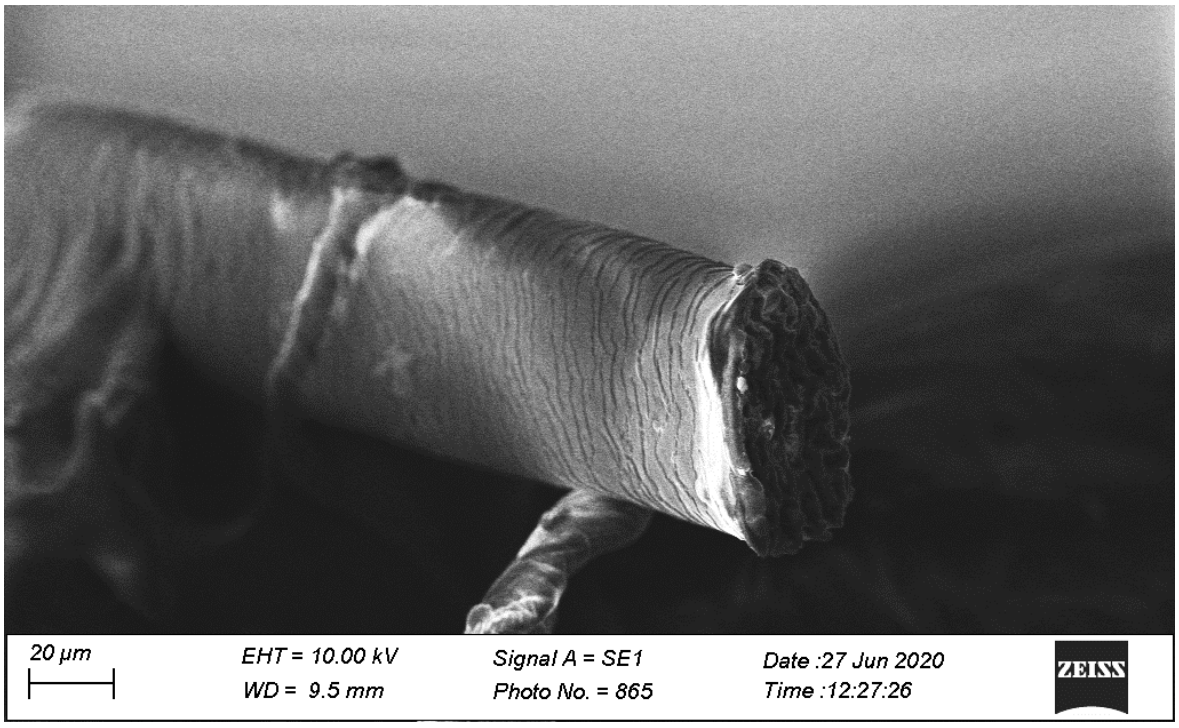


Obrázek 40 Vzorek číslo 17 – ustřihnutý vlas

Na obrázku číslo 40 je ustřihnutý konec vzorku číslo 17. Jestliže by se nejednalo o ustřižený konec, končil by vlas zúžením a zaoblenou špičkou. Zde je vidět vnitřní struktura vlasu, což znamená narušení vnější vrstvy, která je jinak celistvá až ke konečku vlasu.

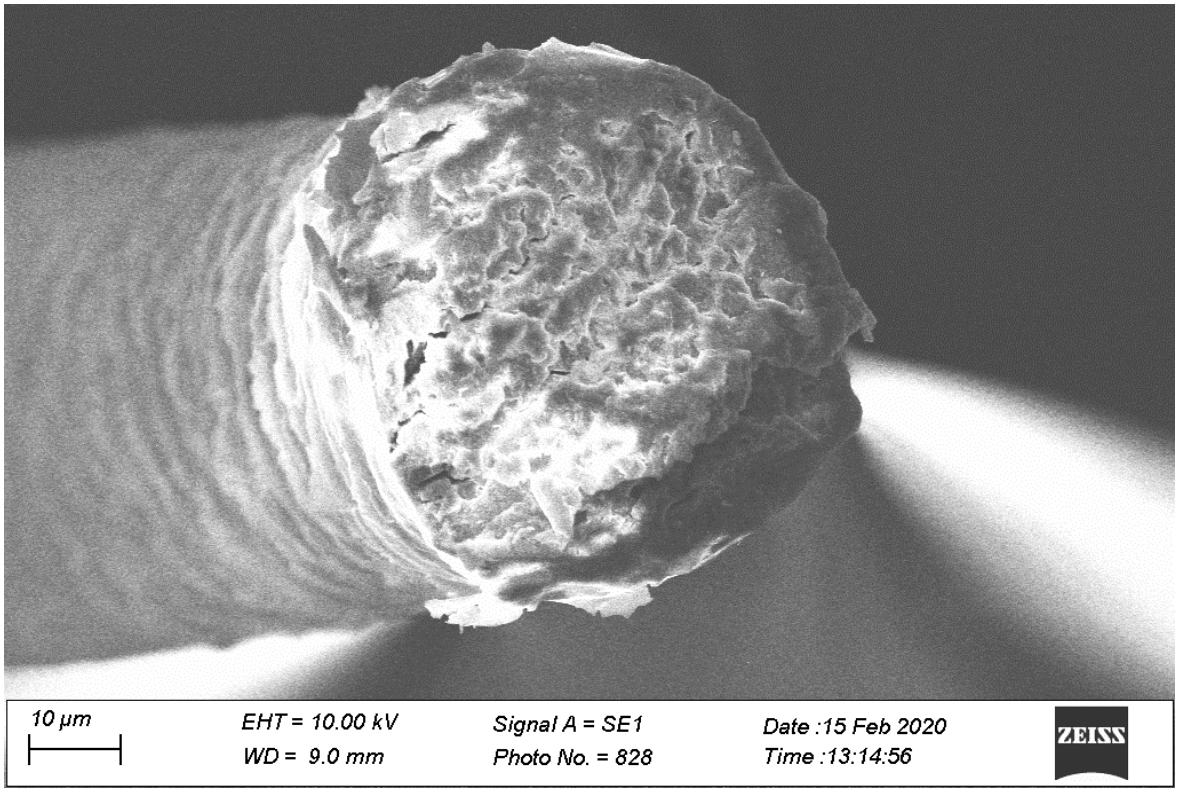
3.3.2.3 Analýza tvaru vlasu

Tvar vlasů záleží na tom, zda je vlas kulatý, mírně oválný či silně oválný, viz kapitola 1.3.1 Typy vlasů.



Obrázek 41 Vzorek číslo 18 – ustřihnutý vlnitý vlas

Na obrázku číslo 41 je vlas, který je v řezu mírně oválný, což odpovídá vlasům vlnitým. Výsledek analýzy odpovídá realitě. Při detailnějším zkoumání je vidět, že tento oválný tvar vlasu není jen na okraji, ale po celé ploše, což vylučuje, že byl vlas zdeformován při zkracování vlasu v procesu přípravy na měření v elektronovém mikroskopu.



Obrázek 42 Vzorek číslo 1 – ustřihnutý rovný vlas

Na obrázku číslo 42 je naopak vlas kulatý, což značí rovné vlasy. Reálně má žena, které vlas patří, dlouhé rovné vlasy.

Na všech vzorcích, které byly měřeny na elektronovém mikroskopu, se vyskytují bílá místa. Jedná se o části vlasu, na jejichž povrchu jsou uchyceny elektrony. Zde se ukazuje nevýhoda elektronového mikroskopu, se vzorkem musí být pracováno rychle, aby byl obraz kvalitní a získané informace relevantní.

4 ZPŮSOBY POKRAČOVÁNÍ ANALÝZY

Analýza lidských vlasů optickým a elektronovým mikroskopem může sloužit jako výchozí bod pro další pokračování analýzy.

4.1 Statistika

Analýzu mikroskopy lze využít pro potřeby statistiky. Je možné vytvořit statistiku měřitelných znaků vlasů, jako je například tloušťka vlasu či barva vlasů. Tato statistika by mohla nalézt využití ve forenzních vědách právě pro účely objasňování trestných činů, kdy by sloužila jako pomocný nástroj pro odhalení charakteristických vlastností pachatele, například etnického původu či barvy vlasů.

4.2 Analýza DNA

Analýzou DNA lze s jistotou určit, zda patří zkoumaný vzorek podezřelému, či ne. Jednou z možností je porovnat odebranou DNA s Národní databází DNA, ve které se k 20.05.2018 nacházelo 243 122 profilů DNA, a to včetně zúčastněných pracovníků (policisté, znalci a další osoby, které mohou kontaminovat biologický materiál určený k analýze DNA) nebo osob ostatních (příbuzné s osobami v pátrání, pohřešované osoby, ztotožněné mrtvoly apod.). Další možnost je porovnávat odebrané vzorky s DNA podezřelých u daného trestného činu. [19]

4.2.1 Metoda PCR

Před samotnou analýzou DNA lze využít metodu PCR (ang. Polymerase Chain Reaction). Tato metoda je založena na množení odebraného úseku DNA. Dr. Kary Mullis, který metodu PCR objevil, uvedl, že tato metoda umožní vybrat část DNA a pomnožit ji na požadované množství. Tato metoda může být použita mimo trichologický materiál i ke zkoumání krve, kůže či slin. Pro vytvoření dostatečného množství kopií pro analýzu je zapotřebí pouze stopové množství DNA ze vzorku. [20]

4.2.2 Metodika analýzy DNA

K analýze DNA se používají vysoce polymorfní lokusy. Nejčastěji se využívají repetitivní sekvence. Tyto sekvence se v genomu člověka opakují několikrát. [26]

V kriminalistice jsou využívány nejčastěji 3 typy analýzy DNA:

- analýza humánní nuDNA – slouží pro identifikaci pachatele,

- analýza mtDNA – jedná se o méně frekventovanou metodu, která se používá při potřebě rozšířené analýzy,
- analýza zvířecí DNA – používá se např. při napadení zvířetem. [26]

Analýza DNA nebyla v této práci provedena z důvodu náročnosti na vybavení, které není na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati k dispozici.

ZÁVĚR

V první kapitole je popsána anatomie a histologie lidského ochlupení. V anatomické části je vysvětleno základní rozdělení lidského ochlupení a jednotlivé skupiny, tedy lanugo, velusové chlupy a terminální chlupy, které jsou charakterizovány. Dále je popsán vývoj růstu ochlupení během lidského života a typy vlasů. V histologické části je mikroskopická struktura vlasu a růstový cyklus. Na konci kapitoly jsou uvedeny další druhy ochlupení.

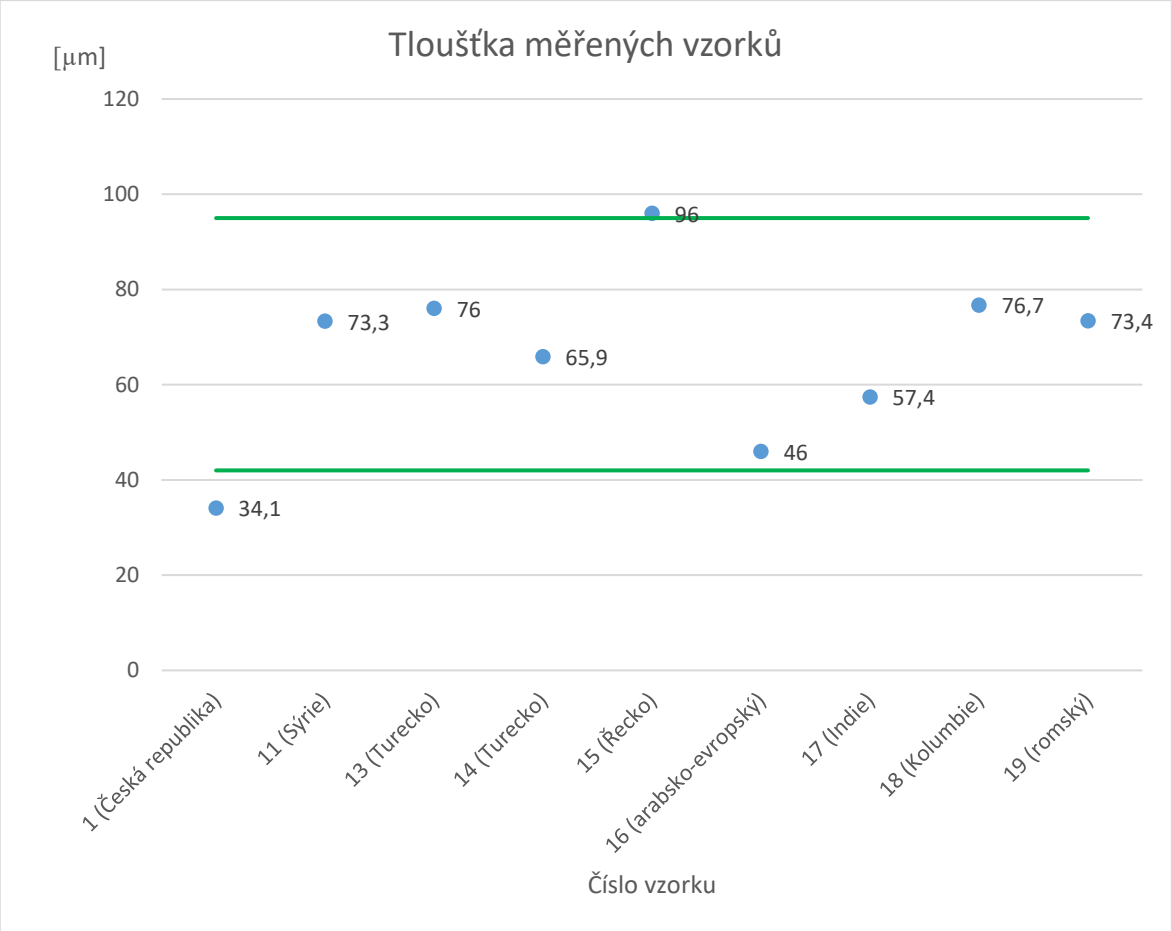
Ve druhé kapitole jsou popsány forenzní vědy a jejich rozdělení. Jednotlivé vědy jsou obecně popsány se zaměřením na forenzní trichologii. V části forenzní trichologie je popsáno vyhledávání a zajišťování trichologického materiálu a laboratorní metody zkoumání trichologického materiálu.

Třetí kapitolou začíná praktická část. V této části jsou uvedeny použité mikroskopy na analýzu lidských vlasů a porovnány jejich výhody a nevýhody. Byly použity optický polarizační mikroskop AXIO SCOPE.A1 a elektronový mikroskop ZEISS EVO 15. V další části je popsáno, jakým způsobem probíhal sběr vzorků a jejich následné uchovávání.

Samotná analýza je rozdělena na dvě části. Obsah první části tvoří analýza optickým mikroskopem, druhá část rozebírá analýzu elektronovým mikroskopem.

U analýzy optickým mikroskopem AXIO SCOPE.A1 se ukázalo, že je vhodným nástrojem pro měření tloušťky vlasu, dále pro zjištění barvy vlasu nebo skutečnosti, zda byl vlas barvený, či ne. Také je vhodný pro lokalizaci místa na vlasu. Na analyzovaných vzorcích se ukázalo, že vzorek s českým původem má mnohem menší tloušťku vlasu (necelých 40 μm) než jiné, převážně mimoevropského původu. Výsledky této analýzy ovšem nelze na základě této diplomové práce globalizovat, jedná se pouze o porovnání vybraných vzorků. Dále se mezi vzorky vyskytoval barvený vlas, který, jak se ukázalo, jde velmi snadno odhalit pomocí polarizačního optického mikroskopu. Při zkoumání optickým mikroskopem bez polarizace se vlas zdál být neobarvený, v našem případě tmavě hnědý, ale při pohledu s polarizací se jednoznačně ukázalo umělé barvení. Jako poslední parametr bylo zjišťováno, o jakou část vlasu se jedná. Lze tedy určit, zda se jedná o kořínek, či konec vlasu. Nevýhodou tohoto mikroskopu je nízká hloubka ostrosti, a proto nelze zaostřit celý vlas, ale je potřeba jej ostřit v několika hladinách.

Dá se také předpokládat, že pokud bude na místě činu trichologický materiál jediným forenzním důkazem, lze na základě jeho analýzy pod optickým mikroskopem posoudit identitu pachatele, a sice srovnáním se vzorkem odebraným od podezřelého. Nalezení značných strukturálních rozdílů mezi vzorky umožňuje prohlásit vzorky za neshodné a vyvrátit tak přítomnost dané osoby na místě činu. V případě zjištění podobností mezi vzorky vzniká potřeba další potvrzující analýzy pro jednoznačné přiřazení vzorku k osobě. [21]



Obrázek 43 Graf tloušťky měřených vzorků

Při analýze elektronovým mikroskopem ZEISS EVO 15 bylo zjištěno, že je vhodný pro zkoumání struktury vlasu, rozpoznávání části vlasu a analyzování tvaru vlasu v průřezu. Elektronový mikroskop má dostatečnou hloubku ostrosti, proto lze zkoumat strukturu vlasu, což ale není parametr, který by při porovnávání vzorků mohl pomoci. Dále je možné, stejně jako u optického mikroskopu, rozpoznat část vlasu, zda se jedná o kořínek, či konec vlasu. V poslední řadě byl analyzován průřez vlasu pro zjištění tvaru, tedy zda se jedná o vlas rovný (kulatý průřez), vlnitý (oválný průřez) či kudrnatý (oválný až ledvinovitý průřez). Velkou nevýhodou se jeví fakt, že vakuum v elektronovém mikroskopu způsobuje var

vody, kterou vlasy obsahují (cca. 15 % celkového objemu vlasu tvoří voda), což zapříčiňuje implozi vlasu a tím znehodnocení vzorku.

Analýzu pomocí mikroskopů lze použít jako součást jiných analýz. Například lze tuto analýzu využít při statistickém zkoumání vybraného parametru u velkého množství osob stejného etnického původu. Další možností pokračující analýzy je analýza DNA. Pro tuto analýzu lze využít metodu PCR. Tato metoda spočívá v nakopírování části DNA do množství, které je požadováno pro samotnou analýzu DNA. Provádí se analýza nuDNA, mtDNA a zvířecí DNA.

Metoda mikroskopické analýzy, použitá v této diplomové práci, není dostatečně vypovídající na to, aby byla použita samostatně, ale slouží pouze jako pomocná analýza. V kombinaci s analýzou DNA poskytuje výrazně silnější informaci soudnímu systému než kterákoliv z těchto metod samostatně. [19]

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] ŠTORK, Jiří. Dermatovenerologie. Praha: Galén, c2008. ISBN ISBN978-80-7262-371-6.

[2] ČIHÁK, Radomír. Anatomie. 3. 2., upr. a dopl. vyd. Ilustroval Ivan HELEKAL. Praha: Grada Publishing, 2004. ISBN 978-80-247-1132-4

[3] LÜLLMANN-RAUCH, Renate. Histologie. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3729-4

[4] .ŘÍHOVÁ, Vlasta. Vady a choroby vlasů: [trichologie]. 2. dopln. vyd., (1. vyd. Zdravot. nakl.). Praha: Zdravotnické nakladatelství, 1951.

[5] DefinitionofForensic Science. All aboutforensic science [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: https://www.all-about-forensic-science.com/definition-of-forensic-science.html

[6] Kriminalistická daktyloskopie. Policie [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: https://www.policie.cz/clanek/kriminalisticka-daktyloskopie-266095.aspx

[7] Přírodovědné zkoumání. Policie [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: https://www.policie.cz/clanek/prirodovedne-zkoumani-892081.aspx?q=Y2hudW09NQ%3D%3D

[8] Policie ČR: Kriminalistická identifikace. Www.policie.cz [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: https://www.policie.cz/clanek/kriminalisticke-identifikace-11145.aspx?q=Y2hudW09NQ==

[9] ŠULÁKOVÁ, Hana. Forenzní entomologie - když smrt je začátek = Forensic entomology: whendeathIs just thebeginning. Živa. 2014, 62(5), 250-256. ISSN 0044-4812

[10] BELL, Suzanne. Forensicchemistry. UpperSaddle River, N.J.: PearsonPrentice-Hall, 2006. ISBN 01-314-7835-4.

[11] HIRT, Miroslav a František VOREL. Soudní lékařství. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5680-6.

[12] ČÍRTKOVÁ, Ludmila. Forenzní psychologie. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2004. Vysokoškolské učebnice (Aleš Čeněk). ISBN 80-864-7386-4.]

[13] Co je forenzní genetika. Československá společnost pro forenzní genetiku [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: http://www.cssfg.org/cz/1111/co-je-forenzni-genetika/

[14] PLZÁKOVÁ, Lenka. Co je vlastně písmoznalectví a čím se zabývá? Písmoznalec [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: http://pismoznalec.eu/co-je-pismoznalectvi/

[15] ŠTEFAN, Jiří a Jiří HLADÍK. Soudní lékařství a jeho moderní trendy. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3594-8.

[16] LOMBROSO, Cesare. Nejnovější objevy a aplikace psychiatrie a kriminalistické antropologie [online]. Praha: Academia, 2017 [cit. 2020-02-09]. Europa (Academia). ISBN 978-802-0026-040.

[17] STUART, Barbara. Forensic analytical techniques. Chichester, West Sussex, United Kingdom, 2013. ISBN 978-047-0687-284.

[18] Sirchie - Technical information. Sirchie [online]. [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: https://www.sirchie.com/media/resourcecenter/item/m/m/mmx300_ti03.08-582eng-rev7e.pdf

[19] Policie ČR. Národní databáze DNA [online]. [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: https://www.policie.cz/clanek/narodni-databaze-dna.aspx

[20] US National library of medicine. Research Techniques Made Simple: Polymerase Chain Reaction (PCR) [online]. [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4102308/

[21] FBI. Forensic Hair Comparison: Background Information for Interpretation [online]. [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: https://archives.fbi.gov/archives/about-us/lab/forensic-science-communications/fsc/april2009/review/2009_04_review02.htm#microhaircomparision

[22] ECHLIN, Patrick. Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and x-ray microanalysis. New York: Springer, [2009]. ISBN isbn978-0-387-85730-5.

[23] REIMER, Ludwig. Scanning electron microscopy: physics of image formation and microanalysis. Second completly revised and updated edition. Berlin: Springer, [1998]. Series in optical sciences (Springer). ISBN isbn978-3-642-08372-3.

[24] MURPHY, Douglas B. a Michael W. DAVIDSON. Fundamentals of light microscopy and electronic imaging. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2013. ISBN isbn978-0-471-69214-0.

[25] TOKES, Debbie J. Principles and practice of variable pressure/environmental scanning electron microscopy (VP-ESEM). Chichester: Wiley, c2008. ISBN isbn978-0-470-06540-2.

[26] PORADA, Viktor a Jiří STRAUS. Kriminalistické stopy: teorie, metodologie, praxe. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2012. ISBN 978-80-7380-396-4.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

apod.	a podobně
atd.	a tak dále
tj.	to je
tzv.	tak zvané
aj.	a jiné
např.	například
resp.	respektive
event.	eventuelně
cca.	cirka
lat.	latinsky
řec.	řecky
ang.	anglicky
KÚ	Krajský Úřad
UV	ultrafialové vlnění
PCR	polymerázová řetězová reakce
LSD	Diethylamid kyseliny lysergové
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
nuDNA	nukleární DNA
mtDNA	mitochondriální DNA

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Průřez *capili lissotrichi* [3] 16
Obrázek 2 Průřez *capili kymotrichi* [3] 17
Obrázek 3 Průřez *capili ulotrichi* [3] 17
Obrázek 4 Vlasový folikul – podélný řez [3] 18
Obrázek 5 Mikroskopická struktura vlasu – podélný řez [3] 22
Obrázek 6 Mikroskopická struktura vlasu – příčný řez[3] 23
Obrázek 7 Cyklus vlasového folikulu[3] 24
Obrázek 8 Vlas poškozený výstřelem [15] 34
Obrázek 9 Vzduchové vakuoly ve vlasu zahřátém na 190–215 °C [15] 35
Obrázek 10 Optický mikroskop AXIO SCOPE.A1 v laboratoři FAI 44
Obrázek 11 Elektronový mikroskop ZEISS EVO 15 v laboratoři FAI 44
Obrázek 12 Struktura vlasu v optickém mikroskopu 45
Obrázek 13 Deformace způsobená snímáním vzorku ve vakuu 46
Obrázek 14 Sada svítilen Sirchie megaMAXX III 48
Obrázek 15 Sáček na uchovávání vzorků 50
Obrázek 16 Ověření správnosti měření šířky 51
Obrázek 17 Vzorek číslo 1 – tloušťka 52
Obrázek 18 Vzorek číslo 4 – tloušťka 52
Obrázek 19 Vzorek číslo 11 – tloušťka 53
Obrázek 20 Vzorek číslo 15 – tloušťka 54
Obrázek 21 Vzorek číslo 16 – tloušťka 54
Obrázek 22 Vzorek číslo 17 – tloušťka 55
Obrázek 23 Vzorek číslo 18 – tloušťka 55
Obrázek 24 Vzorek číslo 19 – tloušťka 56
Obrázek 25 Graf tloušťky měřených vzorků 57
Obrázek 26 Vzorek číslo 7 – barva 58
Obrázek 27 Vzorek číslo 11 – barva 58
Obrázek 28 Vzorek číslo 15 – barva 59
Obrázek 29 Vzorek číslo 15 – barva (polarizace) 59
Obrázek 30 Vzorek číslo 17 – polarizace 60
Obrázek 31 Vzorek číslo 14 – struktura 61
Obrázek 32 Porovnání zdravého (vlevo) a poškozeného (vpravo) vlasu [20] 61

Obrázek 33 Vzorek číslo 14 – kořínek s vyznačenou inaktivní dermální papilou 62
Obrázek 34 Vzorek číslo 10 – kořínek 62
Obrázek 35 Vzorek číslo 15 – ustřižený konec 63
Obrázek 36 Vzorek číslo 13 – kořínek 63
Obrázek 37 Vzorek číslo 1 – struktura vlasu 64
Obrázek 38 Vzorek číslo 13 – kořínek vlasu 65
Obrázek 39 Vzorek číslo 18 – přetržený vlas 66
Obrázek 40 Vzorek číslo 17 – ustřihnutý vlas 66
Obrázek 41 Vzorek číslo 18 – ustřihnutý vlnitý vlas 67
Obrázek 42 Vzorek číslo 1 – ustřihnutý rovný vlas 68
Obrázek 43 Graf tloušťky měřených vzorků 72

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Přehled znaků hodnocených v rámci zkoumání lidských vlasů [15] 38
Tabulka 2 Srovnání znaků lidského a zvířecího trichologického materiálu [15] 41
Tabulka 3 Porovnání optického a elektronového mikroskopu 47
Tabulka 4 Kombinace svítilen o různých vlnových délkách s různými brýlemi [18] 49