

Mechanické vlastnosti lidského vlasu

Bc. Denisa Machová

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

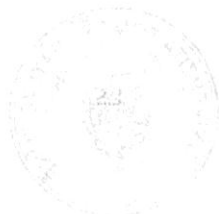
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Denisa Machová**
Osobní číslo: **T14504**
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie tuků, detergentů a kosmetiky**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Mechanické vlastnosti lidského vlasu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na zadané téma, zdokumentujte a shrňte výsledky dosud provedených studií.
2. Navrhněte a ověřte metodiku měření mechanických vlastností lidského vlasu.
3. Získané výsledky vyhodnoťte, proveďte diskusi a vyvodte z měření závěry.



Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **BARTOŠOVÁ, Ludmila, Vladimír JORDA a Zdeněk ŠTÁVA. Choroby vlasů a ovlášené kůže. 1. vyd. Praha: Avicenum, 1982, 253 s.**
2. **DRAELOS, Zoe Diana. Hair care an illustrated dermatologic handbook [online]. London: Taylor, 2005 [cit. 2015-10-25]. ISBN 02-033-1424-7.**
3. **BOUILLON, Claude a John WILKINSON. Science of Hair Care [online]. 2nd ed. London: Taylor, 2005 [cit. 2015-11-25]. ISBN 0-203-02722-1.**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martina Černeková, Ph.D.

Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Datum zadání diplomové práce:

20. ledna 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2016

Ve Zlíně dne 20. ledna 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



Ing. Martina Černeková, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: MACHOVÁ DENISA

Obor: TTDK

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské 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 ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské 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/bakalářské 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.

Ve Zlíně 12. 5. 2016

Machová

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá mechanickými vlastnostmi lidských vlasů. Cílem práce bylo zjistit dostupné informace o vlasech, včetně jejich funkce a chování při mechanickém namáhání. Je zde popsáno složení, struktura, růst a typy vlasů, mechanické vlastnosti, fyzikální a chemické faktory, které na vlasy působí.

Klíčová slova: vlas, mechanické vlastnosti, tahová zkouška

ABSTRACT

This thesis is focused on mechanical properties of human hair. The aim of this thesis is to collect accessible information about hair including its function and behavior under mechanical stress. There is described the composition, structure, growth and hair types, mechanical properties, physical and chemical effects which act on the hair.

Keywords: hair, mechanical properties, tensile test

Poděkování patří především vedoucí mé diplomové práce Ing. Martině Černekové, Ph.D. za čas, trpělivost, cenné rady a připomínky, které mi s ochotou poskytla. Dále bych chtěla poděkovat panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi a slečně Ing. Mileně Kubišové za spolupráci při měření a zpracování dat pro praktickou část mé práce. Poděkování patří také mým rodičům a přátelům, kteří mě podporovali po celou dobu studia.

Tato práce byla podpořena interním grantem z UTB ve Zlíně IGA/FT/2016/005 a financována z fondů pro specifický akademický výzkum.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 VLASY	12
1.1 VÝVOJ VLASOVÝCH FOLIKULŮ	12
1.2 SLOŽENÍ VLASU	14
1.2.1 Mikrostruktura vlasu	14
1.2.2 Chemická struktura	17
1.3 CYKLUS RŮSTU VLASU	18
1.3.1 Anagen	19
1.3.2 Katagen	20
1.3.3 Telogen.....	20
2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI	21
2.1 PEVNOST	21
2.2 TŘENÍ.....	22
2.3 TVAR VLASU	22
2.4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	23
2.4.1 Ohyb	25
2.4.2 Krut	26
2.5 LOM	26
2.6 RELAXACE	27
2.7 DYNAMICKÁ MĚŘENÍ.....	27
2.8 ETNICKÝ PŮVOD.....	28
3 FYZIKÁLNÍ A CHEMICKÉ VLIVY	29
3.1 TLOUŠŤKA KUTIKULY.....	29
3.2 VODA	30
3.3 TEPLOTA	31
3.4 BARVENÍ	31
3.5 SUŠENÍ	32
3.6 ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ.....	32
4 METODY ZKOUŠENÍ	35
4.1 TAHOVÁ ZKOUŠKA	35
4.2 MIKROSKOPIE ATOMÁRNÍCH SIL.....	37
4.3 RASTROVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE	39
5 CÍL PRÁCE	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	41
6 METODIKA	42
6.1 NAVRŽENÍ METODIKY	42
6.2 OVĚŘENÍ METODIKY	43
6.2.1 Příprava vzorků	43
6.2.2 Měření průměru.....	46
6.2.2.1 Lineární výškoměr Linear Height LH-600B	46

6.2.3	Sledování povrchu vlasu	48
6.2.4	Tahová zkouška.....	49
6.2.4.1	Přístroj PROMI PC	49
6.2.4.2	Postup provedení tahové zkoušky.....	51
7	VÝSLEDKY A DISKUSE	53
7.1	PRŮMĚR VLASU	53
7.2	TAHOVÁ ZKOUŠKA	55
7.2.1	Boxplotový graf	55
7.2.2	Analýza rozptylu	57
7.2.3	Časová řada	57
7.2.4	Orientační test normality.....	66
7.2.5	Test normality	67
7.2.6	Grubbsův test odlehlých hodnot.....	67
7.2.7	Test rozdílu dvou rozptylů (F-test)	69
7.2.8	Test rovnosti dvou středních hodnot (t-test)	69
7.3	PEVNOST VLASU	71
7.4	PRODLOUŽENÍ VLASU	72
7.5	MODEL VLASU PŘI MECHANICKÉM NAMÁHÁNÍ.....	74
	ZÁVĚR	75
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	76
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
	SEZNAM TABULEK.....	85
	SEZNAM ROVNIC	86
	SEZNAM PŘÍLOH.....	87

ÚVOD

Primární funkcí vlasů je chránit hlavu před účinky slunečního záření. Přesto nejvýznamnější funkcí vlasů je funkce estetická, protože vlasy slouží k přitahování druhého pohlaví, vyjádření životních názorů i společenské příslušnosti.

Každá žena chce mít krásné a zdravé vlasy. Základem zdravých a krásných vlasů je dobrá a kvalitní péče. Především jsou to ženy, které chtějí být krásné, a proto si vlasy barví, kulmují nebo naopak žehlí. Jednoduše se řídí podle módních trendů. Účes dotváří a vyjadřuje kouzlo naší osobnosti.

Důležité je vybrat takové přípravky vlasové péče, které jsou pro vlasy nejvhodnější a mohou vlasům dodat potřebné látky. Člověk by měl mít na paměti, že vlasy se mohou měnit s věkem, podle ročního období, podle různých okolností a také v závislosti na typu účesu. Krásné vlasy potřebují jemné zacházení. Proto je důležité nepoškozovat vnější vrstvu kutikuly vlasů. To znamená jemné vysoušení vlasů po umytí, namísto silného tření a používání kartáčů s jemnými klouzavými přírodními nebo namíchanými štětinami. Vlasová kúra dodá poškozeným vlasům důležité látky, jako jsou rostlinné oleje, vlhkost nebo proteiny. Používáním pečující kúry se snižuje výskyt roztřepených konečků a vlasům se navrací jejich přirozený lesk a ohebnost. Většimu lesku také přispívá konzumace vhodné stravy, která obsahuje velké množství vitamínu A, C a E. Před použitím kulmy nebo žehličky je dobré chránit vlasy speciálními přípravky na ochranu před teplem. V létě by vlasy měly být chráněny před příliš silným sluncem a horkem.

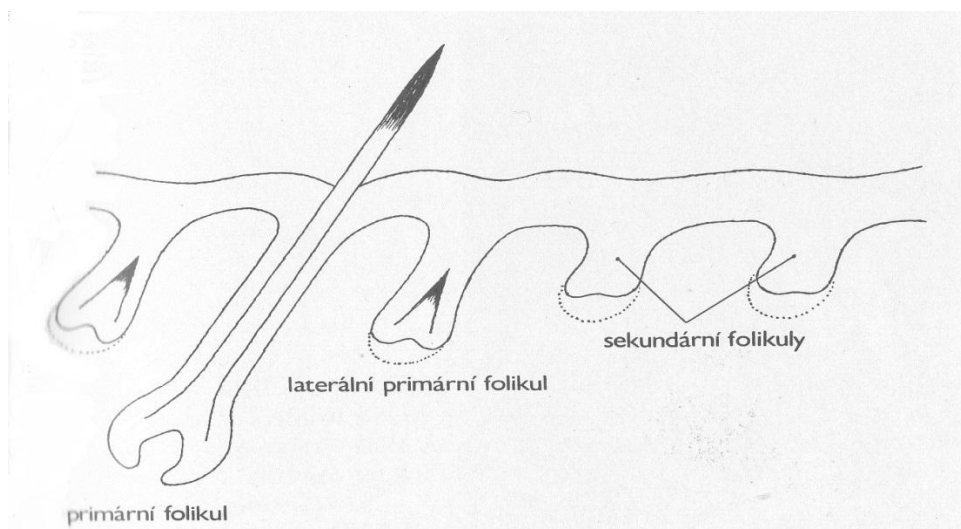
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VLASY

Vlasy jsou velmi variabilní jak svou barvou, délkou a tvarem, tak i svou rychlostí růstu. Dále se liší distribucí a výskytem jednotlivých typů v závislosti na pohlaví a věku jedince [1, s. 12].

1.1 Vývoj vlasových folikulů

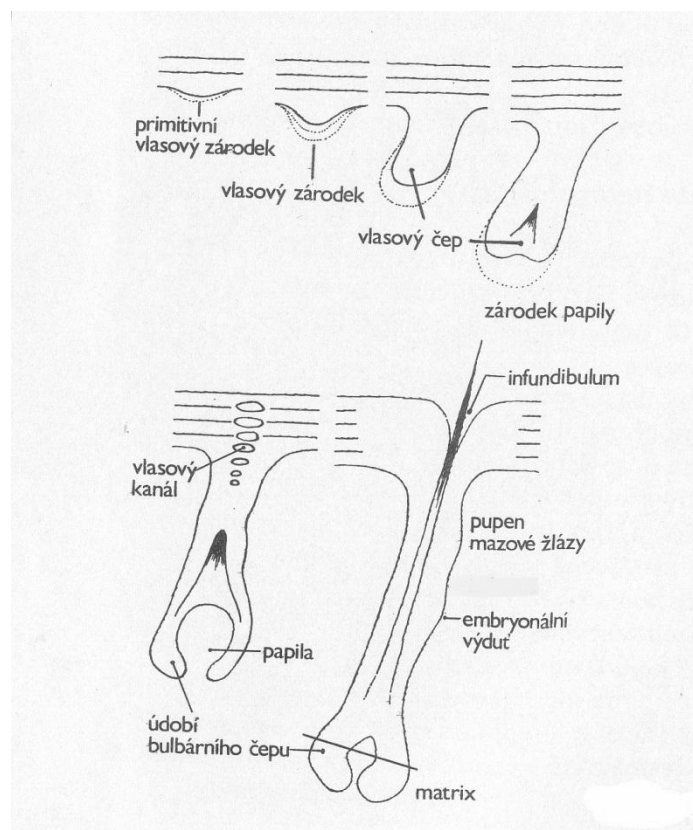
Vlasy vyrůstají z folikulů, které vznikají diferenciací buněk embryonální *epidermis* a dalším růstem se postupně zanořují do koria. Současně z mezodermálních buněk vzniká vlasová papila, která je nedílnou součástí pilárního systému stejně jako mazová a apokrinní žláza. Folikul obklopuje cévní síť, nervová tkáň a ke stěně folikulu se upíná vzpřimovač vlasu (*musculus arrector pili*). První základy vlasových folikulů se utváří u lidského plodu v devátém týdnu života v oblasti horního rtu, obočí a brady. Ve čtvrtém měsíci embryonálního vývoje se začínají vyvíjet všechny další primární folikulární zárodky, které jsou rozloženy v poměrně pravidelných odstupech po celém povrchu těla. V bezprostřední blízkosti každého primárního zárodku se vyvíjí další dva folikuly, takže vzniká trojice primárních folikulů typická pro člověka (Obr. 1). Jak se povrch kůže zvětšuje, objevují se v okolí primárních zárodků sekundární folikuly, které jsou u člověka méně početné na rozdíl od savců s hustou srstí.



Obr. 1. Trojice primárních folikulů [1, s. 19]

Zárodky folikulů vznikají souhrou mezodermálních a epidermálních buněk v období, kdy se *epidermis* skládá pouze z peridermu a bazální vrstvy. Prvním příznakem budoucího folikulu je nakupení mezodermálních buněk přímo pod *stratum basale epidermis*. Shluk bu-

něk navozuje zvýšenou mitotickou aktivitu a vzniká primitivní vlasový zárodek, který se rychle mění ve vlasový zárodek. Jeho buňky jsou vysoké s protáhlým jádrem a formují se do symetricky uspořádaného tvaru, který se vyklenuje do mezodermální tkáně. Rychlou proliferací buněk šikmo do mezenchymu se z vlasového zárodka stává vlasový čep, což je sloupec epiteliálních buněk s radiálním uspořádáním buněk na spodině, z nichž se později utváří matrix folikulu. Nejhlubší část se postupně rozšiřuje ve vlasovou cibulku. Jakmile embryonální folikul dosáhne své definitivní délky, zvýší se mitotická aktivita buněk uložených v horní části vlasové cibulky a diferenciací buněk je produkován vlas (Obr. 2).



Obr. 2. Embryonální vývoj folikulu [1, s. 24]

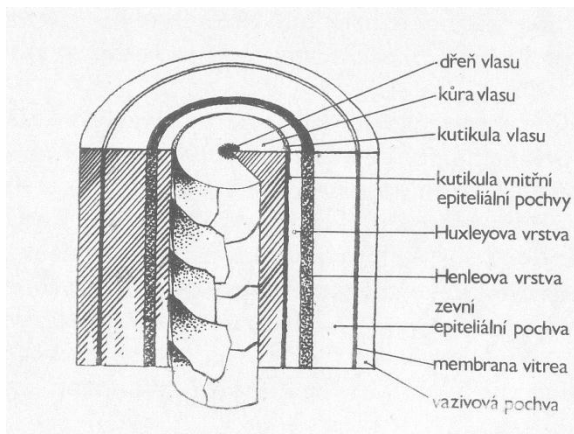
Vlákno vlasu roste do délky, rohovatí a spolu s vnitřní epiteliální pochvou se posunuje směrem k povrchu kůže. V horní části vlasového kanálu nastane fragmentace vnitřní epiteliální pochvy a vlas se později vynořuje na povrch kůže samostatně. V této oblasti, nad budoucím ústím vývodu mazové žlázy, vzniká nepatrný prostor mezi vlasem a stěnami kanálu. Touto cestou později odcházejí zbytky autolyzovaných buněk, maz a v dospělém věku produkty apokrinální žlázy. Rozdělení vlasových folikulů je po celém povrchu těla přibližně symetrické s výjimkou hlavy, kde jsou vlasové folikuly četnější a jejich papily větší [1, s. 17-26].

1.2 Složení vlasu

Vlasy jsou extrémně variabilní jak tloušťkou, tak konfigurací příčného řezu. Vlasy rostou ve skupinách dvou, tři i více vlasů, ale mají izolované folikulární obaly. Aktivní folikuly jsou dlouhé, hluboko zanořené, poměrně štíhlé a v horní třetině jsou obklopeny mazovými žlázami. Struktura a funkce folikulu se navíc mění v průběhu cyklické výměny vlasů. Poměrně nejstabilnějším útvarem je rozvinutý folikul terminálního vlasu [1, s. 26].

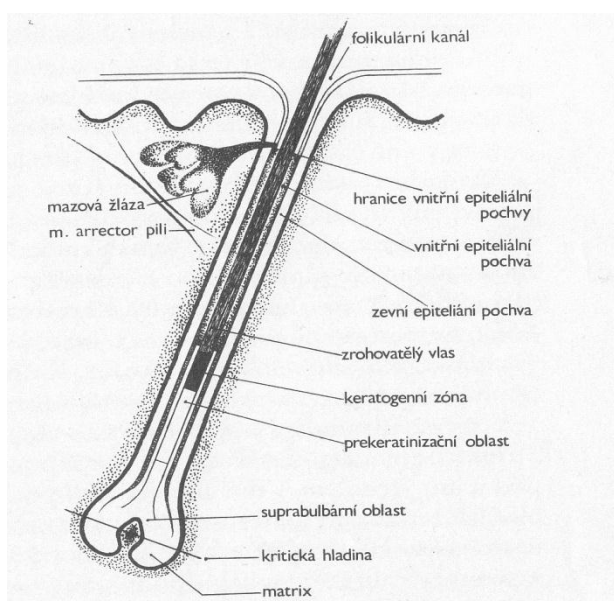
1.2.1 Mikrostruktura vlasu

Každý vlas má stejnou stavbu. Část vlasu nad pokožkou se nazývá *scapus pilli*, část zanořená do kůže je kořen vlasu (*radix pilli*). Rostoucí folikul prostupuje celou pokožku, celé korium a dosahuje až k podkožní tukové tkáni. Kořen vlasu končí v podkožním vazivu kyjovitým ztluštěním, které se nazývá vlasová cibulka (*bulbus pilli*). Tato nejhluběji zanořená část je rozšířena a centrální vejčitá dutina je vyplněna vazivovou papilou. Vlasová cibulka a pochvy tvoří dohromady invaginaci *epidermis*, tedy vlasový folikul, z něhož vzniká vlas. Do vlasového bulbu se zespoda zanořuje okolní řídké vazivo jako dermální papila s cévami, které jsou nutné pro výživu vlasového folikulu. Ztráta cirkulace krve vede k zániku folikulu. Dermální papila, stejně jako dolní polovina folikulu, je v závislosti na růstovém cyklu proměnlivá. Jak znázorňuje Obr. 3, uprostřed folikulu je situován vlas, který se skládá z dřene, kůry a kutikuly. V hloubce folikulu je vlas obklopen vnitřní epiteliální pochvou (*vagina radiculis interna*), která končí při vyústění mazové žlázy do folikulu. K povrchu vlasu přímo přiléhá kutikula vnitřní epiteliální pochvy, za ní Huxleyova vrstva, tvořena jednou nebo dvěma řadami buněk, a poté jednobuněčná Henleova vrstva. Dále se nachází zevní epiteliální pochva, která se dotýká vnitřní plochou Henleovy vrstvy a zevně je obklopena hyalinní membránou. Membrána vitrea odděluje epiteliální pochvy od vazivových fibril, které jsou uspořádány horizontálně a zevně vertikálně. Fibrily vazivové pochvy jsou spojeny s dermální papilou a ohraničují folikul od tkáně korie.



Obr. 3. Průřez střední částí anagenního folikulu [1, s. 27]

Jak znázorňuje Obr. 4, součástí vlasové jednotky je jedna nebo více mazových žláz a vzpřimovač vlasu upínající se ke stěně folikulu v tupém úhlu, který folikul svírá s povrchem kůže. Vlas je uložen v kůži v šikmé poloze. Na té straně, kde vlas svírá s povrchem kůže tupý úhel, je mimo mazovou žlázu umístěn i snopec hladkého svalu (*musculus arrector pili*), který probíhá šikmo od vazivové pochvy vlasu do koría. Šikmo uložený vlas se jeho kontrakcí vzpřimuje [1, s. 27], [2, s. 193].



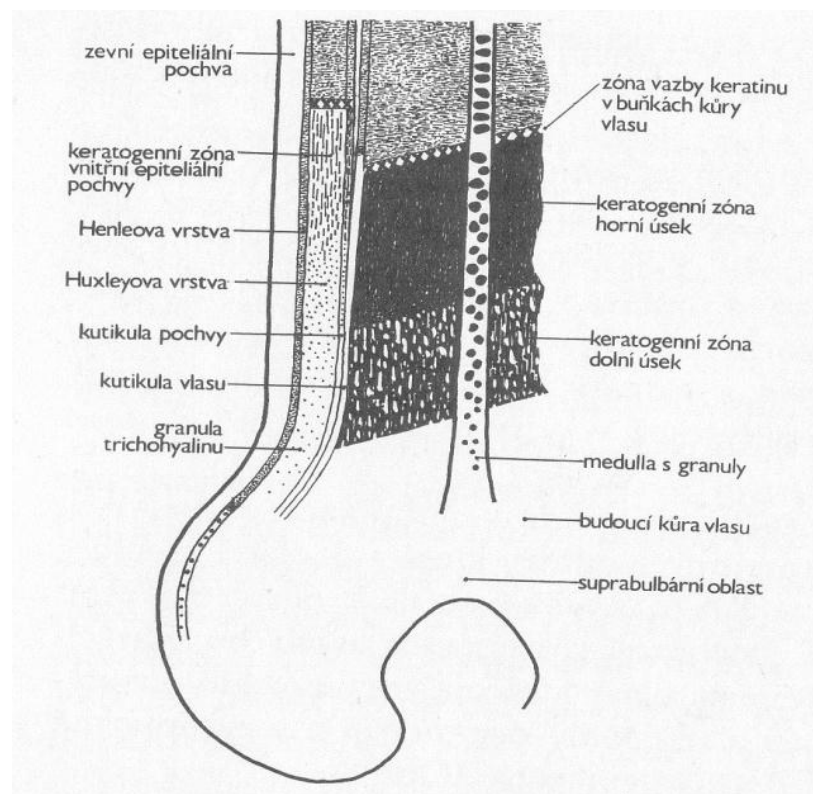
Obr. 4. Vertikální řez anagenním folikulem [1, s. 29]

Mazové žlázy jsou úzce spojeny s každým vlasem. Maz je důležitý pro zachování lesklého vlasu, protože funguje jako přirozený kondicionér, odstraňuje statickou elektřinu a přidává lesk nově rostoucím vlasům. Na pokožce hlavy je přibližně 400–900 mazových žláz na centimetr čtvereční a představují tak největší žlázu na těle. Maz, složený z volných mastných kyselin a neutrálních tuků, je produkován ve zvýšeném množství v pubertě u mužů

i žen. S přibývajícím věkem tvorba kožního mazu klesá u žen i u mužů, ale u mužů je tento pokles méně výrazný [3, s. 3].

Vlasová cibulka tvoří nejhlubší část rostoucího folikulu a má prstencovitě konfigurovanou matrix v dolní části. Mitotická aktivita neboli typ dělení buněčných jader matrix je velmi vysoká, až 5 krát vyšší než v *epidermis*. Mitoticky aktivní buňky matrix se rychle dělí a dceřiné buňky se postupně posunují do vyšších částí, kde dochází k jejich diferenciaci.

V preelongační oblasti, která se nachází v bulbu, se buňky zvětšují a řadí vertikálním směrem. Následně dochází k prodlužování buněk a keratinizaci v keratinizační zóně, která končí přibližně v dolní třetině folikulu (Obr. 5). Vlas zužuje svůj průměr nad keratinizační zónou.



Obr. 5. Prostorové uspořádání keratinizačních pochodů [1, s. 36]

V horní části bulbu jsou uloženy melanocyty, které se od ostatních buněk liší několika dendritickými výběžky a hustým nakupením melaninových granul, které se tvoří v melanozomech. Dendrity melanocytů vybíhají do intercelulárních prostor mezi vyvíjející se buňky dřeně a kůry vlasů. V další části diferenciaci jsou dendrity, melanozomy a granula pigmentu fagocytovány a dostávají se do cytoplazmy medulárních a korových buněk.

Dřeň vlasu (*medulla pilli*) bývá tvořena po celé délce pouze u silných terminálních vlasů, jako jsou třeba vousy. V jemných vlasech může být fragmentována nebo přítomna jen v určitých segmentech vlasového stvolu, popřípadě může chybět úplně. Dřeň je složena z velkých, obvykle pigmentovaných buněk s velkými intracelulárními vakuolami. Spojení buněk je volné, mezi buňkami jsou zřetelné intercelulární prostory, které patrně ovlivňují refrakci světla a tím i barevný tón vlasu. Buňky dřeně nejsou keratinizované.

Kůra vlasu (*cortex pilli*) je nejmohutnější část vlasu a tvoří ji zrohovatělé buňky, které obsahují u pigmentovaných vlasů melaninová granula. Mezi buňkami kůry bylo nalezeno různé množství jemných dutinek, naplněných ve folikulu tekutinou a ve volné části vlasového stvolu vzduchem.

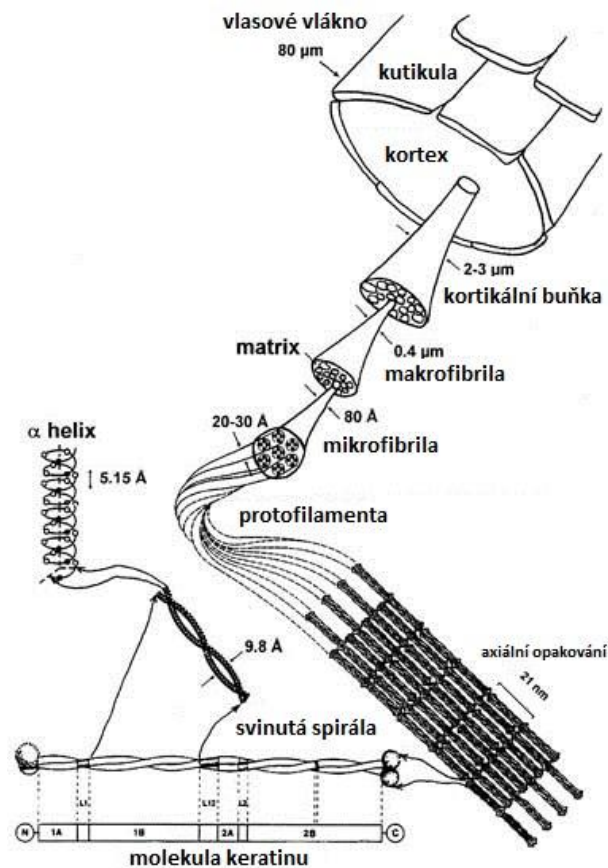
Kutikula vlasu, která je tvořena jednou řadou průsvitných buněk bez pigmentu, jeví známky keratinizace dříve než buňky kutikuly vnitřní epitelální pochvy. Volné okraje buněk kutikuly jsou zubovitě nebo pilovitě tvarovány a směřují nahoru k volnému konci vlasu. Ve folikulu jsou zaklesnuty mezi šindelovitě uspořádané buňky kutikuly vnitřní epitelální pochvy, které jsou orientovány volnými okraji směrem dolů k bulbu. K úplné keratinizaci buněk dochází až v horní třetině folikulu. Šupiny nebo také oploštělé buňky kutikuly jsou 0,5 μm tlusté, ale protože se na povrchu vlasu stříškovitě překrývají, je kutikula objemnější. Srovnáním šupin kutikuly bylo zjištěno, že každý člověk má charakteristický tvar a uspořádání a tyto znaky jsou dány geneticky [1, s. 28-30, 36].

1.2.2 Chemická struktura

Vlasy jsou v podstatě vytvořeny z proteinu. Konkrétně z keratinu, který je tvořen z nerozpustného cystinu uspořádaného do šroubovitého proteinového komplexu (Obr. 6). Vlasy se skládají z amorfni matrice s vysokým obsahem síry v proteinech. Tyto proteinové komplexy, které tvoří 65 % až 95 % hmotnosti vlasu, jsou mimořádně odolné proti degradaci a jsou tedy označovány jako tvrdé keratiny, na rozdíl od měkkých keratinů, které tvoří pokožku.

Každý vlas se skládá z různých vrstev, které jsou tvořeny ze spojených, zrohovatělých, vřetenovitých buněk a vytváří soudržné vlákno. Největší hmotnost vlasu zaujímá kůra. Kůra se skládá z vřetenovitých buněk oddělených úzkou mezerou, která představuje bílkovinou mezibuněčnou lamelu a ta drží buňky pohromadě. Je to právě tato organizační struktura, která poskytuje mechanickou pevnost vlasu.

Dřeň je vytvořena z proteinu známého jako trichohyalin. Funkce dřeně zůstává neznámá, nicméně obsahuje glykogen a melanozomy. U starších jedinců dochází k prodlužování buněk, které začnou vysychat a naplní se vzduchem. Vlasy, které mají větší průměr jako například ty, které se nachází na pokožce hlavy, mají větší pravděpodobnost tvorby vzduchových pórů, protože obsahují dřeň na rozdíl od jemnějších tělesných chlupů [3, s. 6].

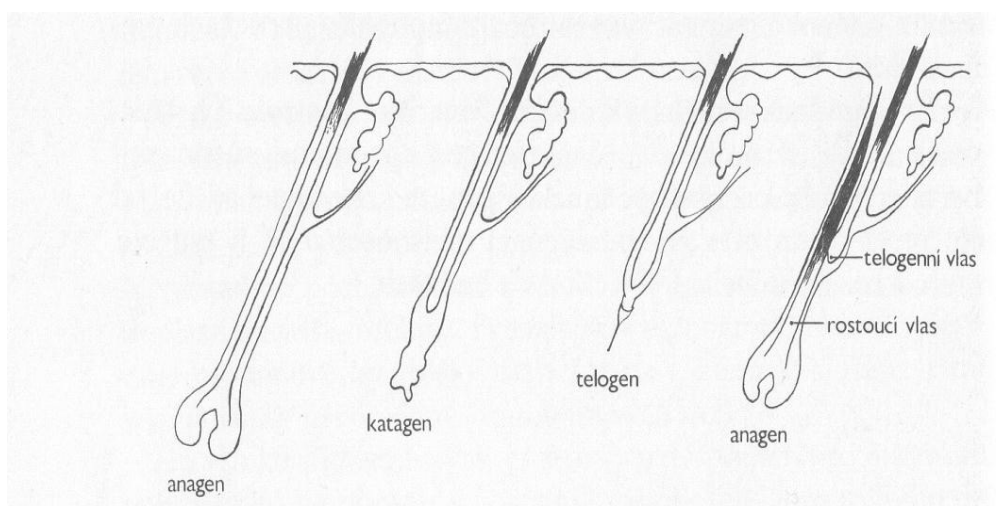


Obr. 6. Schéma struktury vlasu [4]

1.3 Cyklus růstu vlasu

Vlasy jsou neživé, přesto prodělávají cyklus konstantní obnovy a vylučování. Na rozdíl od životně důležitých orgánů jako je například srdce, játra a ledviny, kde dochází pouze k omezené obnově buněk, vlasy rostou úžasných 0,35 mm za den, a umožňují tak odstranění starých, poškozených vlasů, které jsou snadno nahrazeny novými. Vlas je jedinou tělní jednotkou, která je zcela obnovitelná bez zjizvení tak dlouho, dokud folikul zůstává funkční. Toto neustálé obnovování také znamená, že veškeré kosmetické úpravy tvaru, barvy nebo textury jsou dočasné, dokud nedojde k chemické změně a vlasy vypadnou [3, s. 1].

Proces růstu a výměny vlasů, jak znázorňuje Obr. 7, probíhá ve třech fázích, které se cyklicky opakují. První fáze, kterou je anagen, je charakteristická proliferací a diferenciací buněk a po určité době zánikem dolní části folikulu. Druhá fáze je přechodná, nazývá se katagen a navazuje na klidovou fázi. Třetí, klidová fáze se nazývá telogen a vlasový folikul je značně redukován. V této fázi existuje pouze stacionární horní třetina folikulu a již nerostoucí vlas připravený k vypadnutí. Pod ním jsou však zachovány zbytky tkání schopné nové proliferace a celý cyklus a produkce vlasu se opakuje [1, s. 44].



Obr. 7. Cyklus růstu vlasu [1, s. 44]

Fáze známá jako anagen, trvá přibližně 1000 dnů a přechodná fáze katagen asi 2 týdny. Klidová fáze telogen trvá přibližně 100 dní. Vlasy se tedy vyznačují relativně dlouhou anagenní fází a relativně krátkou telogenní fází. Pouze 1 % folikulů je v katagení fázi. To znamená, že zdravý jedinec ztrácí 100 vlasů za den. Odhaduje se, že každý folikul dokončí tento cyklus 10–20 krát za život, ale růstová aktivita každého folikulu je proměnlivá [3, s. 4].

1.3.1 Anagen

Růstová fáze probíhá v několika etapách, které lze rozdělit na časný a pozdní anagen. Prvním projevem nové aktivity je mitotické dělení buněk v dolní části telogenního folikulu. Buňky se začínají formovat do tvaru sloupce, který roste do hloubky koria, kde obklopuje znovu se rozvíjející vazivovou papilu. Folikul v okolí spodní části nerostoucího telogenního vlasu je bez mitóz, ale epitel při vyústění folikulu na povrchu *epidermis* pokračuje nadále v buněčné aktivitě. Později je časná fáze anagenu charakterizována rychlou proliferací folikulu do koria. Mitoticky aktivní buňky se přeměňují v cibulku a nastává reprodukce

celého vývoje nového vlasu a jeho epiteliálních i vazivových obalů. V prstenci matrix, který obklopuje dermální papilu, dochází k diferenciaci buněk jednotlivých vrstev vlasu a vnitřní epiteliální pochvy. Nově vytvořený vlas končí svou špičkou u spodní části telogenního vlasu předešlé generace. Pro pozdní anagen je typická plně rozvinutá struktura folikulu a kontinuální produkce vlasu. Anagenní folikul je v této době maximálně dlouhý. Nový vlas proniká podél starého vlasového stvolu k povrchu, odsunuje starý vlas stranou a ten po určité době vypadává [1, s. 44-46]. Trvá to přibližně 3 týdny, než se nově vytvořené vlasy objeví na povrchu pokožky hlavy [3, s. 2].

1.3.2 Katagen

Jedná se o proces destrukce dolní části folikulu a dochází k zástavě mitotické aktivity keratinocytů v matrix, která postupně atrofizuje. Současně melanocyty ztrácejí schopnost vytvářet pigment, jejich dendrity jsou resorbovány a objem melanocytů se zmenšuje. Po zastavení mitotické aktivity v matrix, buňky vycestují z vlasové cibulky a obklopí nerostoucí vlas. Zevní epiteliální pochva zůstává ve spodní části folikulu na rozdíl od vnitřní epiteliální pochvy, která se spolu s vlasem posunuje do horní části folikulu. Později zevní epiteliální vrstva atrofizuje a vytváří kolem vlasu epiteliální obal. Z něj se dále formuje tenký sloupec několika vrstev buněk, který spolu se zbytky zvrásněné membrány vitrea a vazivové pochvy vytváří po určitou dobu celý dolní segment katagenního folikulu. Zkracováním se sloupec buněk přibližuje spolu s papilou k stacionární části folikulu, kde se přetváří ve shluk buněk. Jakmile se rozpadne a téměř úplně resorbuje, je katagenní přeměna folikulu ukončena a nastává klidová fáze.

1.3.3 Telogen

V klidové fázi je folikul krátký a jeho spodina končí v blízkosti mazové žlázy. V dolní části přiléhají stěny folikulu pevně ke stonku telogenního vlasu, jehož spodní část je kartáčovitě roztržena a obklopena buněčnou masou zaniklého bulbu. Z vazivové pochvy, která je z velké části resorbována, zůstávají jen malé zbytky v okolí folikulu. Klid v telogenním folikulu je pouze zdánlivý, protože se již formuje zárodek nového folikulu [1, s. 44-46].

2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

Vlas se utváří ze zrohovatělých buněk obsahující vysoce organizovanou strukturu. Orientace a biochemická struktura jsou navrženy tak, aby vlákno bylo až pozoruhodně odolné vůči různému namáhání jako je tření, napínání, ohýbání, ultrafialové (UV) záření a chemické poškození. Vlasy mají tvar velmi protáhlého válce, jehož délka se velmi liší. Průměr se může značně lišit od 40 μm až po 120 μm [5, s. 1].

Růst vlasů může být ovlivněn fyzickými faktory, jako jsou těžké nemoci, chirurgické zákroky, změny hmotnosti, těhotenství, hormonální změny, anomálie štítné žlázy, dermatologické onemocnění a emocionálními faktory. Nejvíce vlas ovlivňují fyzikální změny jako stříhání, česání a barvení. Stříhání vlasů může stimulovat růst, ale složení vlasu zůstává stejné [3, s. 5].

2.1 Pevnost

Fyzikální vlastnosti vlasu jsou spojeny s geometrickým tvarem a organizací jednotlivých složek. Jak již bylo uvedeno výše, kůra je do značné míry odpovědná za pevnost vlasu, ale bez kutikuly by nebyla schopna vzdorovat mechanickému namáhání. Nejběžnější mechanické namáhání, kterému vlas musí odolat, je natahování, jelikož nejběžnější činností je česání. To vyžaduje, aby se vlasy mající elastické vlastnosti při deformaci tahem vrátily do normálního stavu. Vlasy mohou být roztaženy o 30 % své původní délky ve vodě bez poškození, ale nevratné změny nastávají, když jsou vlasy natažené o hodnotu mezi 30 % a 70 % své původní délky. Při tahu až o 80 % původní délky dochází k přetržení vlasu [3, s. 8].

Kromě česání musí vlasy rovněž odolávat opakovanému vlhčení a sušení, které jsou součástí procesu mytí vlasů. Je to voda uvnitř vlasu, která zajišťuje optimální pružnost, ale voda může být také absorbována externě. Pórovitost vlasu je asi 20 %, což umožňuje zvýšení hmotnosti o 12–18 %, pokud se vlasy namočí do vody. Absorpční rychlost je velmi vysoká, asi 75 % maxima vody vstupující do vlasu se vstřebá během 4 minut. Absorpce vody způsobuje botnění vlasu, což je prvním krokem kosmetického chemického ošetření. Zvlhčování a následné sušení vlasu je také nepostradatelné pro vlasový styling [3, s. 9].

2.2 Tření

Další důležitou fyzikální charakteristikou vlasů je interakce mezi přilehlými vlasy v podobě tření. Bylo prokázáno, že mokré, rovné vlasy podléhají většímu tření při česání než suché, rovné vlasy. Toto zajímavé pozorování vede k myšlence, že vlasy by neměly být česány, když jsou mokré, aby se zabránilo protahování vlasů a jejich lámání. Další interakce mezi vlasy způsobují vznik statické elektřiny. Statická elektřina působí především na suché vlasy, protože ionty jsou ve vlasu izolovány. V mokrých vlasech jsou tyto ionty v kontaktu, což způsobuje vynikající vodivost i díky přítomnosti vody. Statická elektřina vytváří problém při česání, protože vlasy se navzájem odpuzují a vytváří rozlétané vlasy, které se drží dál od pokožky hlavy. Tvorba statické elektřiny je nižší v chladnějších podmínkách a při zvýšené vlhkosti [3, s. 9].

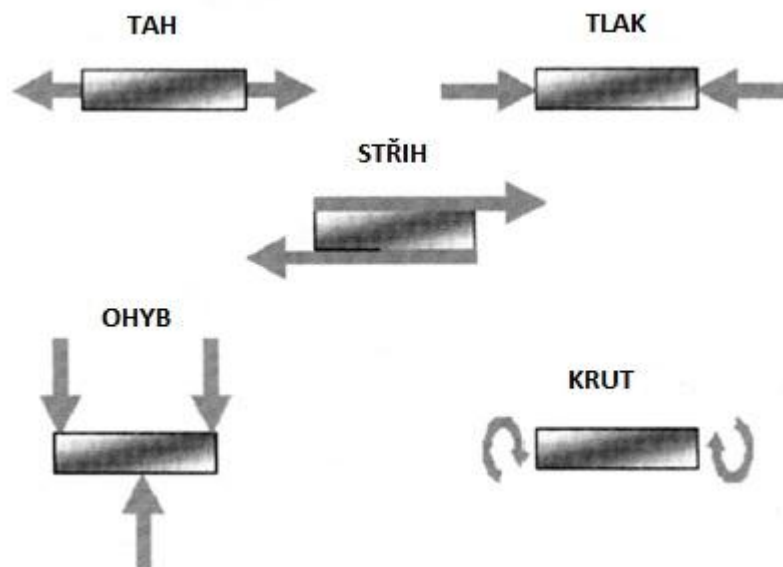
2.3 Tvar vlasu

Poslední otázkou, kterou je třeba zvážit s ohledem na fyzikální vlastnosti, je tvar vlasu. Celkový tvar vlasů je dán jeho příčným průřezem. Kavkazský typ vlasů má eliptický průřez typický pro mírné zvlnění, zatímco asijský typ má kruhový průřez, což vede k rovným vlasům. Africký typ vlasů je totožný s kavkazským a asijským typem ve svém obsahu aminokyselin, ale má o něco větší průměr, nižší obsah vody a co je nejdůležitější, má zploštělý eliptický tvar příčného řezu. Právě asymetrie tohoto průřezu odpovídá za nepravidelný zvlněný vzhled. Vlasy, které jsou zvlněné nebo mírně zvlněné, mají příčný průřez, který tvoří kruh nebo zploštělou elipsu. Průřez vlasového vlákna neovlivňuje pouze míru zkadeření, ale také určuje množství lesku a schopnosti mazu potáhnout vlas. Rovné vlasy mají větší lesk než kudrnaté díky svému hladkému povrchu, což umožňuje maximální odraz světla a snadnost pohybu mazu od pokožky hlavy až ke koncům. Nepravidelné zvlnění způsobuje matný vzhled v důsledku drsného povrchu a sníženou možnost mazu transportovat se z pokožky hlavy, přestože africký typ vlasů má tendenci produkovat více mazu. Tvar vlasu také určuje způsob péče. Rovné vlasy jsou nejjednodušší na úpravu, protože tření při česání je nízké a vlasy lze snadno upravit do účesu [3, s. 9, 11-12].

2.4 Mechanické vlastnosti

Jakýkoli materiál, pevný nebo pseudoplastický, lze podrobit mechanickému namáhání. Při působení sil, dostává materiál nový tvar a odolává deformaci tím, že působí opačnými silami, které směřují k návratu do svého původního stavu. Z Obr. 8 je zřejmé, že existují čtyři hlavní typy namáhání [5, s. 36]:

- tah nebo tlak,
- stříh,
- krut,
- ohyb.

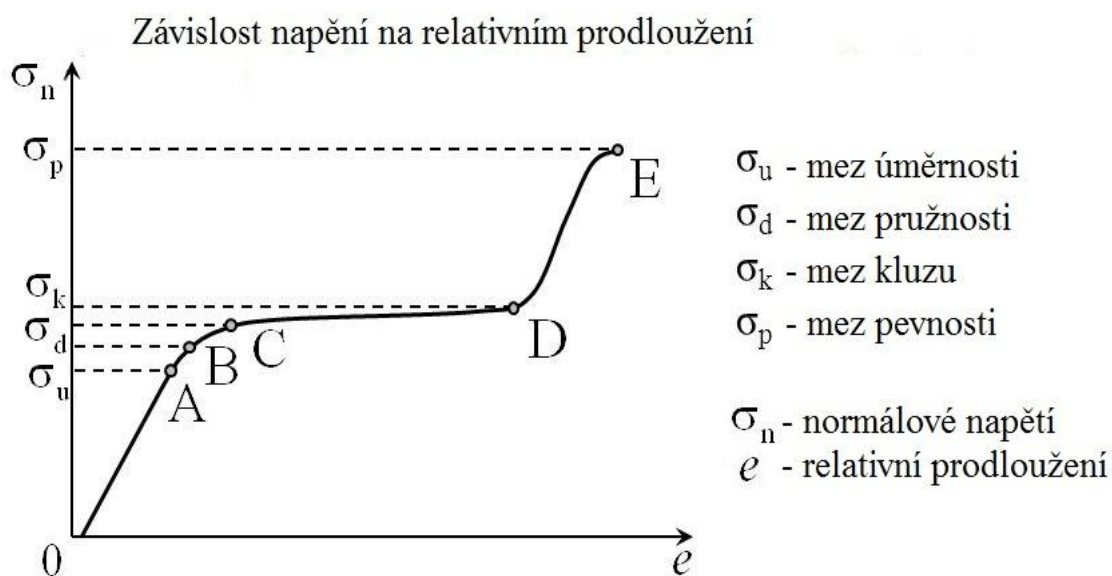


Obr. 8. Typy deformace [5, s. 37]

Tahové vlastnosti jsou vzhledem ke geometrii vlasů nejjednodušší na vyhodnocení a mohou být dlouze zkoumány. Obvyklý postup při posuzování tahových vlastností vlasů je použití klasického přístroje nazývaného extenzometr. Obr. 9 znázorňuje závislost napětí na deformaci jednoho vlasového vlákna. Můžeme zde rozlišit tři oblasti, ve kterých se reakce vlasu na zatížení liší [5, s. 37-38]:

1. Mezi 2–3 % prodloužení je napětí téměř úměrné použité deformaci. Vlasy se chovají jako elastický materiál, proto se tato oblast nazývá Hookova. Tato teorie je nyní zpochybňována některými studiemi a předpokládá se, že vlasy v této zóně mají více viskoelastické chování.

2. Mezi 4–30 % prodloužení se deformace zvyšuje velmi rychle, aniž by došlo ke změně v napětí, které působí na vlas. Vlasy se chovají v této oblasti jako kapalina nebo téměř dokonale plastický materiál. Tato oblast se nazývá oblast kluzu. Za specifických podmínek, může být pozorováno zotavení vlasu.
3. Při více než 30% prodloužení, je napětí opět proporcionální a vlasy se opět chovají jako pružné pevné látky. Je to oblast natahování, ve které dochází k poškození a nakonec ke zlomení vlasového vlákna.



- 0A - platí Hookův zákon
 AB - deformace je pružná, ale potřebuje dlouhý čas
 CD - oblast kluzu, při malé síle dochází k velké deformaci
 DE - oblast zpevnění
 E - těleso je zničeno

Obr. 9. Závislost napětí na deformaci [6]

Několik dokumentů se snažilo vysvětlit tři oblasti této křivky jako funkci organizační struktury keratinu. Některé studie [7], [8, s. 1937] na ovčí vlně identifikovaly transformaci α -keratinu na β -keratin těsně za Hookovou oblastí. V Hookově oblasti zodpovídají za makroskopické prodloužení především vodíkové vazby a soli obsažené ve vlasovém vláknu. Za druhou oblastí se množství β -keratinu zvyšuje. Na konci této oblasti je přibližně jedna třetina keratinu v β struktuře. Za odolnost proti namáhání po překročení 30% prodloužení jsou zodpovědné kovalentní vazby a to konkrétněji disulfidické můstky [5, s. 38].

Ludwig Rebenfeld a kolektiv publikovali [9, s. 527-528], že Hookova oblast, kdy je napětí přibližně úměrné deformaci vlákna, odpovídá úhlu vazby a deformaci mikrofibril. Při určité deformaci, obvykle v počáteční oblasti kluzu, se α -šroubovice mikrovlákna začne rozplétat do struktury β . Poté, co je dokončena transformace způsobující prodloužení vlákna o více než 100 %, napětí se náhle prudce zvyšuje a dochází k praskání vlákna při prodloužení přibližně o 50 %. Značná neshoda existuje o strukturálním a molekulárním výkladu v oblasti zpevnění, ale je obecně uznávaným názorem, že v této oblasti dochází k zapojení zesíťovaných disulfidických vazeb v deformačních procesech.

Kromě toho bylo prokázáno [10], že při mechanickém napínání mikrofibrily, dochází ke kombinaci dvou procesů a to především ke kroucení keratinových řetězců a posunu těchto řetězců v rámci mikrofibrily. Ve vodě převládají posuvné procesy, zatímco při vlhkosti 45 % vede kombinace obou postupů k tavení mikrofibrily v supramolekulární struktury [5, s. 39].

Celkový průběh křivek je podobný křivkám při napínání polymeru. Překvapujícím jevem, který je specifický pro keratinová vlákna, je kapacita protažení a to především v mokřem stavu. Po uvolnění napětí lze získat počáteční stav vlasu a to i po dosažení oblasti za 30 % protažení. V případě dokonale elastických materiálů po uvolnění napětí získáme vzorek s jeho počátečními rozměry okamžitě. Naproti tomu v případě dokonalých plastů, uvolnění napětí nezpůsobí žádnou změnu prodloužení.

Vlasy nejsou ve skutečnosti nikdy dokonale elastické. Návrat k počátečnímu stavu probíhá při určité rychlosti, proto tedy musí být vlasy považovány za viskoelastický materiál. Doba návratu do počátečního stavu může být nekonečně dlouhá, především v případě vláken natažených ve vodě a uvolněných po uschnutí. Pokud je vlas roztažen ve vodě a uvolněn ještě za mokra, může poměrně rychle, během několika hodin, znovu získat svou původní velikost a vlastnosti [5, s. 39].

2.4.1 Ohyb

Při ohybu vlasového vlákna je vnější část podrobena prodloužení a vnitřní část stlačení. Tento typ namáhání není jednoduché u vlasu sledovat, ale jeho vyhodnocení je velmi užitečné, protože má vliv na vnější vrstvy vlákna, jejichž vlastnosti jsou málo ovlivněny prodloužením. Bylo navrženo mnoho způsobů pro měření ohybu, včetně statické metody, při které je vlákno ohnuté a za použití dané síly je zaznamenáváno jeho namáhání. Další metoda je dynamická, kdy vlákna jsou připojena horizontálně jedním koncem a jsou podrobeny

na vibracím. Při použití kyvadla bylo dokázáno, že ohýbání je přímo úměrné průměru vláken [5, s. 40].

2.4.2 Krut

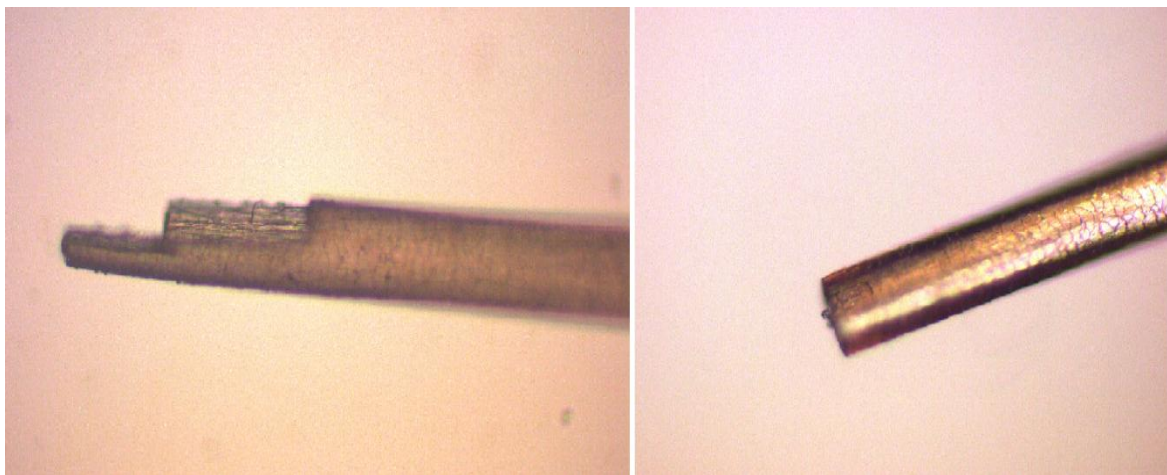
Vzhledem ke geometrii vlasů a zejména kvůli malým průměrům a eliptickému tvaru, jsou tyto vlastnosti těžké k vyhodnocení. Nicméně metody založené na torzi se podařilo vytvořit a to i v kapalném médiu. Hodnocení chování vlasů podle torze je velmi užitečné, protože tento typ deformace se vztahuje k jednotlivým strukturálním zónám na rozdíl od deformací, které odpovídají za chování v tahu nebo ohybu. Ostatně axiální fibrilární krystalická struktura proteinu způsobuje, že mikrofibrily jen málo ovlivňují kroucení. U tohoto druhu měření je výsledek získán z chování amorfních oblastí matrice kortexu. Proto tato metoda byla použita ke stanovení vztahu mezi strukturou matrice a vlastnostmi vlasů. Ukázalo se, že při torzi a tahových zkouškách vlasů v suchém stavu, neměla teplota významný vliv na modul pružnosti. Na rozdíl od toho ve vodě se modul pružnosti v závislosti na teplotě měnil. Iontové a vodíkové vazby jsou tedy velmi důležité pro torzní vlastnosti [5, s. 40-41].

Různé studie ukázaly [11, s. 103], [12, s. 586], [13, s. 418], že není zřejmý vztah mezi torzí a průměrem vlákna. Bez ohledu na průměr vlasu je tloušťka kutikuly na povrchu stejná a to kolem 3 μm . Kutikula je tedy zodpovědná za plastickou povahu a nízký modul pružnosti. Mechanické vlastnosti jsou ovlivněny obsahem vody, teplotou a kosmetickým ošetřením, nebo poškozením, které vyvolávají faktory životního prostředí, jako například UV záření [5, s. 42].

2.5 Lom

Vlasové vlákno je velmi silné. Zatížení nutné pro roztržení zdravých vlasů se pohybuje mezi 50 a 100 g. Průměrná zdravá hlava, která má asi 120 000 vlasů, může udržet 12 tun. Africký typ vlasů je poměrně křehký vzhledem k jeho velmi kroucené struktuře, konfiguraci a zploštění. Asijský typ vlasů je velmi silný a odolnost proti přetržení je podobná jako u kavkazského typu. Vlhkost a kondicionování vlasového vlákna hrají důležitou roli v typu lomu. Jak znázorňuje Obr. 10, při přetržení vlasu můžeme rozlišit dva typy fraktury [5, s. 39]:

- stupňovitý lom,
- hladký lom.



Obr. 10. Stupňovitý a hladký lom vlasu [vlastní zdroj]

2.6 Relaxace

Bylo provedeno několik studií [14, s. 557-558], [15, s. 599] zaměřených na chování vlasu při relaxaci, aby bylo možné popsat vztahy mezi strukturou a vlastnostmi, a tak stanovit účinky některých částí struktury na makroskopické vlastnosti. Specifická studie [16, s. 469] o uvolnění vlněných vláken po namáhání ukázala, že roztažení vlákna závisí na obsahu vody. Relaxace probíhající ve vodě byla rychlá a hlavní roli v průběhu relaxace hrály nekovalentní vazby. Relaxace probíhající na vzduchu byla pomalejší, protože došlo k rozštěpení disulfidických vazeb [5, s. 42].

2.7 Dynamická měření

Viskoelastické vlastnosti materiálů mohou být studovány při použití cyklického namáhání. Tento typ testování se často používá při zkoušení polymerů, které nevykazují dokonale elastické chování. Dynamická měření berou v úvahu parametry, které se neprojeví při statickém namáhání. Mezi parametry patří časová prodleva mezi stresem a odezvou materiálu, kdy se projevuje rozptyl energie vyskytující se v materiálu. Kromě toho, tento typ měření je ideální pro sledování změn mechanických vlastností v průběhu času, neboť můžeme sledovat změny ve složení vlasu [5, s. 42].

Torzi je možné měřit dynamicky. Pomocí této metody Mackay a Downes [17, s. 37-38] uvedli, že napětí vyskytující se v průběhu sorpce a desorpce způsobilo dočasné snížení torzního modulu. Tento jev může být předmětem přechodné sorpce vyvolané penetrací vody do svrchních částí. Poté co napětí přestane působit lze očekávat znovuobnovení pů-

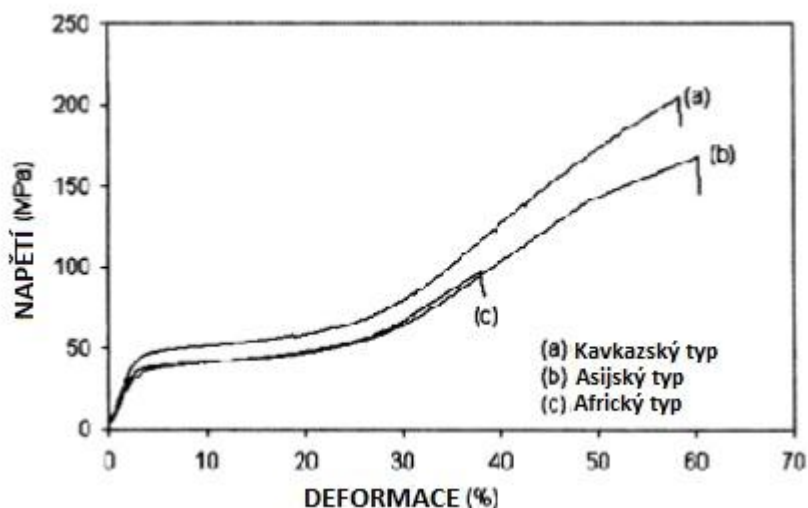
vodních vazeb. Toto pozorování je třeba porovnat s dříve popsány mi jevy, které mají vliv na dynamické tahové vlastnosti.

Wolfram a Albrecht [18, s. 98] studovali viskózní chování vlasů v suchém stavu a ve vodě. Uváděné výsledky naznačují, že zatímco je vlasová kutikula tvrdá a odolná v suchém stavu, při namočení do vody se celkově vlas stává tvárnější.

2.8 Etnický původ

Sklon křivky, která udává závislost napětí na deformaci, je nezávislý na etnickém původu vlasů. Nicméně je třeba zohlednit rozdíly zjištěné pozorováním. Například asijské vlasy se vyznačují větším průměrem, jsou považovány za odolnější a je třeba většího zatížení, aby se dosáhlo dané délky. U afrických vlasů se velikost průměru značně liší kvůli konfiguraci kudrnatých vlasů.

Pro porovnání mechanických vlastností je nutné vzít v úvahu průměr vlasů. Obr. 11 představuje závislost napětí na deformaci vlasů ve vodě, přičemž napětí je vyjádřeno jako působící síla dělená průměrem vlasů. Za těchto podmínek jsou pozorovány jen malé rozdíly v namáhání s ohledem na etnický původ vlasů. Africký typ vlasů se liší od ostatních dvou typů nižší pevností. Dochází k přetržení vlasu již při mnohem menším napětí [5, s. 46-48].



Obr. 11. Závislost napětí na deformaci pro různé typy vlasů při relativní vlhkosti 100 % [5, s. 48]

3 FYZIKÁLNÍ A CHEMICKÉ VLIVY

Lidské vlasy jsou biologický materiál a jsou neustále vystaveny různým vnějším faktorům, jako je vlhkost, sluneční paprsky, teplota a chemické přípravky. Všechny vlivy mohou změnit fyzikální chování vlasů. Studium biofyzikálních vlastností lidských vlasů je velmi důležité jak v dermatologii, kde poskytuje užitečné poznatky pro diagnózu poruch vlasů, tak v kosmetice k vývoji lepších přípravků pro péči o vlasy. Voda je jedním z vnějších faktorů a její účinek na mechanické chování je nejvíce viditelný. Pro pochopení úlohy vody v biofyzikálním chování vlasů je nezbytné studovat její vliv na α -keratin, který tvoří hlavní část struktury vlasů [19, s. 1411].

3.1 Tloušťka kutikuly

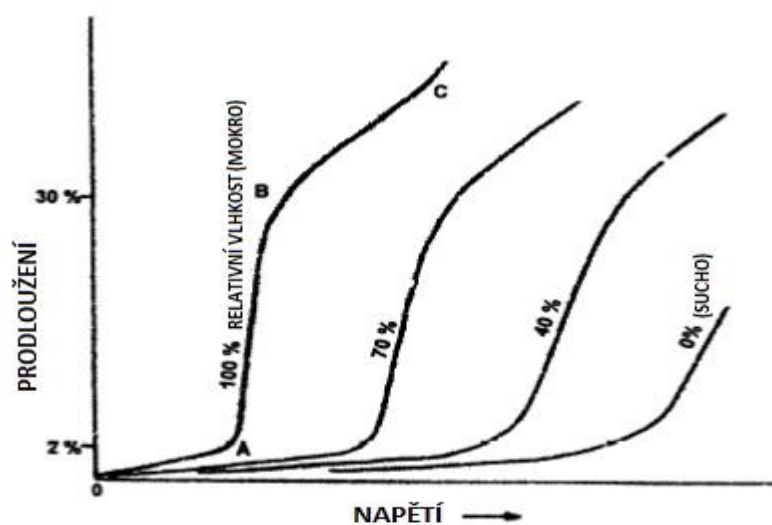
Je dobře známo, že buňky kutikuly jsou v podstatě neroztažné a prodloužení vlasu způsobuje hlavně smykové napětí mezi vrstvami různého složení a roztažnost ostatních buněk. Při natahování vlasu dochází k poruchám ve slabé endokutikule a poškození je nevratné [5, s. 43].

Bylo poukázáno na to [20, s. 11759], že i přes relativně malou tloušťku kutikuly, má právě kutikula významný podíl (74 %) na celkovém odporu proti ohýbání vlasu, přičemž za 66 % odporu proti ohýbání odpovídá exokutikula a za 8 % endokutikula. Robbins a Crawford [21, s. 59] provedli studii, ve které zkoumali tahové vlastnosti vlasů s kutikulou a poté bez kutikuly, kterou odstranili pomocí kyseliny. Rychlost difuze kyseliny přes vlasy by měla být podstatně pomalejší než při použití peroxidu. V experimentu docházelo k významnému snížení tahových vlastností až po několika násobném použití kyseliny, což můžeme přirovnat k opakovanému barvení vlasů. Jednalo se o 6 opakování v případě suchých vlasů a o 9 opakování u mokrých vlasů. Postupně docházelo k oddělení buněk kutikuly. Daná studie nezjistila žádné změny vlastností v tahu mokrých nebo suchých vlasů, pokud porovnáme vlasy s kutikulou a bez kutikuly. Tyto výsledky jsou v souladu s hypotézou, že tahové vlastnosti vlasů jsou dány především strukturou kortexu, ať již s malou nebo žádnou vrstvou kutikuly. Nedostatek zapojení nebo dokonce minimální zapojení kutikuly do odolnosti vlasu proti tahovému namáhání se může zdát překvapivé, protože kutikula představuje přibližně 22 % z celkové plochy průřezu vlákna. Proto by bylo poněkud překvapivé, kdyby se kutikula vůbec neúčastnila tahových vlastností lidského vlasu. Ale předcházející pozorování podporují výše uvedenou hypotézu, že kutikula u člověka je jen málo zapojena do tahových vlastností lidského vlasu.

3.2 Voda

K interakci mezi lidskými vlasy a vodou dochází nepřetržitě v atmosférickém vzduchu a ještě více během aplikace šamponu a kondicionéru [22, s. 5255]. Stabilita struktury proteinu vlasu, zejména v kortikálním matrixu, je způsobena vysokou hustotou sítě slabých vazeb, které existují mezi polypeptidovými řetězci. Tyto nekovalentní, vodíkové vazby jsou značně narušeny zavedením vody do konstrukce vlasu. V důsledku toho se mechanické vlastnosti vláken značně mění a to zejména jejich reakce na tah (Obr. 12). Největší vliv vody nastává při poměrně vysokém namáhání, jak o tom svědčí následující pozorování [5, s. 44].

- Snížení deformace v oblasti kluzu nevyvolává žádné znatelné změny. Ve vodě je dané napětí zhruba dvakrát menší než v suchých podmínkách.
- Zvýšení deformace v bodu zlomu je doprovázeno poklesem napětí, aniž by docházelo k měřitelné změně modulu v oblasti zpevnění.
- V menší míře dochází k poklesu modulu pružnosti v Hookově oblasti.



Obr. 12. Typická závislost napětí na protažení keratinových vláken při čtyřech úrovních relativní vlhkosti vzduchu [5, s. 44]

Stejným způsobem probíhají i relaxační procesy. Pokud prodloužíme vlasy až do meze kluzu (115–130 % počáteční délky) v suchém prostředí, kde je nízká relativní vlhkost vzduchu, bude potřeba nekonečně dlouhé časové období, než znovu získají svou původní délku. Naproti tomu, když se stejný experiment provede ve vodě, vlasy budou vyžadovat pouze několik hodin k návratu do své původní délky [5, s. 44].

3.3 Teplota

Řada studií [9, s. 530], [23, s. 1032-1033], [24, s. 728] byla provedena s použitím ovčí vlny a výsledky naznačují vliv teploty na mechanické vlastnosti vlasu. Byly použity metody s nadměrným namáháním krutem, ale rovněž jiné typy namáhání. Účelem bylo lépe pochopit vztah mezi vlastní strukturou a popsat chování vlny a vlasů při změnách teplot. Při experimentu bylo pozorováno snížení modulu pružnosti, když teplota klesla na $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Míra poklesu je závislá na obsahu vody ve vlasech. Naopak při teplotě $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ je struktura α -keratinu nahrazena randomizovanými krystaly β -keratinu [25, s. 660]. Několik dokumentů popsal pouze změnu mechanických parametrů dle teploty v lidských vlasech [23, s. 1032-1033], [26, s. 533]. Bylo zjištěno, že pevnost vlákna se snižuje s rostoucí teplotou, zatímco roztažnost se zvyšuje [5, s. 46].

Vliv teploty na mechanické vlastnosti vlněného vlákna byl sledován také ve vztahu k vzájemné výměně disulfidických vazeb. Weigmann a kolektiv [27, s. 609] naopak ukázali, že elasticita v oblasti zpevnění klesá s rostoucí teplotou, a že částečná redukce disulfidických vazeb má vliv nejen na tvar křivky, ale také závisí na teplotě. Teplota přechodu, která byla silně závislá na obsahu volné sulfidové skupiny, byla interpretována jako teplota, při které začíná chemický proces v matrici [9, s. 528].

3.4 Barvení

Nejdůležitější mechanickou vlastností vlasů je jejich pružnost. Zesvětlování vlasů mění jejich pružnost a dochází tedy ke snížení tahových vlastností až o 25 %. Jak je zřejmé z této studie [28, s. 150], která srovnává barvené a nebarvené vlasy, barvení neovlivňuje mechanické vlastnosti. Elasticita mokrých a suchých vlasů je přímo úměrná průměru vlasu. Síla potřebná k přetržení vlasu roste s rostoucím průměrem vlasů. Uvedené údaje potvrzují, že velikost síly potřebné k přetržení vlasů, které mají průměr $50\text{ }\mu\text{m}$ a méně, je významně menší, než velikost síly potřebné k přetržení vlasů, které mají průměr $51\text{ }\mu\text{m}$ a výše. Studie také ukázala, že průměr je nejdůležitějším faktorem pro mechanické vlastnosti vlasů. Bylo zjištěno, že průměr vlasů se zvyšuje do 20–30 let života, přičemž poté začíná klesat [29, s. 64]. Kromě toho, pokud se porovnaly síly potřebné k přetržení vlasů u žen a mužů, významný rozdíl nebyl pozorován.

Mezi fyzikální vlastnosti vlasů se řadí tahové vlastnosti a deformační chování, kam patří chování při natažení, ohybu, namáhání krutem, dále plocha a tvar průřezu, hustota, koefi-

cient tření a velikost statického náboje. Pokud je souvislost mezi mechanickými vlastnostmi vlasů a jejich odolností vůči každodennímu namáhání, můžeme měnit vlastnosti vlasů pomocí kosmetických přípravků, což vyžaduje další studie. V budoucnosti bude třeba podrobněji zkoumat mechanické vlastnosti lidských vlasů, strukturu proteinů, α keratinová vlákna a mikrofibrily. Změny mechanických vlastností, které jsou závislé na těchto biologických faktorech, mohou v budoucnosti pomoci dermatologům diagnostikovat symptomy různých onemocnění [28, s. 150-151].

3.5 Sušení

Vysoušeče vlasů jsou běžně používány a mohou způsobit poškození vlasů, kvůli kterému se vlasy jeví jako drsné, suché a ztrácejí přirozenou barvu. Je důležité zvolit nejšetrnější způsob sušení, aby nedošlo k poškození vlasů. Studie hodnotila změny v mikrostruktuře, morfologii, obsahu vlhkosti a barvě vlasů po opakovaném šamponování a sušení s vysoušečem vlasů v následujícím rozmezí teplot. Prameny vlasů byly rozděleny do následujících pěti zkušebních skupin [30, s. 455-462]:

- nesušené vlasy,
- sušení bez použití vysoušeč vlasů (pokojová teplota 20 °C),
- sušení s vysoušečem vlasů po dobu 60 sekund na vzdálenost 15 cm (47 °C),
- sušení s vysoušečem vlasů po dobu 30 sekund ve vzdálenosti 10 cm (61 °C),
- sušení s vysoušečem vlasů po dobu 15 sekund a vzdálenost 5 cm (95 °C).

Obsah vody byl analyzován pomocí analyzátoru vlhkosti a barva vlasů se měřila spektrofotometrem. Povrch vlasů byl více poškozen při použití vyšší teploty. Studie naznačuje, že kutikula na povrchu vlasů může hrát roli jako bariéra, aby nedošlo k poškození kůry. Obsah vlhkosti ve všech skupinách, které byly sušeny fénem, ve srovnání s volně schnoucími vlasy poklesl. Avšak rozdíl v obsahu vlhkosti mezi skupinami nebyly statisticky významné. V této studii bylo zjištěno, že sušení s použitím vysoušeče vlasů způsobuje větší poškození povrchu než přirozené sušení, ale používání vysoušeče vlasů ve vzdálenosti 15 cm s plynulým pohybem způsobí menší škody než sušení vlasů přirozeně [30, s. 455-462].

3.6 Ultrafialové záření

To, že ultrafialové záření poškozuje vlasy na povrchu, je dokázáno, ale o biochemických a fotochemických změnách, které způsobuje toto záření uvnitř vlasu, mnoho studií není. Mechanismy fotodegradace jsou stále nevysvětlené a je zde nedostatek vědeckých studií

týkajících se poškození vlasů. Sluneční záření způsobuje suchost vlasů, hrubý povrch, ztrátu barvy, snižuje pevnost a lesk, zvyšuje křehkost a celkově vytváří nezdravý vzhled vlasů. I když je to méně důležité než studium poškození kůže, zdravé vlasy jsou spojeny nejen s krásou, ale také s celkovým sebevědomím.

Melaniny, které jsou ve vlasech, poskytují fotochemickou ochranu vlasovým proteinům, zejména při nižších vlnových délkách záření, kde pigmenty a proteiny absorbují dopadající záření a následně rozptylují tuto energii jako teplo. Nicméně, v procesu ochrany vlasových proteinů před světlem, jsou pigmenty degradovány nebo běleny [31, s. 539].

Vlasy jsou sice neživé, nicméně UV záření je velmi škodlivé nejen pro kůži, ale i pro vlasy. Současné znalosti poškození slunečním zářením pochází z textilního průmyslu a zkoumání vlny. Přírodní vlákna jako je vlna, bavlna a hedvábí mění barvy při vystavení slunečnímu záření. Bílé látky mají tendenci zežloutnout a stejné je to i s vlasy.

Světlejší barva vlasů je náchylnější k poškození sluncem než například hnědé vlasy, které jsou velmi pigmentované. Černé vlasy začínají měnit barvu po vystavení simulovanému slunečnímu záření, které trvá 300 hodin, zatímco blond vlasy jsou po 300 hodinách již žluté. Zesvětlení nebo bělení nastává primárně kvůli účinkům viditelného světla. Nicméně, nedochází pouze ke změně barvy, ale také ke ztrátě vlhkosti a zvětšení tření vlasů mezi sebou na 200–300 %, což naznačuje poškození proteinů v kutikule.

Vlasový protein poškozený zejména slunečním zářením je cystein, který oxiduje na kyselinu cysteovou. Cystein je aminokyselina obsahující síru, která je nejcitlivější na oxidační poškození a samozřejmě je zodpovědná za pevnost vlasů. Další aminokyseliny, jako je tryptofan a tyrosin, jsou rovněž degradovány světlem. Po 150 hodinách slunečního záření, vykazují blond vlasy pokles tryptofanu o 25–30 %, cysteinu o 25 % a tyrosinu o 80 %. Naopak dochází k nárůstu kyseliny cysteové o 80 %. Tyto změny jsou vidět také u černých vlasů, ale ke stejnému oxidačnímu poškození by bylo zapotřebí alespoň 300 hodin slunečního záření.

Sluneční světlo také snižuje pevnost vlasového vlákna v tahu. To znamená, že při česání je větší pravděpodobnost lámání. Tento účinek ještě narůstá se zvyšujícím se věkem, jelikož průměr vlasu u mužů i žen klesá. Průměr ženského vlasu se zvyšuje až do věku 35 let, poté se postupně snižuje do věku 40 let a po menopauze dochází k dalšímu snížení. U mužů průměr vlasu klesá po pubertě.

Přírodní ochranu proti záření zajišťuje melanin, který také poskytuje endogenní ochranu v kůži. Pokles melaninu vede ke vzniku jevu známého jako vybělení. Tento jev je obzvláště výrazný u blond vlasů v létě, ale také má za následek trvalé změny vnitřních aminokyselin a externích lipidů.

Nepigmentované vlasy jako jsou například šedé a bílé, jsou náchylnější k poškození UV zářením než pigmentované vlasy. Také rychlost rozbití disulfidické vazby je vyšší u nepigmentovaných než u pigmentovaných vlasů. To znamená, že jeden z nejlepších zdrojů ochrany je barvení vlasů. Bílé nepigmentované vlasy vystavené UV záření ztrácí větší mechanickou pevnost po čtyřech dnech na rozdíl od hnědých vlasů, které jsou barveny semi-permanentní barvou. Tento stejný účinek je také vidět u trvalých barev na vlasy. Permanentní barvy na vlasy se chovají jako pasivní foto filtry a odráží nebo absorbují dopadající světlo. Jak se dá očekávat, čím tmavší je barva vlasů, tím více chrání před UV zářením [32, s. 1-2].

4 METODY ZKOUŠENÍ

Lidské vlasy jsou předmětem pozoruhodně širokého rozsahu vědeckého bádání. Jejich chemické a fyzikální vlastnosti jsou důležité pro kosmetický průmysl, forenzní vědu a biomedicínské výzkumné pracovníky [33]. Zatím nebyly určeny přesné metody a postupy pro měření, proto každý výzkum probíhá za odlišných podmínek.

4.1 Tahová zkouška

Kvalitní vlasy a vlasová pokožka jsou charakteristiky považované za významný ukazatel zdraví. Tato kvalita se odráží v mechanických vlastnostech vlasů. Jelen a kolektiv [34, s. 481-489] prozkoumali vlastnosti vlasů u žen různého věku a poté analyzovali výsledky. Tloušťka, modul pružnosti a mez pevnosti byly hlavními sledovanými parametry. Průměr každého vlasu byl měřen pomocí optického mikroskopu vybaveného digitálním fotoaparátem. Vlasy byly poté připnuty do jednoosé zkoušky tahem. Každý vzorek byl roztážen při rychlosti $2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ a byla zaznamenána síla a protažení. Výsledky byly vztaheny k průměru vlasu a křivky závislosti napětí na deformaci byly získány pro každý vzorek. Kromě toho, všechny analyzované vzorky byly rozděleny do dvou skupin v závislosti na věku, a to na vzorky od žen ve věku do 35 let a od 35 let. Mezi vzorky nebyl rozdíl v modulu pružnosti. Na druhé straně existuje významný rozdíl mezi vzorky v konečné pevnosti. Poznatky z analýzy prokázaly, že ženy do 35 let mají asi 5 krát větší pevnost vlasů, než ženy nad 35 let. Výsledky studie ukázaly, že vlasy mají tendenci sílit až do 30 let, pak pevnost pomalu klesá a dosahuje ustáleného stavu kolem 60 let.

Erik a kolektiv provedli výzkum [28, s. 148], který zkoumal sílu potřebnou k přetržení anagenních vlasů a dále zkoumali závislost síly při přetržení na průměru vlasů, pohlaví, věku a deformaci. Tento výzkum provedli i u osob užívající léky nebo barvy na vlasy a hodnotili, jak tyto faktory ovlivňují mechanickou odolnost vlasů. Nejprve byly pozorovány kořínky suchých vlasů pod fluorescenčním mikroskopem, aby bylo možné určit, zda se jedná o anagenní nebo telogenní fázi růstu. Vlasy v telogenní fázi byly ze studie vyloučeny. Ostatní vlasy byly podrobeny tahovým zkouškám, za použití siloměru se zatížením 50 N. Během experimentu byla měřena relativní vlhkost a teplota. Relativní vlhkost byla 60 %. Průměrný věk účastníků byl 32 let. Síla při přetržení vlasů v anagenní fázi byla zkoumána u 120 dobrovolníků. Osmdesát pět subjektů byly ženy a zbylých 35 muži. Průměrné stáří mužských a ženských subjektů bylo 57,71 a 31,26 let. Jedinci byli rozděleni do tří skupin podle jejich věku 16–30, 31–45 a 46–62. Síla při přetržení byla použita jako

hlavní kritérium. Průměry vlasů byly rozděleny do dvou skupin a to pod 50 μm a nad 51 μm . Toto dělení bylo určeno tím, že střední průměr byl 57,13 μm . Uvedené údaje potvrzují, že velikost síly potřebné k přetržení vlasů, které mají průměr 50 μm a méně, je významně menší, než velikost síly potřebné k přetržení vlasů, které mají průměr 51 μm a výše. Statistické vyhodnocení prokázalo významný rozdíl mezi velikostmi sil, které působí na různé průměry. Vlasy o průměru 51 μm a více vydrží větší namáhání, než vlasy o průměru 50 μm a méně.

Další výzkum [35, s. 120] zkoumal vlasy asijských a evropských žen. Průměr vlasů asijského typu byl přibližně 104,64 μm a kavkazského typu 83,83 μm . Délka vlasů byla přibližně 15 cm. Pro získání přesného měření, byly vzorky vlasů před experimentem třikrát promyty, aby se odstranily zbytky chemikálií na povrchu vlasů. Pomocí rastrovací elektronové mikroskopie byly získány snímky vlasů. Průměr vláken se měřil pomocí optického mikroskopu s digitálním fotoaparátem. Tahové testy byly prováděny za standardních atmosférických podmínek po dobu 24 hodin při teplotě 20 ± 2 $^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkosti 65 ± 2 %. Samotné vzorky byly 20 mm dlouhé a rychlost natažení byla $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Výzkum prokázal, že sekundární struktura vlasů kavkazského typu byla snadněji zničena. Tedy asijský typ vydrží větší zatížení a namáhání.

Jiná studie [4, s. 115-119] shromažďovala kvalitativní a kvantitativní údaje o morfologii, struktuře, geometrii, botnání a mechanických vlastnostech vlasových vláken různého etnického původu. Rentgenová analýza, měření příčného průřezu, tahový test a botnání ve vodě byly provedeny na třech různých typech vlasů. Vzorky vlasů použité v této studii byly získané od dobrovolníků. Vlasy afrického typu byly odebrány jedincům, kteří žijí ve Francii nebo ve Spojených státech, asijský typ byl odebrán v Číně nebo Japonsku a kavkazský typ byl odebrán v Evropě nebo Kanadě. Před zahájením měření byly vzorky vlasů promyty šamponem, opláchnuty a usušeny na vzduchu. Měření v tahu bylo provedeno za standardních atmosférických podmínek při relativní vlhkosti 45 %. Bylo zkoumáno sto jednotlivých vlasů odebraných od jednoho jedince za jednu etnickou skupinu. Výsledkem bylo, že africké vlasy jsou křehčí než ostatní dva typy. I když asijské vlasy mají větší průměr a v důsledku toho vydrží větší tahové síly než kavkazské vlasy, tyto dva typy vykazují velmi podobné chování při zátěži.

Evans a kolektiv zkoumali [36, s. 478, 481-482], zda lidské vlasy mohou navázat významné hladiny vápníku a hořčíku, které se vyskytují v tvrdé vodě. Již dříve ukázali, že tato absorpce je v první řadě závislá na stavu vlasů. V závislosti na rozsahu chemického poško-

zení, vlasy mohou navázat významné množství kovů i z měkké vody. Vlastnosti v tahu byly zkoumány v mokřém a suchém stavu. Suché vlasy o délce 30 mm, byly prodlouženy při rychlosti $20 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Mokřé vlasy o délce 30 mm byly namořeny v deionizované vodě po dobu nejméně 20 min před prodloužením při rychlosti $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Před tahovými analýzami byl průměr vlákna měřen laserovým mikrometrem. Studie vlivu tvrdosti vody na vlastnosti vlasů naznačují, že vápník a hořčík propůjčují mírné vyztužení vlasovým vláknům, což je účinek, který je závislý na typu vlasů a na podmínkách okolního prostředí. Ovšem je možné, že strukturální vyztužení není výhradně závislé na obsahu vápníku a hořčíku ve vlasech, ale spíše je závislé na poměru těchto prvků a působení různých látek na vlas. Dalším faktorem ovlivňující vyztužení může být adsorpce povrchově aktivní látky při různé tvrdosti vody. Tvrdost vody může potenciálně ovlivnit působení produktů vlasové péče.

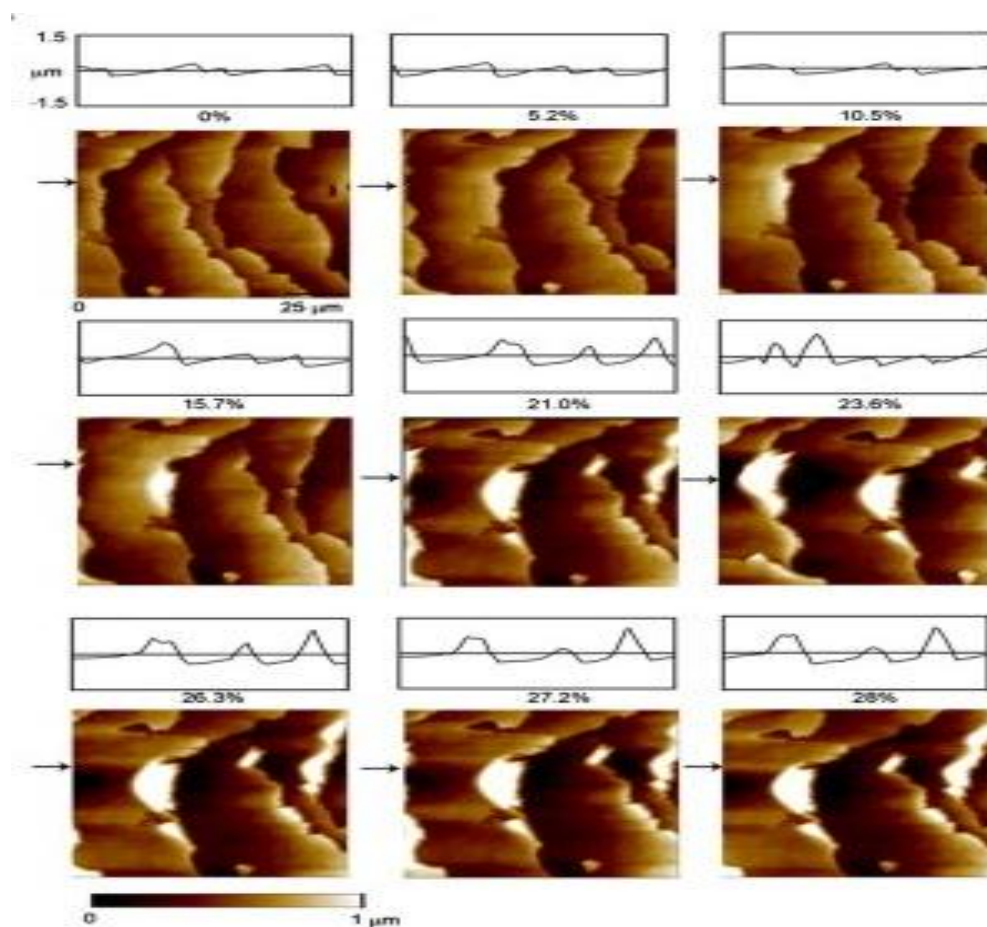
Další studie [37, s. 12] se zabývala schopností proteinové disulfidové izomerázy podporovat spojení dvou cysteinů s cílem rozvíjet alternativní léčbu pro barvené vlasy. Tedy schopnost peptidů obnovovat mechanické vlastnosti ztracené opakovaným bělením. Vzorčky vlasů byly hodnoceny podle pokynů pro testování vlákna v tahu. Měření bylo provedeno za použití přístroje pro zkoušky tahem, s kapacitou siloměru 2,5 N. Celkem bylo provedeno 10 měření. Každý vlas byl individuálně připevněn za pomoci papírového systému s pevnou délkou 20 mm. Měření probíhalo při konstantní rychlosti $1,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ až do prasknutí vlasu. Pro každý vlas se zaznamenávala síla potřebná k přetržení a prodloužení vlasu. Průměr testovaných vlasů měřený pomocí světelného mikroskopu byl $70 \mu\text{m}$. Navrhovaná úprava peptidu vedla ke zvýšení pevnosti v tahu. Mechanické vlastnosti byly zlepšeny, což naznačuje, že formulace uvedené v této práci jsou slibnými kandidáty pro aplikace do vlasových prostředků.

4.2 Mikroskopie atomárních sil

Mikroskopie atomárních sil (AFM z anglického *atomic force microscopy*) se objevila v posledních několika letech jako životaschopný nástroj pro studium povrchové struktury vlasu, zejména pro kutikulární strukturu v měřítku nanometrů. S AFM je možno systematicky sledovat postup morfologické změny a deformace v materiálu, a tak přesně určit zahájení hlavních deformací.

Při studiu a charakterizaci tahové deformace lidských vlasů pomocí mikroskopie atomárních sil, byly vzorky vlasů 38 mm dlouhé a byly vkládány mezi pohyblivé kleště kluzáku.

Zatížení byla aplikována pomocí krokového motoru, což je elektrický motor, který se pohybuje nebo otáčí v sérii malých kroků. Při tahové zkoušce byl motor přerušovaně zastavován a vzorek byl skenován pomocí AFM pro porovnání změn v morfologii (Obr. 13). Zkoušky tahem byly prováděny při konstantní rychlosti deformace $8,33 \cdot 10^{-3}$ % protažení. Velikost plochy skenování byla $25 \mu\text{m}$, frekvence snímání byla 2 Hz a bylo provedeno dvacet jednotlivých měření. S rostoucí silou při napínání dochází k odpovídajícímu zvětšení délky vzorku vlasu, a tedy k posunu v místě kontrolní oblasti, proto bylo nutné přesně lokalizovat kontrolní oblast po každém přírůstku zatížení před skenováním. V této studii použití AFM usnadnilo pozorování postupné deformace na povrchu vlasu při tahových zkouškách. Následně bylo poukázáno na to, že chemické a mechanické poškození nemají žádný vliv na tvar křivky při takových zkouškách, protože tato poškození mají převážně vliv na kutikulu a za mechanické vlastnosti je zodpovědná především kůra vlasu [38, s. 774-781].



Obr. 13. Topografické obrázky a dvourozměrné profily ukazující průběh poškození s rostoucím napětí [38]

4.3 Rastrovací elektronová mikroskopie

L'Oréal Institut pro vlasy a pokožku provedl výzkum s cílem prozkoumat poškození vlasů u žen s trvalým pobytem v USA. V této studii bylo oznámeno, že velké procento (96 %) afroamerických respondentek má křehké vlasy. Tato metoda je kombinací testování tahu, rastrovací elektronové mikroskopie (SEM z anglického *scanning electron microscopy*) a X-ray tomografie (XTM). Rozsah a rozlišení těchto technik je vhodné pro studium vzájemného působení různých složek vlasů a pomáhá popsat jejich jednotlivé lomové kroky vedoucí k praskání. Rastrovací elektronová mikroskopie a XTM byly použity pro zobrazování povrchu a vnitřních částí vláken (Obr. 14). Tyto techniky v kombinaci s mechanickými zkouškami poskytují lepší pochopení vnitřního napětí a jeho rozložení při aplikaci vnější tahové síly. Kombinace SEM a XTM poskytuje jedinečný způsob, jak analyzovat odezvu vlasů na namáhání. SEM nabízí pohled s vysokým rozlišením na vnější povrch vlákna, zatímco XTM umožní vizualizaci vnitřní části vlasu, zejména na rozhraní kůry a kutikuly. Měření bylo provedeno za použití přístroje pro zkoušky tahem, s kapacitou siloměru 2 N. Konstantní rychlost pro vzorky o délce 10 mm byla $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ až do prasknutí vlasu. SEM snímky pořízené během různých fází tahové zkoušky ukazují, že aplikované namáhání vede ke stále vyšší poruše kutikuly. Nicméně po uvolnění stresu, se kutikula vrátila do své původní konfigurace. Na druhé straně trojrozměrná rekonstrukce XTM ukázala vznik dutin podél rozhraní kůry a kutikuly ve druhé fázi křivky napětí. Plocha příčného průřezu byla měřena na pěti místech podél vlasu a poté byl vypočítán průměr. Kombinace rastrovací elektronové mikroskopie a rentgenové tomografie poskytuje nové informace o lomu vlasu. Mechanické poškození i některé faktory životního prostředí vytváří vnitřní trhliny, které se hromadí ve vlasech a nakonec vedou k prasknutí v nepředvídatelných místech, a proto se doporučuje kontinuální péče o vlasy [39, s. 10-12].



Obr. 14. Schématické znázornění SEM a XTM [39, s. 12]

5 CÍL PRÁCE

Náplní praktické části je navrhnout a vyzkoušet metodu pro stanovení kvality a pevnosti vlasů. Jedná se o tahovou zkoušku, která poskytuje informace o pevnosti vlasů při mechanickém namáhání. Podle velikosti síly, která je potřebná k přetržení, můžeme určit pevnost a pružnost, tedy kvalitu vlasu a následně doporučit, jak správně o vlasy pečovat. Po provedení tahové zkoušky byl pozorován lom vlasu pod mikroskopem s cílem určit, zda se vlasy třepí, zda jsou křehké s hladkým lomem nebo zda mají stupňovitý lom jako zdravé a pevné vlasy.

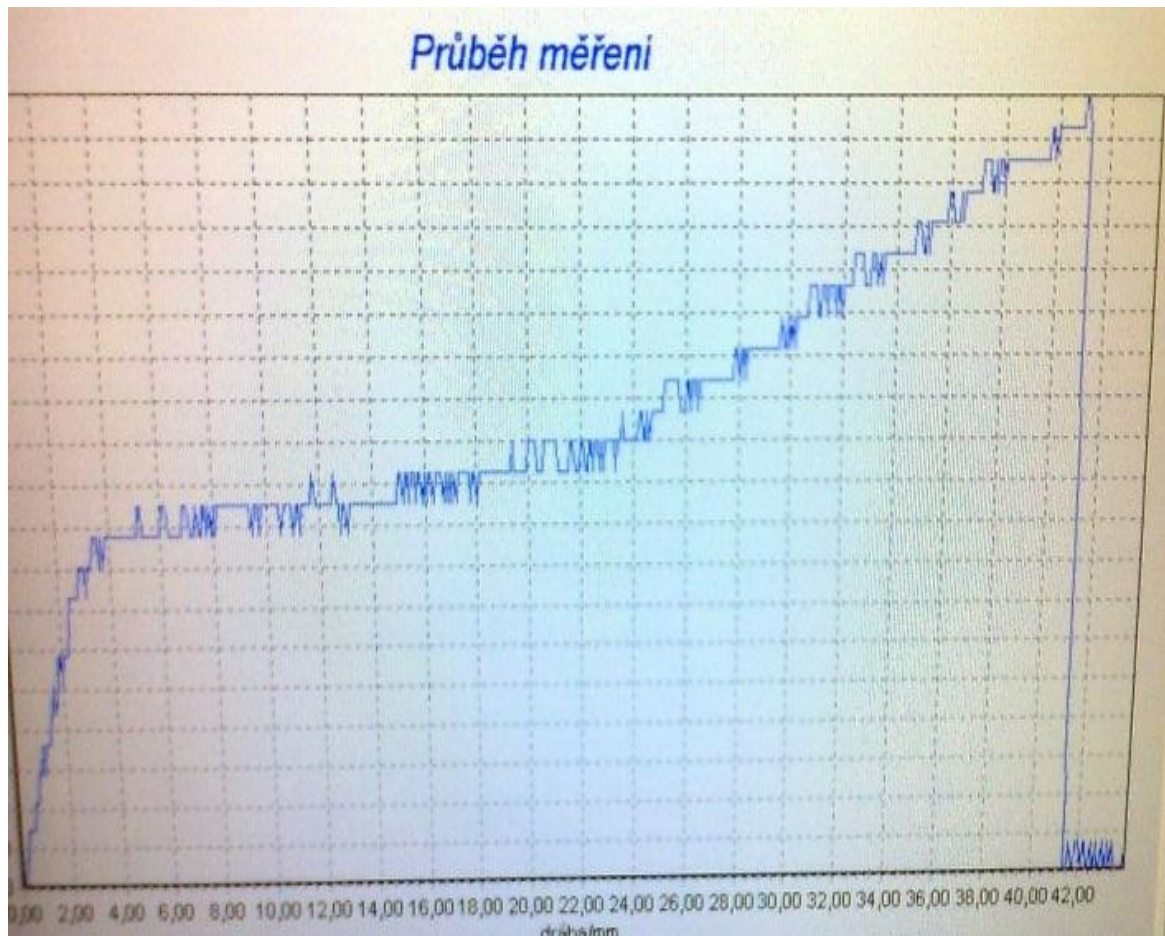
II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 METODIKA

Práce se zaměřuje na vyvinutí metody pro stanovení kvality a pevnosti vlasů. Materiály, pomůcky a přístroje včetně popisu organizace a realizace vlastního experimentu jsou uvedeny v následujících kapitolách.

6.1 Navržení metodiky

Při návržení metodiky tahových zkoušek vlasů, bylo nejprve zapotřebí vymyslet uchycení vlasu do trhacího stroje. Zkušební stoj byl navržen na trhání strun, které lze snadno zaháknout a přidržet dvěma kladkami, ale vlasy byly mezi kladkami deformovány a trhaly se právě v blízkosti této deformované oblasti. Proto byl vymyšlen papírový držák, který chránil vlas před deformací mezi kladkami. Tento systém byl sice účinný a vlas se trhal v požadované oblasti, ale upínání vlasu do trhacího stroje bylo velmi namáhavé, zdlouhavé a muselo být velmi přesné. Kvůli tomu byly místo kladek použity dva háčky, na které se vlas jednoduše zavěsil. Následně bylo vyzkoušeno více typů lepidel pro uchycení vlasu do papírového držáku. Jako nejlepší bylo vyhodnoceno lepidlo kaučukového typu, protože vykazovalo dobrou pevnost, vlasy se nevytrhávaly a byl zde dostatečný časový prostor navinout vlas kolem kruhového otvoru. Po vyřešení způsobu upnutí vlasu a vhodného lepidla, byla provedena série tahových zkoušek na původním tenzometru pro struny, s kapacitou siloměru 200 N. Graf závislosti síly na protažení měl sice předpokládaný tvar křivky, ale protože tenzometr nebyl dostatečně citlivý pro měření sil v řádu jednotek a desetin newtonů, byly na grafu patrné skoky (Obr 15). Z tohoto důvodu byl pořízen tenzometr, s kapacitou siloměru 3 N. Tento tenzometr byl již dostatečně citlivý a vhodnější pro měření malých sil potřebných k přetržení vlasu. Poté bylo osloveno dvacet náhodných probandů s různou barvou a délkou vlasů. Od těchto probandů byly shromážděny vlasy od světlých a barvených, jejichž pevnost při přetržení byla malá, až po tmavé a nebarvené, jejichž síla při přetržení byla mnohem větší. Tmavé a barvené vlasy byly sice pevné, ale velmi křehké, na rozdíl od nebarvených, které byly pevné i pružné. Tyto výsledky tahových zkoušek nebyly zahrnuty do experimentu, protože sloužily pouze pro ověření navržené metodiky pro všechny možné typy vlasů a získání zručnosti a zkušeností při přípravě vzorků.



Obr. 15. Graf závislosti protažení na síle vlasu s kapacitou siloměru 200 N
[vlastní zdroj]

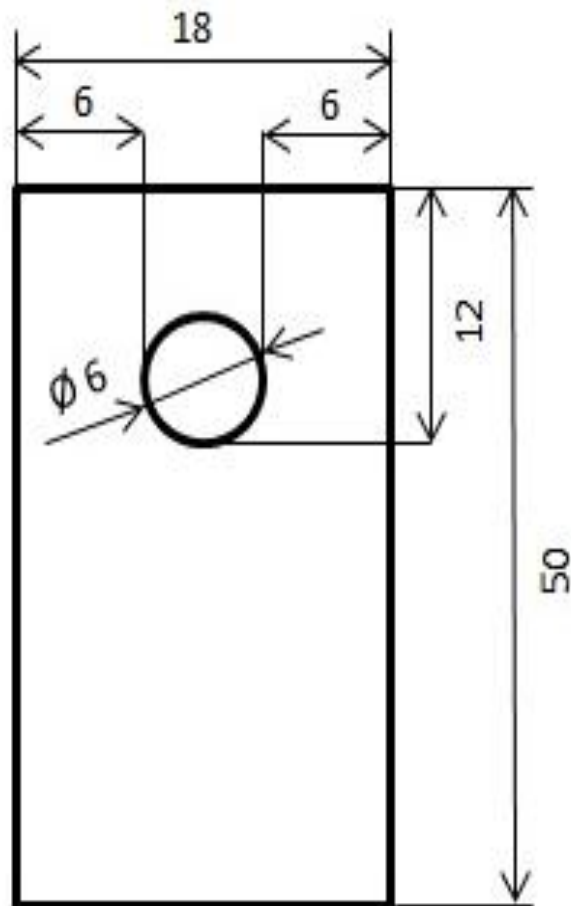
6.2 Ověření metodiky

Na základě předchozího postupu byla navržena metodika pro následné vyhodnocení.

6.2.1 Příprava vzorků

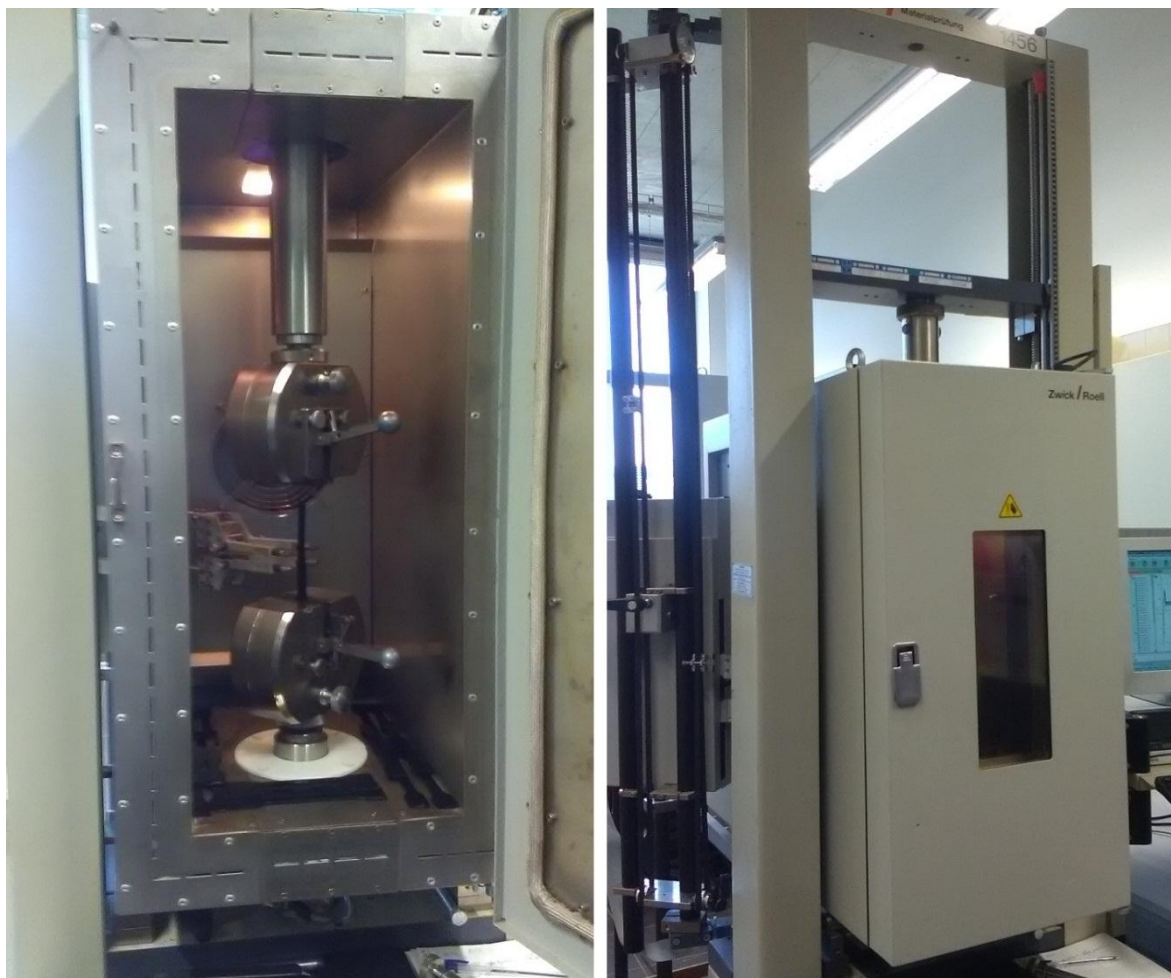
Pro hlavní experiment byly použity zdravé, rovné, světle hnědé vlasy, které nebyly nikdy předtím barveny. Vlasy byly dva dny před odběrem umyty komerčním šamponem. Po konzultaci s dermatologem byl odběr vzorků proveden pouze z týlní oblasti hlavy, aby byl eliminován vliv fyzikálních faktorů, které na vlasy působí. Odběr vzorků byl proveden ostrými nůžkami těsně u hlavy. U odebraných vlasů byl označen směr růstu a dále byly konce vlasů lepeny pomocí speciálního kontaktního lepidla značky Pattex do předem připravených papírových držáků (Obr. 16). Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, papírové držáky byly použity z toho důvodu, aby se zabránilo vyklouznutí vlasu z čelisti trhačského stroje, popřípadě jeho rozdrcení nebo uštípnutí. Testované vzorky byly nejprve zfoto-

veny v délce 50 mm, protože je to standartní zkušební délka při zkoušení jiných materiálů, ale tato délka by značně omezila výběr probandů. Proto byla posléze zvolena délka pracovní části 10 mm a bylo otestováno, zda má délka zkušebního tělesa vliv na velikost síly potřebné k přetržení vlasu. Takto bylo odebráno a analyzováno 17 vzorků s pevnou délkou 10 mm a 6 vzorků s pevnou délkou 50 mm. Připravené vzorky byly nechány zaschnout do druhého dne, kdy proběhla tahová zkouška.



Obr. 16. Papírový držák [vlastní zdroj]

Vzorky vlasů byly po celou dobu uloženy v polyethylenovém sáčku se zipem pro udržení konstantní vlhkosti. Pro případné budoucí testy by bylo vhodné vlasy uložit do komory se stálými vlhkostními a teplotními podmínkami, jako je například teplotní komora od firmy Zwick Roell (Obr. 17).



Obr. 17. Otevřená a uzavřená teplotní komora pro polymerní materiály

[vlastní zdroj]

V některých studiích uvedených v teoretické části byla zkoumána fáze růstu vlasu, což zahrnuje mikroskopické pozorování cibulky. Nepodařilo se však najít žádnou studii, která by poukázala na rozdílné mechanické vlastnosti vlasu v anagenní a telogenní fázi. Po konzultaci s dermatologem byl tento vliv vyloučen, protože by neměl mít takovou váhu, aby ovlivnil výsledky měření. U připravených vzorků tedy nebyla zjištěna fáze růstu, protože vlasy by musely být vytrženy, což by bylo pro probanda nepříjemné i při nižším počtu vlasů. Dále by mohlo při vytržení dojít k prodloužení a poškození odebíraného vlasu.

6.2.2 Měření průměru

Pro měření průměru vlasu byl použit lineární výškoměr Linear Height LH-600B Mitutoyo. Tento přístroj měří na principu dotyku, proto musel být nejprve nastaven nulový bod na horní ploše měřicího hranolu a poté již proběhlo samotné měření průměru vlasu. Vlas byl upevněn na měřící hranol a průměr byl měřen na dvaceti místech zkušební délky vlasu. Následně byly vypočítány průměrné tloušťky všech vlasů. V případě více probandů je možné následně průměrné hodnoty navzájem porovnat a hodnotit vliv tloušťky vlasu na jeho pevnost.

6.2.2.1 Lineární výškoměr Linear Height LH-600B

Jedná se o vysoce výkonný měřicí systém. Na Obr. 18 je zobrazen lineární výškoměr s hlavními rozměry 1013 × 435 × 237 mm.



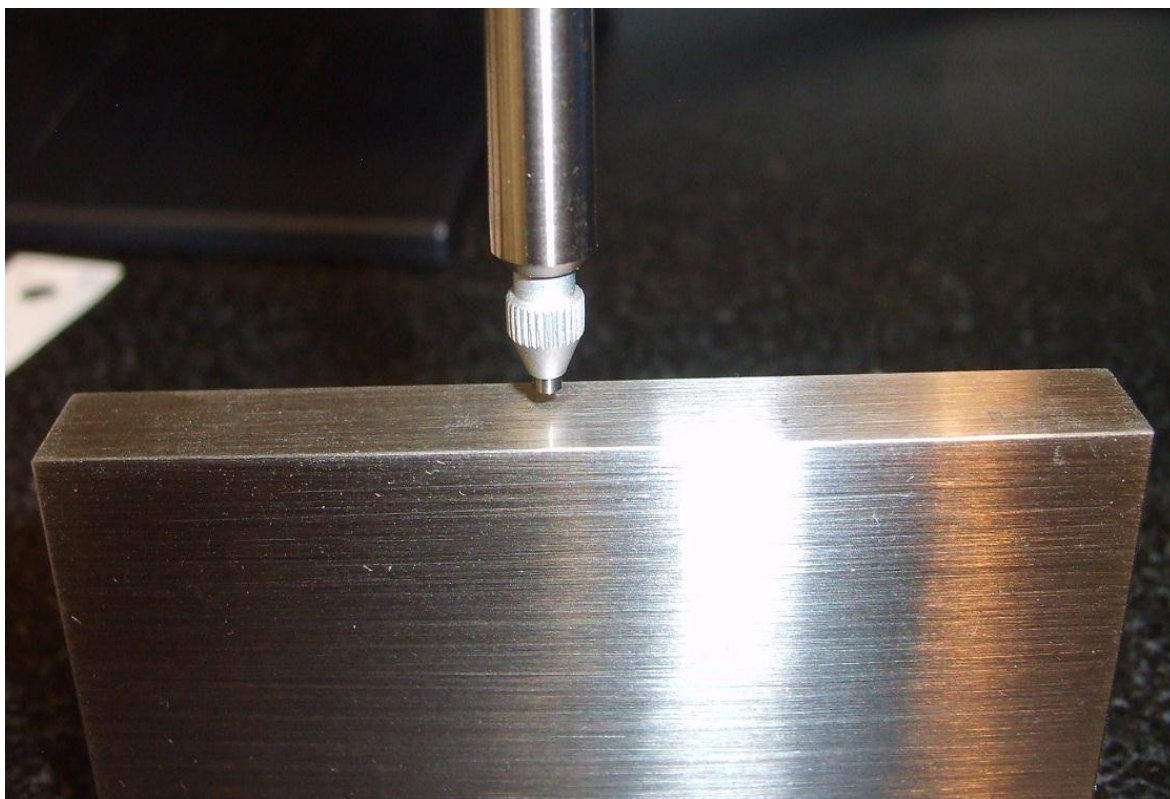
Obr. 18. Lineární výškoměr Linear Height LH-600B [40, s. 246]

Na Obr. 19 jsou popsány parametry digitálního výškoměru Mitutoyo, se kterým byl měřen průměr vlasu.

Technické parametry			
Přesnost	(1,1 + 0,6L/600) μm L = měřená délka (mm)	Kolmost	5 μm (po kompenzaci)
Rozsah posuvu	600 mm/24"	Přímost	4 μm (mechanická)
Rozsah měření	0-972 mm/0-38.6"	Pohon doteku	Manuální/motorický (5-40 mm/s, 7 stupňů)
Číselný krok	0,0001/0,001/0,01/0,1 mm nebo 0,00001/0,0001/0,001/0,001"	Metoda pohybu	Vestavěný kompresor
Displej	Grafický LCD 320x240 bodů (s podsvětlením)	Kompenzační metoda	Protiváha
Podporované jazyky	Angličtina/Němčina/Francouzština/ Španělština/Italština/Holandština// Portugalština/Švédština/Turečtina/ Čeština/Maďarština/Slovinština/ Polština/Tradiční čínština (volitelná)/ Japonština	Měřicí síla	1 N
		Počet uložených programů	50 programů (max.)
		Počet uložených hodnot	60 000 (max.)
		Provozní doba na baterii:	cca 5 hodin

Obr. 19. Parametry výškoměru [40, s. 246]

Po celou dobu měření na přístroji bylo nutné používat rukavice. Na přístroji byla nainstalována upínka a válečkový dotek Ø 5 mm (Obr. 20).



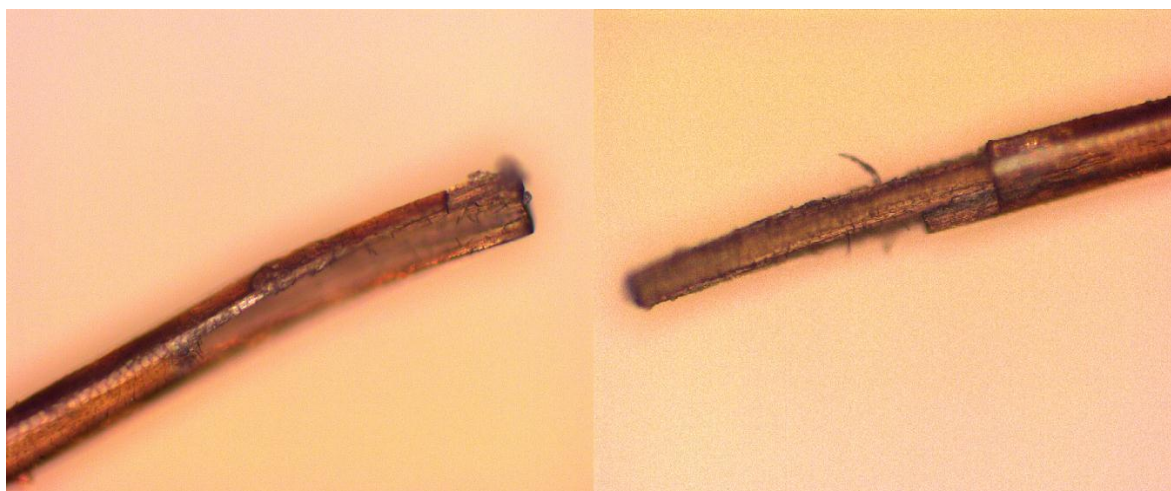
Obr. 20. Válečkový dotek s hranolem [vlastní zdroj]

6.2.3 Sledování povrchu vlasu

Pomocí mikroskopu LEICA DMI 3000 M, bylo provedeno sledování povrchu a potvrzení neporušené struktury vlasů. Jedná se o zařízení pro zkoumání mikrostruktury konstrukčních materiálů, zkoumání materiálového složení kompozitů a hodnocení kvality povrchu výrobků (Obr. 21). Každý vlas byl vložen do optického mikroskopu s připojením kamery na počítač. Pomocí mikroskopu byl zdokumentován povrch a lom všech vlasů. Nejčastější lom byl stupňovitý (Obr. 22). Všechny zdokumentované povrchy vlasů a jejich lomy při 200 násobném zvětšení jsou uvedeny v Příloze P I.



Obr. 21. Mikroskop LEICA DMI 3000 M [vlastní zdroj]



Obr. 22. Ukázka stupňovitého lomu vlasu [vlastní zdroj]

6.2.4 Tahová zkouška

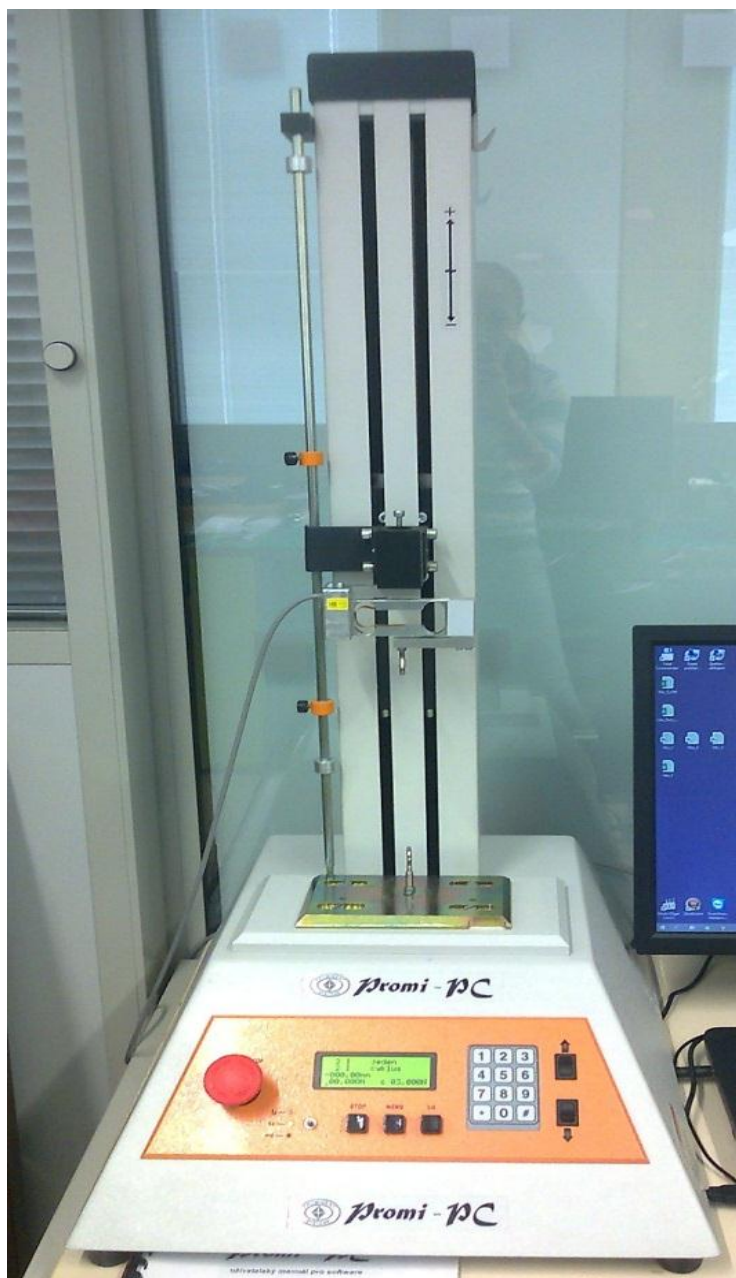
Měření bylo provedeno za použití přístroje PROMI PC pro měření sil, s kapacitou siloměru 3 N, pro přesné určení síly přetržení.

Nejprve byla tahová zkouška provedena u náhodných probandů s různou barvou vlasů, aby byla vyzkoušena navržená metoda pro všechny možné typy vlasů. Poté byl výběr zúžen na jednoho probanda a jeho vlasy byly použity na všechna další měření. Tahové testy byly prováděny za standardních atmosférických podmínek v klimatizované laboratoři s odvlhčovačem při teplotě $22 \pm 0,5$ °C.

Pokud byla tahová zkouška provedena za jiných klimatických podmínek, například při vyšší teplotě v letních měsících, kdy klimatizace nebyla schopna danou laboratoř vychladit do konstantní teploty, bylo měření zbytečné. Vlasy měly při vyšších teplotách odlišné mechanické vlastnosti, velmi rychle se trhaly, lom vlasu byl těsně u papírového držáku, tedy vlas se netrhl v polovině standardní délky a dané výsledky neodpovídaly předchozímu měření, viz kapitola 3.3. Při vyšších teplotách tedy nemohla být provedena tahová zkouška. Všechny výsledky provedené při vyšší teplotě byly vyloučeny.

6.2.4.1 Přístroj PROMI PC

Přístroj PROMI PC (Obr. 23) je počítačem řízený univerzální zkušební systém určený pro zkoušky v tahu, tlaku nebo ohybu. Přístroj je určen pro testování pružin a další typy zkoušek. Systém se skládá ze zkušebního stojanu s digitalizovaným motorickým posuvem a z řídicí jednotky na bázi personálního počítače (PC), který je dimenzován na maximální zatížení 3 000 N. Základní pracovní zdvih je 450 mm, ale přístroj může být vyroben i pro jinou pracovní výšku. Posuv zkušebního stativu je vyvozen přesným kuličkovým šroubem a maticí pomocí digitálně řízené jednotky. Jednotka je ovládána přes PC s operačním systémem Windows a programem PROMI. Jeho velkou výhodou je vysoká univerzálnost, systém lze provozovat i bez řídicího počítače, protože stativ můžeme samostatně naprogramovat přímo pomocí vestavěné klávesnice a displeje, kterým je stativ opatřen. Použitý software PROMI PC je navržen s ohledem na maximální jednoduchost a přehlednost [41], [42, s. 1].



Obr. 23. Příklad přístroje PROMI PC [vlastní zdroj]

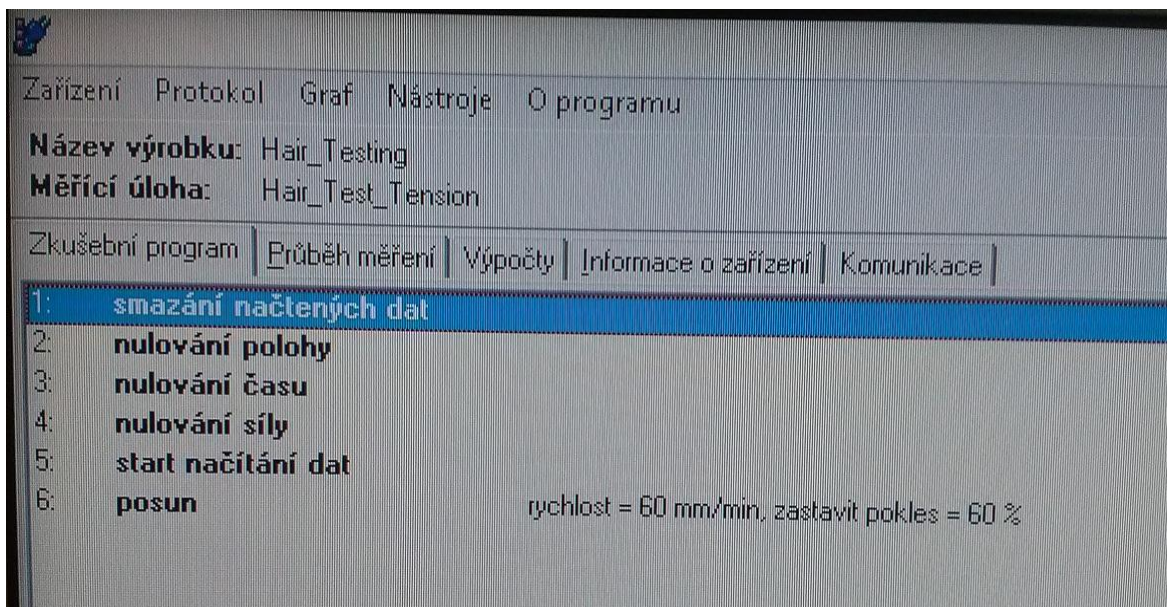
Technické parametry přístroje PROMI PC jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1. Technické parametry [41]

Pracovní zatížení	0–3 000 N
Pracovní zdvih	0–450 mm
Rychlost posuvu	1–750 mm·min ⁻¹
Přenos dat	RS 232

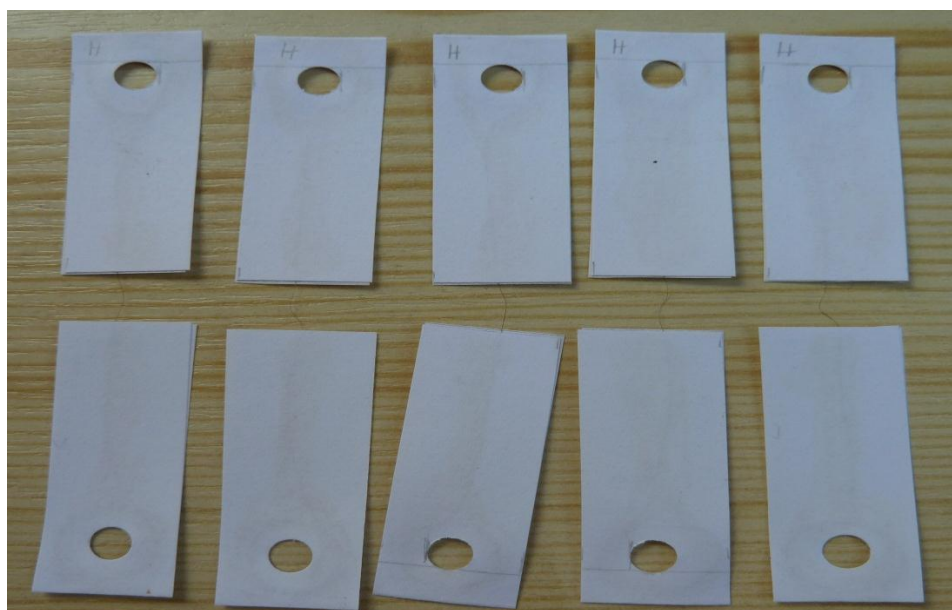
6.2.4.2 Postup provedení tahové zkoušky

Postup měření na přístroji PROMI PC. Nejprve byl zapnut počítač a přístroj. Na počítači byl zvolen program PROMI a vytvořen nový příkaz. Byly zadány požadované hodnoty (Obr. 24), jako rychlost zatížení $60 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, velikost pracovního zatížení, pokles síly, nastavení času při vyjmutí testovaného vzorku, nulování polohy atd.



Obr. 24. Nastavení požadovaných hodnot [vlastní zdroj]

Každý vlas byl individuálně připevněn do trhacího stroje za pomoci papírového systému s pevnou délkou 10 mm nebo 50 mm (Obr. 25).



Obr. 25. Připravené vzorky vlasů o délce 10 mm [vlastní zdroj]

Posuvem pomocí PC byla nastavena patřičná vzdálenost tak, aby mohl být vlas bezpečně upnut mezi háky (Obr. 26), z nichž dolní hák byl nepohyblivý, a horní část se při testu pohybovala směrem nahoru.



Obr. 26. Upnutý vlas [vlastní zdroj]

Dále byl vynulován přístroj pomocí tlačítek Stop, SH a nakonec stisknuto tlačítko Start přes patřičný program PROMI. Každý vzorek byl roztažen při rychlosti $60 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ a byla zaznamenána síla a protažení. Byl sledován průběh postupného napínání vlasu až do jeho přetržení. Souběžně byly tyto údaje sledovány na počítači, který tento proces zpracoval graficky. Všechny grafy jsou uvedeny v následující kapitole.

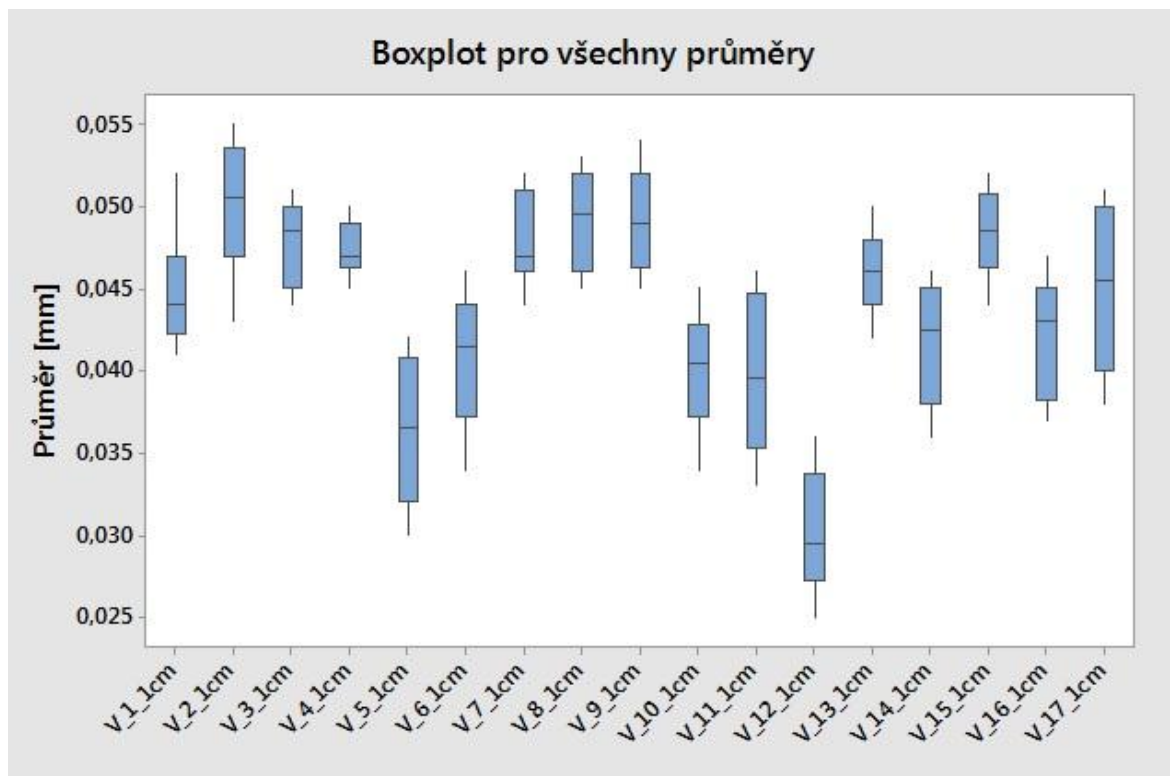
7 VÝSLEDKY A DISKUSE

Veškeré získané výsledky byly nejprve exportovány do programu Excel a poté do programu Minitab 17, ve kterém proběhlo další zpracování a vyhodnocení.

Podle navržené metodiky dále doporučuji následující postup pro zpracování a vyhodnocení naměřených dat. Výsledky jsou prezentovány pouze na malém souboru, ale následující postup zpracování dat byl navržen i pro další a rozsáhlejší měření. Navržená metodika potvrdila, že vlasy praskají v požadované vzdálenosti od papírových držáků. Použité lepidlo je vyhovující, protože vlas neklouže z papírového držáku.

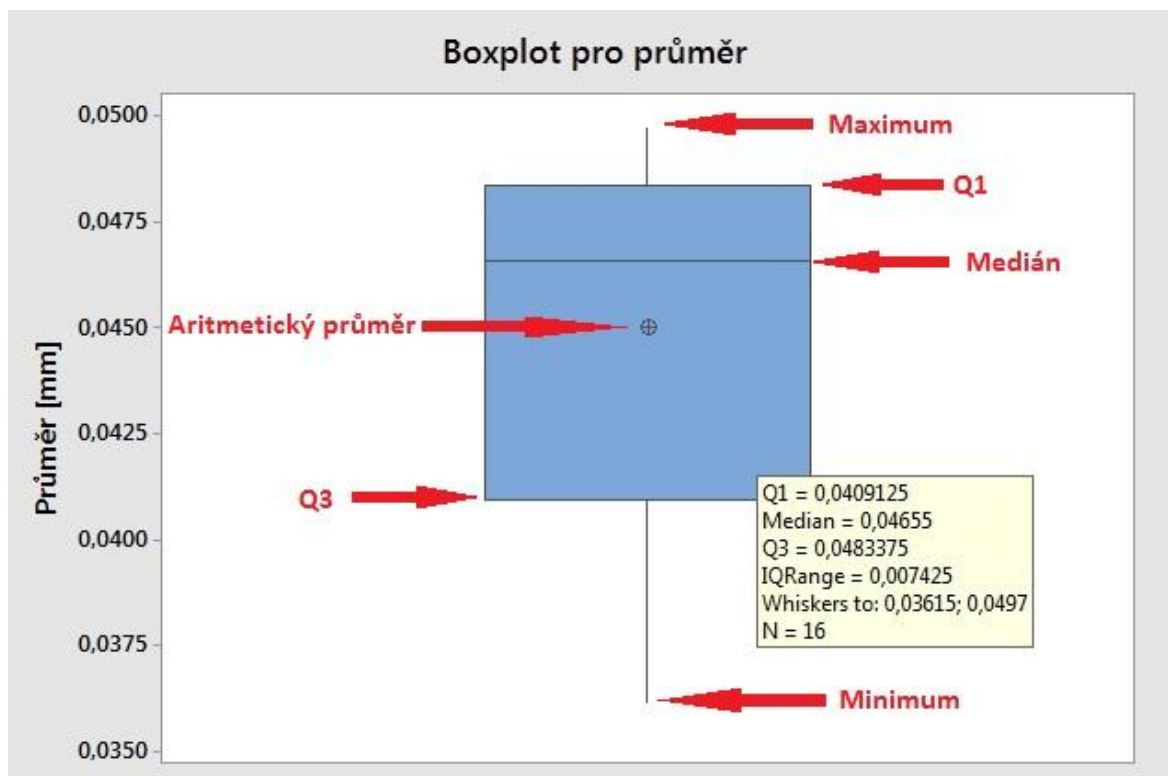
7.1 Průměr vlasu

Při měření průměru byla měřena tloušťka vlasu na dvaceti místech a poté vypočítány průměrné hodnoty všech vlasů. Jak je zřejmé z Obr. 27, vlasy neměly dokonale kruhový průřez. Jak již bylo uvedeno v teoretické části, kavkazský typ vlasu má eliptický tvar průřezu, proto tloušťky vlasů kolísaly.



Obr. 27. Boxplotový graf tloušťky všech vlasů [vlastní zdroj]

Na Obr. 28 je znázorněna charakteristická tloušťka všech měřených vlasů o délce 10 mm.



Obr. 28. Boxplotový graf průměrné tloušťky vlasu o délce 10 mm [vlastní zdroj]

Tab. 2. Naměřené a vypočtené hodnoty průměrné tloušťky vlasu o délce 10 mm

	Jednotky	Tloušťka vlasu
Aritmetický průměr	mm	0,04501
Medián	mm	0,04655
Směrodatná odchylka	mm	0,00105
Variační koeficient	%	9,30
Minimum	mm	0,03615
První kvartil Q_1	mm	0,04091
Třetí kvartil Q_3	mm	0,04834
Maximum	mm	0,04970

Z naměřených a vypočtených hodnot (Tab. 2) je zřejmé, že variační koeficient je 9,3 %. Tedy směrodatná odchylka tvoří 9,3 % z aritmetického průměru. Medián a aritmetický průměr se liší pouze o 4 %. Protože se jedná o biologický materiál, můžeme konstatovat,

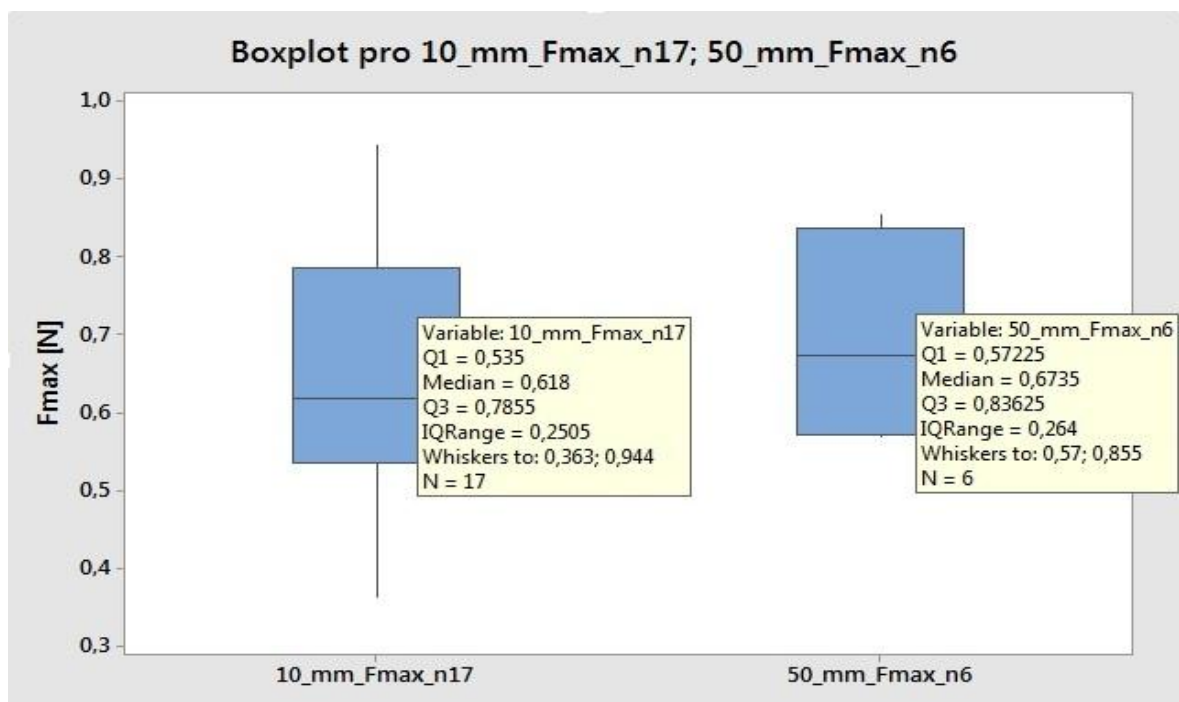
že hodnotu variačního koeficientu nemůžeme považovat za vysokou. Z toho plyne, že aritmetický průměr, který má hodnotu 0,04501 mm, není znehodnocen rozptylem. Při provedení testu normality nulová hypotéza předpokládala, že průměry vlasů pocházejí ze souboru s normálním rozdělením. Výsledkem bylo, že nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu, a tudíž nadále předpokládáme, že průměry vlasů pocházejí z normálního rozdělení.

7.2 Tahová zkouška

Tahová zkouška byla hodnocena pomocí boxplotových diagramů, poté byla provedena analýza rozptylu, sestavena časová řada měření, dále byl proveden test normality, Grubbsův test odlehklých hodnot, F-test a t-test. Pro tahovou zkoušku byly zvoleny dvě délky vlasů, aby bylo možné porovnat, zda má délka pracovní části zkušebního vlasu vliv na velikost síly potřebné k přetržení.

7.2.1 Boxplotový graf

Z boxplotových diagramů lze vyčíst (Obr. 29), že rozptyl maximální síly (F_{\max}) pro vlas o délce 10 mm a 50 mm je rozdílný. Je zřejmé, že mediány jsou oproti sobě posunuty. Tedy maximální síla při přetržení vlasu o délce 50 mm je oproti vlasu o délce 10 mm posunuta směrem do vyšších hodnot. Všechny naměřené a vypočtené hodnoty sil vlasů při přetržení jsou uvedeny v Tab. 3.



Obr. 29. Boxplotový graf pro vlasy o délce 10 mm a 50 mm [vlastní zdroj]

Tab. 3. Naměřené a vypočtené hodnoty pro vlasy o délce 10 mm a 50 mm

	Jednotky	Vzorek o délce 10 mm F_{\max}	Vzorek o délce 50 mm F_{\max}
Aritmetický průměr	N	0,6512	0,6958
Směrodatná odchylka	N	0,1607	0,1362
Variační koeficient	%	24,68	19,57
Minimum	N	0,3630	0,5700
První kvartil Q_1	N	0,5350	0,5723
Median	N	0,6180	0,6735
Třetí kvartil Q_3	N	0,7855	0,8363
Maximum	N	0,9440	0,8550
Rozptyl	N	0,5810	0,2850
Rozptyl kvartilů IQ_R	N	0,2505	0,2640

Vysvětlivky pro Obr. 29 a Tab. 3:

- N - Počet naměřených hodnot
- Whiskers to - Minimální a maximální hodnota výběrového souboru
- Minimum - Minimální hodnota výběrového souboru
- Q_1 - První kvartil výběrového souboru
- Medián - Prostřední hodnota výběrového souboru, seřazených dle velikosti
- Q_3 - Třetí kvartil výběrového souboru
- Maximum - Maximální hodnota výběrového souboru
- Rozptyl - Variační rozpětí R výběrového souboru
- IQ_R - Interkvartilové rozpětí výběrového souboru Q_3-Q_1 , 50 % hodnot nejbliže mediánu

Z důvodu vyšších hodnot variačního koeficientu můžeme usuzovat, že aritmetické průměry nám nemohou charakterizovat střed výběrových souborů, protože mohou být ovlivněny rozptyly a vlivnými hodnotami. Z výsledků je zřejmé, že pro vyjádření střední hodnoty by měly být využity mediány z důvodu jejich robustnosti.

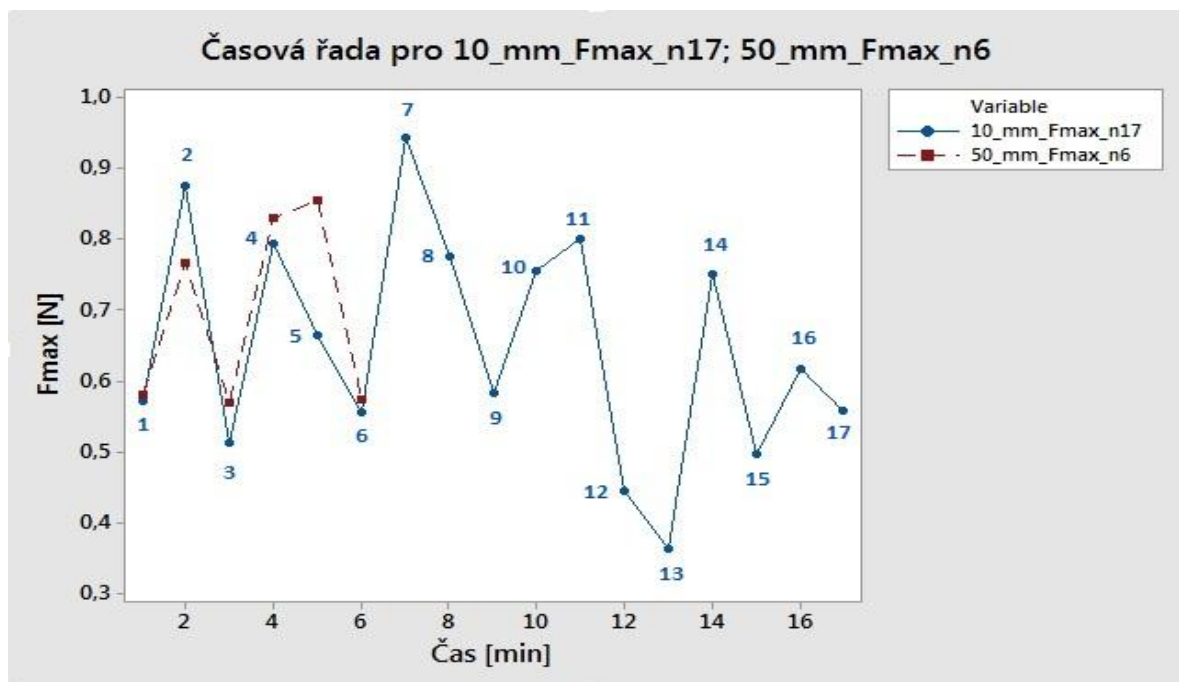
7.2.2 Analýza rozptylu

Analýza rozptylu umožňuje ověřit významnost rozdílu mezi výběrovými průměry většího počtu náhodných výběrů a umožňuje posoudit vliv různých faktorů. Podle počtu analyzovaných faktorů rozlišujeme jednofaktorovou, dvoufaktorovou a vícefaktorovou analýzu rozptylu [43]. V našem případě se jednalo o jednofaktorovou analýzu, kdy požadovaným faktorem byla délka testovaného vlasu.

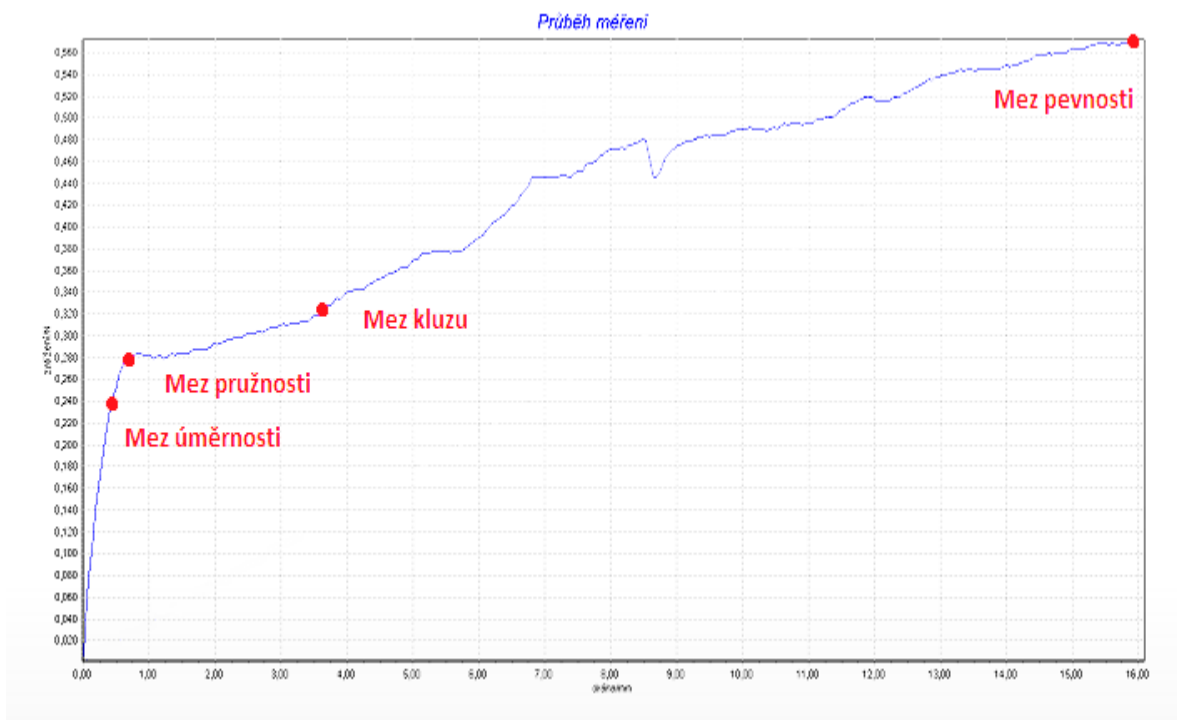
Rozptyl hodnot pro vlas o délce 10 mm a 50 mm se neliší.

7.2.3 Časová řada

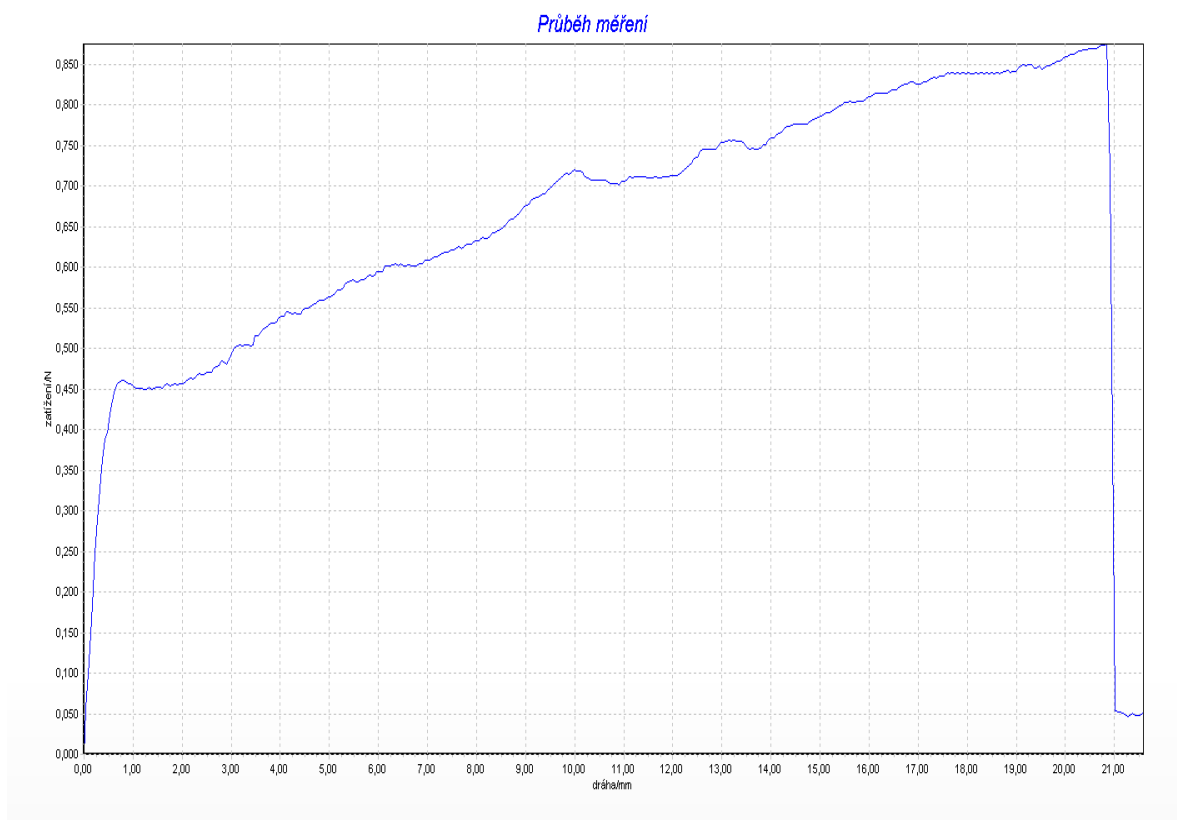
Na Obr. 30 je sestavena časová řada měření, která vychází z následujících 17 grafů. Tato časová řada znázorňuje, v jakém časovém horizontu byly vlasy postupně podrobeny tahovým zkouškám a při jak velkém zatížení praskaly. Na Obr. 31–47 jsou jednotlivé grafy tahových zkoušek, kdy měření číslo 1 (Obr. 31), odpovídá číslu měření na časové řadě.



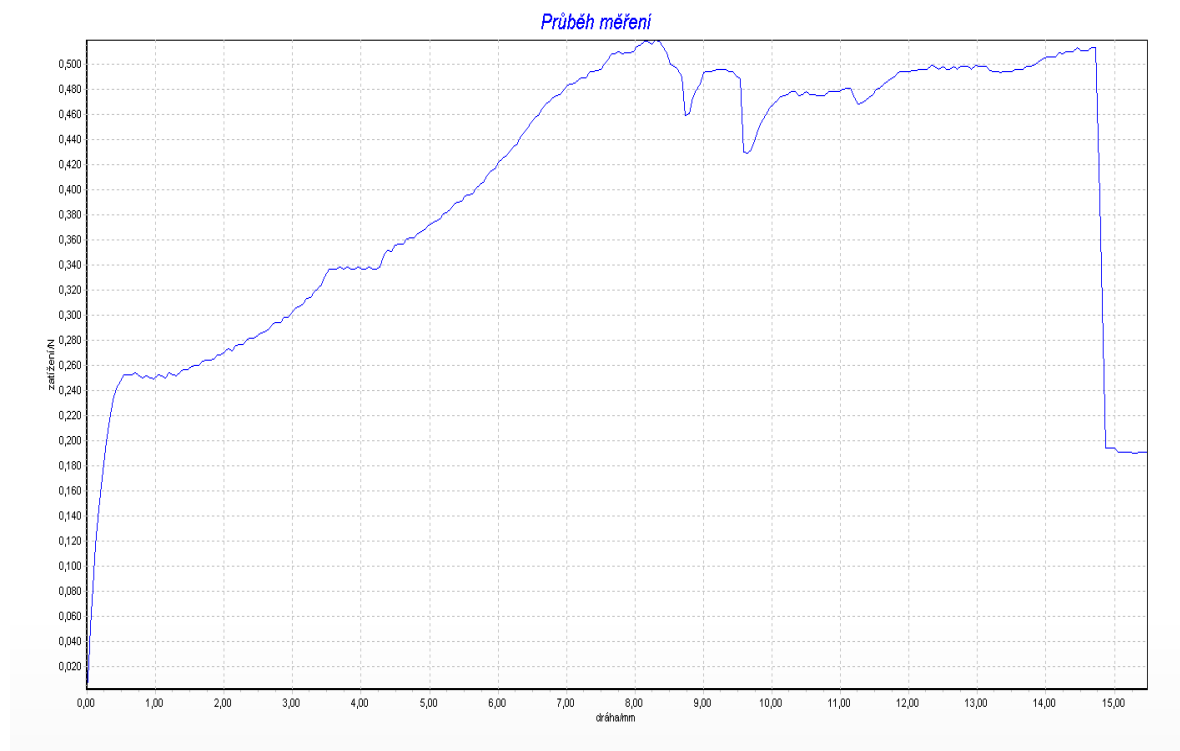
Obr. 30. Časová řada měření [vlastní zdroj]



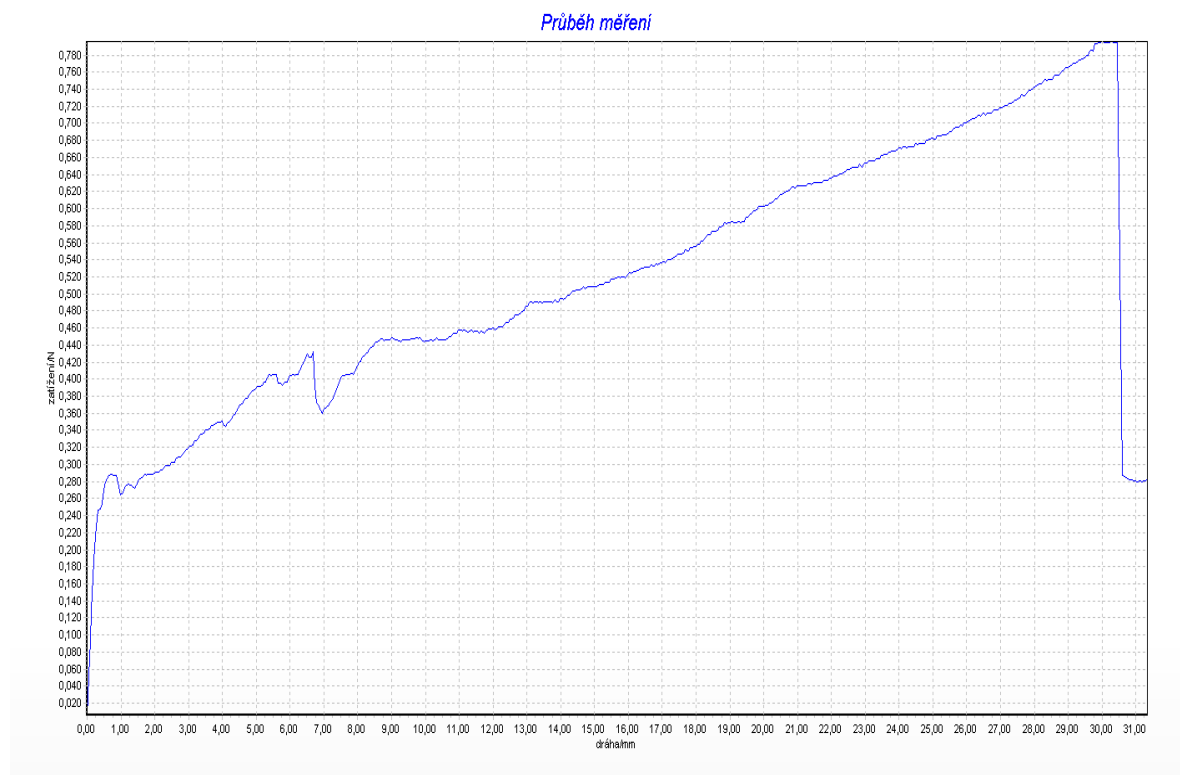
Obr. 31. Měření číslo 1 [vlastní zdroj]



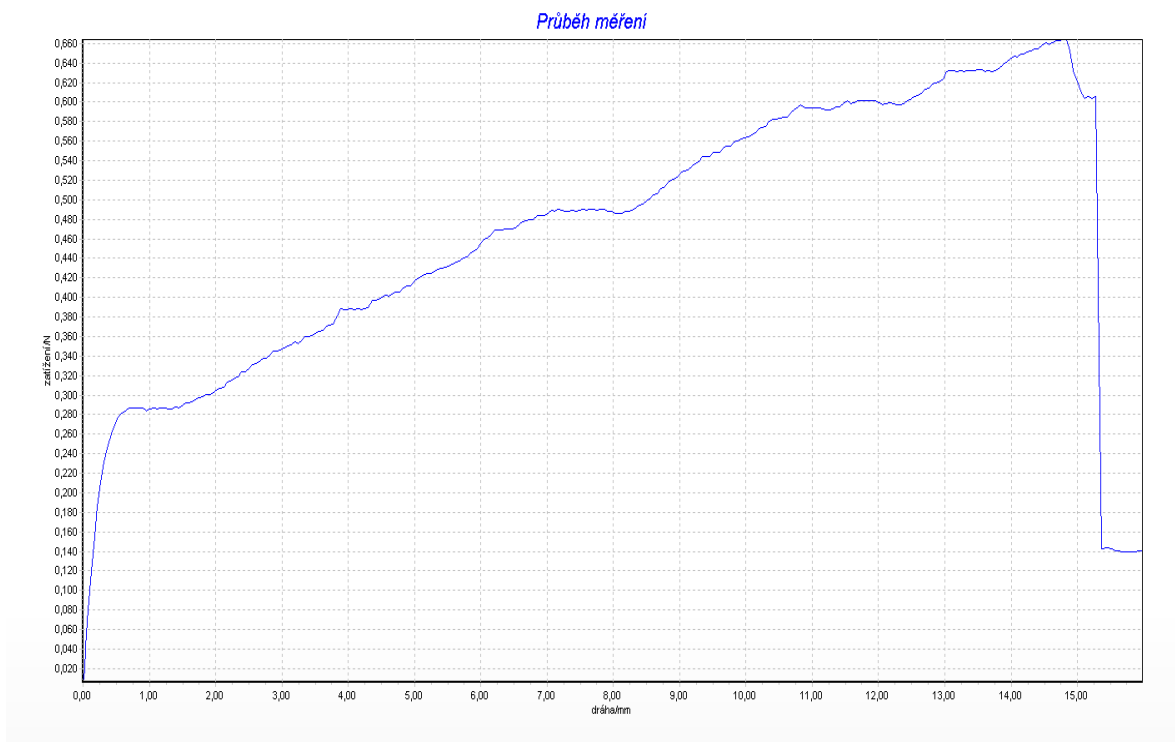
Obr. 32. Měření číslo 2 [vlastní zdroj]



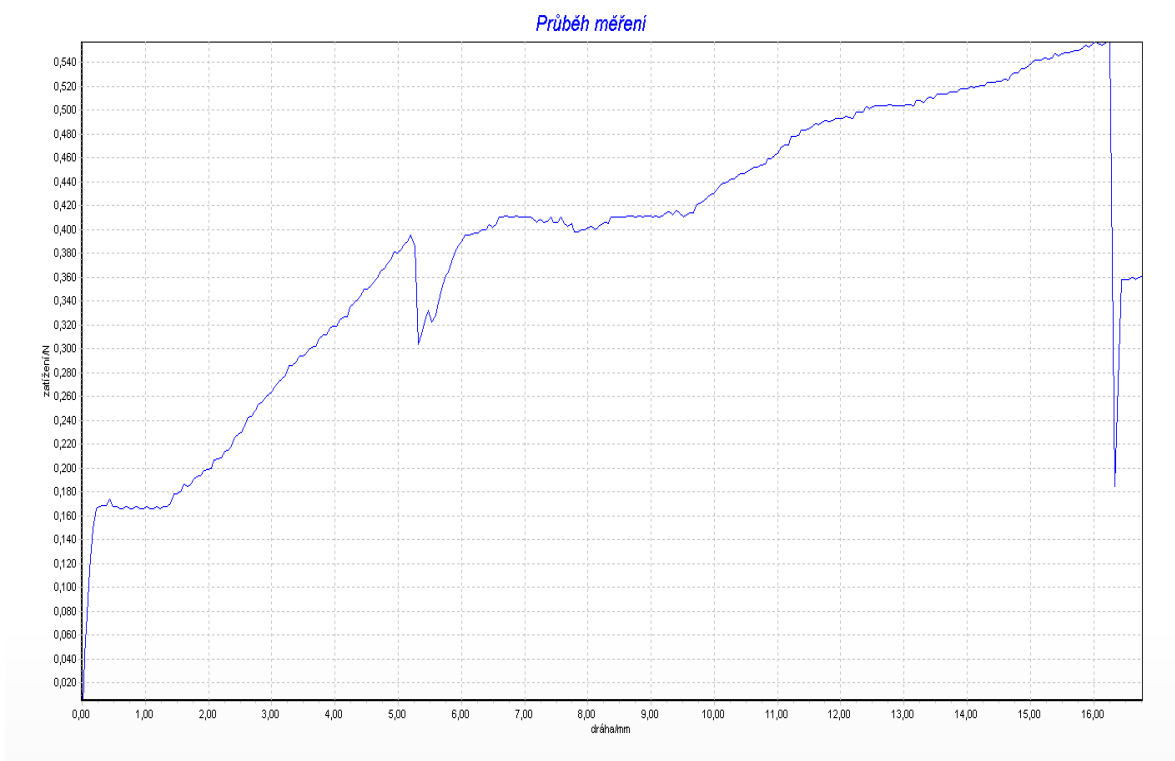
Obr. 33. Měření číslo 3 [vlastní zdroj]



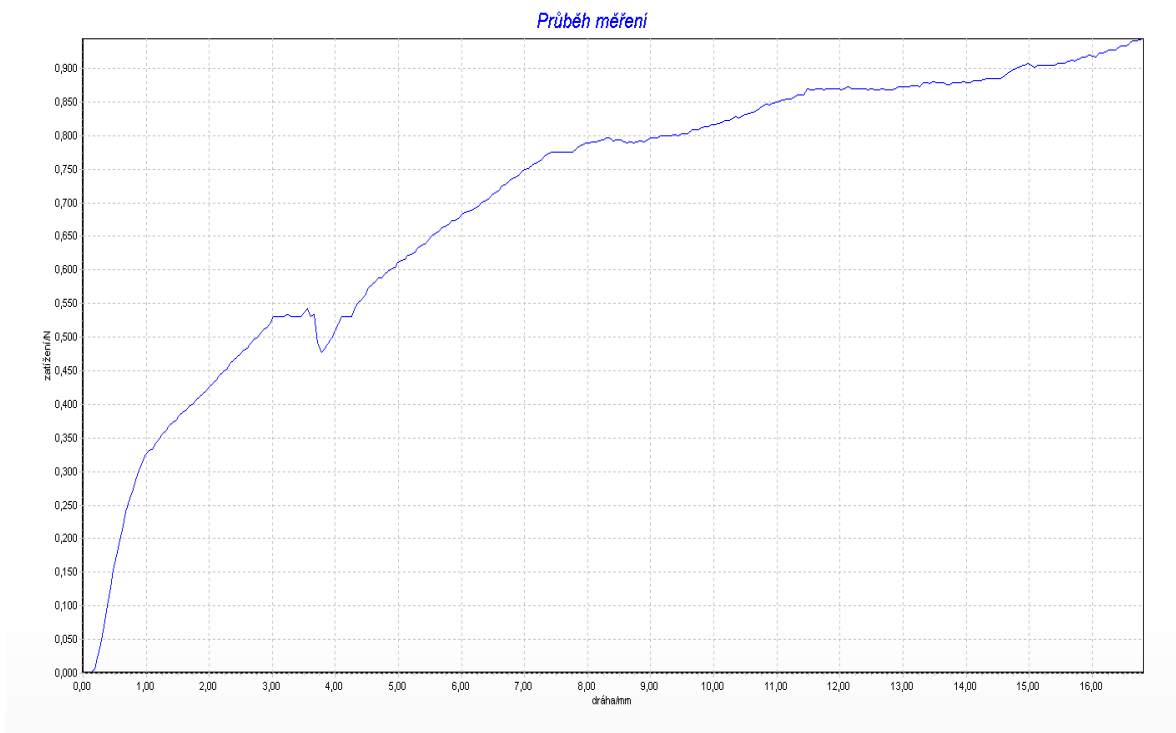
Obr. 34. Měření číslo 4 [vlastní zdroj]



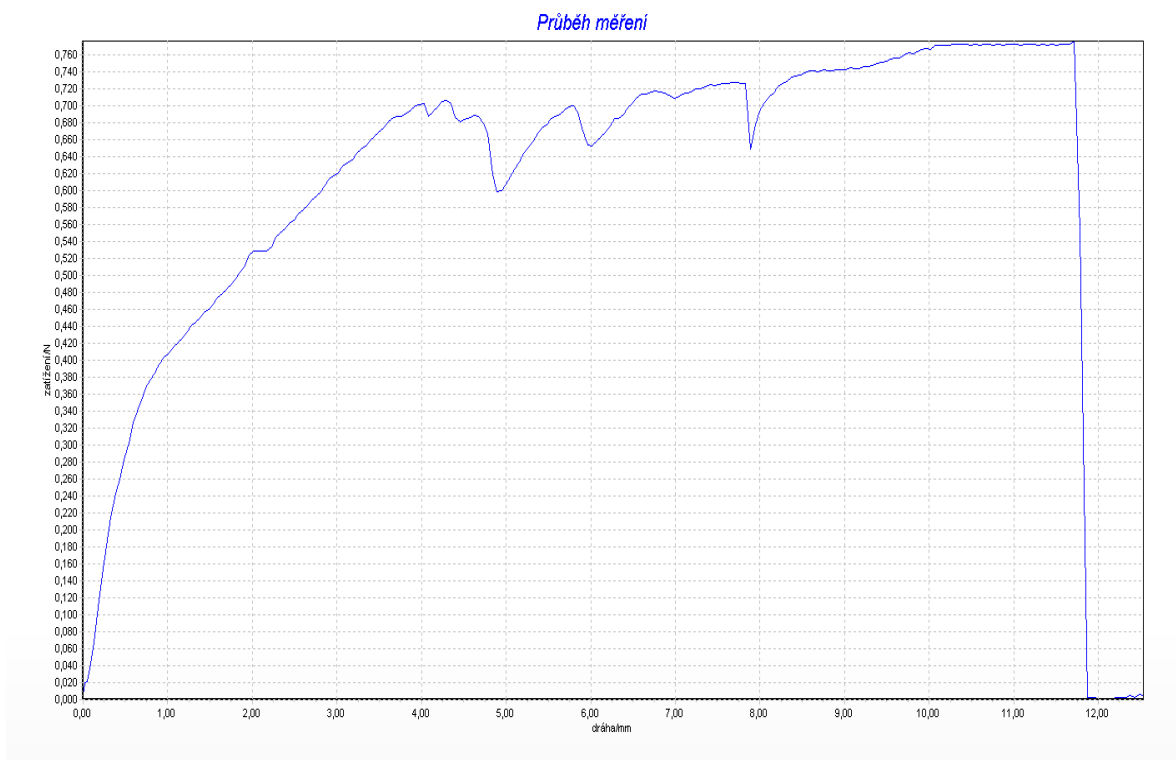
Obr. 35. Měření číslo 5 [vlastní zdroj]



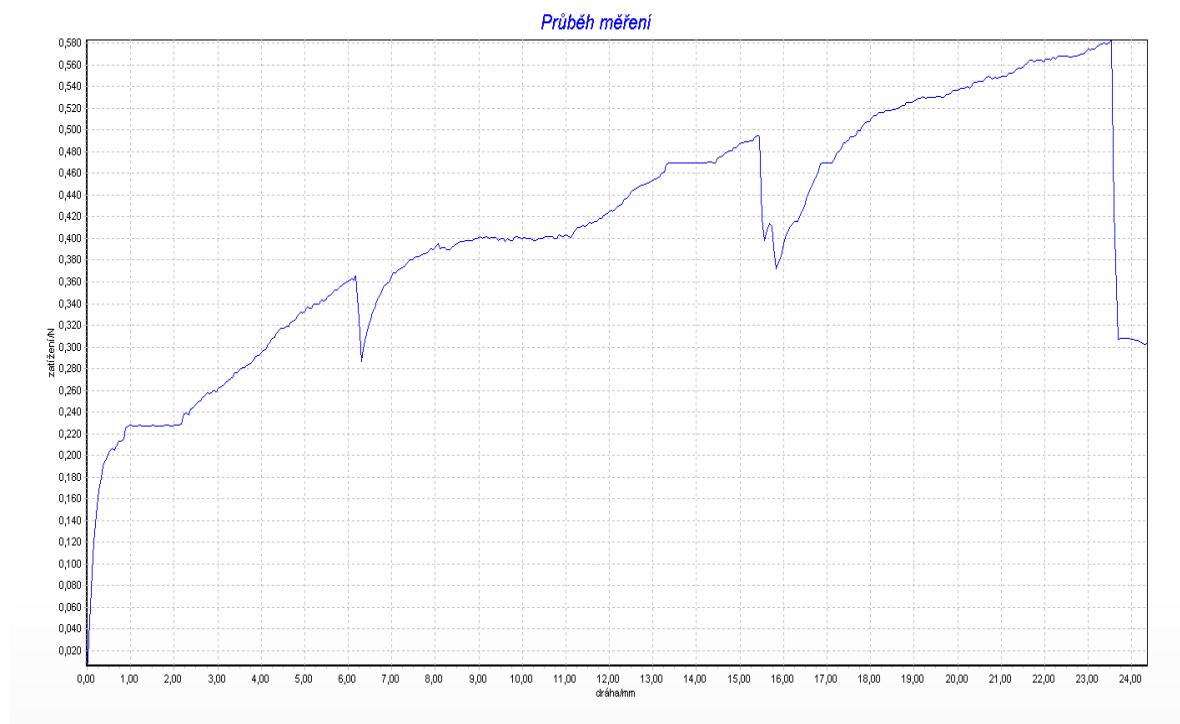
Obr. 36. Měření číslo 6 [vlastní zdroj]



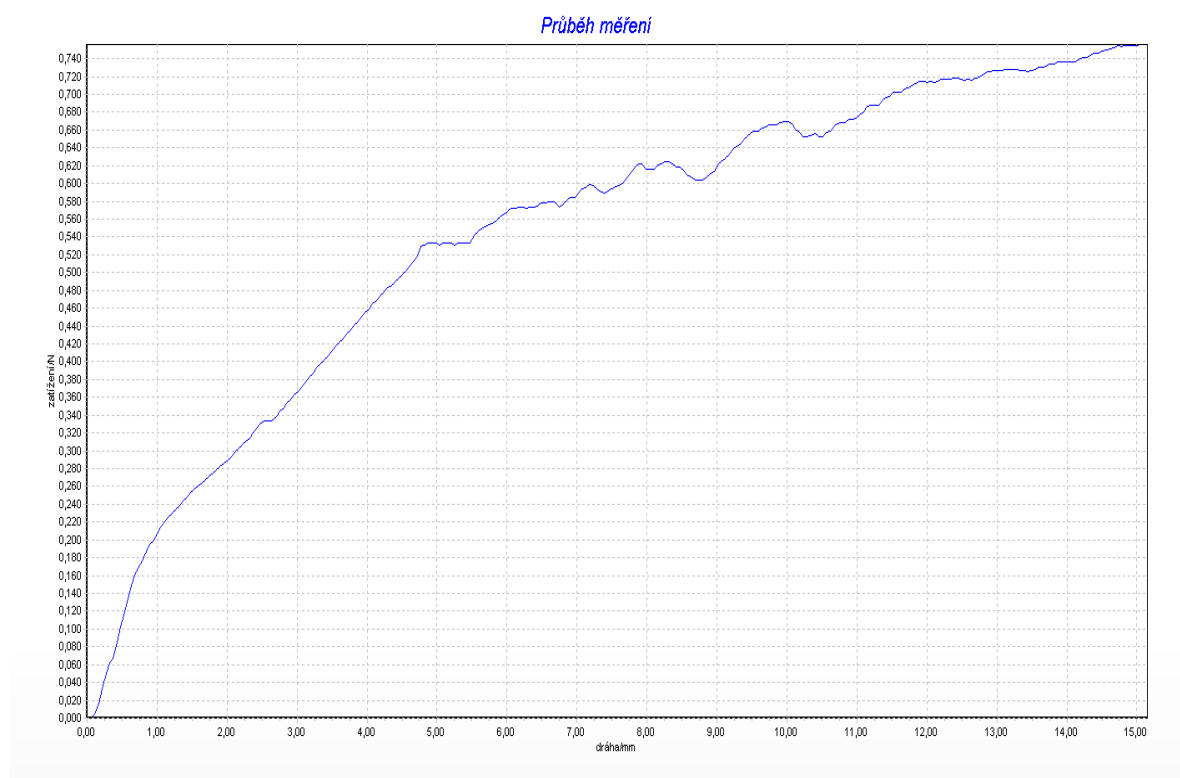
Obr. 37. Měření číslo 7 [vlastní zdroj]



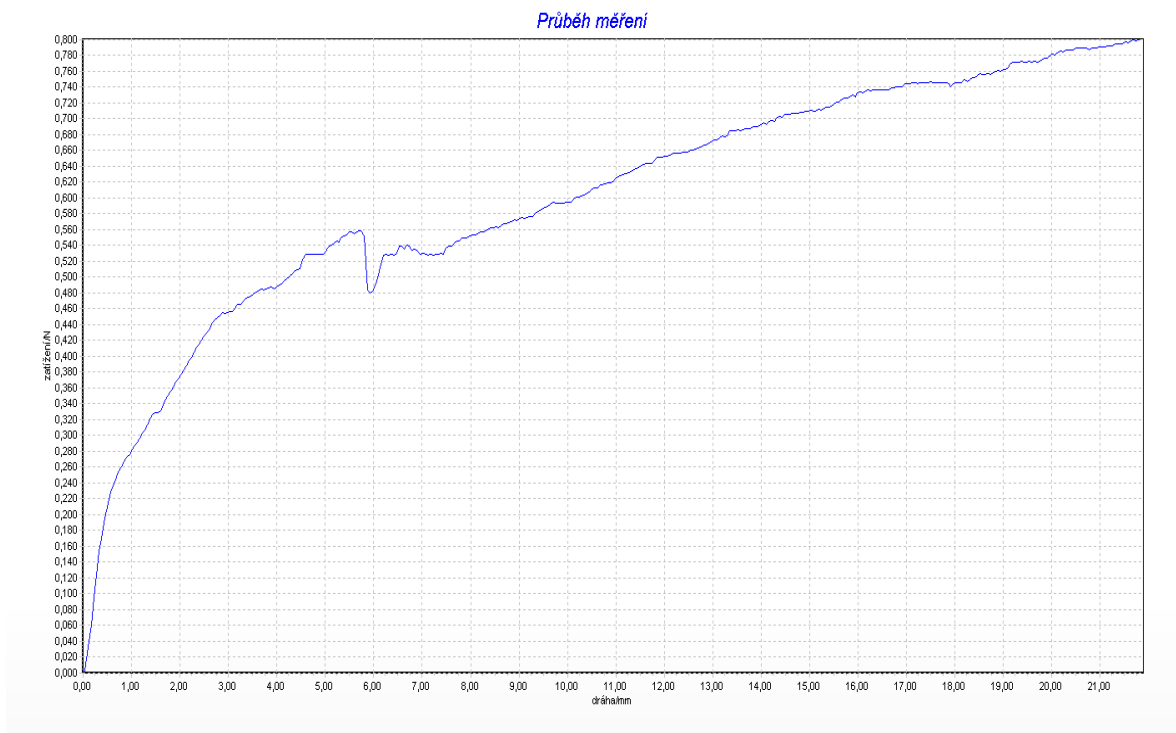
Obr. 38. Měření číslo 8 [vlastní zdroj]



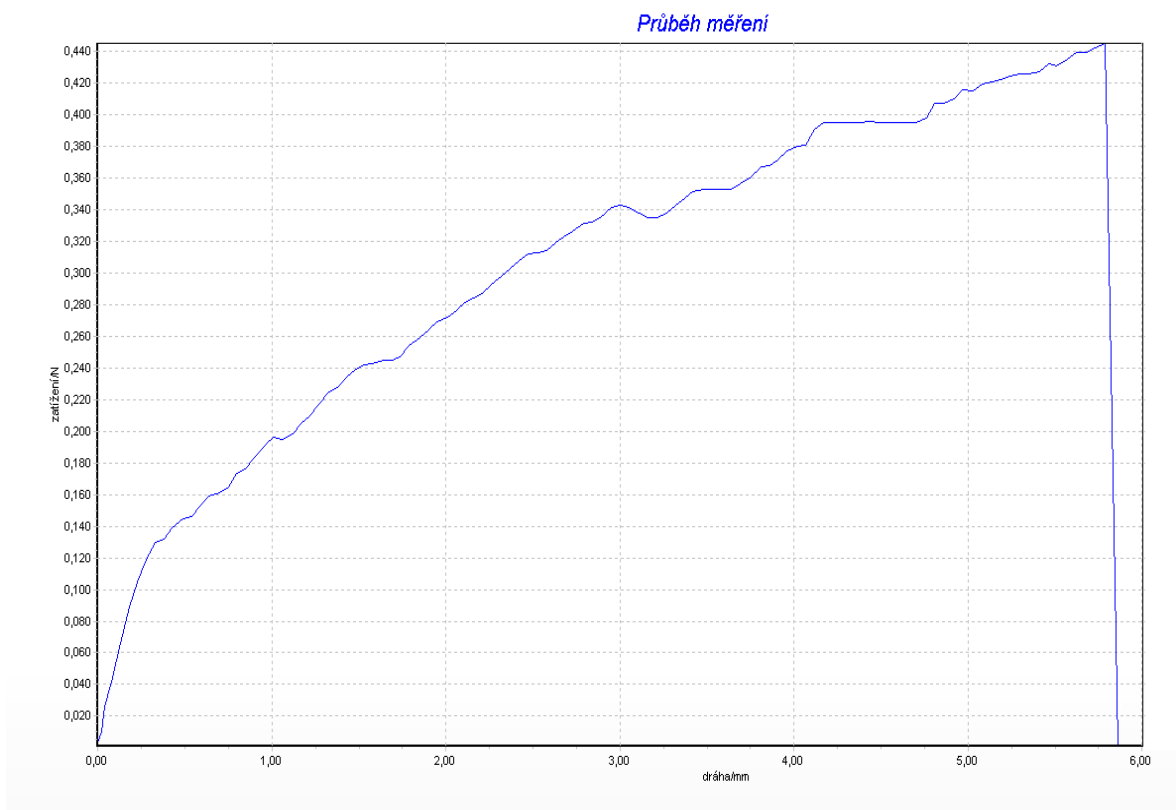
Obr. 39. Měření číslo 9 [vlastní zdroj]



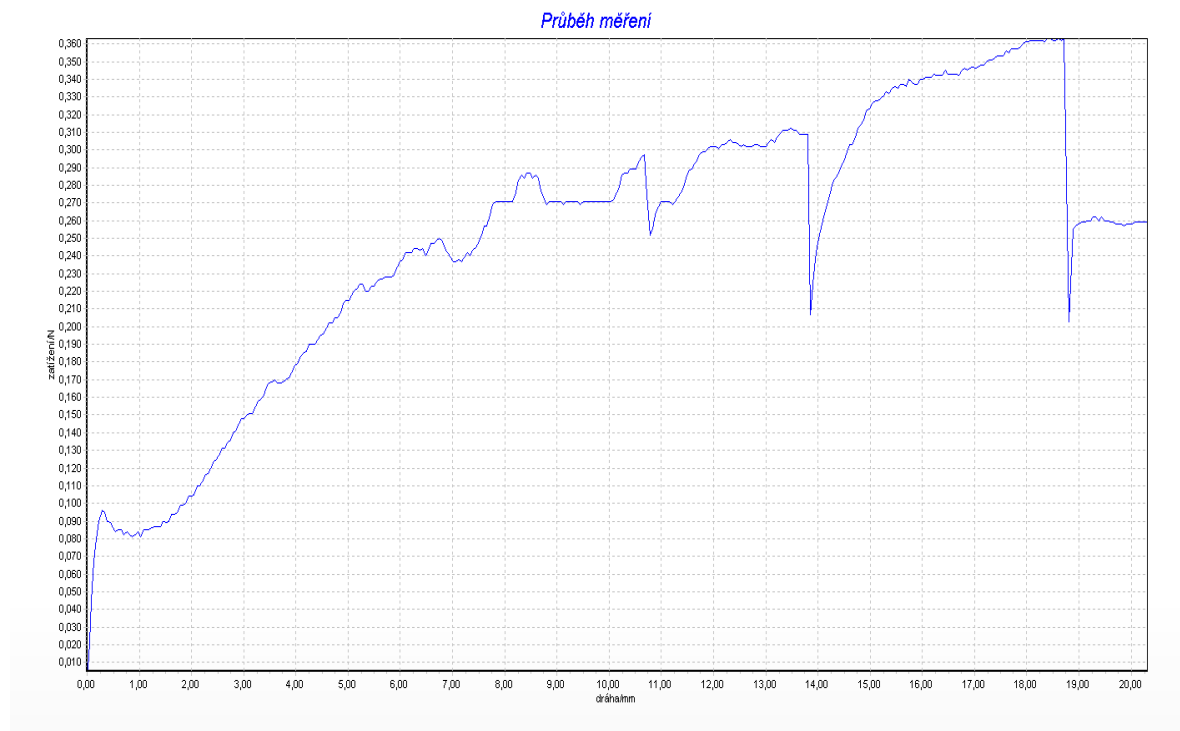
Obr. 40. Měření číslo 10 [vlastní zdroj]



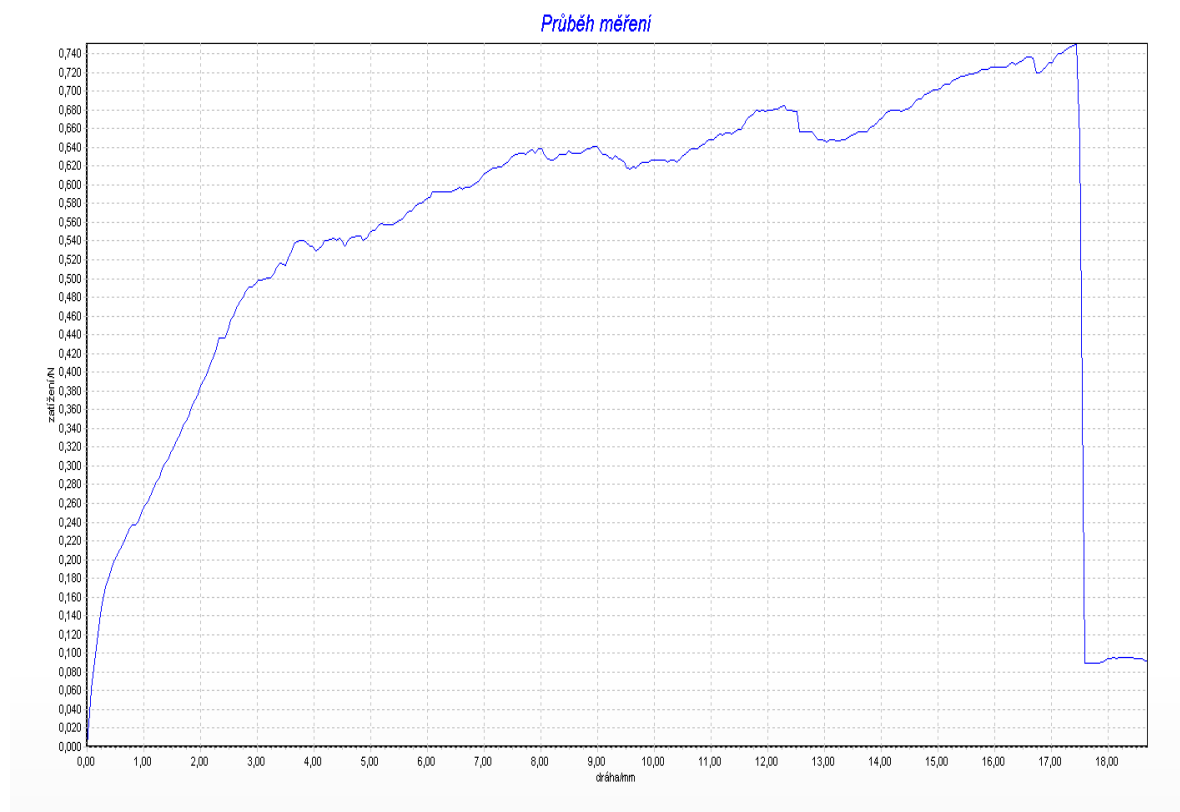
Obr. 41. Měření číslo 11 [vlastní zdroj]



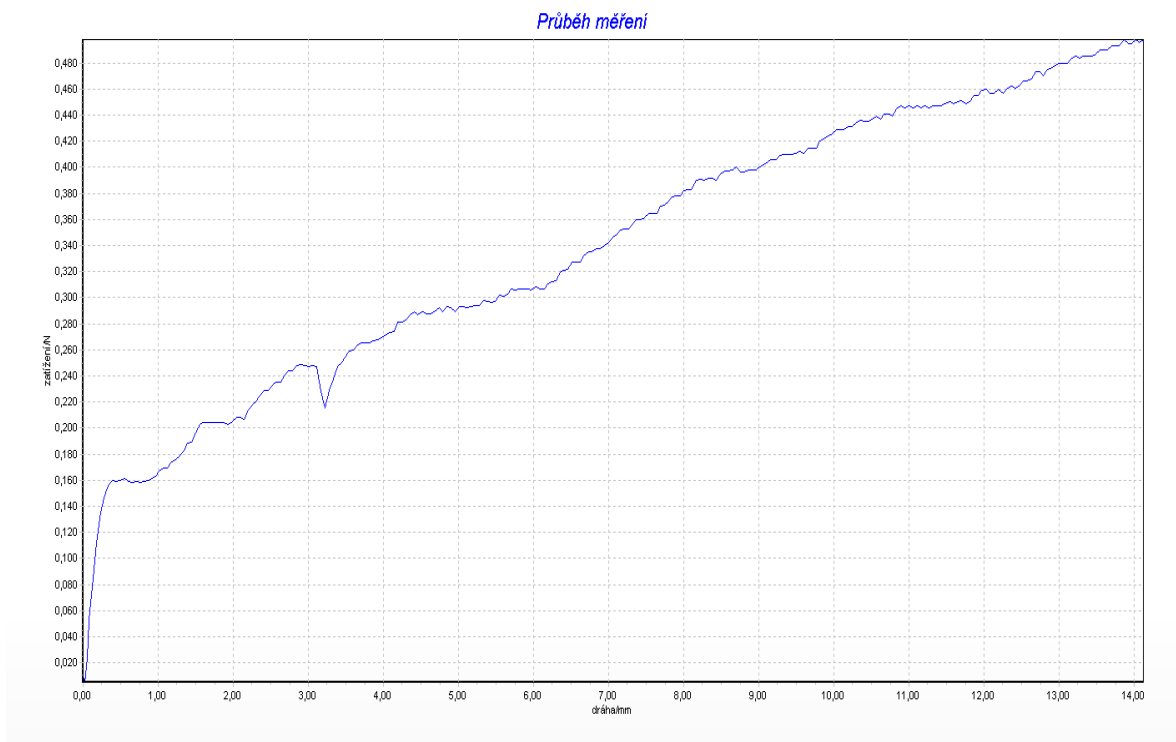
Obr. 42. Měření číslo 12 [vlastní zdroj]



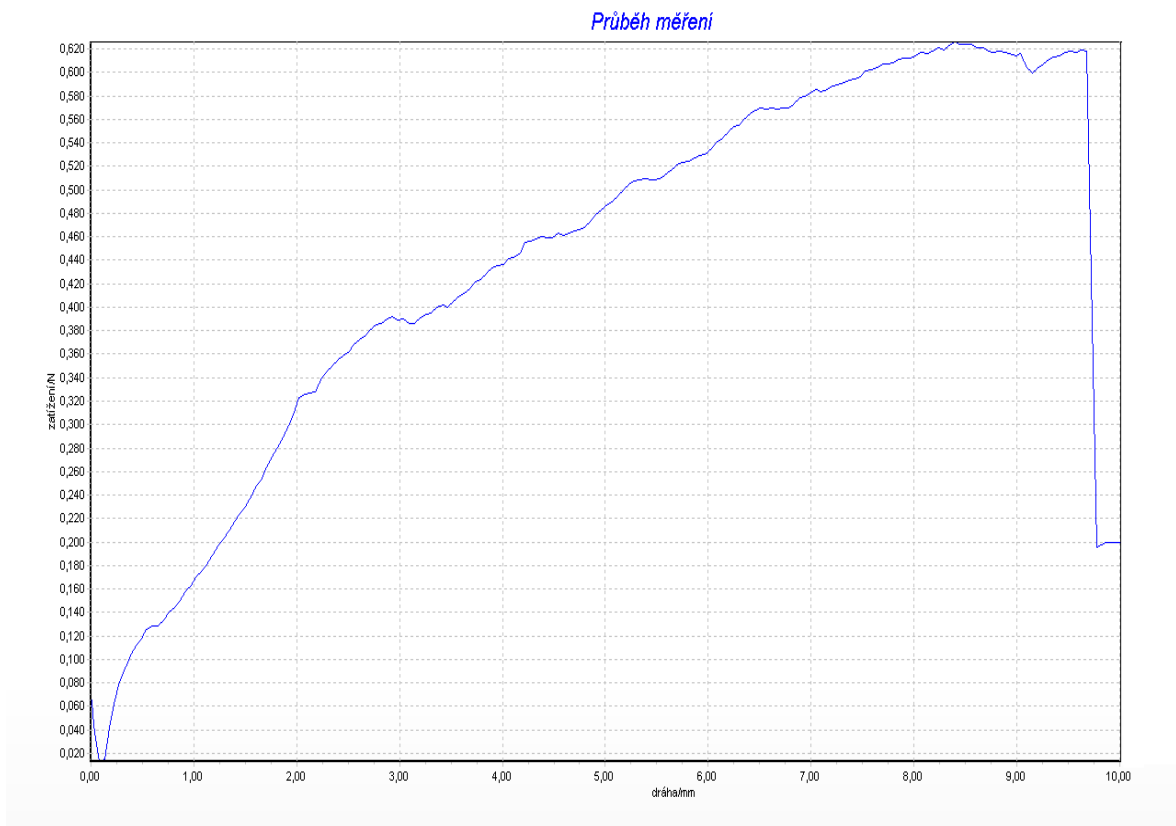
Obr. 43. Měření číslo 13 [vlastní zdroj]



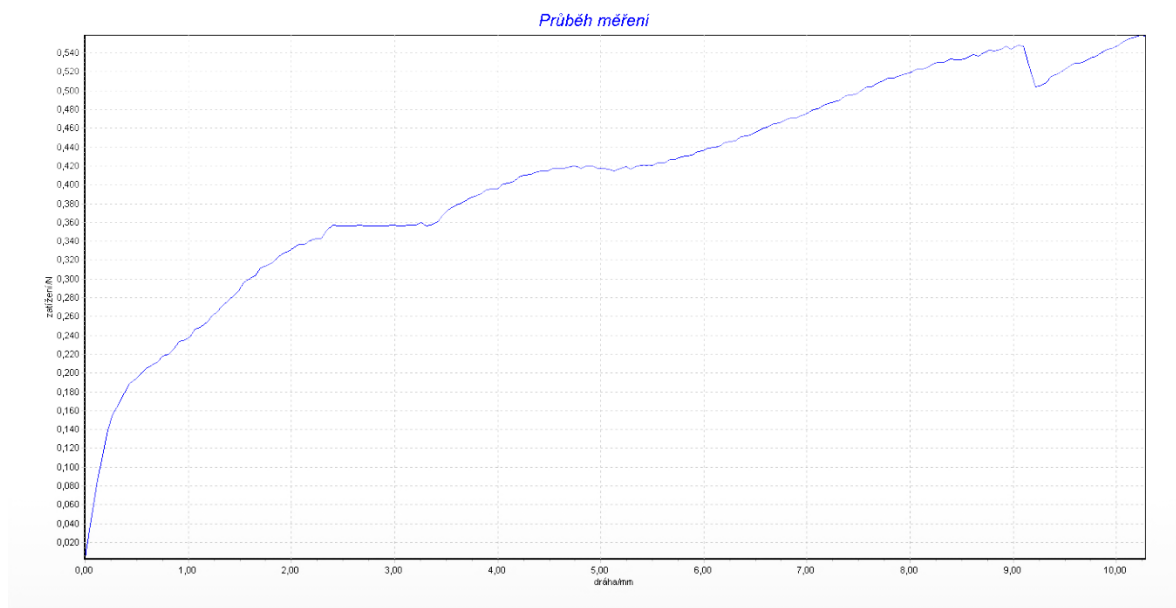
Obr. 44. Měření číslo 14 [vlastní zdroj]



Obr. 45. Měření číslo 15 [vlastní zdroj]



Obr. 46. Měření číslo 16 [vlastní zdroj]



Obr. 47. Měření číslo 17 [vlastní zdroj]

Všech 17 grafů má společné rysy tvaru křivky. Jak je naznačeno na Obr. 31, na začátku je zřejmá mez úměrnosti v tahu, což je oblast, ve které je deformace úměrná napětí a platí zde Hookův zákon. Poté následuje mez pružnosti, kde dochází k pružným deformacím. Dále následuje mez kluzu, při které probíhá po určitou dobu deformace, aniž by bylo nutné zatížení zvyšovat a nakonec mez pevnosti, což je největší napětí, při kterém materiál ještě vydrží bez porušení. U některých grafů lze pozorovat na křivce větší poklesy síly, což odpovídá postupnému praskání vnějších vrstev vlasu (Obr. 33, 34, 36, 38, 39 a 43).

7.2.4 Orientační test normality

Pro rychlou orientaci, jestli má výběrový soubor normální rozdělení, lze porovnat průměr a medián. U souboru hodnot s normálním rozdělením by se obě veličiny neměly lišit o víc než desetinu.

$$\text{Testovací kritérium:} \quad 0,9 < \frac{\mu}{x_{0,50}} < 1,1 \quad (1)$$

Kde μ je průměr a $x_{0,50}$ medián výběrového souboru. Tímto testem vlastně ověřujeme, jestli rozdělení není příliš šikmé. Diskuse o normalitě výběrového souboru má smysl pouze, pokud je soubor dostatečně velký [43]. Pokud máme méně než 10 hodnot, nelze z nich o rozdělení říct téměř nic, proto byly tímto způsobem testovány pouze vlasy o délce 10 mm.

Výpočtem bylo zjištěno, že soubor má normální rozdělení.

7.2.5 Test normality

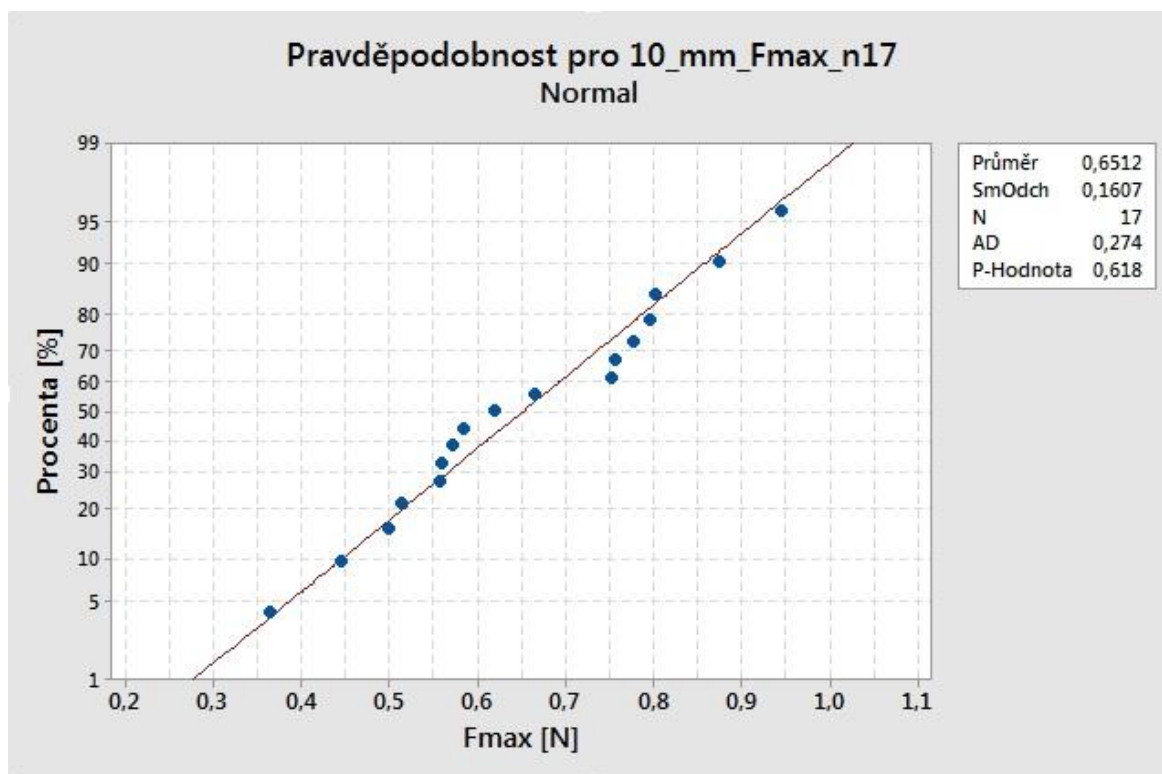
Naměřené hodnoty byly testovány Anderson-Darlingovým testem normality pomocí teorie hypotéz, kdy byly položeny tyto hypotézy:

Nulová hypotéza H_0 : Hodnoty pochází ze základního souboru.

Alternativní hypotéza H_A : Hodnoty nepochází ze základního souboru.

Hodnota testovacího kritéria je 0,05. Pokud je P-hodnota menší než toto testovací kritérium nulová hypotéza se zamítá ve prospěch alternativní.

Z Obr. 48 je zřejmé, že P-hodnota pro vlas o délce 10 mm je 0,618. Nulovou hypotézu H_0 nezamítáme s pravděpodobností 95 %, možnost omylu je 5 %. Můžeme opět potvrdit, že data pochází z normálního rozdělení.

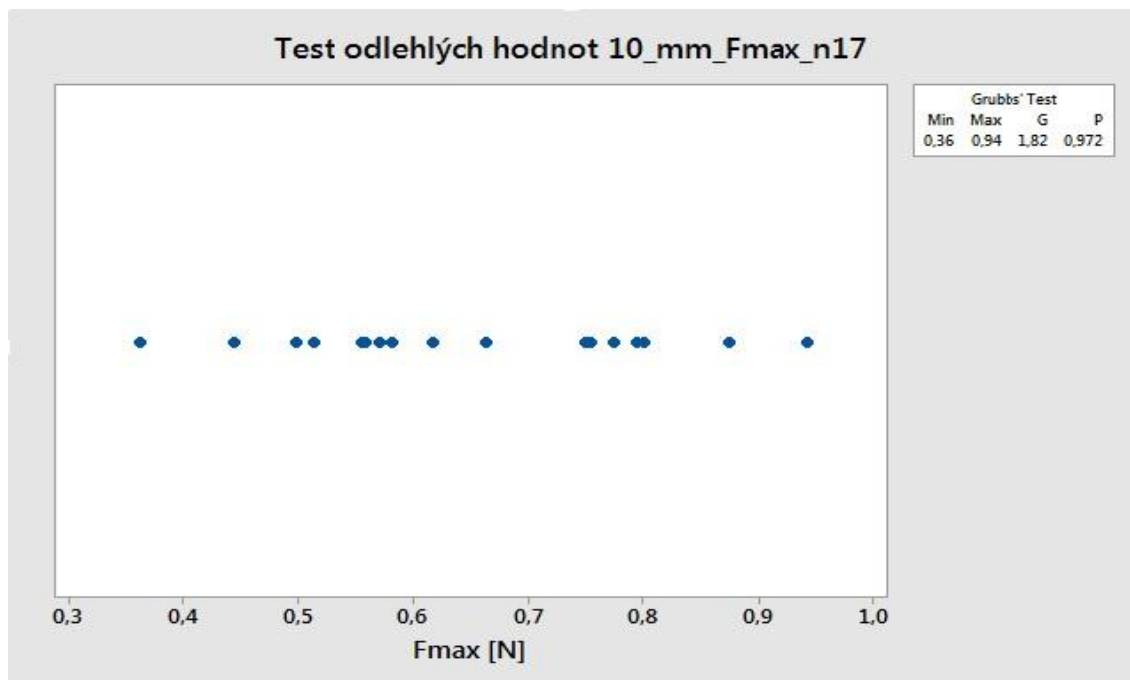


Obr. 48. Test normality [vlastní zdroj]

7.2.6 Grubbsův test odlehlých hodnot

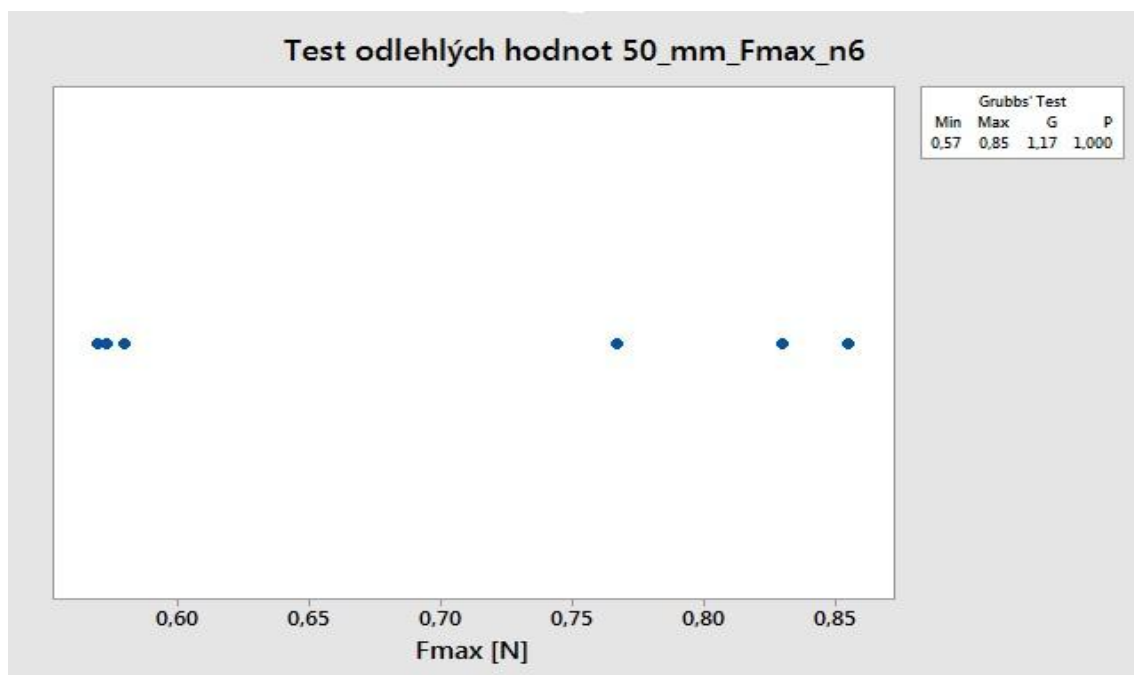
Test odlehlých hodnot platí pouze pro normální rozdělení. Jako míra odlehlosti hodnoty slouží její vzdálenost od aritmetického průměru výběru dat s normálním rozdělením, vztažená ke směrodatné odchylce.

Jak znázorňuje Obr. 49, soubor naměřených hodnot síly při přetržení nemá odlehlé hodnoty. Jedná se o vlas délky 10 mm.



Obr. 49. Graf odlehlých hodnot pro vlas o délce 10 mm [vlastní zdroj]

Jak znázorňuje Obr. 50, také soubor naměřených hodnot síly při přetržení nemá odlehlé hodnoty. Jedná se o vlas délky 50 mm.



Obr. 50. Graf odlehlých hodnot pro vlas o délce 50 mm [vlastní zdroj]

7.2.7 Test rozdílu dvou rozptylů (F-test)

Testem porovnáváme přesnost dvou metod měření. Výpočet F-testu vychází z dat dvou výběrových souborů, které jsou předmětem srovnávání. Obvykle se jedná o pokusný a kontrolní soubor [44].

F-test testuje nulovou hypotézu, že délka zkoumaného vlasu nemá vliv na měření.

Kde F je Fischer-Snedecorovo rozdělení a F_{krit} je kritická hodnota na 5% hladině významnosti.

Jelikož z výpočtů vyplývá, že hodnota $F < F_{\text{krit}}$, nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu. Tedy s 95 % spolehlivostí platí, že délka vlasů nemá vliv na testovanou metodu. Proto můžeme pracovat s délkou vlasů 10 mm i 50 mm.

7.2.8 Test rovnosti dvou středních hodnot (t-test)

Jedná se o jeden z nejpoužívanějších testů. Nezávislost výběru bývá zaručena tím, že každý výběr obsahuje jiné prvky. Tento test patří mezi parametrické a je založen na předpokladu, že máme výběry z normálního rozdělení.

Test rovnosti dvou středních hodnot porovnává data, která pocházejí ze subjektů, které byly podrobeny dvěma měřeními. Provádí tedy dvě měření u jednoho výběrového souboru. Takto získané hodnoty tvoří páry a reprezentují při testování jak kontrolní, tak i pokusnou skupinu porovnávaných dat. V testu vycházíme z rozdílů naměřených párových hodnot u srovnávaných variačních řad [44].

Pro test dvou středních hodnot normálního rozdělení předpokládáme, že střední hodnoty dvou souborů s normálním rozdělením, ze kterých byl proveden výběr, se rovnají.

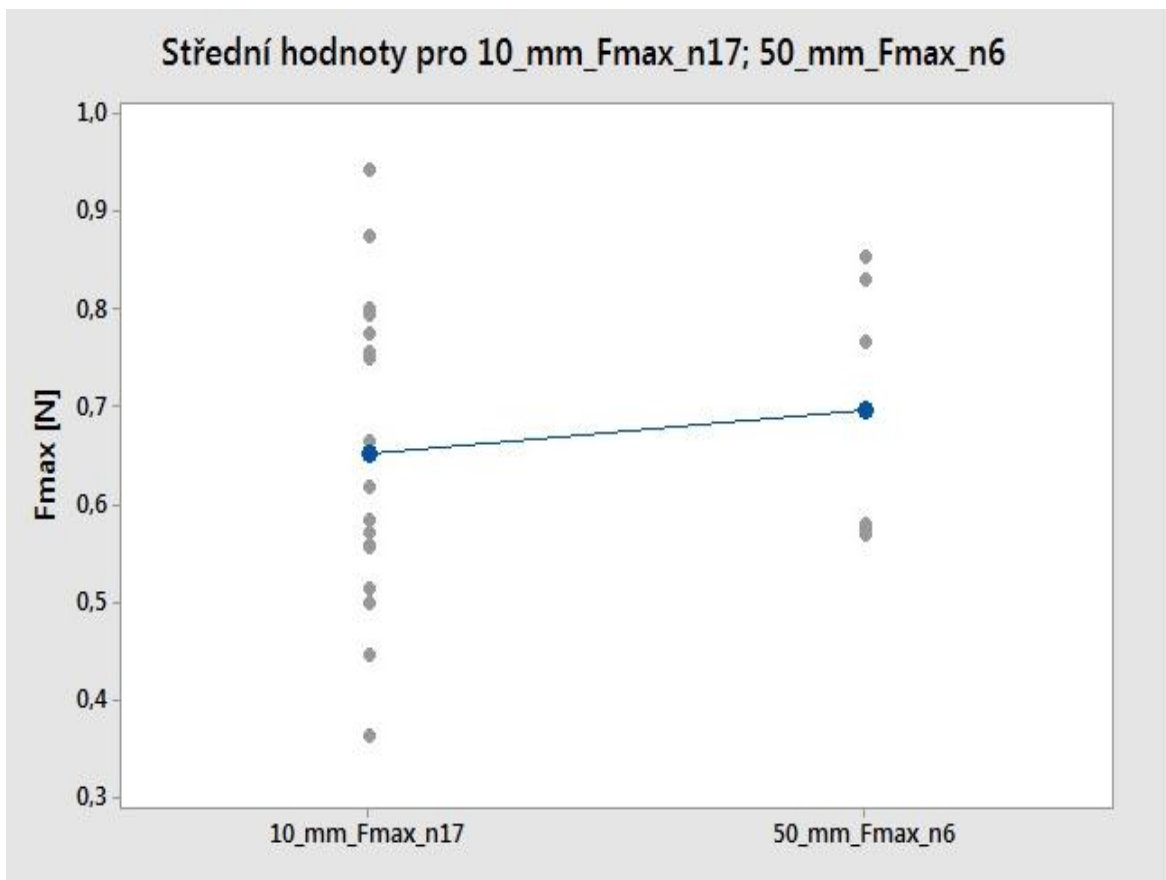
Nulová hypotéza H_0 : Průměrná síla při přetržení vzorku o délce 10 mm se rovná průměrné síle při přetržení vzorku o délce 50 mm.

Alternativní hypotéza H_A : Průměrná síla při přetržení vzorku o délce 10 mm se statisticky významně liší od průměrné síly při přetržení vzorku o délce 50 mm.

Testovací kritérium:
$$t = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}} \quad (2)$$

Kde μ_1 , σ_1 respektive μ_2 , σ_2 jsou výběrová střední hodnota a výběrová směrodatná odchylka 1. souboru respektive 2. souboru [43].

Na Obr. 51 jsou znázorněny střední hodnoty síly potřebné k přetržení vlasu o délce 10 mm a 50 mm.

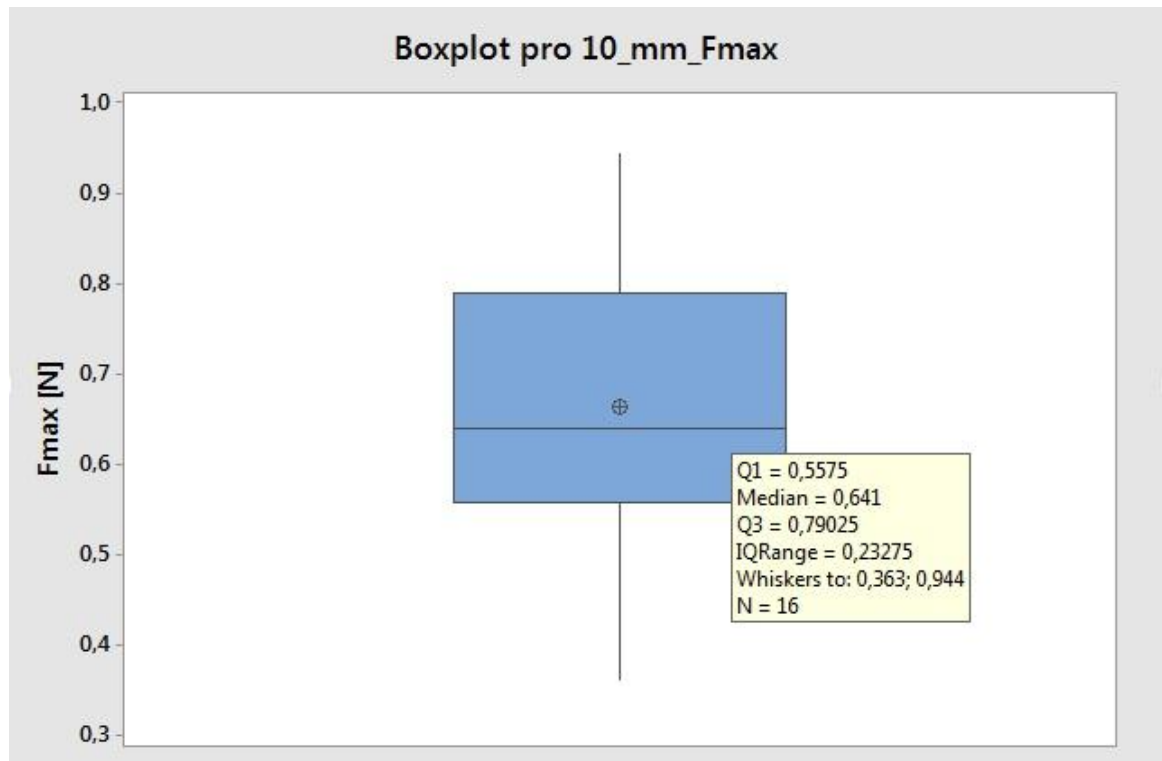


Obr. 51. Graf středních hodnot sil potřebných k přetržení vlasu s vyznačenými průměry [vlastní zdroj]

Nulovou hypotézu H_0 nezamítáme s pravděpodobností 95 %, možnost omylu je 5 %. S 95 % spolehlivostí platí, že vlasy o délce 10 mm a 50 mm se trhají při stejné maximální síle, která je potřebná k přetržení vlasu. Podle naměřených dat je lhostejné, zda bude použit vlas o délce 10 mm nebo 50 mm.

7.3 Pevnost vlasu

Na Obr. 52 je znázorněna průměrná síla při přetržení vlasu o délce 10 mm.



Obr. 52. Boxplotový graf průměrné síly při přetržení vlasu [vlastní zdroj]

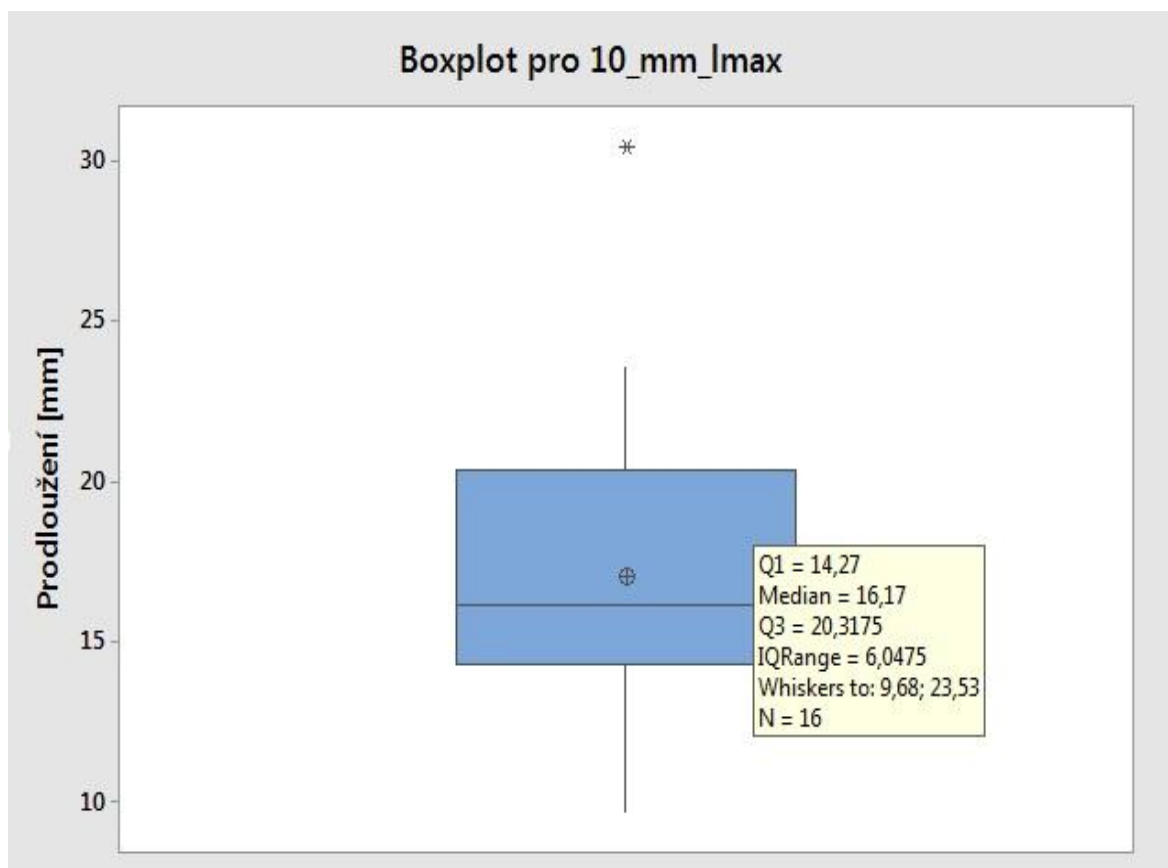
Tab. 4. Naměřené a vypočtené hodnoty průměrné síly při přetržení vlasu o délce 10 mm

	Jednotky	Síla při přetržení F_{\max}
Aritmetický průměr	N	0,6641
Medián	N	0,6410
Směrodatná odchylka	N	0,0392
Variační koeficient	%	23,59
Minimum	N	0,3630
První kvartil Q_1	N	0,5575
Třetí kvartil Q_3	N	0,7903
Maximum	N	0,9440

Z naměřených a vypočtených hodnot (Tab. 4) je zřejmé, že variační koeficient je 23,59 %. Medián a aritmetický průměr se liší pouze o 4 %. Můžeme tedy konstatovat, že hodnotu variačního koeficientu můžeme považovat za vysokou a existuje značný rozptyl síly na přetržení vlasu, protože směrodatná odchylka tvoří 23,59 % z aritmetického průměru.

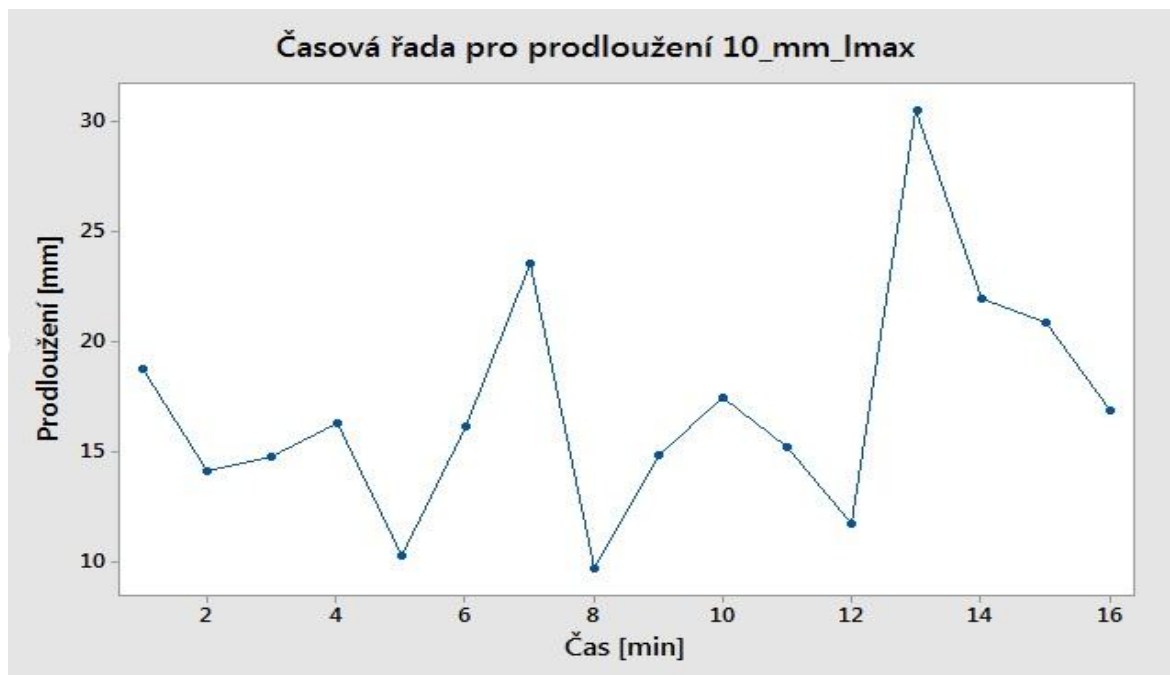
7.4 Prodloužení vlasu

Na Obr. 53 je znázorněno průměrné protažení vlasu, ke kterému dochází při mechanickém namáhání.



Obr. 53. Boxplotový graf průměrného prodloužení vlasu [vlastní zdroj]

Z Obr. 54, kde je znázorněna časová řada měření, je patrné, že data nemají charakteristický trend. Variabilita protažení je různorodá. Měření tedy nebylo ovlivněno jinými vlivnými hodnotami, jako je teplota nebo vlhkost prostředí. Pokud by vlhkost ovlivňovala vlasy v průběhu měření, měla by časová křivka měření vzrůstající trend.



Obr. 54. Časová řada měření [vlastní zdroj]

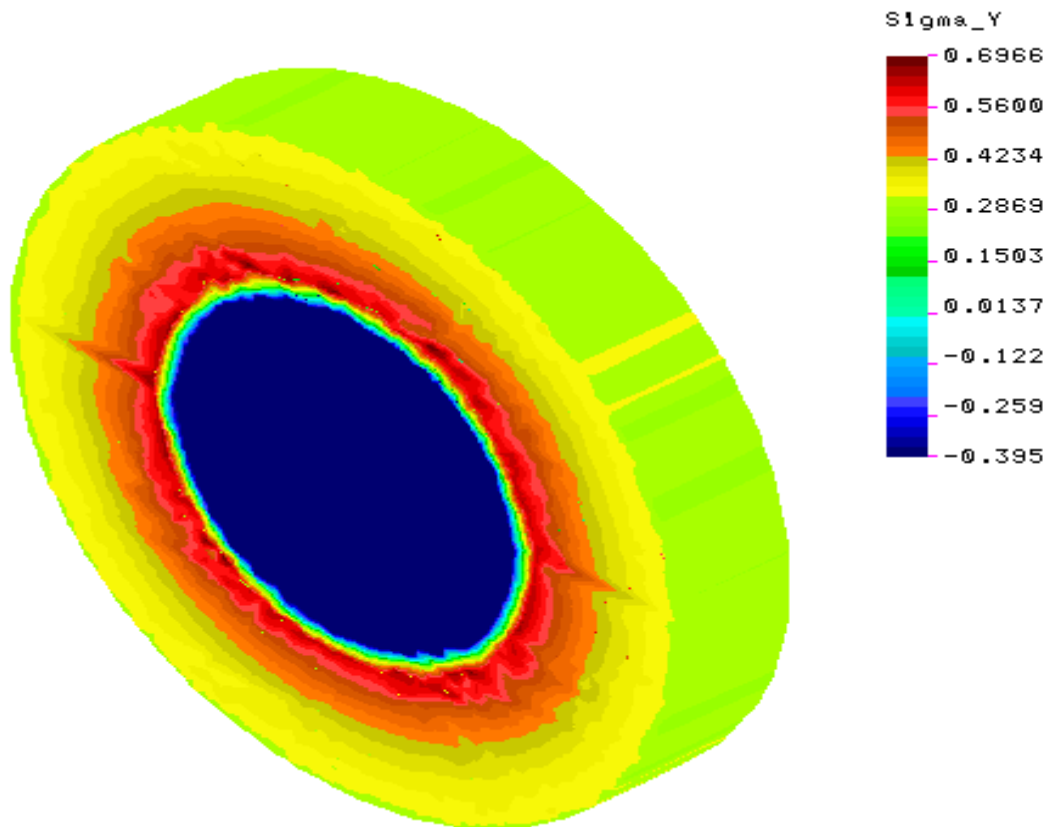
Tab. 5. Naměřené a vypočtené hodnoty průměrného prodloužení vlasu o délce 10 mm

	Jednotky	Prodloužení vlasu δl
Aritmetický průměr	mm	17,03
Medián	mm	16,17
Směrodatná odchylka	mm	1,32
Variační koeficient	%	30,91
Minimum	mm	9,68
První kvartil Q_1	mm	14,27
Třetí kvartil Q_3	mm	20,32
Maximum	mm	30,44

Z naměřených a vypočtených hodnot (Tab. 5) je zřejmé, že variační koeficient je 30,91 %. Tedy směrodatná odchylka tvoří až 30,91 % z aritmetického průměru. Medián a aritmetický průměr se liší o 6 %. Můžeme konstatovat, že hodnotu variačního koeficientu můžeme považovat za vysokou. Z toho plyne, že vlasy jsou velmi pružné a existuje značný rozptyl prodloužení při mechanickém namáhání vlasu.

7.5 Model vlasu při mechanickém namáhání

Na Obr. 55 je vytvořený model metodou konečných prvků. Je tudíž zřejmé, že při mechanickém namáhání vlasu jádro ještě odolává použité síle, ale kolem jádra se postupně začínají vytvářet trhliny, které pronikají do vnějších vrstev vlasu.



Obr. 55. Model chování vlasu při mechanickém namáhání [vlastní zdroj]

ZÁVĚR

Teoretická část diplomové práce byla zaměřena na popis stavby vlasu, na mechanické vlastnosti a na fyzikální faktory, které ovlivňují vlas při mechanickém namáhání.

Úvodní kapitoly jsou zaměřeny na cyklus růstu vlasu, stavbu a složení. Dále jsou podrobně popsány fyzikální vlastnosti jako je pevnost nebo tvar vlasu, a také jsou popsány fyzikální i chemické vlivy, které na vlas působí při mechanickém namáhání. Poslední kapitola se věnuje již dříve provedeným výzkumům a různým metodám, které popisují chování vlasu při mechanickém namáhání.

V praktické části byla navržena a vyzkoušena metoda pro stanovení kvality a pevnosti vlasů. Nejprve je popsána příprava vzorků a veškeré postupy, které předcházely samotnému testování a měření. Poté je popsáno měření průměru vlasu, způsob sledování povrchu vlasu a nakonec provedení samotné tahové zkoušky. V dané kapitole jsou popsány i přístroje, na kterých měření probíhala.

V rámci experimentu byl navržen způsob uchycení vlasu, aby bylo možné provést tahovou zkoušku. Nejdříve byl navržen vhodný tvar držáku, poté lepidlo, se kterým byly vzorky vlasů uchyceny do držáků, poté byla upravena citlivost tenzometru a rychlost čelisti, kterou byly vzorky vlasů trhány. Nakonec bylo navrženo vhodné vyhodnocení pomocí statistických metod.

Podle navržené metodiky byl doporučen způsob zpracování a vyhodnocení, který je popsán v poslední kapitole. Průměrná tloušťka vlasu byla velmi podobná u všech odebraných vzorků a nabývala hodnot kolem 45 μm . Z výsledků tahové zkoušky vyplývá, že výsledky nejsou závislé na délce pracovní části zkušebního vlasu. Proto stačí pracovní délka vlasu 10 mm, se kterou se lépe pracuje a následné nasnímání povrchu vlasu není obtížné. Poté byl podrobněji zkoumán vlas o délce 10 mm. Byla sestavena časová řada měření a popsány jednotlivé části grafů, které charakterizují chování vlasu při mechanickém namáhání. Nakonec byla vypočítána průměrná síla potřebná k přetržení vlasu a průměrné prodloužení vlasu. Maximální síla potřebná k přetržení vlasu měla velký rozptyl hodnot, což znamená, že síla potřebná k přetržení je velmi variabilní, i když vlasy byly odebrány od jedné osoby a ze stejné oblasti hlavy. Podle výsledků průměrné síly potřebné k přetržení vlasu je zřejmé, že se jednalo o pevné vlasy. Prodloužení vlasu bylo ještě mnohem variabilnější než maximální síla potřebná k přetržení, tudíž vlasy byly velmi pružné.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BARTOŠOVÁ, Ludmila, Vladimír JORDA a Zdeněk ŠTÁVA. *Choroby vlasů a ovlášené kůže*. 1. vyd. Praha: Avicenum, 1982, 253 s.
- [2] JELÍNEK, Richard, et al. *Histologie embryologie* [online]. [cit. 2015-10-24]. 3. lékařská fakulta UK. Dostupné z:
<http://old.lf3.cuni.cz/histologie/materialy/doc/skripta.pdf>
- [3] DRAELOS, Zoe Diana. *Hair care an illustrated dermatologic handbook* [online]. London: Taylor, 2005 [cit. 2015-10-25]. ISBN 02-033-1424-7.
- [4] FRANBOURG, A., P. HALLEGOT, F. BALTENNECK, F. LEROY a C. TOUTAIN. Current Research on Ethnic Hair. *Journal of the American Academy of Dermatology* [online]. 2003, 48(6), 115-119 [cit. 2015-11-12]. ISSN 0190-9622. Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com.proxy.k.utb.cz/science/article/pii/S0190962203003463>
- [5] BOUILLON, Claude a John WILKINSON. *Science of Hair Care* [online]. 2nd ed. London: Taylor, 2005 [cit. 2015-11-25]. ISBN 0-203-02722-1.
- [6] FYZIKA I. Amadeo Avogadro (1776 - 1856). In: SlidePlayer [online]. [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2920162/>
- [7] BENDIT, E. G. A Quantitative X-Ray Diffraction Study of the Alpha-Beta Transformation in Wool Keratin. *Textile Research Journal* [online]. 1960, 30(8), 547-555 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://online.sagepub.com/search?fulltext=A+quantitative+X-ray+diffraction+study+of+the+alpha-beta+transformation+in+wool+keratin&x=7&y=10&src=hw&andorexactfulltext=and&submit=yes>
- [8] FEUGHELMAN, M. Cooperative unfolding of α -keratin. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 1966, 10(12), 1937–1947 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/wo11/doi/10.1002/app.1966.070101211/abstract>
- [9] REBENFELD, Ludwig, Hans Dietrich WEIGMANN a Cornelia DANSIZER. Temperature Dependence of the Mechanical Properties of Human Hair in Relation to Structure. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists* [online]. 1966, 17(9), 525-538 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z:
<http://journal.sconline.org/pdf/cc1966/cc017n09/p00525-p00538.pdf>

- [10] LEROY, F., A. FRANBOURG, J. L. LEVEQUE a J. DOUCET. *Synchrotron light: a powerful tool for the analysis of human hair damages*. 10th International Hair Science Symposium (Rostock), 1996.
- [11] SPEAKMAN, J. B. The rigidity of wool and its change with adsorption of water vapour. *Transactions of the Faraday Society* [online]. 1929, 25, 92-103 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1929/TF/TF9292500092#!divAbstract>
- [12] BOGATY, Herman. Torsional Properties of Hair in Relation to Permanent Waving and Setting. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists* [online]. 1967, 18(10), 575-590 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://journal.sconline.org/contents/cc1967/cc018n10.html>
- [13] PHILLIPS, D. G. Effects of Humidity, Ageing, Annealing, and Tensile Loads on the Torsional Damping of Wool Fibers. *Textile Research Journal* [online]. 1987, 57(7), 415–420 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: http://trj.sagepub.com/search/results?fulltext=Effects+of+humidity%2C+ageing%2C+annealing+and+tensile+loads+on+the+torsional+damping+of+wool+fibers&x=0&y=0&submit=yes&journal_set=sptrj&src=selected&andorexa
- [14] MOTTRAM, F. J. a J. R. COAD. Changes in the Cross-Linking of Keratin Fibers as Revealed by Stress-Relaxation Studies. *Textile Research Journal* [online]. 1974, 44(7), 557-558 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://trj.sagepub.com/content/44/7/557.full.pdf+html>
- [15] ROBINSON, M. S. a B. J. RIGBY. Thiol Differences Along Keratin Fibers: Stress/Strain and Stress-Relaxation Behavior as a Function of Temperature and Extension. *Textile Research Journal* [online]. 1985, 55(10), 597-600 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://trj.sagepub.com/content/55/10/597.full.pdf+html>
- [16] WOOD, G. C. The Relaxation of Stretched Animal Fibres II. The Relaxation of Human Hair. *Journal of the Textile Institute Transactions* [online]. 1954, 45(6), 462–471 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19447027.1954.10807251>
- [17] MACKAY, B. H. a J. G. DOWNES. The effect of the sorption process on the dynamic rigidity modulus of the wool fiber. *Journal of Applied Polymer Science*

- [online]. 1959, 2(4), 32–38 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.1959.070020405/full>
- [18] WOLFRAM, J. Leszek a Linda ALBRECHT. Torsional behavior of human hair. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists* [online]. 1985, 36(1), 87–99 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://journal.sconline.org/contents/cc1985/cc036n01.html>
- [19] BENZARTI, M., C. PAILLER-MATTEI, J. JAMART a H. ZAHOUANI. The Effect of Hydration on the Mechanical Behaviour of Hair. *Experimental Mechanics* [online]. 2014, 54(8), 1411-1419 [cit. 2016-01-19]. ISSN 0014-4851. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11340-014-9904-0>
- [20] PARBHU, Ashok N., Warren G. BRYSON a Ratneshwar LAL. Disulfide Bonds in the Outer Layer of Keratin Fibers Confer Higher Mechanical Rigidity: Correlative Nano-Indentation and Elasticity Measurement with an AFM. *Biochemistry* [online]. 1999, 38(36), 11755–11761 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bi990746d>
- [21] ROBBINS, C. R. a R. J. CRAWFORD. Cuticle damage and the tensile properties of human hair. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists* [online]. 1991, 42(1), 59-67 [cit. 2016-01-19]. Dostupné z: <http://journal.sconline.org/contents/cc1991/cc042n01.html>
- [22] LODGE, Richard A. a Bharat BHUSHAN. Wetting properties of human hair by means of dynamic contact angle measurement. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 2006, 102(6), 5255–5265 [cit. 2016-01-19]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.24774/abstract?userIsAuthenticated=false&deniedAccessCustomisedMessage>
- [23] DRUHALA, M. a M. FEUGHELMAN. Mechanical properties of keratin fibres between -196°C and 20°C . *Colloid and Polymer Science* [online]. 1971, 248(1), 1032-1033 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF01508065>
- [24] WATT, Ian C. Properties of Wool Fibers Heated to Temperatures Above 100°C . *Textile Research Journal* [online]. 1975, 45(10), 728-735 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://trj.sagepub.com/content/45/10.toc>

- [25] MITCHELL, T. W. a M. FEUGHELMAN. The Mechanical Properties of Wool Fibers in Water at Temperatures Above 100°C. *Textile Research Journal* [online]. 1967, 37(8), 660-666 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://trj.sagepub.com/content/37/8.toc>
- [26] BULL, H. B. Elasticity of keratin fibers, part II: influence of temperature. *Journal of the American Oil Chemists' Society* [online]. 1945, 67, 533–536 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://link.springer.com/search?query=Elasticity+of+keratin+fibers%2C+part+II%3A+influence+of+temperature&search-within=Journal&facet-journal-id=11746>
- [27] WEIGMANN, Hans-Dietrich, Ludwig REBENFELD a Cornelia DANSIZER. A Transition Temperature in Wool Fibers Under Stress in Relation to Structure. *Textile Research Journal* [online]. 1965, 35(7), 604-611 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://trj.sagepub.com/content/35/7.toc>
- [28] ERIK, Berivan, Hasan HAVITCIOGLU, Sebnem AKTAN a Nuriye KARAKUS. Biomechanical properties of human hair with different parameters. *Skin Research and Technology* [online]. 2008, 14(2), 147–151 [cit. 2016-01-19]. ISSN 0909-752X. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com.proxy.k.utb.cz/doi/10.1111/j.1600-0846.2007.00268.x/full>
- [29] JEONG, Ki Heon, Kyung Sook KIM, Gi Ja LEE, et al. Investigation of Aging Effects in Human Hair Using Atomic Force Microscopy. *Skin Research and Technology* [online]. 2011, 17(1), 63-68 [cit. 2016-01-19]. ISSN 0909-752X. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com.proxy.k.utb.cz/doi/10.1111/j.1600-0846.2010.00466.x/abstract>
- [30] LEE, Yoonhee, Youn-Duk KIM, Hye-Jin HYUN, Long-Quan PI, Xinghai JIN a Won-Soo LEE. Hair Shaft Damage from Heat and Drying Time of Hair Dryer. *Annals of Dermatology* [online]. 2011, 23(4), 455-462 [cit. 2016-01-19]. ISSN 1013-9087. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3229938/?tool=pmcentrez>
- [31] LONGO, V. M., A. SILVA PINHEIRO, J. R. SAMBRANO, J. A. M. AGNELLI, E. LONGO a J. A. VARELA. Towards an Insight on Photodamage in Hair Fibre by UV-light: An Experimental and Theoretical Study. *International Journal of Cosmetic Science* [online]. 2013, 35(6), 539-545 [cit. 2016-02-18]. ISSN 0142-

5463. Dostupné z:
<http://onlinelibrary.wiley.com.proxy.k.utb.cz/doi/10.1111/ics.12054/full#ics12054-bib-0005>
- [32] DRAELOS, Zoe Diana. Hair, Sun, Regulation, and Beauty. *Journal of Cosmetic Dermatology* [online]. 2014, 13(1), 1-2 [cit. 2016-02-18]. ISSN 1473-2130. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com.proxy.k.utb.cz/doi/10.1111/jocd.12080/full>
- [33] ROBBINS, Clarence R. *Chemical and Physical Behavior of Human Hair* [online]. 5th ed. Berlin: Springer Science & Business Media, 2012 [cit. 2016-02-12]. ISBN 9783642256110. Dostupné z:
https://books.google.cz/books?id=q3MGMTYAfu4C&hl=cs&source=gbs_ViewAPI&redir_esc=y
- [34] JELEN, K., M. SKRANTOVA, L. SIMKOVA, J. ZEMAN, E. TLAPAKOVA a O. FANTA. Changes in the Mechanical Parameters of Hair in a Group of Women in Reproductive Age. *Neuroendocrinology Letters* [online]. 2014, 35(6), 481-489 [cit. 2016-02-19]. ISSN 0172-780X. Dostupné z:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov.proxy.k.utb.cz/pubmed/25433839>
- [35] ZHOU, A. J., H. L. LIU a Z. Q. DU. Secondary Structure Estimation and Properties Analysis of Stretched Asian and Caucasian Hair. *Skin Research and Technology* [online]. 2015, 21(1), 119-128 [cit. 2016-02-12]. ISSN 0909-752X. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com.proxy.k.utb.cz/doi/10.1111/srt.12169/full>
- [36] EVANS, A. O., J. M. MARSH a R. R. WICKETT. The Structural Implications of Water Hardness Metal Uptake by Human Hair. *International Journal of Cosmetic Science* [online]. 2011, 33(5), 477-482 [cit. 2016-02-12]. ISSN 0142-5463. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com.proxy.k.utb.cz/doi/10.1111/j.1468-2494.2011.00659.x/full>
- [37] FERNANDES, Margarida a Artur CAVACO-PAULO. Protein Disulphide Isomerase-mediated Grafting of Cysteine-containing Peptides Onto Over-bleached Hair. *Biocatalysis and Biotransformation* [online]. 2012, 30(1), 10-19 [cit. 2016-02-12]. Dostupné z:
<http://web.b.ebscohost.com.proxy.k.utb.cz/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=71fd6723-3031-4075-a9a5-db34ab230133%40sessionmgr103&vid=0&hid=109>

- [38] SESHADRI, Indira P. a Bharat BHUSHAN. In Situ Tensile Deformation Characterization of Human Hair with Atomic Force Microscopy. *Acta Materialia* [online]. 2008, 56(4), 774-781 [cit. 2016-02-18]. ISSN 1359-6454. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.proxy.k.utb.cz/science/article/pii/S1359645407007306>
- [39] CAMACHO-BRAGADO, G. A., G. BALOOCH, F. DIXON-PARKS, C. PORTER a H. BRYANT. Understanding Breakage in Curly Hair. *British Journal of Dermatology* [online]. 2015, 173(2), 10-16 [cit. 2016-02-12]. ISSN 0007-0963. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com.proxy.k.utb.cz/doi/10.1111/bjd.13241/full>
- [40] *Katalog měřících přístrojů 2015-2017* [online]. Teplice: Mitutoyo Česko s.r.o., 2015, s. 672 [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: http://www.mitutoyo.cz/cs_cz/
- [41] Přístroje pro měření síly a kroutícího momentu. *PROMINENT* [online]. Prominent, s.r.o., ©2007-2016 [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: http://www.prominent-km.cz/fa_promi/
- [42] Promi – PC: uživatelský manuál pro software. Prominent, s.r.o.
- [43] Testování statistických hypotéz. In: Ústav fyziky a materiálového inženýrství [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009 [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/prakt_stat/ps2.pdf
- [44] Parametrické testy. In: Biostatistika [online]. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/ttest.htm>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

UV	Ultrafialové záření
mm	Milimetr
μm	Mikrometr
cm	Centimetr
$^{\circ}\text{C}$	Stupeň Celsia
g	Gram
min	Minuta
N	Newton
F_{max}	Maximální síla
AFM	Mikroskopie atomárních sil
SEM	Rastrovací elektronové mikroskopie
XTM	X-ray tomografie
μ	Průměr
$x_{0,50}$	Medián
μ_1	Výběrová střední hodnota
σ_1	Výběrová směrodatná odchylka

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Trojice primárních folikulů [1, s. 19]</i>	12
<i>Obr. 2. Embryonální vývoj folikulu [1, s. 24]</i>	13
<i>Obr. 3. Průřez střední částí anagenního folikulu [1, s. 27]</i>	15
<i>Obr. 4. Vertikální řez anagenním folikulem [1, s. 29]</i>	15
<i>Obr. 5. Prostorové uspořádání keratinizačních pochodů [1, s. 36]</i>	16
<i>Obr. 6. Schéma struktury vlasu [4]</i>	18
<i>Obr. 7. Cyklus růstu vlasu [1, s. 44]</i>	19
<i>Obr. 8. Typy deformace [5, s. 37]</i>	23
<i>Obr. 9. Závislost napětí na deformaci [6]</i>	24
<i>Obr. 10. Stupňovitý a hladký lom vlasu [vlastní zdroj]</i>	27
<i>Obr. 11. Závislost napětí na deformaci pro různé typy vlasů při relativní vlhkosti 100 % [5, s. 48]</i>	28
<i>Obr. 12. Typická závislost napětí na protažení keratinových vláken při čtyřech úrovních relativní vlhkosti vzduchu [5, s. 44]</i>	30
<i>Obr. 13. Topografické obrázky a dvourozměrné profily ukazující průběh poškození s rostoucím napětí [38]</i>	38
<i>Obr. 14. Schématické znázornění SEM a XTM [39, s. 12]</i>	39
<i>Obr. 15. Graf závislosti protažení na síle vlasu s kapacitou siloměru 200 N [vlastní zdroj]</i>	43
<i>Obr. 16. Papírový držák [vlastní zdroj]</i>	44
<i>Obr. 17. Otevřená a uzavřená teplotní komora pro polymerní materiály [vlastní zdroj]</i>	45
<i>Obr. 18. Lineární výškoměr Linear Height LH-600B [40, s. 246]</i>	46
<i>Obr. 19. Parametry výškoměru [40, s. 246]</i>	47
<i>Obr. 20. Válečkový dotek s hranolem [vlastní zdroj]</i>	47
<i>Obr. 21. Mikroskop LEICA DMI 3000 M [vlastní zdroj]</i>	48
<i>Obr. 22. Ukázka stupňovitého lomu vlasu [vlastní zdroj]</i>	48
<i>Obr. 23. Přístroj PROMI PC [vlastní zdroj]</i>	50
<i>Obr. 24. Nastavení požadovaných hodnot [vlastní zdroj]</i>	51
<i>Obr. 25. Připravené vzorky vlasů o délce 10 mm [vlastní zdroj]</i>	51
<i>Obr. 26. Upnutý vlas [vlastní zdroj]</i>	52
<i>Obr. 27. Boxplotový graf tloušťky všech vlasů [vlastní zdroj]</i>	53

<i>Obr. 28. Boxplotový graf průměrné tloušťky vlasu o délce 10 mm [vlastní zdroj].....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 29. Boxplotový graf pro vlasy o délce 10 mm a 50 mm [vlastní zdroj]</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 30. Časová řada měření [vlastní zdroj].....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 31. Měření číslo 1 [vlastní zdroj]</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 32. Měření číslo 2 [vlastní zdroj]</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 33. Měření číslo 3 [vlastní zdroj]</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 34. Měření číslo 4 [vlastní zdroj]</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 35. Měření číslo 5 [vlastní zdroj]</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 36. Měření číslo 6 [vlastní zdroj]</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 37. Měření číslo 7 [vlastní zdroj]</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 38. Měření číslo 8 [vlastní zdroj]</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 39. Měření číslo 9 [vlastní zdroj]</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 40. Měření číslo 10 [vlastní zdroj]</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 41. Měření číslo 11 [vlastní zdroj]</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 42. Měření číslo 12 [vlastní zdroj]</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 43. Měření číslo 13 [vlastní zdroj]</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 44. Měření číslo 14 [vlastní zdroj]</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 45. Měření číslo 15 [vlastní zdroj]</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 46. Měření číslo 16 [vlastní zdroj]</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 47. Měření číslo 17 [vlastní zdroj]</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 48. Test normality [vlastní zdroj]</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 49. Graf odlehých hodnot pro vlas o délce 10 mm [vlastní zdroj]</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 50. Graf odlehých hodnot pro vlas o délce 50 mm [vlastní zdroj]</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 51. Graf středních hodnot sil potřebných k přetržení vlasu s vyznačenými průměry [vlastní zdroj].....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 52. Boxplotový graf průměrné síly při přetržení vlasu [vlastní zdroj].....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 53. Boxplotový graf průměrného prodloužení vlasu [vlastní zdroj].....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 54. Časová řada měření [vlastní zdroj].....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 55. Model chování vlasu při mechanickém namáhání [vlastní zdroj].....</i>	<i>74</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Technické parametry [41].....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 2. Naměřené a vypočtené hodnoty průměrné tloušťky vlasu o délce 10 mm</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 3. Naměřené a vypočtené hodnoty pro vlasy o délce 10 mm a 50 mm</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 4. Naměřené a vypočtené hodnoty průměrné síly při přetržení vlasu o délce 10 mm</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 5. Naměřené a vypočtené hodnoty průměrného prodloužení vlasu o délce 10 mm.....</i>	<i>73</i>

SEZNAM ROVNIC

Rovnice (1) Orientační test normalit	66
Rovnice (2) Test rovnosti dvou středních hodnot.....	69

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: POVRCH VLASŮ 1–17

PŘÍLOHA P I: POVRCH VLASŮ 1–17 (ZVĚTŠENÍ 200 ×)

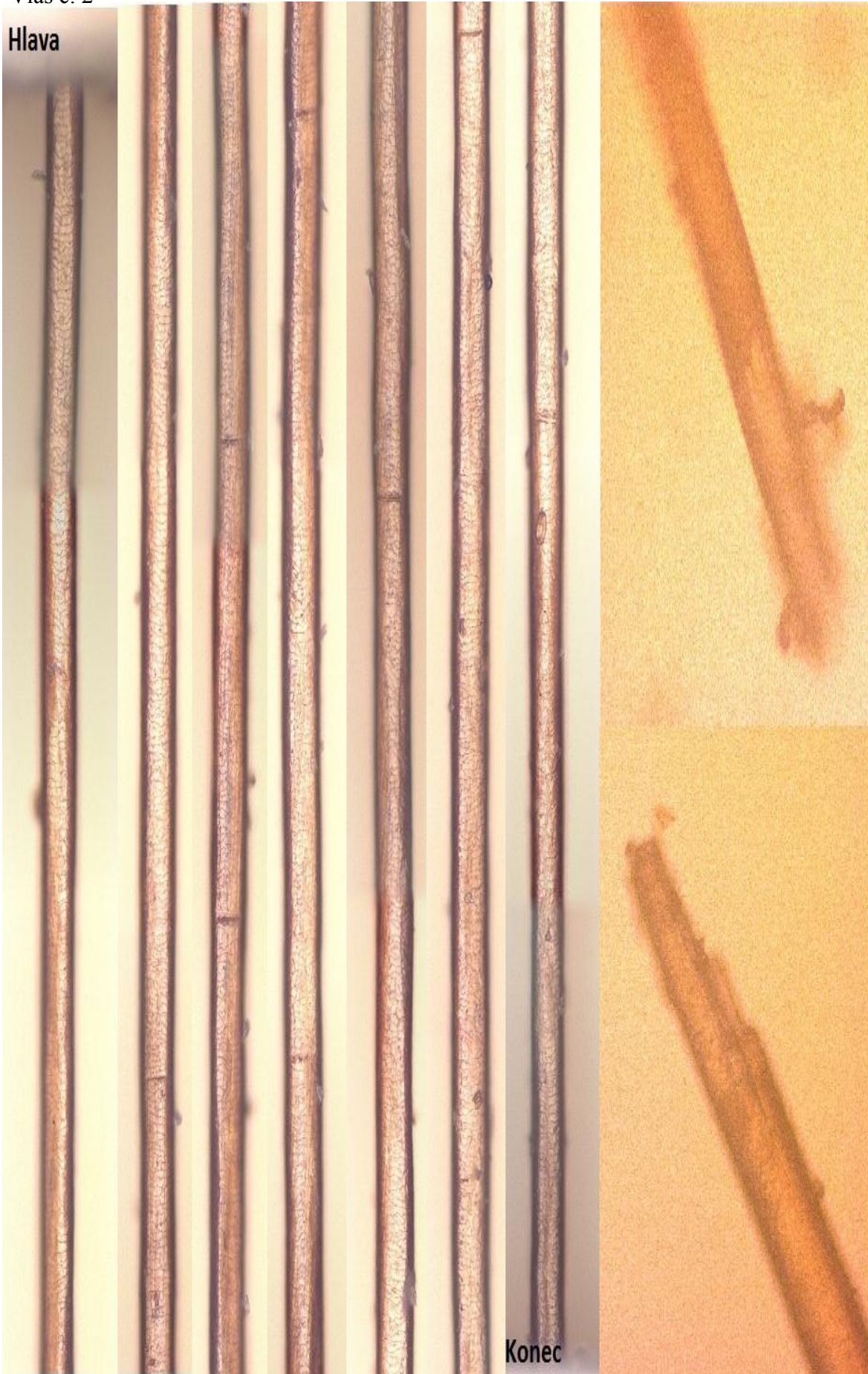
Vlas č. 1

Hlava



Vlas č. 2

Hlava



Konec

Vlas č. 3

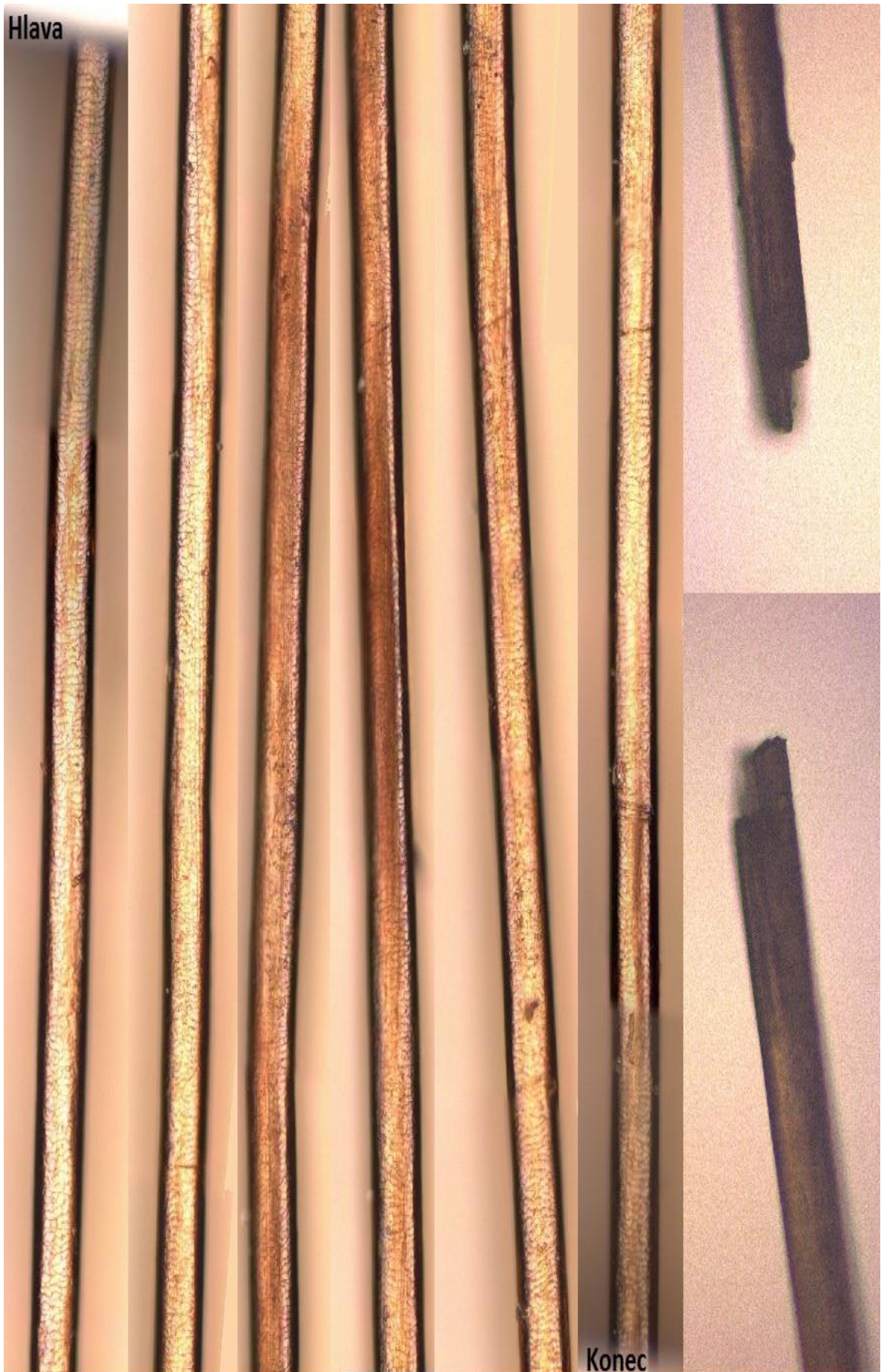
Hlava



Konec

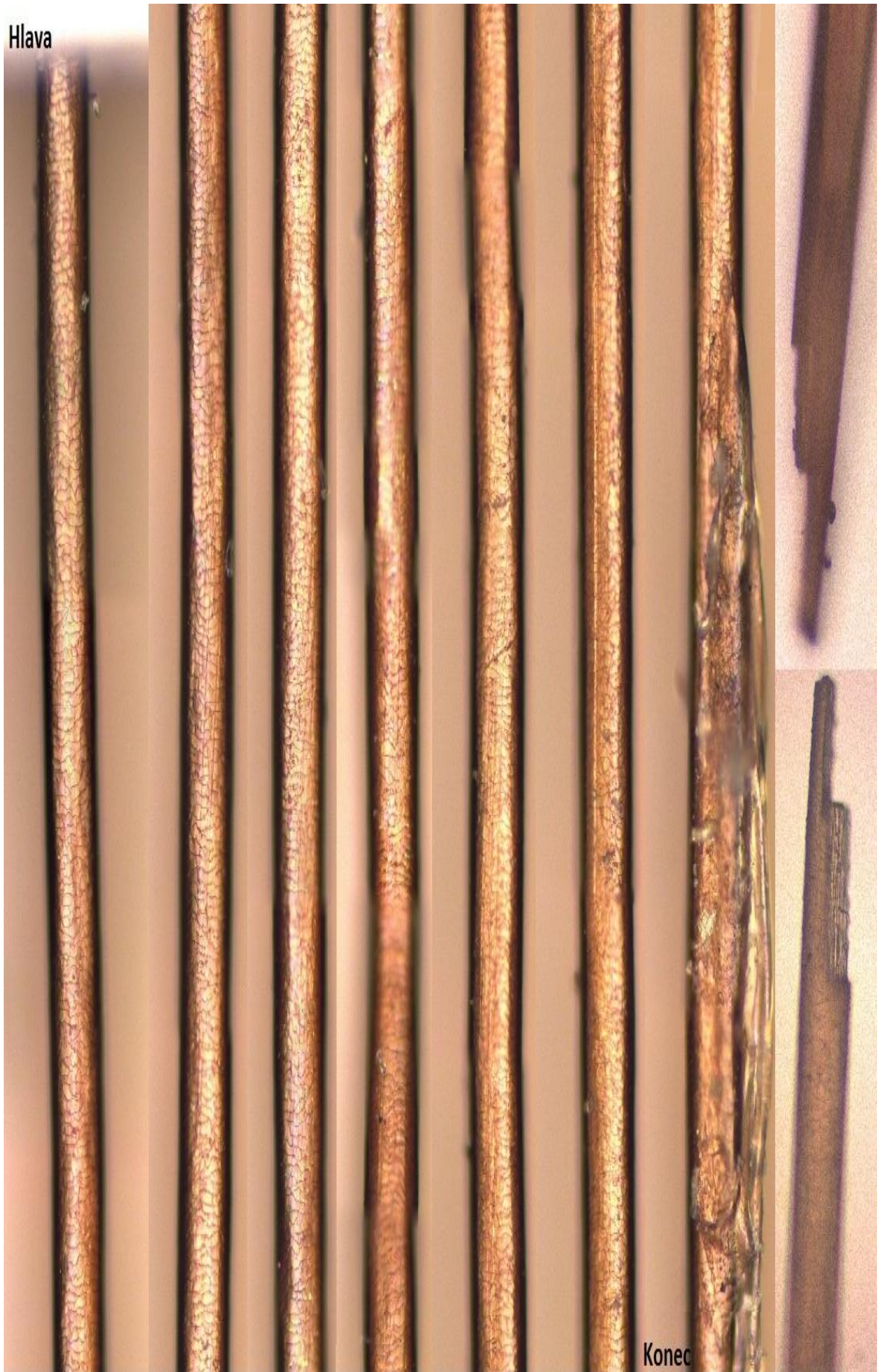
Vlas č. 4

Hlava



Vlas č. 5

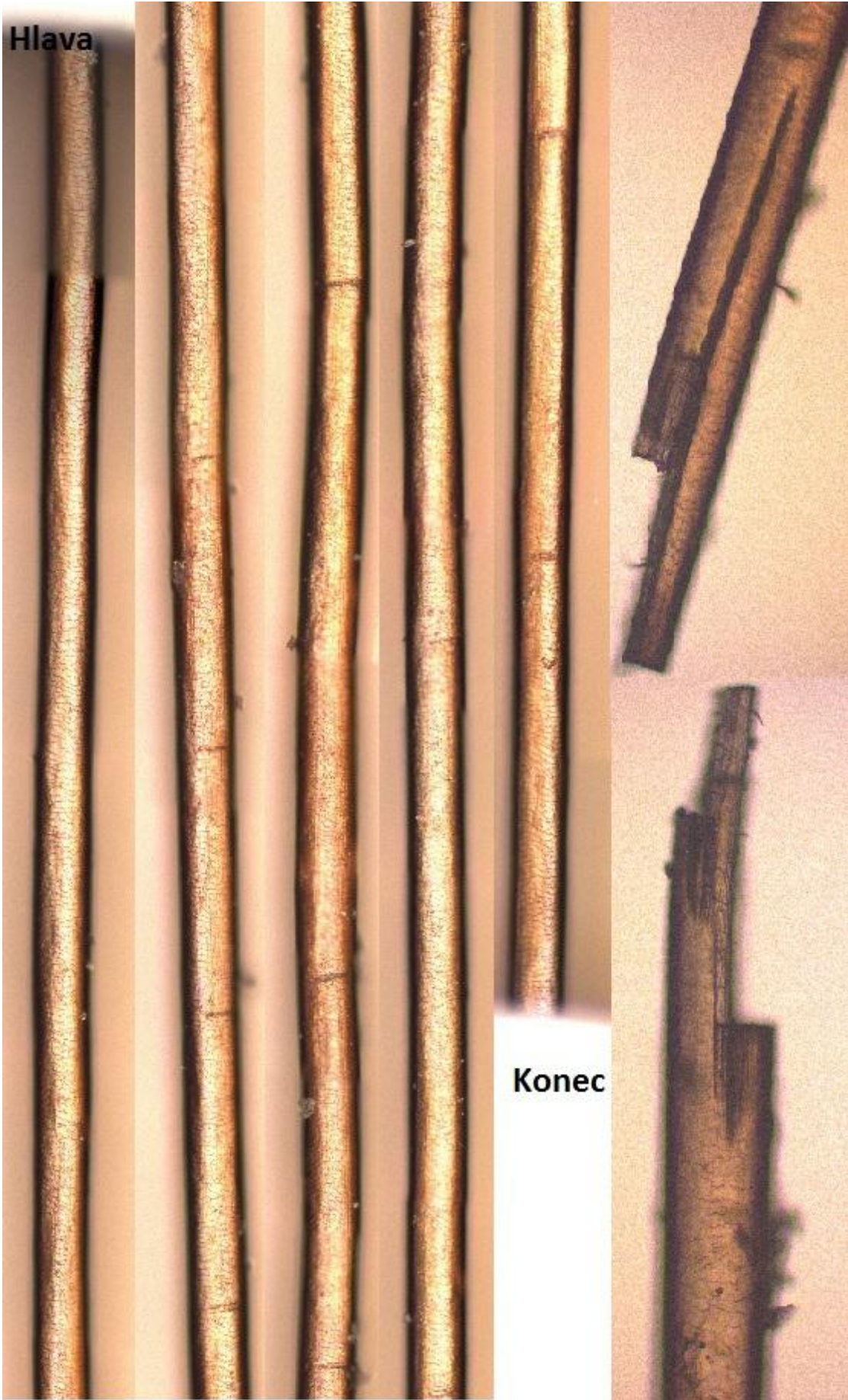
Hlava



Konec

Vlas č. 6

Hlava



Konec

Vlas č. 7

Hlava



Konec

Vlas č. 8

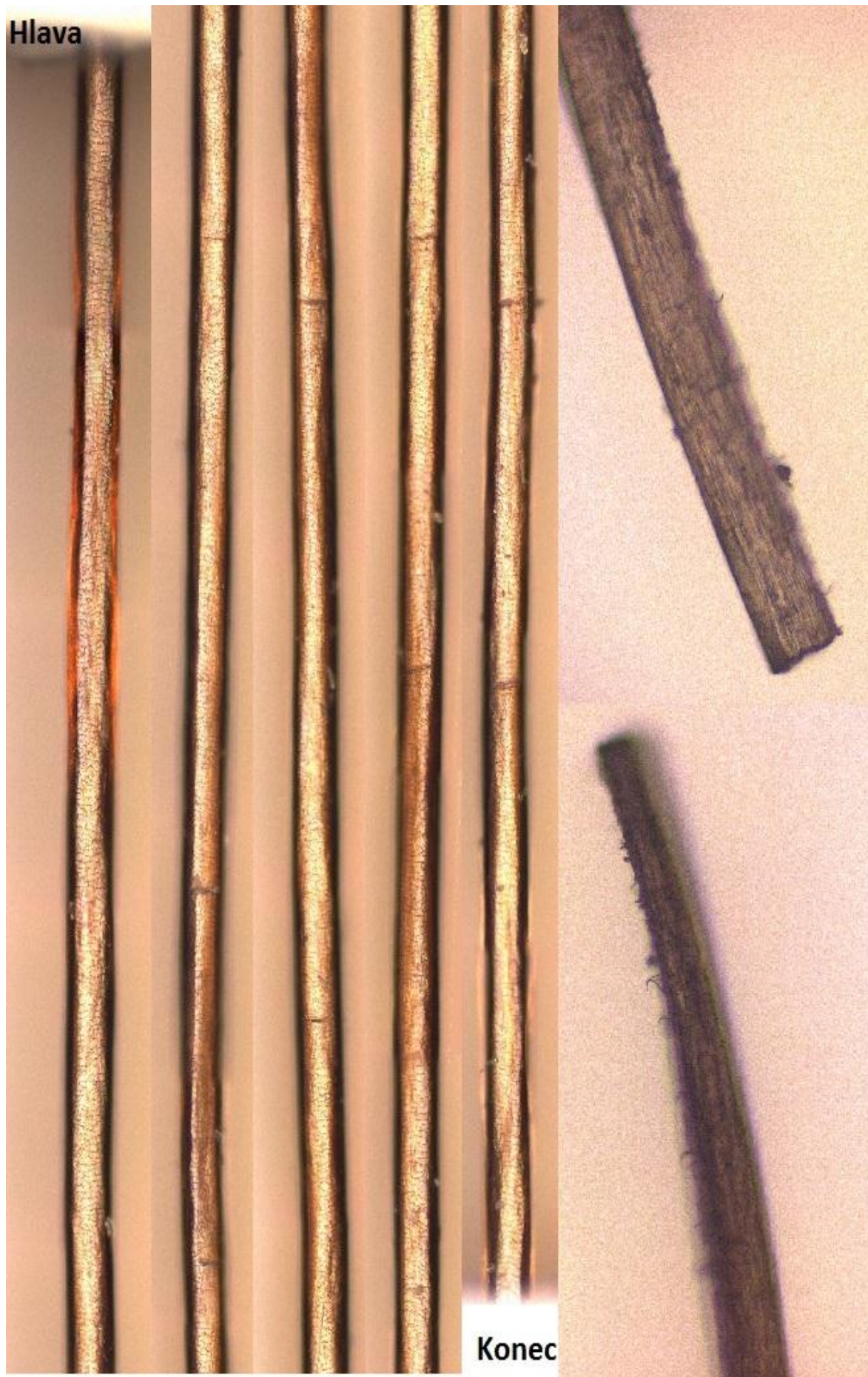
Hlava



Konec

Vlas č. 9

Hlava



Konec

Vlas č. 10

Hlava



Konec

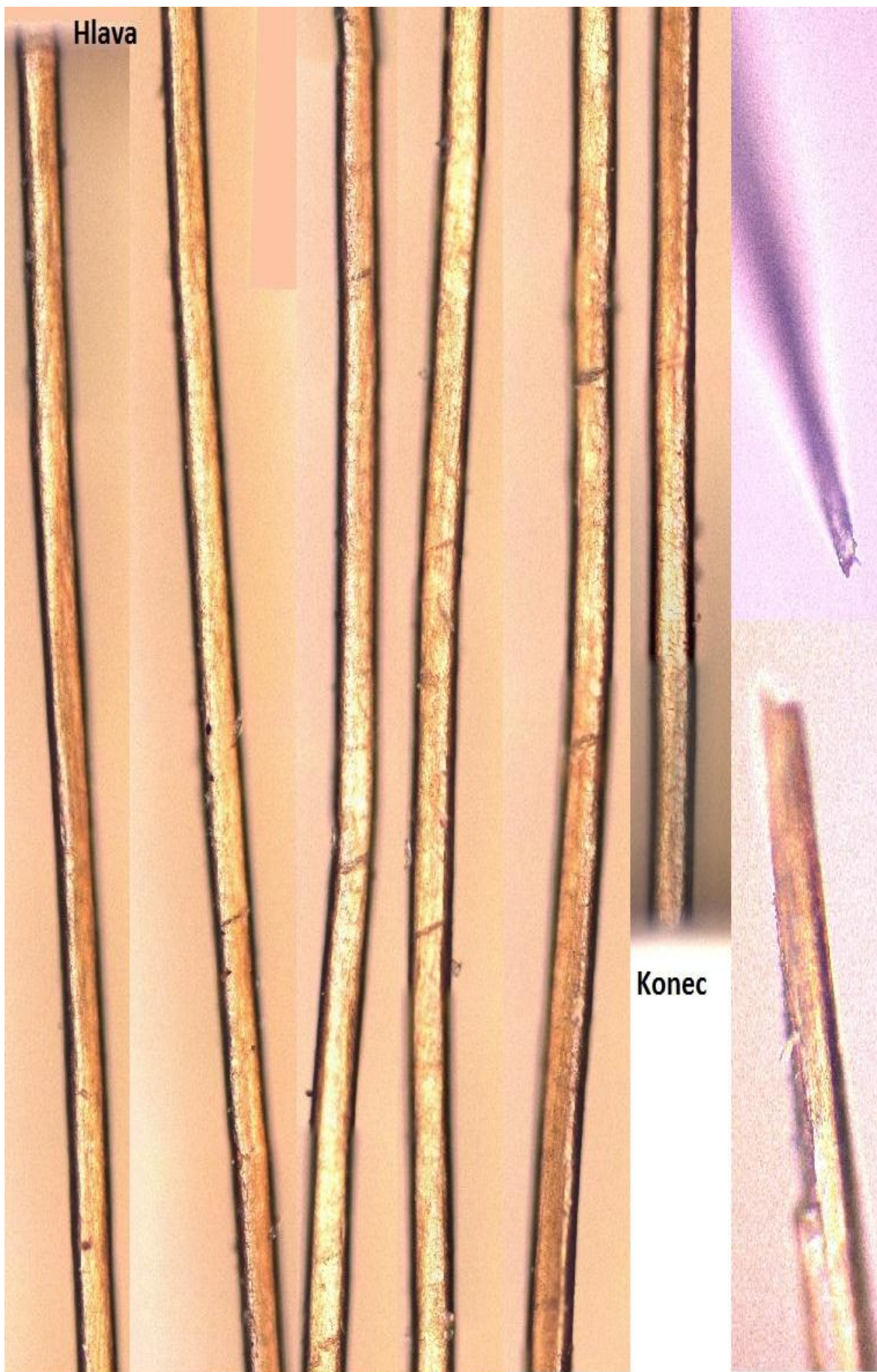
Vlas č. 11

Hlava



Konec

Vlas č. 12



Vlas č. 13

Hlava



Konec

Vlas č. 14

Hlava



Konec

Vlas č. 15

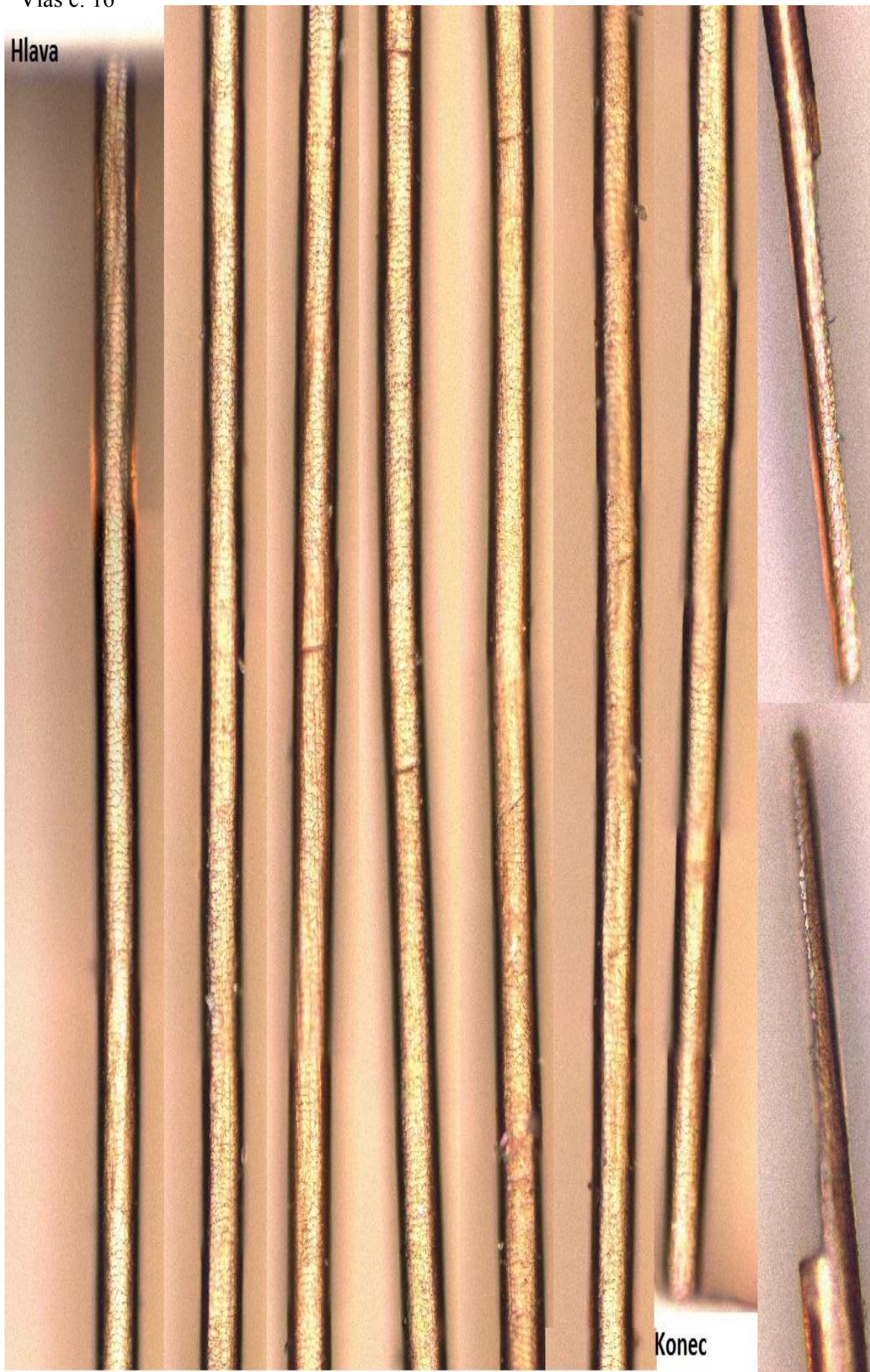
Hlava



Konec

Vlas č. 16

Hlava



Konec

Vlas č. 17

Hlava

