

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

VLIV PROBÍHAJÍCÍ GRAVIDITY NA MECHANICKÉ PARAMETRY VLASŮ

Disertační práce

Vedoucí práce: Doc. PaedDr. Karel Jelen, CSc.

Vypracoval: Ing. Marie Skřontová

Konzultant specialista: Mgr. Josef Zeman, Ph.D.

PRAHA, 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracovala samostatně a použila jsem pouze literaturu uvedenou v seznamu bibliografické citace. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne:

.....

Ing. Marie Skřontová

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat všem, kteří mě v průběhu doktorského studia biomechaniky podporovali a nemalou měrou i pomáhali. Zvláště pak rodině, která mi vytvořila zázemí vhodné proto, abych se mohla soustředit na vědecko-výzkumnou a publikační činnost.

Chtěla bych poděkovat svému školiteli, doc. PaedDr. Karlu Jelenovi CSc., že mě vedl po celou dobu mého studia. Děkuji za podnětné konzultace, cenné rady a hlavně za trpělivost.

Velký dík patří i Mgr. Josefu Zemanovi Ph.D., který byl tím prvním impulsem pro mou cestu světem biomechaniky. Nejen, že mě s tímto zajímavým oborem seznámil, ale byl mi vždy velkou oporou při řešení všech problémů, které se na této cestě vyskytly.

Také bych chtěla poděkovat doc. RNDr. Antonínu Havránkovi CSc., nejen za cenné rady, pomoc a trpělivost při technických problémech s měřením, ale hlavně za nikdy nekončící trpělivost při opětovném a zdoluhavém vysvětlování pro mě těžko pochopitelných matematických vztahů.

Další díky patří rovněž panu Mgr. Bohumilu Chalupovi z České zemědělské univerzity v Praze za neúnavné korekce různého charakteru. Dále pak panu Mgr. Václavu Bittnerovi z Technické univerzity v Liberci, za pomoc při sestavení softwaru pro výpočet mechanických parametrů. A také panu Ing. Milanu Květoňovi Ph.D. z Českého vysokého učení technického v Praze, za pomoc při sestrojení torzního vahadla. Nelze ani opomenout poděkování paní PhDr. Martě Hruškové, která vedla v průběhu mého studia řád při plnění všech studijních povinností.

Také bych chtěla poděkovat soukromé firmě Pemar spol. s r.o., jmenovitě pak paní Jiřině Zemanové a panu Josefu Zemanovi, za zapůjčení přístrojového vybavení celé laboratoře. Zvláště pak za zapůjčení deformačního stroje Deform typ 2, díky kterému mohly být naměřeny všechny potřebné vzorky.

Nemalý dík také patří soukromé gynekologické ordinaci doc. MUDr. Vojena Güttnera CSc. za spolupráci a umožnění sběru vzorků vlasů. Velký dík patří zdravotní sestře paní Mileně Svobodové, která ve své pracovní době tyto vzorky ochotně a poctivě sbírala.

A nakonec, bych chtěla poděkovat všem maminkám, které si ochotně nechaly po celou dobu svého těhotenství stříhat vlasy a nemalou měrou se tak podílely na celém výzkumu a tím i na vytvoření této disertační práce.

DĚKUJI

Grantová podpora

Tato disertační práce vznikla za podpory grantového projektu:

GACR 407/10/1624

PRVOUK 38

GAUK 884214

SVV 2016 – 260346

Evidenční list

Svoluji se zapůjčením své disertační práce ke studijním účelům.

Prosím, aby byla vedena přesná evidence vypůjčovatelů, kteří musejí převzatou literaturu řádně citovat.

Jméno a příjmení: Katedra/Fakulta: Datum vypůjčení: Podpis:

ABSTRAKT

Název práce: Vliv probíhající gravidity na mechanické parametry vlasů

Problematika: Na vlas můžeme pohlízet z různých úhlů, a to jako na nanokompozitní vlákno nebo jako na biomateriál měnící se v závislosti na původu či věku. Vlasy se neliší jen délkou, strukturou a barvou, ale i průměrem a tvarem. Také se na nich odráží celkový zdravotní stav jedince a všechny procesy probíhající v organismu jedince, a tedy i těhotenství. Během těhotenství dochází k hormonálním změnám majícím vliv i na vlasy. U mnoha žen dochází v průběhu gravidity k rychlejšímu růstu, zesílení a zvětšení objemu vlasů. Tento stav je pouze dočasný a trvá jen do porodu.

Cíl práce: Cílem práce bylo prokázat vliv těhotenství na mechanické parametry vlasů a to, jakým směrem se tento vliv odvíjí. Dále s pomocí dotazníků lépe rozklíčovat vliv jednotlivých parametrů těhotenství na vlas, tj. pořadí těhotenství, pohlaví dítěte. Poté celou tuto problematiku s pomocí statistických testů vyhodnotit a tak jí lépe porozumět.

Metodika: Z cílové skupiny těhotných žen jsme náhodně vybrali skupinu obsahující 64 těhotných žen, kterým v průběhu celého těhotenství byly pravidelně každý měsíc odebrány vzorky vlasů v oblasti zátylku. Měření vždy započínalo zjištěním průměru vlasu, a to s pomocí optického mikroskopu. Dále pak byl vlas měřen s pomocí deformačního zařízení Deform typ 2, kde jsme zjišťovali průběhy deformačních křivek a to u všech vzorků. Také jsme některé vlasy podrobili zkoumání s pomocí torzního vahadla. Všechna měření byla řádně evidována, detekované parametry vypočteny a zpracovány do přehledných tabulek a grafů.

Výsledky: Pro celou námi sledovanou skupinu žen, tj. pro 1755 vlasů, jsme zjistili průměr vlasů o velikosti $84,48 \pm 15,15 \mu\text{m}$ a velikost skutečného modulu elasticity $2,5 \pm 0,71 \text{ GPa}$. O změnách v průběhu těhotenství nejlépe vypovídají trendy neboli průměrné časové změny hodnot veličin v tomto období. Signifikantní rozdíl vychází u resilience (w_e) a všech sil relaxace (F_i). U všech těchto veličin je pořadí těhotenství signifikantním faktorem. Signifikantním ukazatelem pro trendy koncové síly po relaxaci (F_0) je pohlaví dítěte. Další závěr lze činit pro samotné hodnoty měřených veličin. Uvedené tři parametry, tedy pořadí těhotenství, pohlaví dítěte a místo, kde ženy žijí, jednoznačně korelují především s průměrem vlasů, mezi linearity, mezi kluzu, skutečnou relativní tržnou délkou, tahovou houževnatostí a F_0, F_1, F_3, τ_2 .

Závěr: Podařilo se prokázat změny průměru vlasu a resilience v období těhotenství společně pro celou část zkoumané populace. U ostatních zkoumaných veličin se jejich vývoj v době gravidity jeví jako společný vždy jen pro část této populace. Na rozdíl od prokázaných závislostí několika mechanických veličin na pořadí těhotenství je prokázaná silná korelace mezi pohlavím dítěte a některými mechanickými parametry neočekávaná.

Klíčová slova: těhotenství, mechanické parametry vlasů, viskoelastické parametry vlasů, keratin, viskoelastický model vlasů

ABSTRACT

Title: Changes in the mechanical parameters of women's hair during pregnancy

Matters: We can look from different angles on the hair – as on a nanocomposite fiber and as on biomaterial changing with the origin and age. The hair doesn't differ only by length, structure and color but also by diameter and shape. It reflects the overall health of the individual and all the processes in the organism of the individual and thus also the pregnancy. During pregnancy, hormonal changes take place which have an effect on the hair. Many women experience faster hair growth, extension and increased volume of the hair during pregnancy. This status is only temporary and lasts only to the childbirth.

Aim: The aim of this work was to show the influence of pregnancy on mechanical parameters of hair and what direction this influence takes. Next, using questionnaires, to better solve the effect of particular pregnancy parameters on the hair, i.e. pregnancy order, sex of the child. Then, evaluate the whole problem using statistical tests and so make better sense of it.

Methods: We'd selected a group of 64 pregnant women; hair samples were cut from them in the nape area each month throughout pregnancy. Each measurement started with evaluation of hair diameter with the use of optical microscope. Next, the hair had been measured by the tensile machine Deform type 2; there the shape of the deformation curve has been examined. Also we examined some hair samples using a torsional pendulum. All measurements have been processed and put into tables and graphs.

Results: For the whole group of women observed, i.e. for 1755 hair samples, we have found hair diameter of $84,48 \pm 15,15 \mu\text{m}$ and the true modulus of elasticity $2,5 \pm 0,71 \text{ GPa}$. Changes during pregnancy are best described by the trends, i.e. by the mean time changes of quantity values in this period. Significant differences appear in resilience and relaxation force. For these variables the order of pregnancy is a significant factor. The significant factor for trends F_0 is sex of the child. Another conclusion can be for the measured values. The three parameters, i.e. pregnancy order, sex of the child and place where the women live positively correlate with the diameter of hair, the linearity limit, the proof stress, the true relative elongation to fracture and the tensile toughness and F_0, F_1, F_3, τ_2 .

Conclusion: We managed to demonstrate changes in the diameter of hair and resilience during pregnancy common to the whole population observed. In contrast with documented dependence of several mechanical quantities on the pregnancy order, the demonstrated strong correlation between the sex of the child and some mechanical parameters was not expected.

Key words: gravidity, mechanical parameters of hair, viscoelastic parameters of hair, ceratin, viscoelastic model of hair

OBSAH

	strana
1 Úvod.....	15
2 Cíle a vědecké otázky disertační práce.....	16
2.1 Hlavní cíl.....	16
2.1.1 Dílčí cíle.....	16
2.2 Vědecké otázky.....	17
3 Teoretická východiska.....	18
3.1 Chlup.....	19
3.1.1 Skladba chlupu.....	19
3.1.2 Druhy chlupů.....	21
3.1.3 Zbarvení chlupů.....	23
3.1.4 Funkce chlupů.....	23
3.1.5 Chlup v závislosti na zvířecím druhu.....	24
3.2 Vlas.....	25
3.2.1 Skladba vlasu.....	26
3.2.1.1 Mikrostruktura vlasu a vlasového folikulu.....	26
3.2.1.2 Stavba vlasu.....	30
3.2.2 Chemické složení vlasu.....	34
3.2.2.1 Keratin.....	34
3.2.2.2 Barva vlasů a vlasové pigmenty.....	35
3.2.3 Šedivění vlasů.....	37
3.2.4 Funkce vlasů.....	38
3.2.5 Růstový cyklus vlasů.....	38
3.2.6 Druhy vlasů.....	42
3.2.7 Tvary průřezů vlasů.....	43
3.2.8 Vlas v závislosti na etnické skupině – rase.....	44
3.2.9 Vlas v průběhu těhotenství.....	46
3.3 Mechanické vlastnosti vlasů.....	47
3.3.1 Hydrofilní termopolymer.....	48
3.3.2 Měření průměrů.....	49
3.3.3 Měření v ohybu.....	51
3.3.4 Měření v tahu.....	52
3.3.5 Měření relaxace.....	54
4 Experimentální část.....	55
4.1 Metodika samotného experimentu.....	55
4.1.1 Výběr a testovaný soubor osob.....	55
4.1.2 Odběr vzorků vlasů.....	57
4.1.3 Dotazníkový sběr dat.....	58
4.1.4 Statistické zpracování dat.....	58
4.1.5 Měření průměrů vlasů.....	59
4.1.6 Měření vzorků vlasů pomocí deformační zkoušky tahem.....	61
4.1.7 Měření vzorků vlasů pomocí torzní deformační zkoušky.....	64
4.1.8 Stanovení Poissonova poměru.....	67
4.2 Zpracování dat z měření pomocí deformační zkoušky tahem.....	71

4.3 Měření relaxace.....	73
4.4 Zpracování dat z měření torzní deformační zkoušky.....	77
4.5 Určení elipticity z trojsměrného měření průměru.....	79
4.6 Měření vlhkosti.....	80
4.7 Měření teploty.....	81
4.8 Metodika statistického vyhodnocení dat (trhání, relaxace).....	82
5 Výsledky.....	84
5.1 Představení veličin.....	86
5.2a Korelace veličin.....	96
5.2b Vztah mezi modulem elasticity a průměrem chlupu.....	100
5.3 Trendy a jejich analýzy.....	102
5.3.1 Shluková analýza.....	104
5.3.2 Analýza trendů.....	109
5.4 Vliv parametru těhotenství na mechanické vlastnosti vlasů.....	118
5.4.1 Porovnání hodnot veličin v jednotlivých skupinách žen.....	119
5.4.2 Analýza rozptylu hodnot měřených veličin.....	126
5.5 Torzní měření.....	130
5.6 Výsledky z měření elipticity vlasů.....	137
5.7 Výsledky pro měření vlhkosti.....	140
5.8 Výsledky pro měření teploty.....	143
6 Diskuze.....	145
7 Závěr.....	149
8 Přílohy.....	151
9 Seznam literatury.....	218

SEZNAM OBRÁZKŮ

strana

Obr. 1 Ukázka rozdílných vláken.....	19
Obr. 2 Průřez chlupem.....	21
Obr. 3 Hmatové (sinusové) chlupy.....	22
Obr. 4 Mikroskopické zobrazení chlupů kočky, koně a prasete.....	24
Obr. 5 Mikroskopické zobrazení chlupů psa a potkana.....	25
Obr. 6 Mikroskopické zobrazení vlákna vlny u ovce.....	25
Obr. 7 Mikroskopické zobrazení chlupů kozy a fretky.....	25
Obr. 8 Průřez střední části anagenního folikulu.....	30
Obr. 9 Struktura kůže s uložením vlasového folikulu.....	31
Obr. 10 Průřez vlasovým vláknem.....	31
Obr. 11 Prostorově znázorněná stavba vlasu.....	32
Obr. 12 Fotografie vlasu s medulou po celé délce.....	34
Obr. 13 Fotografie vlasu s medulou rozdělenou na segmenty.....	34
Obr. 14 Fotografie vlasu se zcela chybějící medulou.....	34
Obr. 15 Morfogeneze folikulu a růstový cyklus vlasu.....	41
Obr. 16 Průřez vlasu různých etnických skupin.....	45
Obr. 17 Příklad tříbodového ohybového měření.....	51
Obr. 18 Zátěžová křivka získaná při tahové zkoušce vlasu.....	53
Obr. 19 Optický mikroskop připojený k počítači.....	61
Obr. 20 Kalibrační sklíčko.....	61
Obr. 21 Trhací přístroj Deform typ 2.....	62
Obr. 22 Detail čelisti s upnutým vzorkem vlasu.....	63
Obr. 23 Ukázka ovládacího programu Trhey!.....	63
Obr. 24 Deformační zařízení Deform typ 2 v termoboxu.....	64
Obr. 25 Konzultace s doc. Antonínem Havránkem.....	65
Obr. 26 Námi sestavený torzní přístroj.....	66
Obr. 27 Torzní zrcátko s provlečeným vlasem.....	66
Obr. 28 Torzní E-vahadlo.....	68
Obr. 29 Torzní E-vahadlo pootočené o 90°.....	69
Obr. 30 Provedení pomocí tahu.....	70
Obr. 31 Vymezená oblast deformační křivky.....	71
Obr. 32 Lineární oblast vymezení deformační křivky.....	72
Obr. 33 Deformační křivka z výpočtového softwaru.....	72
Obr. 34 Naměřená relaxační křivka.....	75
Obr. 35 Maxwellův model pro relaxační experiment.....	76
Obr. 36 Dlouhodobá relaxace.....	76
Obr. 37 Ukázka zpracování zvukové nahrávky.....	77
Obr. 38 Příklad proložení maxim rychlostí kmitů.....	78
Obr. 39 Datalogger Comet S2131.....	81
Obr. 40 Umístění sondy dataloggeru v oblasti týlu na hlavě ženy.....	81
Obr. 41 Diagram extrémní podobnosti.....	106
Obr. 42 Rozdělení žen do čtyř skupin za využití trendů všech veličin.....	107
Obr. 43 Plošná reprezentace tažnosti.....	108

SEZNAM TABULEK

strana

Tab. 1	Procentuální zastoupení melaninu.....	36
Tab. 2	Přehledný popis tvarů vlasů.....	44
Tab. 3	Charakteristika vlasů hlavních lidských ras.....	45
Tab. 4	Popisné statistiky věku pro pořadí těhotenství.....	56
Tab. 5	Popisné statistiky věku pro pohlaví dítěte.....	57
Tab. 6	Ukázka souhrnné tabulky průměrů vlasů.....	60
Tab. 7	Ukázka souhrnné tabulky z výpočetního softwaru.....	73
Tab. 8	Střední hodnoty všech naměřených mechanických veličin.....	85
Tab. 9	Základní popisné statistické veličiny.....	87
Tab. 10	Celkový přehled pořadových korelačních koeficientů všech veličin.....	96
Tab. 11	Střední hodnoty trendů pro všechny sledované mechanické parametry.....	103
Tab. 12	Tabulka pořadových korelačních Spearmanových koeficientů.....	105
Tab. 13	Výsledky vzájemného porovnání trendů skupin žen na pořadí těhotenství.....	113
Tab. 14	Porovnání trendů pro skupiny žen v závislosti na pořadí těhotenství.....	114
Tab. 15	Výsledky porovnání trendů pro skupiny žen na probíhajícím těhotenství.....	115
Tab. 16	Vzájemné porovnání trendů skupin žen v závislosti na pohlaví dítěte.....	116
Tab. 17	Výsledky porovnání trendů skupin žen na pohlaví očekávaného dítěte.....	117
Tab. 18	Vzájemné porovnání trendů skupin žen v závislosti na pohlaví dítěte.....	118
Tab. 19	Porovnání hodnot skupin žen dle probíhajícího těhotenství.....	120
Tab. 20	Vzájemné porovnání hodnot skupin žen na probíhajícím těhotenství.....	121
Tab. 21	Výsledky porovnání hodnot skupin žen na probíhajícím těhotenství.....	122
Tab. 22	Vzájemné porovnání hodnot skupin žen dle pohlaví dítěte.....	124
Tab. 23	Výsledky porovnání hodnot skupin žen v závislosti na pohlaví dítěte.....	125
Tab. 24	Vzájemné porovnání hodnot skupin žen v závislosti na pohlaví dítěte.....	126
Tab. 25	Konstanty úměrnosti mezi veličinami z trhání a věkem žen.....	129
Tab. 26	Konstanty úměrnosti mezi relaxačními veličinami a věkem žen.....	129
Tab. 27	Hodnoty časů při průchodu laseru přes závory.....	131
Tab. 28	Výpočet maximální rychlosti vahadla.....	132
Tab. 29	Vyhodnocení poměru po sobě jdoucích rychlostí.....	133
Tab. 30	Poměr po sobě jdoucích rychlostí.....	135
Tab. 31	Střední hodnoty periody a útlumu.....	135
Tab. 32	Přehled výsledků pro všech 18 vlasů.....	136
Tab. 33	Přehled výsledků opakovaných měření na témže vlasu.....	136
Tab. 34	Průměrné hodnoty excentricit a průřezů pro skupinu žen NG.....	137
Tab. 35	Průměrné hodnoty excentricit a průřezů pro skupinu žen PG.....	138
Tab. 36	Ukázka základních statistik naměřených vlhkostí.....	141
Tab. 37	Základní statistiky naměřených souborů teplot.....	143

SEZNAM GRAFŮ

strana

Graf 1 Rozložení věku žen v měřeném souboru.....	56
Graf 2 Diagram vyobrazení věku žen dle pohlaví dítěte.....	57
Graf 3 Vyhodnocení záznamů torzních kmitů.....	69
Graf 4 Histogram průměrů vlasů.....	87
Graf 5 Histogram pravého modulu elasticity.....	88
Graf 6 Histogram meze linearity.....	89
Graf 7 Histogram smluvní meze elasticity.....	89
Graf 8 Histogram skutečného lomového napětí.....	90
Graf 9 Histogram skutečné relativní tržné délky.....	91
Graf 10 Histogram celkové mechanické práce.....	91
Graf 11 Histogram tahové houževnatosti.....	92
Graf 12 Histogram resilience.....	92
Graf 13 Histogram relaxačního času τ_1	93
Graf 14 Histogram relaxačního času τ_2	93
Graf 15 Histogram síly F_1 patřící jednomu z členů relaxace.....	94
Graf 16 Histogram síly F_2 patřící dalšímu z členů relaxace.....	94
Graf 17 Histogram síly F_3 patřící poslednímu členu relaxace.....	95
Graf 18 Histogram koncové síly relaxace.....	95
Graf 19 Zobrazení závislosti mezi relaxačními časy.....	97
Graf 20 Závislost mezi průměrem vlasů a relaxačními silami.....	98
Graf 21 Závislost relaxační síly F_1 na průměru vlasů.....	98
Graf 22 Závislost relaxační síly F_2 na průměru vlasů.....	99
Graf 23 Závislost jednotlivých relaxačních sil.....	99
Graf 24 Vzájemná závislost relaxačních sil, tedy F_3 na F_1	100
Graf 25 Vzájemná závislost relaxačních sil, tedy F_3 na F_2	100
Graf 26 Závislost modulu elasticity na průměru chlupů.....	101
Graf 27 Závislost průměrů meduly na celkovém průměru chlupů.....	101
Graf 28 Zobrazení závislosti věku ženy na pořadí těhotenství.....	109
Graf 29 Závislost trendů F_0 na pořadí těhotenství.....	110
Graf 30 Závislost trendů resilience na pořadí těhotenství.....	111
Graf 31 Rozdíly hodnot trendů pro konečnou sílu relaxace.....	111
Graf 32 Rozdíly hodnot trendů pro resilienci.....	112
Graf 33 Tukey diagram rozdílnosti průměrů vlasů.....	127
Graf 34 Diagram rozdílnosti základních statistik.....	128
Graf 35 Doba, za kterou kmitadlo překoná úhel 5°	133
Graf 36 Poměr po sobě jdoucích rychlostí vahadla.....	134
Graf 37 Histogram excentricit.....	138
Graf 38 Závislost excentricit na průřezech.....	139
Graf 39 Závislost průřezů vlasů na čase.....	139
Graf 40 Průběh vlhkosti vlasů v zátylku.....	140
Graf 41 Rozmezí vlhkosti u probanda 1.....	141
Graf 42 Rozmezí vlhkosti u probanda 2.....	142
Graf 43 Detail změny vlhkosti.....	142
Graf 44 Naměřený průběh teplot v zátylku.....	143
Graf 45 Teplotní závislost u probanda 1.....	144
Graf 46 Teplotní závislost u probanda 2.....	144

SEZNAM ROVNIC

	strana
Rovnice 1 Výpočet modulu elasticity pružnosti ve smyku.....	68
Rovnice 2 Výpočet viskozity.....	68
Rovnice 3 Výpočet přidaného momentu setrvačnosti.....	68
Rovnice 4 Výpočet modulu elasticity v tahu.....	70
Rovnice 5 Rovnice pro analýzu relaxačních dat.....	74
Rovnice 6 Vztah pro aktuální napětí.....	74
Rovnice 7 Relace mezi zatěžující silou a napětím.....	74
Rovnice 8 Změna průřezu v průběhu zatěžování.....	74
Rovnice 9 Vztah mezi silou a napětím při zanedbání vyšších členů.....	75
Rovnice 10 Moment setrvačnosti.....	77
Rovnice 11 Soustava rovnic pro zavedení konstanty a	78
Rovnice 12 Rovnice útlumu.....	78
Rovnice 13 Rovnice tuhosti.....	79
Rovnice 14 Definice koeficientu útlumu.....	79
Rovnice 15 – 17 Soustava rovnic pro naměřené průměry.....	79
Rovnice 18 Výpočet excentricity.....	80
Rovnice 19 Výpočet plochy řezu vlasu.....	80
Rovnice 20 Závislost tloušťky meduly na průměru chlupu.....	102

SEZNAM ZKRATEK

Å	ångström (1 Å = 0,1 nm)
ACA	hierarchická shluková analýza
D (µm)	průměr vlasu
D_T (µm)	průměr vlasu pro trhací experiment
D_R (µm)	průměr vlasu pro relaxační experiment
DOPA	3,4-dihydroxyphenylalanin
E (MPa)	skutečný modul elasticity
EVM	Experimentální výpočtové metody v inženýrství
ε'_t (1)	skutečná relativní tržná délka
F_0 (N)	koncová síla po relaxaci
F_1 (N)	} síly patřící jednotlivým členům relaxace
F_2 (N)	
F_3 (N)	
kD	kilodalton
18-MEA	18-methyl kyseliny ikosanové
PCA	neomezená analýza hlavních komponent
RDA	omezená redunční analýza
RH	relativní vlhkost
S (µm ²)	průřez
$\sigma_{0,05}$ (MPa)	smluvní mez linearity
$\sigma_{0,2}$ (MPa)	smluvní mez kluzu
σ_{max} (MPa)	skutečné lomové napětí
TAE	Trends in Agricultural Engineering
τ_1 (s)	krátkodobý relaxační čas
τ_2 (s)	střednědobý relaxační čas
W (mJ)	celková mechanická práce
W_A (MJ/m ³)	tahová houževnatost
w_e (MJ/m ³)	resilience

1 ÚVOD

Vlasy – byť nepatrná součást lidského těla, ale pro člověka samotného mnohdy důležitá, a to nejen pro jeho sebevědomí, ale v dávných dobách i jako součást vysokého postavení ve společnosti. Na kvalitu i vzhled vlasů může mít vliv i zdravotní stav daného jedince. Lze je, do určité míry považovat za „indikátor“ lidského zdraví a všech procesů v lidském těle probíhajících. Tedy i probíhající gravidity, která způsobuje velký počet biologických změn v organismech těhotných a jejich důsledcích, jakož i změn minerálních a funkčních v jednotlivých orgánech a tkáních (kůže, nehty, ale i vlasy).

Tato práce se zabývá určením mechanických parametrů vlasů v průběhu gravidity a toho, jak se v průběhu gravidity a po ní mění. Práce tak reaguje na aktuální studie aplikované na lidské vlasy, a to z pohledu fyzikálního. Existují celé monografie (např. Bartošová et al., 1982; Robbins 2002, 2012) věnované lidským vlasům, ale, bohužel, důsledek těhotenství na vlasy samotné je popsán jen v několika málo pracích (např. Nissimov et al., 2003; Blackmore-Prince et al., 1999). Kdy např. Pařízek (2009) udává, že se kvalita vlasů v těhotenství nemění. Tato práce se nezaobírá vlasy z chemického pohledu. Podrobné chemické složení vlasů můžeme nalézt např. v monografii Robbins (2002).

Problémem většiny nalezených studií o tomto tématu bylo nedostatečně popsané odběrové místo a nízký počet měřených vzorků. Proto se tato disertační práce reálně zabývá odběrem velkého počtu vzorků vlasů, a i přes velkou časovou a technickou náročnost získává experimentálními postupy (měřeními a výpočty) co nejširší skupinu jejich mechanických parametrů a objektivně je vyhodnocuje.

Tato disertační práce je sestavena jako experimentální studie zabývající se lidskými vlasy a jejich změnami v průběhu těhotenství u středoevropských žen. Pro objektivní měření bylo využito laboratorních přístrojů, jako byl optický mikroskop (medical school n/contine, W. Watson and Sons London Ltd. Service II) a deformační zařízení Deform typ 2 umožňující měření změn biologických vláken s rozlišením 1mN a přesností 10 mN. Výsledky všech experimentů jsou porovnávány s aktuálními poznatky zahraniční literatury věnované dané problematice, tedy s výsledky zabývajícími se stejnou, případně podobnou problematikou týkající se lidských vlasů.

Práce předkládá výsledky objektivního hodnocení změny mechanických parametrů lidských vlasů během těhotenství. Na základě výsledků této práce jsou sestaveny závěry určené pro lékaře specialisty a širší vědeckou veřejnost. Kromě toho jsou významným zdrojem informací pro pregraduální a zejména postgraduální studium, ale i např. ženy gravidní či ženy po porodu. V neposlední řadě jsou informace vhodné pro veřejnost laickou.

2 CÍLE A VĚDECKÉ OTÁZKY DISERTAČNÍ PRÁCE

2.1 Hlavní cíle

Prozkoumat mechanické chování vlasů v průběhu gravidity konkrétních žen, jejich případné změny zachytit jako měřitelné parametry a pokusit se je vysvětlit.

Ukázat, zda se mechanické parametry vlasů během těhotenství mění a také, zda jsou tyto změny jednoznačně prokazatelné v daných laboratorních podmínkách.

Stanovit odběrové místo pro sběr vzorků, tak aby bylo možno sesbírat velké množství vzorků vždy ze stejné odběrové oblasti.

Sestavit dostatečně velký výzkumný soubor, na kterém by bylo možno použít co nejvíce statisticky průkazných metod k obhájení a vysvětlení závěrů.

Vyvinout použitelnou metodiku pro měření mechanických (reologických) parametrů velkého počtu vlasů.

Zjistit, zda hodnoty mechanických parametrů vlasů v průběhu těhotenství závisí na vnějších faktorech (např. bydliště ženy, kouření, barvení vlasů).

Zjistit, zda hodnoty mechanických parametrů vlasů v průběhu těhotenství závisí na parametrech těhotenství (např. pohlaví dítěte, pořadí těhotenství, věk ženy).

Nalézt korelace mezi měřenými mechanickými veličinami charakteristickými pro vlas.

Ověřit, zda všechny mechanické vlastnosti vlasů mají normální (Gaussovo) rozdělení.

2.1.1 Dílčí cíle

Celá tato práce je koncipována jako experimentální studie, která ve své první části obsahuje literární zpracování dané problematiky a v druhé části samotnou experimentální studii. Literární rešerše předkládá informace o současném poznání problematiky lidských vlasů, které se během zpracování této práce ukázalo jako velice široké téma. Proto je pro lepší přehlednost zpracována do jednotlivých kapitol. Pro její sepsání bylo využito všech dostupných informačních zdrojů: tištěných i elektronických monografií, odborných vědeckých publikací a periodik, učebnic, ústních forem sdělení na odborných konferencích či konzultacích, diplomových a disertačních pracech. Snahou bylo využít co nejširších a nejnovějších literárních zdrojů o této problematice.

Teoretická část práce má veškeré dostupné poznatky konfrontovat s experimentálně získanými daty, a to především s dopadem gravidity na mechanické vlastnosti vlasů. Snahou bylo poukázat na souvislost gravidity s mechanickými vlastnostmi vlasů.

Experimentální část práce popisuje výběr respondentek, sběr potřebných vzorků a samotné měření mechanických parametrů vlasů na příslušných měřicích zařízeních. Metodika celé

práce je detailně rozpracována v úvodu experimentální části, na kterou se zde odkazují. Data získaná měření na deformačním stroji byla dále zpracovávána pomocí námi vyvinutého softwaru a zpřehledněna v tabulkovém procesoru MS Excel 2010. Výsledné grafy byly zpracovány pomocí MS Excel 2010 a statistického programu R verze 3.2.3.

Cílem celé práce bylo odhalit souvislost mezi těhotenstvím a mechanickými parametry vlasů, tedy popsat, jak se mechanické parametry vlasů mění s délkou těhotenství, případně dalšími vlivy s tímto fyziologickým stavem ženy souvisejícími. Předpokládáme, že výsledky této práce budou využity pro další studie, ale také jako další zdroj poznání nejen pro ženy, kterých se eventuálně toto téma týkalo či může týkat.

Součástí práce je i dotazník a informovaný souhlas (Přílohy 8.4, 8.5), který každá respondentka vyplnila při prvním odběru vzorků vlasů, a tím tak souhlasila se zapojením se do této rozsáhlé studie.

2.2 Vědecké otázky

Tato práce se neopírá o hypotézy, ale pouze o vědecké otázky jako alternativy k hypotézám. A to z toho důvodu, že hypotézy mají pouze dvě možné odpovědi a pro tuto práci by jich muselo být nesčetné množství, aby pojaly všechna možná tvrzení. Proto jsme se pro zpřehlednění celé práce uchýlili k vědeckým otázkám, které nám pomohly směřovat práci takovým směrem, aby byla přehledná a čitelná pro všechny čtenáře.

Má vliv pohlaví očekávaného dítěte na sledované mechanické parametry?

Jaký vliv má pořadí těhotenství a tedy i opakované porody na sledované parametry vlasů?

Existuje vliv místa bydliště sledované těhotné ženy na mechanické parametry vlasů?

Při porovnání trendů, tedy průměrných časových změn hodnot měřených veličin v období těhotenství, lze dosáhnout nějakých výsledků?

Je možné zjistit mechanické parametry vlasů s pomocí torzních volných kmitů?

3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

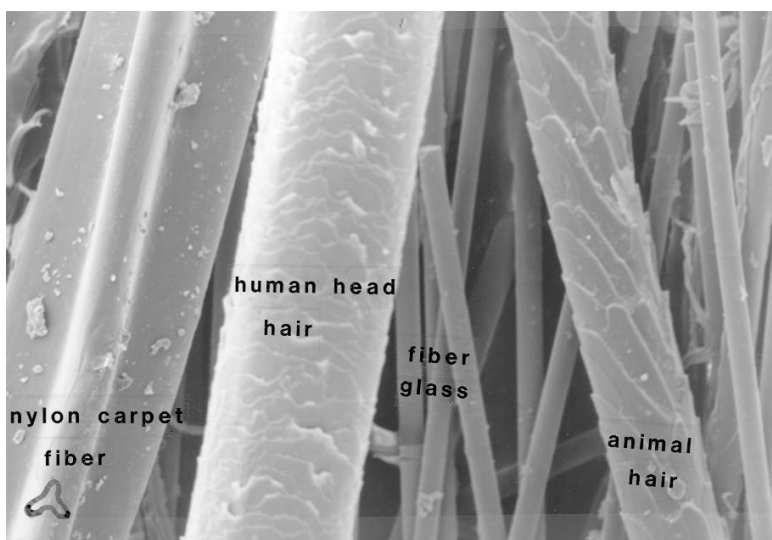
Vlasy jsou z estetického a medicinského hlediska nápadnou složkou lidského zevnějšku a z biologického pohledu přitažlivým objektem výzkumu (Bartošová et al., 1982). Již ve středověku měly vlasy velký význam, a to hlavně proto, že byly výsadou králů a šlechticů (Benzarti et al., 2011). Není proto divu, že „bádání o vlasech“ má svou slavnou minulost i současnost, která z trichologie vytvořila obor široké sféry zájmů, od praktických až po velmi úzce specializované (Bartošová et al., 1982). V lidské existenci vlasy reprezentují strukturu, která postupem času ztratila svůj funkční význam během samotného procesu lidské evoluce (Velasco et al., 2009).

Snad nejdůležitější jsou znalosti o makroskopických rozdílech ovlášení různých ras a etnických skupin lidí. V popředí těchto v podstatě antropologických výzkumů je popis distribuce a množství vlasů, pigmentace a typu vlasů v závislosti na pohlaví a fyziologickém vývoji člověka. Zjištěná fakta tvoří určitou normu, kterou je nutno mít na zřeteli při klinickém posuzování trichologických změn. Existuje totiž řada geneticky podmíněných variací, které se mohou vyskytnout pouze v určitém věku a jsou jen individuálními, ne však patologickými odchylkami (Bartošová et al., 1982).

Přestože se v samotné experimentální části věnujeme výhradně detekci geometrických a mechanických parametrů vlasů těhotných žen, představujeme nejprve obecnější pohled na vlas.

Nejdříve se v této kapitole zabýváme chlupem zvířat, kdy popisujeme jeho skladbu, jednotlivé druhy, funkci a také jeho rozdílnost v závislosti na zvířecím druhu. Následuje podobný, i když podrobnější literární přehled o lidském vlasu. Ve kterém najdeme nejen popis vlasu z hlediska jeho skladby a funkce, ale i z hlediska chemického složení, etnické závislosti či mechanických vlastností. Dále jsou zde nastíněny základní laboratorní postupy pro zjišťování průměru či tahových vlastností vlasů.

Existuje spojitost mezi lidským ochlupením a ochlupením zvířat. A to tak, že lidské chlupy v obočí, řasách a nose, dále také vousy u mužů a samozřejmě vlasy odpovídají pesíkům zvířat (viz Kapitola 3.1.2). Zajímavostí je, že lidoopi (giboni, orangutani, šimpanzi) mají téměř stejnou hustotu ochlupení jako člověk. Rozdíl je ale v tom, že lidoopi mají po celém těle hlavně pesíky, zatímco u lidí jsou to krátké jemné chloupky vellusového typu (<http://www.galenus.cz>). Další zajímavostí je to, že na základě uspořádání šupinek kutikuly můžeme rozlišit lidský vlas od chlupu zvířete či umělého vlákna (obr. 1). Dále pak dle kutikuly můžeme rozlišit chlupy jednotlivých druhů zvířat ale již ne vlasy jednotlivých lidí. Také medulární index, což je poměr mezi průměrem meduly a průměrem celého chlupu či vlasu je odlišný, a to pro lidský vlas $< 1/3$ a pro zvířecí chlup $> 1/2$, tedy zvířecí chlupy jsou více medulované než lidské vlasy (<http://www2.oakwood.k12.oh.us>).



Obrázek 1: Ukázka rozdílných vláken (<http://www2.oakwood.k12.oh.us>). *Nylon carpet fiber* – nylonové vlákno koberce; *human head hair* – vlas z lidské hlavy; *fiber glass* – skelné vlákno; *animal hair* – zvířecí chlup.

3.1 Chlup

Chlupy (*pili*) jsou vláknité rohové útvary kůže savců, které souborně tvoří srst, jako velmi významnou pokrývku kůže před nepříznivými vlivy prostředí, jako je voda, sluneční záření, mechanické a jiné vlivy. Souvislá vzduchová vrstva vzniklá při povrchu kůže a mezi srstí má význam při termoregulaci. Chlupy svou pigmentací podmiňují také celkové zbarvení srsti i jeho změny způsobené věkem a ročním obdobím. V průběhu ontogenetického vývoje se chlupy diferencují z ektodermu a s kožními žlázami vytvářejí kožní jednotku dermaton. Od okolí je dermaton ohraničen vazivovým pouzdrmem a obsahuje zpravidla jeden vůdčí chlup, několik chlupů podsady, aromatické, mazové a potní žlázy a svaly napřimovače chlupů. Skladba dermatonu je druhově rozdílná (Marvan et al., 1992).

Srst je typicky savčím znakem. Stavbou a vznikem se chlup liší od chlupů rostlin (*trichom*), nebo výrůstků jednoduchých živočichů (*pilus*), jako jsou bakterie a bezobratlí. Chlupy se zakládají po celém povrchu těla, jejich počty se mohou v různých fázích vývoje měnit. Chlup není stálá struktura, vlivem biorytmů může opadávat (Marvan et al., 2007).

3.1.1 Skladba chlupu

Makroskopicky se na chlupu (obr. 2) rozlišuje kořen a stvol. Chlupový stvol (*scapus pili*) vyčnívá nad pokožku, má různý tvar a je zakončen hrotem. Chlupový kořen (*radix pili*), rostlý do kůže, je uložen v chlupovém váčku a na svém konci přechází do chlupové cibulky.

Chlupový váček (*folliculus pili*) představuje hluboké vchlípení pokožky, ve kterém je uložen kořen chlupu. Tvoří ho vnitřní a vnější epitelová a vazivová pochva. Chlupová cibulka nasedá na chlupovou bradavku jako škárový útvar, který tvoří jemné vazivo protkané sítí vlásečnic.

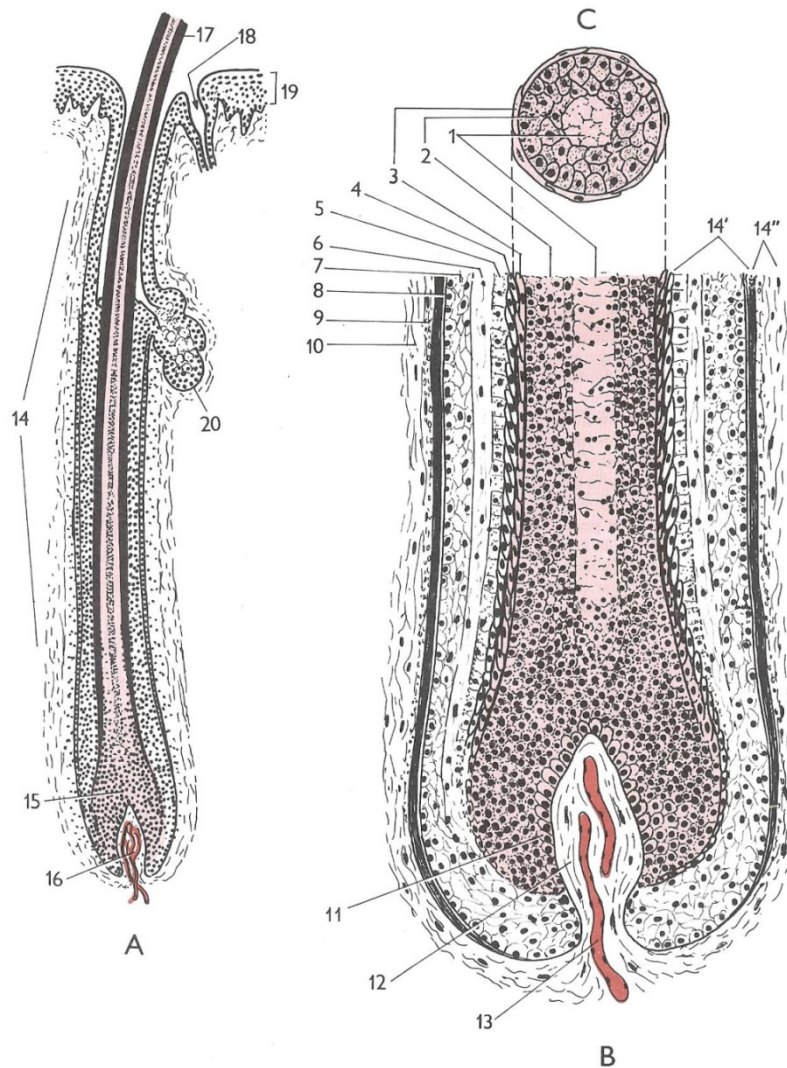
Mikroskopicky se chlup skládá ze tří odlišných buněčných vrstev, a to dřene a kůry chlupu a povrchové kutikuly.

Dřeň chlupu (*medulla pili*) se skládá z jedné nebo několika řad nezrohovatělých kubických nebo cylindrických buněk se zbytky jader, s tukovými kapénkami a se zrny pigmentu. Mezi buňkami se vytvářejí štěrbin vyplněné vzduchem. Dřeň probíhá středem chlupu. V tenkých chlupech je redukována nebo není vyvinutá vůbec.

Kůra chlupu (*cortex pili*) je hlavní buněčná vrstva chlupu, která mu dodává pevnost a celkový charakter. Tvoří ji podélně oválné až vřetenovité buňky pospojované tonofibrilami. V buňkách je uložen pigment a podle jeho rozložení mají chlupy tmavou nebo světlou barvu. V případě průniku vzduchu mezi buňky získávají chlupy barvu šedou.

Chlupová kutikula kryje povrch chlupu v podobě tenké blanky, kterou tvoří zrohovatělé buňky bez jádra a pigmentu. Na chlupu jsou buňky uloženy břidlicovitě nad sebou s tím, že volné okraje buněk jsou obrácené k hrotu chlupu a zapadají za buňky chlupového váčku.

Chlupová cibulka (*bulbus pili*) je kyjovitě rozšířený konec chlupu a skládá se ze zárodečné hmoty a epitelových buněk, z nichž se diferencují všechny vrstvy chlupu a vnitřní epitelová pochva chlupového váčku (Marvan et al., 1992).



Obrázek 2: Průřez chlupem (Marvan et al., 1992). A – podélný řez chlupovým kořenem a chlupovým váčkem; B – podélný řez cibulkou a chlupovou bradavkou; C – příčný řez chlupem. 1 – dřev chlupu; 2 – kůra chlupu; 3 – povrchová vrstva chlupu (kutikula); 4 – epidermiskula epitelové pochvy; 5 – vnitřní vrstva vnitřní epitelové pochvy; 6 – zevní vrstva epitelové pochvy; 7 – vnější epitelová pochva; 8 – sklovitá blanka; 9 – vnitřní (kruhová) vrstva vazivové pochvy; 10 – zevní (podélná) vrstva vazivové pochvy; 11 – bazální buňky pokrývající chlupovou bradavku; 12, 13 – krevní vlasečnice; 14 – chlupový folikul; 14' – epitelová pochva s chlupovým kořenem; 14'' – vazivová pochva chlupového folikulu; 15 – chlupová cibulka; 16 – chlupová bradavka s krevními kapilárami; 17 – chlupový stvol; 18 – vyústění vývodu potní žlázy; 19 – pokožka; 20 – mazová žláza.

3.1.2 Druhy chlupů

Chlupy, které se nacházejí v kůži savců, jsou druhově velmi rozdílné a nejčastěji je tvoří krycí chlupy a chlupy podsady.

Krycí chlupy jsou silné a dlouhé, vždy obsahují dřev. Podle délky se dělí na delší – vůdčí a kratší – pesíky, které jsou před hrotem mírně rozšířené a u kopytníků se nevyskytují. Pesíky jsou početnější než vůdčí chlupy. Podobně jako ony vyrůstají z kůže šikmo, přičemž si zachovávají na velkých úsecích jeden směr. Vznikají tak chlupové proudy a víry, které jsou

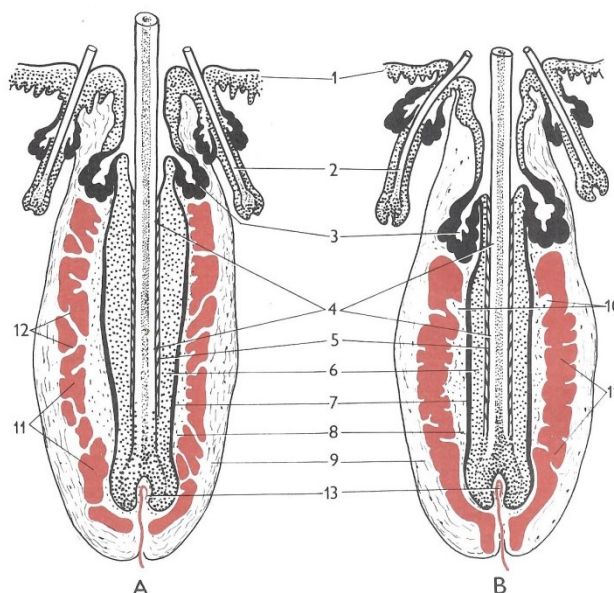
konvergentní (sbíhavé) a divergentní (rozbíhavé). Krycí chlupy se nevyskytují v kůži jemnovlnných ovcí šlechtěných na produkci vlny. Šlechtěním se totiž podařilo zvýšit počet chlupů podsady a odstranit z dermatonu krycí chlupy (Marvan et al., 1992). Chlupy krycí tvoří největší podíl srsti, výjimkou jsou ovce a některá plemena psů (Cibulka et al., 2004).

Chlupy podsady jsou tenké a jemné chlupy bez dřeneš nebo jen s malými zbytky dřeneš. Z kůže vyrůstají kolmo. Chlupy podsady ovcí se označují jako vlnovlasý a souborně tvoří vlnu.

Vlasiny – žíně se od krycích chlupů liší svou velkou délkou, tloušťkou a druhově nebo plemenně rozdílným zbarvením. Vyskytují se na některých místech těla zvířat, kde vytvářejí zvláštní chlupové soubory, označované místně jako hřiva (*juba*), kštice hlavy (*cirrus capitis*), rousy (*cirrus metacarpalis et metatarsalis*) a ocasní žíně (*cirrus caudae*).

Štětiny (*setae*) jsou dlouhé a tlusté chlupy pesíkového typu, jejichž chlupové cibulky jsou lokalizovány až v podkoží. Ke štětinám patří chlupy prasete, řasy (*cilia*), ušní chloupky (*tragi*), nosní chloupky (*vibrissae*) a bradová štětka (*barba*).

Hmatové chlupy (*pili tactiles*; obr. 3), výrazně delší a tlustší než krycí chlupy, zřetelně vyčnívají nad ostatní chlupy okolí. Jejich mazové žlázy jsou rudimentální. Kořen hmatových chlupů je obklopen klubkem sinusových krevních cév a ve vazivovém obalu jsou četná nervová zakončení (hmatová tělíska). Naplnění cév krví umožňuje vzpřímení hmatového chlupu a přenos nervového podráždění do centra. Hmatové chlupy se vyskytují na pyscích, lících, mezisaničích, víčkách a obočích hospodářských zvířat (Marvan et al., 1992).



Obrázek 3: Hmatové (sinusové) chlupy (Marvan et al., 1992). A – řez chlupovým kořenem a folikulem hmatového chlupu koně; B – psa. 1 – pokožka; 2 – krycí chlupy; 3 – mazové žlázy; 4 – kořen hmatového chlupu; 5 – epidermická epitelová pochva; 6 – epitelová pochva chlupového váčku; 7 – sklovitá blanka; 8 – vnitřní kruhová vazivová pochva; 9 – vnější podélná vazivová pochva; 10 – návalek okružního sinusoidu (u šelem); 11 – zevní sinusoida; 12 – vazivové přepážky v sinusoidě; 13 – chlupová bradavka.

Srst se trvale udržuje obnovováním chlupů. Po ukončení růstu chlupy stárnou, opotřebovávají se a vypadávají z kůže (Marvan et al., 1992). Chlupy zvířat se postupně oddělují od vlasové bradavky. Tím dochází k narušení jejich výživy a dojde k jejich uvolnění a nahrazování novými. Tento proces u zvířat nazýváme línání a probíhá periodicky neboli sezónně u chlupů podsady, kožešinová zvířata línají dvakrát do roka, mláďata skotu a koní línají ve věku 5 – 7 měsíců (Cibulka et al., 2004). Vypadávání chlupů podsady ve velkém rozsahu se označuje jako línání. Línání vlny zabraňuje včasné ostříhání vlny (Marvan et al., 1992). U chlupů krycích nebo vlasin probíhá proces výměny neustále, výměna chlupů hřívky a ocasu u koní (Cibulka et al., 2004). Pesíky vypadávají až po 3 – 5 letech (Marvan et al., 1992).

Na proces línání má vliv celá řada faktorů, z nichž dominantním je fotoperioda. Línání ovlivňuje štítná žláza i centrální nervová soustava (Cibulka et al., 2004).

3.1.3 Zbarvení chlupů

Zbarvení u různých živočišných druhů závisí na jejich původu. Většina jedinců je divoce šedá, někteří jsou tmaví a vyskytují se i albíni. Během domestikace bylo vyšlechtěno velké množství plemen, která mají zbarvení srsti tak pestré, že by jim toto vůbec nedovolovalo přežít ve volné přírodě. Jednak by byli velmi dobře pozorovatelní predátory a stali by se jejich snadnou kořistí, a také by pro svoji pestrost nebyli schopni ulovit zvěř ke své potravě, protože by je pro jejich nápadnost snadno spatřila. Základem zbarvení srsti je pigment melanin, který vzniká v cytoplazmě melanocytů. Důležitým článkem jeho syntézy je tyrozin, který přechází enzymatickou oxidací na bezbarvý chromogen 3,4-dioxofenylalanin, jehož produkce je řízena alelou *c* u homozygotů *cc*. Takový jedinec je albín, ten má bílou srst, nepigmentovanou kůži, červené oči a sliznice i bílé drápy. Podmínkou plné pigmentace je přítomnost dominantní alely *C*. Důležitý je i gen *E*, který řídí produkci černého eumelaninu, který je tyčinkové struktury, kdežto alela *e* řídí syntézu feomelaninu, který je hnědý a sférického tvaru (Dostál, 2007).

3.1.4 Funkce chlupů

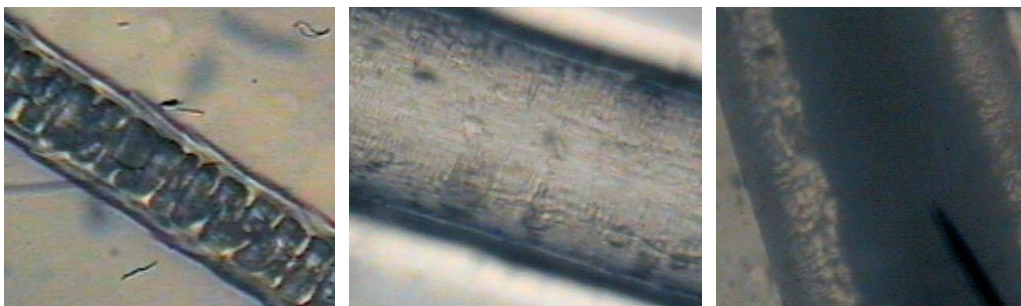
Srst savců se skládá ze svrchní vrstvy zvané ochranný chlup neboli pesík a spodní vrstvy neboli podsady. Krycí chlupy pesíky jsou silné a dlouhé a mají ochrannou funkci. Podsada je jemná, hustá, většinou nevýrazně zbarvená a slouží jako izolační vrstva. Podsada se skládá z jemných, hustě rostlých, krátkých chloupků. U některých chovaných zvířat vytváří typickou strukturu zvanou vlna. Hlavní funkcí podsady je tepelná izolace: chrání před nadměrným chladem v zimě a teplem v létě (Marvan et al., 2007).

Ve snaze snížit tepelné ztráty se zvířata, pokud leží, instinktivně schoulí. Touto reakcí v chování zvířat se zmenší povrch jejich těla, který je vystaven chladu. Ke zvýšení objemu a tím i účinnosti izolační vrstvy, tvořené chlupy nebo srstí, slouží napřimování chlupů (piloerectce). Chlupy se napřimují pomocí svalů (napřimovače chlupů), které jsou součástí

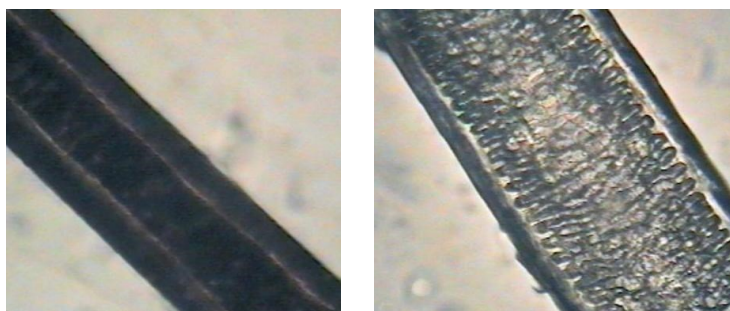
chlupových folikulů (Reece, 1998). Zježením srsti dojde ke zvětšení vrstvy vzduchu nad kůží. Protože vzduch je špatný vodič tepla, zlepši se izolace povrchu těla a omezí tepelné ztráty. Podmínkou účinnosti tohoto termoregulačního mechanismu je slabé proudění okolního vzduchu a jeho nižší relativní vlhkost (Cibulka et al., 2004). Při delším pobytu v chladu se výška a hustota srsti zvětšují a zvyšuje se i množství podkožního tuku. Kočka, kromě zrychleného dýchání, může zvýšit výdej tepla evaporací tím, že si jazykem navlhčuje slinami srst, protože nevydrží po dlouhou dobu teplotu prostředí okolo 40 °C nebo vyšší, jestliže je relativní vlhkost vzduchu vyšší než 65 % (Reece, 1998).

3.1.5 Chlup v závislosti na zvířecím druhu

Tvrdé tkáně jako jsou kosti, zuby, nehty, vlasy a srst jsou i za nepříznivých přírodních podmínek stabilní. Při jejich zkoumání pak často vyvstává otázka, zda se jedná o lidské či zvířecí tělní fragmenty (Kshirsagar et al., 2009). Lidské vlasy a zvířecí chlupy jsou používány při forenzních šetřeních již více než jedno století. V průběhu vyšetřování trestného činu je jedním z nejčastějších důkazů právě vlas či srst. Identifikace a porovnání lidských vlasů a zvířecích chlupů mohou být užitečné při demonstrování fyzického kontaktu s podezřelým, obětí, samotnou scénou zločinu (Douglas et al., 2004). Proto Kshirsagar et al. (2009) provedli studii za účelem nalezení nejspolehlivějších kvantitativních parametrů v oblasti velikosti průměrů vlasů či chlupů, průměrů meduly a samotného medulárního indexu (poměr mezi průměrem meduly a průměrem celého chlupu, vlasu), pro rozlišení zvířecí srsti od lidských vlasů. Jako svůj studijní materiál zahrnuli lidské vlasy a ochlupení spolu s chlupy 12 různých druhů zvířat (krávy, kozy, býka, psa, ovce, prasete, osla, potkana, kočky, koně, veverky a velblouda; obr. 4 – 7). Podobným tématem se zabývají i práce Šimková et al. (2013), Skřontová et al. (2015 b), kde se mimo měření průměrů zabývali i zkoumáním viskoelastických parametrů chlupů různých druhů zvířat, zatímco práce Skřontová et al. (2016 a) se zabývá pouze medulárním indexem u fretčích chlupů.



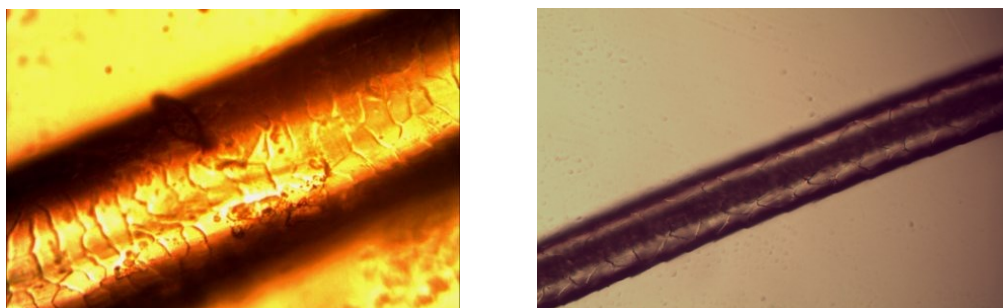
Obrázek 4: Mikroskopické zobrazení chlupů vybraných druhů zvířat a to kočky, koně, prasete (<https://docs.google.com>).



Obrázek 5: Mikroskopické zobrazení chlupů psa a potkana (<https://docs.google.com>).



Obrázek 6: Mikroskopické zobrazení vlákna vlny u ovce (www.modnipeklo.cz). Jsou zde dobře viditelné šupinky na povrchu vlákna.



Obrázek 7: Mikroskopické fotografie chlupů kozy a fretky.

3.2 Vlas

Na lidský vlas mnohá literatura nahlíží v různých pohledech, kdy např. Zhenxing et al. (2009) uvádí, že vlas je nanokompozitní vlákno. Jiní autoři, jako je Benzarti et al. (2011), na něj pohlížejí jako na biomateriál měnící se v závislosti na etnickém původu nebo věku.

Vlasy určité oblasti se liší nejen délkou, strukturou a barvou, ale i průměrem a tvarem. V horizontálním řezu vlasovým stvolem mohou být oválné, okrouhlé, oploštělé nebo jejich průměr může kolísat po délce stvolu v pravidelných nebo variabilních segmentech. Tvaru příčného řezu odpovídá i konfigurace vlasového stvolu (Bartošová et al., 1982; Kapitoly 3.2.7 a 3.2.8)

Vlasy jsou považovány za mrtvou hmotu, za živou součást se považuje jen folikul, ve kterém je samotný vlasový stvol vložen. Když vlákno vlasu začíná růst, již se stává mrtvou hmotou; i když se zdá, že roste, roste rychlostí 1 cm/měsíc (Cade, 1995; Dias, 2004; Longo et al., 2006). Vlákna vlasů představují významné strukturální rozdíly v závislosti na etniku, ale i v rámci stejné skupiny (Dias et al., 2007).

3.2.1 Skladba vlasu

3.2.1.1 Mikrostruktura vlasového folikulu

Vlasový folikul (*foliculus pili*; obr. 8) je uložen šikmo do kůže tak, že na jedné straně svírá s kůží větší úhel než na druhé. Na straně, kde svírá s kůží větší úhel, je připojena k folikulu mazová, někdy i potní žláza a vzpřimovač vlasu (Říhová, 1951). Rostoucí folikul prostupuje celou *epidermis*, celou škárkou (*korium, dermis*) a dosahuje svou bází až k podkožní tukové tkáni (Bartošová et al., 1982).

Část, která je nejhluběji zanořená, se rozšiřuje v *bulbus* (vlasovou cibulku), jehož centrální dutina je vyplněna vazivovou papilou (Bartošová et al., 1982). Vlasová cibulka je tvořena okolo dermální papily nezrohovatělými epidermálními buňkami cylindrického tvaru s jádrem (Konrádová et al., 2000), které se mitoticky dělí a zajišťují tak výstavbu budoucího vlasu (Bartošová et al., 1982).

Dermální papila (*papilla pili*), představuje malou část škáry (Čihák, 2004) vyplňující dutinu bulbu a je tvořena vazivovou tkání (Bartošová et al., 1982) bez elastických vláken (Říhová, 1951). Vazivová tkáň je bohatá na krevní cévy, které jsou různě vyvinuty (bohatěji např. u vousu) a dodávají výživu buňkám vytvářejícím vlas (Gawalowski, 1955). Tvar dermální papily je proměnlivý a závislý na růstovém cyklu vlasu. V údobí aktivity folikulu je papila objemná, vejčitého tvaru s obsahem několika kapilárních klíčků. V klidové fázi se typický tvar papily ztrácí a zbývá z ní pouze shluk buněk poblíž vlasového zárodku příští generace vlasu. Velikost papily je poměrně fyziologicky úměrná k objemu folikulu (Bartošová et al., 1982). Dermální papila je v místě největšího obvodu, nazývaného circumpapilární čára či *aequator papillae*, rozdělena na dvě části: horní konus a dolní konus, který směrem dolů přechází v úzký krček dermální papily (Říhová, 1951). Proliferační oblastí folikulu je prstencovitě konfigurovaná matrix v dolní části bulbu pod tzv. kritickou hladinou (myšlenou napříč nejširším průměrem papily). V prolongační oblasti, v bulbu, nad kritickou hladinou se buňky nejprve zvětšují a řadí vertikálním směrem. Následující celulární elongační oblast je charakterizována prodlužováním buněk. Znamky keratinizace se objevují v následující keratinizační zóně končící v dolní třetině folikulu. Ve vlasu nad keratinizační zónou se průměr vlasu zužuje. V horním pólu bulbu jsou uloženy melanocyty (Bartošová et al., 1982).

Cibulka se směrem k *epidermis* zužuje a pokračuje jako kmen folikulu, který přechází v krček (*isthmus*). Krček je zúženým místem folikulu, kde končí vazivová pochva vlasu. Ten se ve své horní části rozšiřuje v nálevkovité ústí folikulu, *infundibulum* (Gawalowski, 1955), vzniklé vchlípením *epidermis*.

Vlasový folikul má válcovitý tvar a skládá se ze dvou vrstev: vazivové a epitelové (Říhová, 1951).

Vazivová pochva vlasu (*vagina fibrosa pili*) končí v úrovni krčku folikulu (Gawalowski, 1955), obaluje celou jeho strukturu (Konrádová et al., 2000) a ukotvuje jej v kůži (Stenn, Paus, 2001). V anagenu je složena z vnitřní pochvy fibril uspořádaných cirkulárně a z tlustší zevní vrstvy longitudinálních fibril. Obě vrstvy se skládají z kolagenních fibril, z malého množství elastických vláken a fibroblastů (Bartošová et al., 1982). Mezi oběma vrstvami se nacházejí kapiláry a nervová vlákna (Konrádová et al., 2000). V telogenu produkují fibroblasty kolagenní vlákna, která vyplní prostor uvolněný ustupujícím folikulem (Stenn, Paus, 2001). Pomocí stopky je vazivová pochva spojena s dermální papilou a při horní části folikulu souvisí s papilární vrstvou škáry (Bartošová et al., 1982). Cirkulární vrstva tvoří vnitřní část vazivové pochvy naléhající na sklovitou blanku folikulu. Tato vrstva je tvořena cirkulárně uspořádanými kolagenními vlákny a malým množstvím vláken elastických (Bartošová et al., 1982; Gawalowski, 1955). V cirkulární vrstvě je uložena kapilární síť (Bartošová et al., 1982). Zevní longitudinální vrstva je tlustší, tvořena fibroblasty, kolagenními a elastickými vlákny uspořádanými longitudinálně a zčásti i šikmo (Gawalowski, 1955). Zevní vrstvou prostupují paralelně seřazené arterioly (Bartošová et al., 1982). Tato vrstva přechází plynule do okolního řídkého vaziva.

Epitelová vrstva se rozděluje na tři vrstvy vnitřní pochvy (kutikula vnitřní pochvy, Huxleyova a Henleova vrstva) a jednu vrstvu zevní pochvy v oblasti, kde začínáme odlišovat kutikulu vlasu (Gawalowski, 1955).

Vnitřní epitelová pochva (*vagina radialis interna*) vzniká proliferací buněk matrix obklopujících dermální papilu. Roste společně s vlasem a je prokazatelná pouze v dolní části folikulu, neboť v horních částech folikulu (při vyústění mazové žlázy) patrně vrstvy vnitřní epitelové pochvy zanikají působením enzymu keratinázy. Fragmenty buněk jednotlivých vrstev pochvy se dostávají do folikulárního kanálu a tak na povrch kůže (Gawalowski, 1955; Konrádová et al., 2000). Tato pochva je tenká trubice složena ze tří koncentrických vrstev. Nejbližší ke středu bulbu je uložena kutikula, směrem k periférii Huxleyova vrstva a dále Henleova vrstva. Při ústí mazové žlázy, v horní části folikulu jednotlivé vrstvy zanikají (Bartošová et al., 1982).

Kutikula vnitřní pochvy (*cuticula vaginae pili*) má podobnou stavbu jako kutikula vlasu. Tvoří ji jedna vrstva buněk, překrývající se jako tašky na střeše. Volné okraje buněk na rozdíl od buněk kutikuly vlasu směřují opačným směrem (směrem dolů) a zapadají tak mezi volné okraje buněk kutikuly vlasu (Gawalowski, 1955; Konrádová et al., 2000). Kutikula vnitřní pochvy je v kontaktu s kutikulou vlasu. Obě kutikuly jsou bez pigmentu, a jak naznačují různé barvicí schopnosti, od sebe se patrně liší složením keratinu (Bartošová et al., 1982).

Huxleyova vrstva (*stratum epitheliale granuliferum*) je střední vrstvou vnitřní epitelové pochvy (Konrádová et al., 2000) a obsahuje dva typy buněk: buňky s trichohyalinovými zrny a buňky bez projevů keratinizace. Trichohyalinová zrna se v buňkách Huxleyovy vrstvy

objevují později než v buňkách Henleovy vrstvy (Bartošová et al., 1982). Huxleyova vrstva je tvořena 1 – 3 vrstvami buněk (Konrádová et al., 2000). Buňky bez projevů keratinizace jsou malé a směrem k proximální části folikulu postupně rohovatí, mění se ve velké polyedrické buňky, obsahující v cytoplazmě trichohyalinová zrna. Ve střední části folikulu nabývají buňky rombického, kosočtverečného tvaru a jsou keratinizované (Říhová, 1951).

Henleova vrstva (*stratum epitheliale pallidum*) je zevní vrstvou vnitřní epitelové pochvy (Gawalowski, 1955; Říhová, 1951). Je tvořena plochými epitelovými buňkami (Stenn, Paus, 2001) a je složená z buněk, které jako první buněčné elementy ve folikulu vytváří trichohyalin. Jsou zpočátku kuboidní, později protáhlé a při dosažení vrcholu bulbu hyalinizovány (Bartošová et al., 1982). Jádra buněk postupně zanikají a v cytoplazmě se začínají objevovat trichohyalinová zrna (Gawalowski, 1955; Říhová, 1951). Při vrcholu vlasové cibulky jsou buňky zcela hyalinizovány a rohovatí (Bartošová et al., 1982). Po úplném zrohovatění vytvářejí buňky vrstvu podobnou dutému válci s hladkým povrchem (Říhová, 1951), který umožňuje posouvání vnitřní epitelové pochvy po ploše zevní epitelové pochvy směrem k ústí folikulu (Bartošová et al., 1982).

Další složkou folikulu je zevní epiteliální pochva (*trichilemma*), která se dotýká vnitřní plochou Henleovy vrstvy a zevně je obklopena hyalinní membránou (Bartošová et al., 1982) a v různých částech folikulu má odlišné uspořádání (Říhová, 1951). V oblasti krčku folikulu a mazové žlázy má zevní epitelová vrstva složení shodné s epidermis, která tvoří rohovou vrstvu (Bartošová et al., 1982; Gawalowski, 1955). Směrem k bazálnímu konci folikulu dochází ke ztenčování této pochvy (Konrádová et al., 2000). V úrovni krčku folikulu dochází pouze k částečnému rohovatění buněk (Bartošová et al., 1982), které jsou světlé a bohaté na glykogen (Konrádová et al., 2000). Útvarem zevní epitelové pochvy, kterému se věnuje velká pozornost, je epiteliální výchlupka (tzv. „*bulge*“ zóna). Jedná se o výduť v místě úponu *musculus arrector pili* (Michalíková, 2002). Stenn, Paus (2001) předpokládají, že jsou zde uloženy zárodečné buňky folikulu, které na začátku každého cyklu vytvoří novou populaci buněk zárodečné matrix cibulky.

Membrana vitrea odděluje zevní epiteliální pochvu od vazivových fibril. Fibrily jsou spojeny s dermální papilou a ohraničují folikul od retikulární tkáně koria. Je nejtenčí v papilární dutině bulbu a nejtlustší v okolí kritické hladiny bulbu. Je složená ze dvou vrstev. Vnitřní vrstvu tvoří v dolní polovině folikulu síť fibril uložených mezi cytoplazmatickými výběžky periferních buněk zevní epiteliální pochvy. Zevní vrstva je složena z jemných longitudinálních kolagenních fibril a obklopuje vyústění folikulu. Během zániku aktivního folikulu prodělává strukturální změny, kdy nejprve hypertrofuje a krabatí se, později se rozpadá a je resorbována.

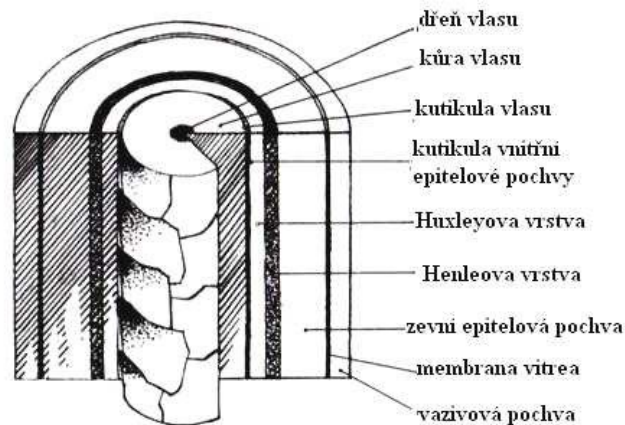
Součástí pilosebaceózní jednotky je jedna nebo více mazových žláz a *musculus arrector pili*, upínající se ke stěně folikulu ve směru tupého úhlu, který folikul svírá s povrchem kůže. Mazové žlázy ústí do horní části folikulu.

Musculus arrector pili, vzpřimovač vlasu, je drobný štíhlý snopec svalových buněk, skládající se z protáhlých svalových buněk, mezi něž penetrují elastická vlákna. Vazivové a svalové

elementy jsou pevně upnuty k zevní epiteliální pochvě, kdy volně končí poblíž epidermis (Bartošová et al., 1982). Sval je napnutý od dolní části vazivové pochvy folikulu pod mazovou žlázou k horním vrstvám škáry (Gawalowski, 1955). Průběh a tvar svalu je velmi variabilní. U vousů a ochlupení v podpaží je sval vyvinut velmi slabě. U vousů horního rtu, ochlupení ohanbí, obočí a řas sval zcela chybí (Říhová, 1951). Kontrakci svalu dochází ke vzpřímení vlasu a na povrchu kůže se objevuje tzv. „husí kůže“. Zároveň při kontrakci svalu dojde ke zmenšení prostoru, ve kterém se nachází mazová žláza, a dojde tak k vytlačení mazu do krčku folikulu (Gawalowski, 1955; Říhová, 1951). Původní funkcí vzpřímení vlasu byla termoregulace (zvětšení izolační vzduchové vrstvy srsti), ale u člověka, který většinu svého ochlupení ztratil, tato funkce pozbyla svého významu. Funkce vzpřímení vlasu je ovlivňována adrenergic sympatickou inervací (Bartošová et al., 1982).

Cévní zásobením závisí na velikosti folikulu a růstovém cyklu vlasu. V katagenní fázi se vaskulární systém nemění, kapiláry dermální papily a pleteně uložené v hloubce kůže kolabují až po skončení resorpce dolní části folikulu (Bartošová et al., 1982). V období telogenu tvoří spodní síť volný svazek kapilár, zatímco horní zůstává nezměněna (Harkey, 1993). Folikuly tenkých vlasů mají vaskulární pleteně méně bohaté než folikuly terminálních vlasů a folikuly lanuginózních vlasů jsou vaskulizovány jen nepatrně. Střední a horní část tohoto systému v průběhu cyklické výměny vlasu je intaktní, dolní část se periodicky mění.

Inervace folikulu se mění v průběhu cyklické výměny vlasů pouze nepatrně (Bartošová et al., 1982). Inervaci tvoří nervové větévky pocházející ze sympatiku a cerebrospinálního systému. Senzitivní vlákna obklopují folikul a končí dermálně i epidermálně. Nemyelinizovaná vlákna vytváří v oblasti krčku a infundibula dvě pleteně. Vnější pleteň (intradermální) leží zevně od sklovité blanky, vnitřní pleteň (epidermální) prostupuje zevní epitelovou pochvou (Říhová, 1951). Některá jejich volná zakončení mají paličkovitý tvar. Do okolí a k nemyelinizované pleteni vysílají větve myelinizovaná vlákna. Tato nervová vlákna, pocházející z pletení v hlubších vrstvách kůže, vytvářejí poblíž mazové žlázy plexus okolo folikulu. Odtud vysílají větve do okolí k dalšímu plexu, který je uložen výše (Bartošová et al., 1982). U silnějších vlasů mohou nervová vlákna prostupovat přes sklovitou blanku a končit tak volně. Některá volná zakončení končí mezi buňkami dermální papily, ale i přesto je papila inervována velmi málo (Říhová, 1951). Bohatost nervové sítě závisí na velikosti folikulu (Bartošová et al., 1982).

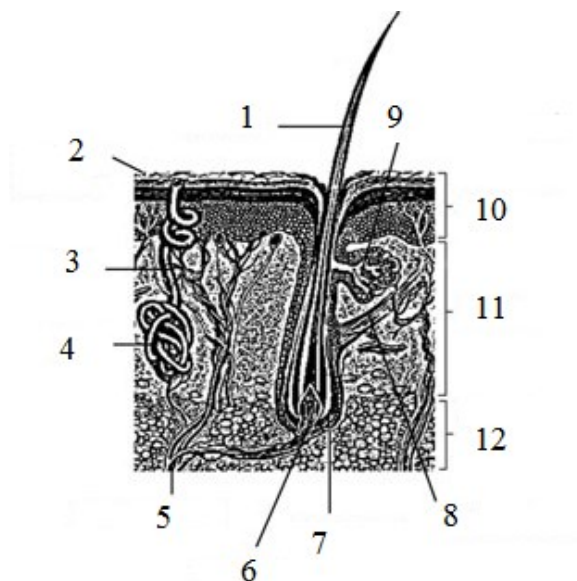


Obrázek 8: Průřez střední části anagenního folikulu (Bartošová et al., 1982).

3.2.1.2 Stavba vlasu

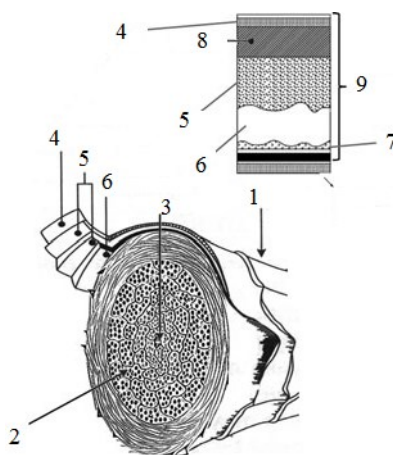
Vlas dělíme na dvě hlavní části, které dohromady tvoří celou jednotku dané struktury (Marieb, Mallat, 2005; Bolduc, Shapiro, 2001). Dlouhé vlasové vlákno, tedy vlasový stvol (*scapus pili*) a vlasový folikul (*foliculus pili*) ze kterého tento stvol vyrůstá (Čihák, 2004; Draelos, 2010; Strunecká, Patočka, 2011).

Schématický obrázek 9 znázorňuje cibulku vlasu s vlasovým vláknem uvnitř folikulu, který je umístěn v podkoží. Dermální papily, které jsou blízko centra cibulky a jsou důležité pro vývoj vlasového folikulu, řídí růst v průběhu anagenní fáze a v ostatních fázích cyklické výměny vlasů. Bazální vrstvy, které produkují vlasové buňky, téměř obklopují cibulku. Melanocyty produkující vlasové barvivo jsou uloženy uvnitř cibulky. Krevní cesty nesoucí výživu rostoucímu vlasovému vlákně jsou hluboko uvnitř kůže ve spodu cibulky. Vlasové vlákno může být rozděleno do několika odlišných zón podél jeho osy. Zóna biologické syntézy a orientace je kolem cibulky vlasu. Tato zóna je někdy rozdělena na dolní oblast s názvem proliferace a diferenciace buněk a horní oblast této zóny zahrnuje genovou expresi. Další zónou umístěnou směrem ven podél vlasu je zóna keratinizace, kde je přes tvorbu vazeb cystinu stabilně postavena struktura vlasu (Barnett, Seligman, 1952). Třetí zóna, která nakonec vystupuje přes povrch kůže, je oblast, v níž se tvoří stálé vlasové vlákno. Stálé vlasové vlákno se skládá z dehydratované zrohovatělé kutikuly, kůry a někdy meduly. Je zde přítomen buněčný membránový komplex, který váže buňky dohromady (Robbins, 2002).



Obrázek 9: Struktura kůže s uložením vlasového folikulu (Miranda-Vilela et al., 2013), kde je 1 – vlasové vlákno; 2 – zrohovatělá vrstva; 3 – potní kanálek; 4 – potní žláza; 5 – krevní cesty; 6 – kapiláry; 7 – vlasový folikul; 8 – sval napřimovač vlasu; 9 – mazová žláza; 10 – pokožka; 11 – kožní vrstva; 12 – podkožní vrstva (tuková tkáň).

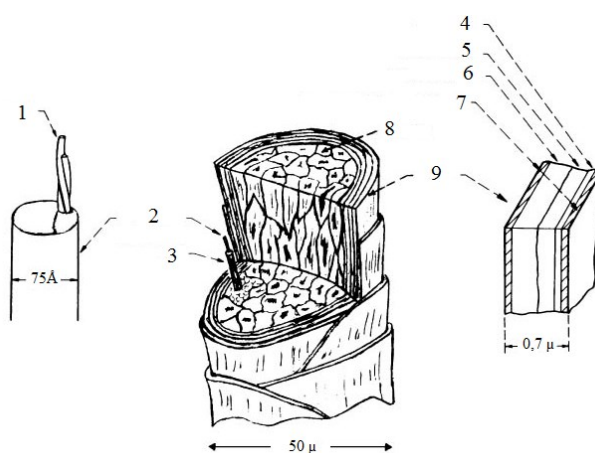
Vlasové vlákno (stvol), se skládá ze tří základních částí (obr. 10), a to z kutikuly, kůry (cortexu) a dřeně (meduly). Každá z těchto tří koncentrických částí má rozdílnou strukturu a funkci (Benzarti et al., 2011).



Obrázek 10: Průřez vlasovým vláknem znázorňující jednotlivé elementy vlasu (Miranda-Vilela et al., 2013), kde 1 – kutikula; 2 – cortex; 3 – medula; 4 – epikutikula; 5 – exokutikula; 6 – endokutikula; 7 – vnitřní vrstva; 8 – vrstva A; 9 – buňky kutikuly; 10 – epikutikula buněk kutikuly.

Kutikula je na povrchu a chrání vnitřní části vlasu proti vnějšímu prostředí a poškození způsobenému denním ošetřováním, slunečnímu svitu a vlhkosti. V průměru je silná 3 – 5 μm a reprezentuje tak 10 % váhy celého vlasu. Je složena z mnoha vrstev keratinových buněk, které které jsou navzájem propojené a na povrchu vytváří šupinky (Benzarti et al., 2011). Je nejdůležitější součástí vlasu, která ale může být více či méně ovlivněna kosmetickým ošetřováním. Kutikula má přibližně 8 – 11 vrstev, překrývajících se distálním směrem vlákna. Každá vrstva je tvořena pouze jednou buňkou. Buňky kutikuly mají obdélníkový tvar a navzájem se překrývají tak, že je vystavena pouze jejich 1/6. Každá buňka kutikuly obsahuje tenkou vnější membránu, epikutikulu, ta obsahuje proteinovou vrstvu pokrytou silnou lipidovou strukturou. Další vrstvy jsou: vrstva A, exokutikula, endokutikula, buněčný membránový komplex a epikutikula, viz obrázek 11 (Wilkinson, Moore, 1990; Robbins, Crawford, 1991).

Vrstva A je odolná struktura obsahující cystin, kdy křížové vazby těchto proteinů dávají této vrstvě nejen fyzickou odolnost, ale také relativní odolnost vůči působení chemických a mechanických vlivů, čímž chrání vlasové vlákno. Exokutikula, také známá jako vrstva B, odpovídá 55 % obsahu kutikuly. Je bohatá na cystin a fyzicky tuhá, ale méně než vrstva A. Endokutikula je s nízkým obsahem cystinu také považována za epikutikulu. Že je mnohem měkčí než vyšší vrstvy, je důkaz, že bobtná ve vodě. Je-li kutikula mokrá, její tuhé vrstvy se skládají ze střídajících se měkkých a tvrdých vrstev. Tento proces zesiluje povrch vlákna, čímž se dá vysvětlit, že koeficient tření je vyšší u mokrých vlasů oproti suchým. Pokud je endokutikula nabobtnalá, stává se křehčí, což vysvětluje vyšší poškození vlasů při jejich úpravě, pokud jsou stále vlhké. Jedním z velmi důležitých lipidů tohoto komplexu je 18-methyl kyseliny ikosanové (18-MEA). Tento lipid je vázán k vnějšímu povrchu vlasů a je jedním z lipidů ve vlasovém složení, který přispívá k vlastnostem vlasů při česání za mokra či sucha. Epikutikula je považována za nejdůležitější část kutikuly, kdy tvoří její vnější vrstvu. Lipidová vazba (18-MEA) vedle bílkovinné matrix dodává kutikule hydrofobní povrch (Wilkinson, Moore, 1990; Robbins, Crawford, 1991).



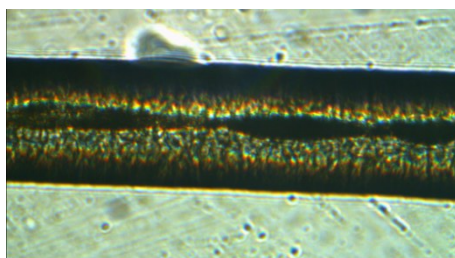
Obrázek 11: Prostorově znázorněná stavba vlasu (Robbins, 2002), kde 1 – protein α - helix spojující se do protofibril; 2 – mikrofibrila; 3 – makrofibrila; 4 – A vrstva; 5 – exokutikula; 6 – endokutikula; 7 – buněčný membránový komplex; 8 – cortex; 9 – kutikula.

Vzhled vlasů závisí na zdraví kutikuly. Je-li kutikula silná a zdravá, pak jsou zdravé a silné i samotné vlasy. Neporušená a uzavřená kutikula působí jako ochranný štít proti škodlivým prvkům z životního prostředí, ale pokud jsou šupinky kutikuly otevřené, látky z vnějšího prostředí mohou být uloženy do struktury vlasu. Fyzikálně – chemická manipulace se šupinkami kutikuly způsobuje to, že vlasy, jejichž vzhled má být změněn, vytvářejí různé druhy efektů, které se mohou lišit měkkostí, barvou a dokonce i texturu. Z kosmetického hlediska je kutikula velmi důležitou složkou vlasového vlákna (Rieger, 2000).

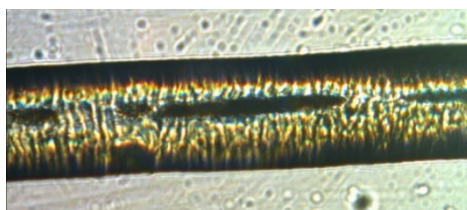
Kůra, cortex, reprezentuje okolo 90 % váhy vlasu. Je tvořena komplexem buněk, které dávají vlasu jeho mechanické vlastnosti. Buněčný komplex cortexu se skládá ze struktury α helix, která je jeho nejmenší částí. Kombinací dvou nebo tří struktur α helix vzniká protofibrila, a tyto se spojují do mikrofibril. Kombinací mnoha mikrofibril a amorfní matrix vzniká makrofibrila (Benzarti et al., 2011). Makrofibrily jsou navzájem propojeny buněčnými membránami a mezibuněčným tmelem. Takto uspořádaná část kůry je pojmenována jako ortocortex. U některých vlasů, zvláště pokud jsou upravovány, se objevuje méně pravidelné uspořádání nazvané paracortex (Peterka et al., 2004). Mercer (1953) uvádí, že je kůra v lidských vlasech na rozdíl od vláken vlny symetrická. Dále uvádí, že většina vlněných vláken obsahuje dva nebo tři typy kortikálních buněk rozdělených do dvou odlišných oblastí, které lze pozorovat na průřezu. Kassenbeck (1981) tyto typy buněk nazval orthocortex, paracortex a mesocortex. Orthocortikální buňky obsahují méně matrix mezi intermediálními filamenty a mají nižší obsah síry; paracortikální buňky jsou menší, mají hladké a zaoblené hranice a vysoký obsah síry. Dle Mowat et al. (1982) mesocortikální buňky obsahují cystin. Morfologicky jsou si všechny kortikální buňky lidského vlasu podobné a mají blíže k orthocortikálním buňkám vlny s tím, že mají vysoký obsah síry. U vlnitých vlasů se vyskytují ve vyšším zastoupení než u vlasů rovných (Robbins, 2002). Nicméně Kassenbeck (1981) ukázal, že kortikální buňky přiléhající ke kutikule jsou více ploché a obsahují méně síry, než zbývající kortikální buňky, které jsou obsaženy v podstatné části cortexu. Tyto se nazývají heterotypické kortikální buňky. Cortex má velký kosmetický význam, kdy jeho optické vlastnosti silně ovlivňují barvu a lesk vlasových vláken (Kharin et al., 2009).

Dřeň, medula, je nejhluběji uložená část vlasu, která nemusí být vždy ve vlasu přítomna. Je zastoupena spíše ve chlupcích zvířat, což souvisí s její funkcí a regulací tělesné teploty. U lidí tento význam zůstává spíše sekundární (Benzarti et al., 2011). Pokud je medula ve vlasu přítomna, obvykle tvoří pouze malé procento celého vlasu a předpokládá se, že zanedbatelně přispívá k mechanickým vlastnostem vlasového vlákna (Bhushan, 2010).

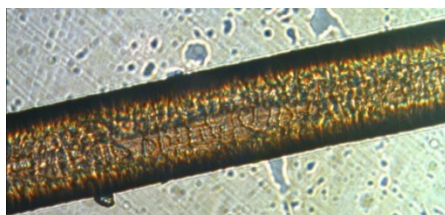
Dřeň se v lidských vlasech vyskytuje v několika podobách, a to jako celistvá (dřeň není v celém svém průběhu přerušena; obr. 12), ostrůvkovitá (vzdálenosti jednotlivých ostrůvků dřeně jsou daleko od sebe a přerušovaná místa jsou delší než ostrůvky dřeně), přerušovaná (úseky dřeně jsou větší než přerušovaná dřeň; obr. 13), nebo může zcela chybět (Gawalowski, 1955; Titlbachová, 1961; obr. 14).



Obrázek 12: Fotografie vlasu se zobrazením úplné meduly v celé jeho délce.



Obrázek 13: Fotografie vlasu, kde je medula rozdělena na jednotlivé segmenty.



Obrázek 14: Fotografie vlasu se zcela chybějící medulou.

3.2.2 Chemické složení vlasu

Lidský vlas obsahuje z 65 – 95 % své váhy proteiny, více než 32 % vody, pigmenty lipidů a další části. Chemicky je vlas tvořen okolo 80 % proteinem známým jako keratin (Kaplin et al., 1982; Wagner, Joeekes, 2007), který se od jiných proteinů liší vysokým obsahem síry (pocházející z aminokyseliny cystinu). Keratin je komplex vytvořený různými strukturami, které vlasu dávají sílu, pružnost, odolnost a funkčnost (Dias et al., 2007).

3.2.2.1 Keratin

Keratin je bezbarvý (Bolduc, Shapiro, 2001; Bhushan, 2008). Je to skupina 30 cytoskeletálních proteinů, které mají průměr mezi 7 – 11 nm (Keratin 31). Jsou to vysokomolekulární polymery tvořené dlouhými řetězci aminokyselin spojené různými typy interakcí. Keratinová vlákna se skládají z dlouhých řetězců navzájem propletených molekul a pevně propojených různými způsoby. A to pomocí kovalentních vazeb, včetně vazeb disulfidických, a vazbami slabšími, což jsou vodíkové můstky. Coulombovy elektrostatické a

Van der Waalsovy interakce vznikají za přítomnosti vody jako hydrofobní vazby (Rieger, 2000; Wolfram, 2003; Araújo et al., 2010).

Elektroforetické studie rozdělily vlasové keratiny do dvou podskupin, a to I. a II. typu. Keratiny I. typu jsou kyselé a jejich molekulová hmotnost se pohybuje okolo 40 – 48 kD, zatímco keratiny II. typu jsou zásadité až neutrální a jejich molekulová hmotnost se pohybuje v rozmezí 58 – 65 kD (Lai-Cheong, McGrath, 2009). Heid et al. (1986) identifikoval 8 hlavních vlasových keratinů, čtyři pro každý typ. Další keratiny byly následně nalezeny (Langbein et al., 1999). Ty jsou uspořádány v párech heterotypických řetězců z I. a II. typu keratinu. Od epidermálního keratinu se odlišují tím, že mají relativně vysoký obsah cystinu a disulfidické vazby mezi dvěma sousedními cysteiny tvoří cystin, který produkuje silnější a trvalejší strukturu (Yu et al., 1993). Mezi mnoha aminokyselinami, které obsahují keratin vlasů, je cystin jednou z nejdůležitějších. Každá jednotka cystinu obsahuje dvě aminokyseliny cysteinu z různých částí peptidových řetězců, které jsou vzájemně propojeny dvěma atomy síry, což tvoří velmi silnou vazbu známou jako disulfidická (Bhushan, 2010).

3.2.2.2 Barva vlasů a vlasové pigmenty

Barvu vlasů určují pigmenty přítomné v cortexu vlasů (Marieb, Mallat, 2005; Čihák, 2004; Bhushan, 2008). Barva vlasu ale není určena jen přítomností pigmentu, svou roli zde sehrává i průsvitnost vlasu a odrazivost jeho povrchu. V celkové barvě kštice hraje navíc významnou roli variabilita odstínů jednotlivých vlasů a jejich hustota. Díky těmto okolnostem mohou vlasy růst v nepřeberném množství barevných odstínů (Bisbing, 2000). Barvu můžeme změnit působením chemických i fyzikálních faktorů (např. UV záření). Ke změně barvy vlasů může dojít i při některých systémových nebo kardiovaskulárních onemocněních. Změnu barvy mohou způsobit i léky (Jolles, Zahn, 1995).

Samotný odstín vlasů je závislý na pigmentu, ty mohou být černohnědý (eumelanin), červenohnědý (feomelanin) nebo žlutohnědý (podobný melaninu) (Marieb, Mallat, 2005; Čihák, 2004; Bhushan, 2008).

Pigmenty vznikají v melanocytech, jejichž nejdůležitější funkcí je syntéza a transfer melaninu do keratinocytů kůry a dřeně vlasů. Na rozdíl od melanocytů v epidermis produkují pigment pouze v určité fázi růstu vlasů (Bartošová et al., 1982). Melanin je makromolekulární barvivo nerozpustné ve vodě, jehož syntéza, melanogenesa, probíhá v melanocytech. Uvnitř Golgiho aparátu vznikají bezbarvé vezikuly, což jsou malé membránové struktury, které obsahují tyrosinázu. Jejich působením se nejdříve transformuje tyrosin na 3,4-dihydroxyphenylalanin (DOPA) a pak na dopachinon, který je následně po sérii transformací přeměněn na barevný melanin. Tyrosináza je syntetizována v ribozomech přilehajících na membrány granulárního endoplazmatického retikula, jehož váčky se začleňují do Golgiho aparátu. Vezikuly uvolněné z Golgiho aparátu se nazývají melanosomy. Tyto struktury posléze ztrácejí tyrosinázovou aktivitu, čímž se stávají zralými melaninovými granuly (Junqueira et al., 1989; Klika et al., 1985).

Pro výslednou barvu vlasů je ale nejdůležitější to, zda produktem melanocytů je eumelanin nebo feomelanin. Eumelanin (černý pigment) obsahuje dusík, má vysokou molekulární hmotnost a je nerozpustný ve většině rozpustidel (Bartošová et al., 1982). Eumelanin přispívá k jasnosti, respektive hloubce barvy vlasu, např. světle hnědá, černá apod. (Bisbing, 2000). Feomelanin (žlutý pigment) obsahuje stejně jako eumelanin dusík, ale i síru a jeho biosyntéza je derivací pochodu vedoucího ke vzniku eumelaninu (Bartošová et al., 1982). Feomelanin přispívá k barevnému odstínu vlasu, jako je např. kaštanová, zlatavá apod. Tyto dva druhy melaninu se smísí, a vytvoří tak zdroj proteinu, který určí konečnou barvu vlasů. Díky tomuto mohou vlasy růst v nepřeborném množství barevných odstínů, viz tabulka 1 (Bisbing, 2000).

Barva vlasů	Obsah eumelaninu	Obsah feomelaninu
černá	99 %	1 %
blond	95 %	5 %
rezavá	67 %	33 %

Tabulka 1: Procentuální zastoupení jednotlivých typů melaninu u různých barevných vlasů (McElwee, 1996 – 2003).

Peterka (1976) také uvádí erytromelanin (trichosiderin, červený melanin), který se nevyskytuje jako jednotný typ, ale v několika obměnách. Je to vlastně feomelanin ve své struktuře obsahující chemicky vázané železo a velikostí zrn odpovídá tmavému melaninu. Zrna erytromelaninu tvoří shluky, pomocí nichž zřejmě vzniká rezavá barva.

Podle množství, velikosti, tvaru, rozložení a stupně melanizace eumelanosomů a feomelanosomů můžeme vlasy rozdělit na vlasy černé, světlé a ryšavé (Bartošová et al., 1982; Feřtek, 1987). Vlasy světlé barvy obsahují velké množství feomelanosomů, které jsou uloženy ve vlasové cibulce a v menších skupinkách v buňkách kůry. Černé vlasy obsahují velké množství eumelanosomů, které jsou také uloženy ve vlasové cibulce a kůře vlasu, podobně jako je tomu u světlých vlasů, jen s tím rozdílem, že eumelanosomy jsou větší a produkují více eumelaninu (Feřtek, 1987). Rutilismus, ryzavost, je způsoben omezenou syntézou tmavohnědého eumelaninu. Tento stav je způsoben blokací dráhy vedoucí k jeho tvorbě a je dán geneticky (McElwee, 1996 – 2003). Ve středoevropské populaci je rutilismus zastoupen v 1 – 2 % (Čihák, 2004).

Čihák (2004) udává, že až 27 % dětí je plavovlasých, kdežto u dospělých se tato barva vyskytuje jen u necelých 6 %, z čehož plyne, že pigmentu do dospělosti přibývá. S přibývajícím věkem ale pigmentu ve vlasech ubývá a nedostatkem pigmentu dochází ke vzniku šedin, tedy nahrazení pigmentových zrn vzduchovými bublinami (Marieb, Mallat, 2005, Čihák, 2004, Bolduc, Shapiro, 2001). Šedivění je tedy výsledkem snížené aktivity melanocytů během anagenní fáze růstového cyklu vlasů (Robbins, 2002).

3.2.3 Šedivění vlasů

Šedivění vlasů patří k fyziologickým projevům nejen stárnutí a je závislé především na dědičnosti. Někdy za šedivěním nestojí jen genetika a stárnutí, ale také některé nemoci, léky a u dětí podvýživa. U kuřáků je čtyřikrát vyšší pravděpodobnost předčasného šedivění než u nekuřáků (Shekar et al., 2008). V některých případech může být šedivění způsobeno chorobou či náhlým nervovým otřesem.

Nejčastěji se první šedivé vlasy objevují nad ušima a na spáncích. Odtud se časem šedivé vlasy rozšíří do dalších míst kštice. Kromě šedivění vlasů dochází i k šedivění chlupů na dalších částech těla. Brzy šediví vousy, několik let po počátku šedivění vlasů se objevují šedé chloupky na hrudi a v ohanbí (McElwee, 2001). Počátek a rychlost šedivění se značně liší. U evropské rasy dochází k šedivění asi od $34,2 \pm 9,6$ let, u negroidního plemene se průměr pohybuje okolo $43,9 \pm 10,3$ let. Jako předčasné šedivění je definováno šedivění ke konci období dospívání u evropské rasy. U negroidní a mongoloidní rasy je za dobu předčasného šedivění považován věk pod 30 let nebo může jít o předčasné šedivění, pokud se ve kštici nachází více než 50 % šedivých vlasů do padesáti let (McElwee, 2001). Tajima et al. (2007) zkoumali charakteristické rysy vlasů japonských žen v souvislosti se stárnutím a zjistili, že u těchto žen ve středním věku hustota vlasů s věkem klesá bez výskytu jejich vypadávání. Vypadávání vlasů se objevuje přibližně po 40. roce věku. Hlavními příčinami mohou být snížení hustoty vlasů a tloušťky vlasů, ale nezvyšuje se počet vlasů velusového typu. Existují ale i výjimky, kdy zešedivět může i dítě pubertálního věku a naopak, sedmdesátiletý muž nemá ani jeden bílý vlas (Zunová, 2011).

Bílé vlasy neobsahují melanin, odstín vlasů závisí na lomu a odrazu světla na povrchu a uvnitř vlasů. Mechanismus fyziologického šedivění vlasů není ještě zcela objasněn (Shekar et al., 2008). Šedivá či stříbřitá barva vlasů není způsobena žádným typem melaninu, ale snížením až zástavou produkce pigmentu a vznikem a množением bublin vzduchu v kůře rostoucího vlasu (Knobloch, 1955; Peterka, 1976). Vzduchové bubliny dobře odrážejí světlo (Peterka, 1976) a dodávají vlasu stříbřitý vzhled (Fetter, 1963).

Šedé vlasy jsou tuhé, více drátovité a nepoddajné (Hay, Wall, 2011). Tuto skutečnost potvrzuje i práce (Hollfelder et al., 1995) a dodává, že nepigmentované vlasy jsou citlivější na sluneční záření. Šedé vlasy jsou obecně vlnitější a hrubší než vlasy barevné, kromě nepřítomnosti pigmentu se však v mikrostruktuře neliší (Takizawa et al., 1998). V šestém deceniu se vlasová výměna urychluje na úkor kvality vlasů (Bartošová et al., 1982).

Vlasy ve skutečnosti nejsou nikdy šedivé. Dojem šedivé barvy vzniká promísením normálně zbarvených vlasů a vlasů bílých. Vlas v růstové fázi nemůže pigment za normálních okolností ztratit, po jeho výpadu je nahrazen u šedivějícího člověka vlasem bílým, který vyrůstá z téhož váčku (Shekar et al., 2008). S přibývajícím věkem se aktivita melanocyty snižuje, až se nakonec zcela zastaví. Nové vlasy rostou průhledné (bez barvy) dávají tak vzhled šedivých vlasů oproti zdravým tmavým vlasům. Šedivé vlasy jsou patrnější u lidí s tmavými vlasy, ale pravděpodobnost šedivění je stejná i u lidí se světlými vlasy (Rees, 2003).

3.2.4 Funkce vlasů

Lidské vlasy poskytují ochrannou a kosmetickou, případně ozdobnou funkci. Vlasy chrání pokožku hlavy proti úpalu a dalším efektům světelného záření a mechanickému odírání.

Vlasy na dalších částech těla mimo pokožku hlavy poskytují souvislou ochranu a ozdobnou funkci. Ozdobná funkce obočí je pro diváka, nicméně obočí také chrání oči proti stékajícímu potu a před vniknutím cizích těles. Obočí též chrání nadočnicové oblouky a pomáhá při komunikaci a vyjadřování emocí.

Řasy také plní důležitou funkci, jednak jako ozdoba a pomocník při komunikaci, ale také jako ochrana očí před slunečním světlem a cizími předměty. Nosní chloupky filtrují vdechovaný vzduch, zpomalují jeho tok do dýchacího systému, čímž vzduch buď ochlazují, nebo oteplují. Vlasy na dalších částech těla mají příbuzné funkce. Hlavní funkcí je to, že slouží jako smyslové receptory, protože všechny vlasy obsahují nervové zakončení. Smyslové receptory mohou zvýšit vlas v případě ochrany (Robbins, 2002).

3.2.5 Růstový cyklus vlasu

V průměru hlava obsahuje více než 100 000 vlasových folikulů, tedy dutin v povrchu kůže, ze kterých vyrůstají vlasová vlákna (Bhushan, 2010). Barman et al. (1965) uvádí, že normální skalp obsahuje 175 – 300 terminálních vlasů/cm². Každý folikul za svůj život vyprodukuje 20 vlasových vláken (Bhushan, 2010), Braun-Falco (2000) uvádí 10 – 20 růstových cyklů během života, Bartošová et al. (1982) udává 6 – 7 generací vlasů v průběhu života. Tato vlákna rostou několik let, dokud nevypadnou a nejsou nahrazena vlákny novými. Denně vypadne 50 – 100 vlasů (Reeves, Maibach, 1977; Van Scott, 1969; Stroud, 1987) jako normální vlasový spad. Ale i denní výpad vlasů je ovlivněn individualitou jedince (Bartošová et al., 1982). Ke snížení výpadu vlasů dochází v průběhu a po těhotenství. Některé ženy však uvádějí, že jim vlasy během těhotenství zřídly. V případě normálního skalpu je podíl folikulů v anagení fázi téměř 90 % v mírném podnebí na jaře (březen). Pak klesá asi na 80 % a v období pozdního podzimu (listopad) je nejvyšší počet vlasů v telogenní fázi (Randall, Ebling, 1991). Toto je doprovázeno zvýšením vypadávání vlasů na podzim (Robbins, 2002).

Alopecie, vypadávání vlasů, může postihnout jakoukoliv část těla. Je zřejmé, že alopecie vlasové pokožky (plešatost) vyvolává největší pozornost. Ve většině forem plešatění má progresivní miniaturizace vlasových folikulů za následek přechod terminálních vlasů do vellusových (Montagna, Carlisle, 1981), na rozdíl od obecně rozšířeného omylu nazvaného termínem *ztráta vlasů*. U normální zdravé pokožky hlavy je přibližně 80 – 90 % vlasů v anagenu, v katagenu 1 – 2 %, a 10 – 20 % v telogenu (Pinkus, 1981). Itami (2004) uvádí poměr mezi jednotlivými fázemi růstu u dospělého člověka za fyziologických podmínek takto: V anagenu je 80 – 90 % vlasů, katagenu 2 – 3 % a v telogenu 10 – 20 %. Nejběžnější forma vypadávání vlasů je dána geneticky za účasti hormonů androgenů, odtud tedy termín androgenetická (androgenní) alopecie. Androgenní alopecie, běžná plešatost, je normální jev stárnutí vyskytující se u obou pohlaví. Jedná se spíše o kosmetickou záležitost s výskytem u

asi 40 % mužů a 10 % žen. Pokud se jedná o zdravotní problémy, pak se může jednat o jiný druh alopecie, jako je např. alopecie areata, alopecie totalis, alopecie universalis, atd. (Robbins, 2002).

Délka vlasových cyklů se u člověka liší v různých oblastech těla. Vlasy mají mnohem delší růstový cyklus než chlupy v jiných oblastech těla (Saitoh et al., 1970). U lidí probíhá výměna vlasů i celého ochlupení asynchronně, tedy mozaikovitě. To má za následek, že jeden vlas roste a nachází se v anagenu a jiný v téže lokalizaci je v telogenu připraven vypadnout. Po intrauterinní a postnatální vlasové výměně přicházejí v dětství a prepubertálním období další dva cykly. Za fyziologických podmínek představuje druhá dekáda člověka jisté kulminační období, pokud jde o intenzitu růstu a pigmentaci vlasů. V dospělosti je výměna vlasů méně markantní a s postupujícím věkem se anagenní období ve folikulech kapilicia zkracuje. Počet anagenních a telogenních folikulů vždy kolísá podle věku a oblasti těla (Bartošová et al., 1982). Vlasová vlákna rostou ve třech různých fázích řízených hormony androgeny. Ty jsou produkovány nadledvinami a pohlavními žlázami. Fáze růstového cyklu vlasů (obr. 15) můžeme tedy rozdělit jako anagen, katagen, telogen (Robbins, 2002).

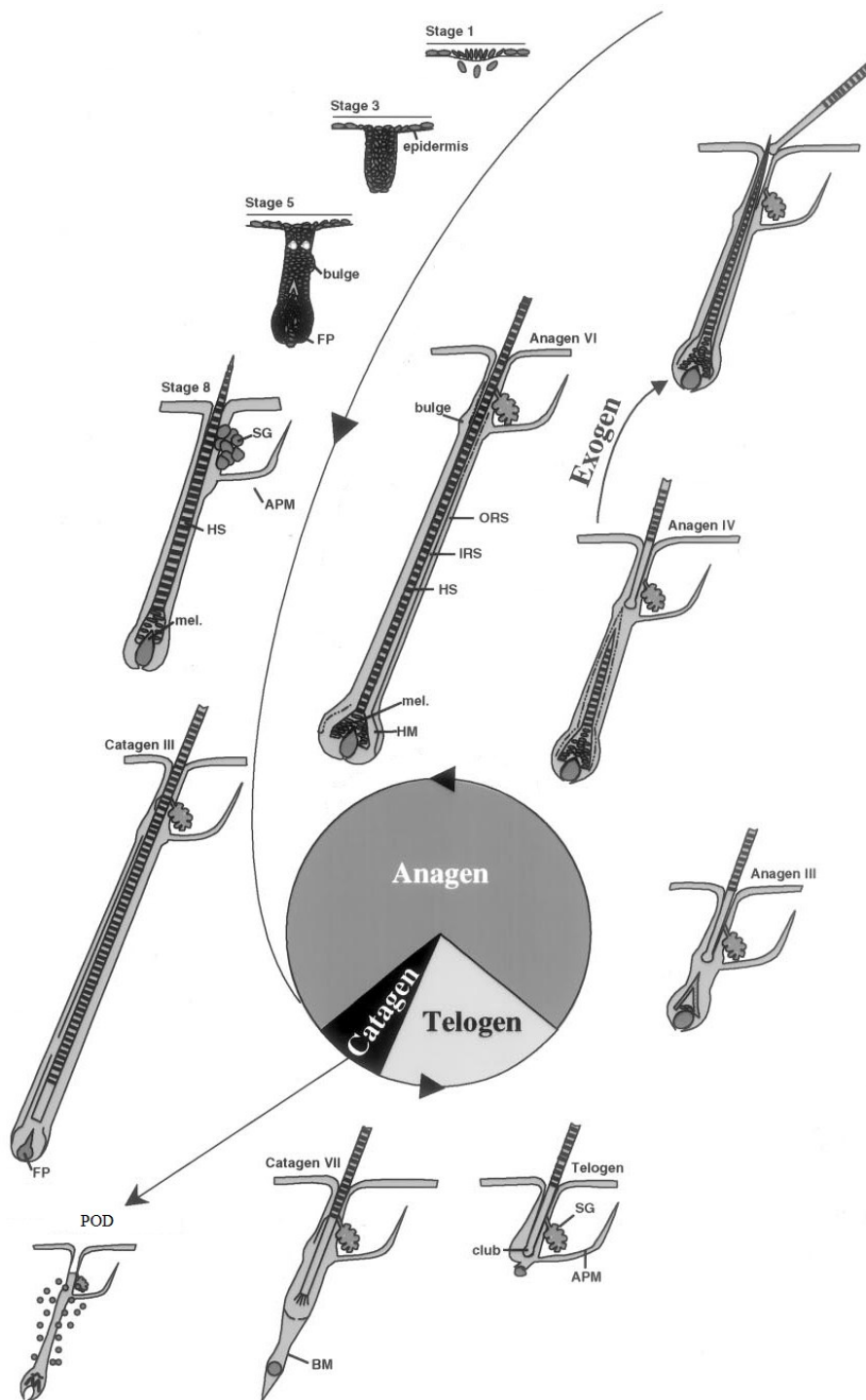
První fází je anagen, neboli fáze růstová. U terminálního vlasu trvá 3 – 7 let (Braun-Falco, 2000), Bartošová et al. (1982) uvádí dobu 2 – 7 let, u velusového vlasu 40 – 80 dní (Michalíková, 2002). V této fázi vlas vychází z matrix v dolní části vlasového váčku (Bartošová et al., 1982). V průběhu anagenu dochází k diferenciaci buněk na všechny vrstvy vlasového folikulu (Stenn, Paus, 2001). Na konci této fáze začínají první projevy degenerace, kdy buňky cibulky zastavují metabolickou aktivitu a keratinizují, čímž vytvářejí kyjovitý kořen (Michalíková, 2002). Terminální vlasy rostou v různých oblastech těla různě rychle, např. vlasy na temeni a čele rostou asi 16 cm/rok, pomaleji rostou v oblasti spánku, asi 14 cm/rok, a v oblasti vousů asi 10 cm/rok (Robbins, 2002). Stenn, Paus (2001) rozdělili růstovou fázi ještě na dalších 6 fází. Fáze I – V, fáze regenerace, probíhá u všech folikulů stejně, zatímco fáze anagen VI se u jednotlivých folikulů liší. V této fázi je již folikul plně vyvinut a dochází k tvorbě samotného vlasového vlákna.

Druhá fáze katagen neboli fáze přechodná trvá 2 týdny (Braun-Falco, 2000) a nachází se v ní asi 1 % vlasů (Bartošová et al., 1982). Na začátku této fáze se řasí a ztlušťuje *membrana vitrea*. Zkracuje se spodní část folikulu a společně s keratinizovaným kořenem vlasu postupuje kůži vzhůru. Za ním zůstává provazec epitelových buněk a kolagenních vláken, tvořený vazivovou pochvou a zůstatky *membrana vitrea* vyplňující uvolněný prostor a na zbylé části cyklu tvořící spodní část folikulu. Díky úbytku mezibuněčné hmoty dojde ke snížení objemu dermální papily, která ale stále zůstává v kontaktu nad sebou s epiteliálním provazcem a pod sebou s cévami. Zkracováním tohoto epiteliálního provazce je dermální papila tažena k povrchu kůže. Zůstává ale na bázi katagenního folikulu jako shluk buněk (Michalíková, 2002; Stenn, Paus, 2001). Směrem k epidermis se kůži posunuje základna bulbu (Robbins, 2002). Jak fáze anagenní tak i katagenní jsou řízeným procesem buněčného dělení a apoptózy (Stenn, Paus, 2001).

Třetí a tedy poslední fází růstového cyklu je telogen, neboli fáze klidová. Dle Braun-Falco (2000) trvá 3 měsíce, Bartošová et al. (1982) uvádí, že tato fáze trvá 3 – 4 měsíce a nachází se

v ní 10 – 15 % vlasů. V průběhu této fáze se růst zastavuje, základna bulbu zakrní v bodě na úrovni mazového kanálu. Pod telogenním folikulem již ale vyrůstá nový vlas, který vytlačuje staré vlasové vlákno tak dlouho, dokud nevypadne (Robbins, 2002).

Stenn, Paus (2001; obr. 15) rozdělují vlasový cyklus na fáze čtyři, a to: 1) anagen (růst), 2) katagen (regrese), 3) telogen (klidová) a 4) exogen (vyučování). Popisují, že při exogenní fázi dochází k přirozenému odloučení vlasu folikulem, zatímco ve vrchní části folikulu je usazen telogenní vlas a folikul může procházet novou anagenní fází. Dle nich jsou tedy exogen a anagen nezávislé pochody. Dále popisují, že exogen je řízený proces nezávislejší pouze na vytržení nebo vypadnutí vlasu. Tito autoři dále uvádějí, že cyklicita poskytuje možnost růstu, možnost specificky řídit délku chlupu, čistit povrch periodickým vypadáváním, přizpůsobit či měnit povrch těla jako odpověď na měnící se životní podmínky. Dále také poskytnout ochranu proti nevhodným tvarům folikulů či zhoubné degeneraci, která by díky rychle proliferující tkáni mohla nastat.



Obrázek 15: Morfogeneze folikulu a růstový cyklus vlasů (Stenn, Paus, 2001). Jednotlivé větve představují morfogenetické fáze a kruhová základna opakující se vlasový cyklus po morfogenezi. Ačkoli se morfogenetické větve vyskytují jen jednou za život folikulu, vlasový cyklus se opakuje mnohokrát. I když jsou morfogeneze a vlasový cyklus odlišné jevy, sdílejí morfologické a molekulární vlastnosti. DP – dermální papila; SG – mazová žláza; APM – *musculus arrector pili*; HS – vlasový stvol; BM – bazální membrána; mel. – melanin; HF – vlasový folikul; ORS – zevní epitelová pochva; IRS – vnitřní epitelová pochva; FP – krevní kapilára; bulge – epitelální výchlípka; POD – naprogramované ústrojí zániku.

3.2.6 Druhy vlasů

Vlasy jsou variabilní jak svou barvou, délkou a tvarem, tak i rychlostí růstu. Kritéria morfologického hodnocení si všímají kromě těchto znaků také výskytu a distribuce jednotlivých typů vlasů v závislosti na věku a pohlaví jedince. Charakter vlasů se od prenatálního vývoje až do pozdního věku neustále mění a týž folikul vytváří i za fyziologických podmínek postupně různé typy vlasů. Relativně větší hustota *kapilicia* (vlasy, ochlupení) u starších dětí je podmíněna výměnou jemného velusu za silnější a sytější pigmentovaný intermediální typ vlasů. U některých dětí ve věku 2 – 3 let může být změna typu a barvy vlasů nápadně rychlá. U dospívající mládeže na počátku puberty je změna distribuce a charakteru vlasů nejnápadnější.

Základní rozdělení vlasů je na prenatální lanugo a postnatální vellus, intermediální a terminální vlas respektuje jak tvarové variace, tak i časový faktor růstu vlasů u člověka (Bartošová et al., 1982).

Lanugo, vlasy první generace, vznikají intrauterinně, jsou hebké, lesklé bez pigmentu a dřeně (Bartošová et al., 1982) a dorůstají délky maximálně 15 cm (Robbins, 2002). Orientace lanuga je předem dána, vytváří proudy (*flumina pilorum*). Tyto proudy jsou směřovány tak, aby umožnily stékání vody po nahém těle plodu. Toto směřování si zachovávají i další chlupy po celý život. Lanugo pokrývá tělo všude tam, kde jsou vyvinuty folikuly. Vytváří se již ve 3. – 4. měsíci intrauterinního vývoje a maximálně je vyvinuto v 7. a 8. (Čihák, 2004). V posledních měsících gravidity lanugo vypadává a je nahrazeno vlasy druhé generace. V postnatálním životě se lanugo objevuje pouze za patologických okolností nebo přetrvává po celý život při geneticky podmíněném syndromu.

Postnatální vellus tvoří převážnou část ovlášení a ochlupení u kojenců a malých dětí. Vellus, tedy vlasy druhé generace, jsou sice také jemné a tenké, ale často již pigmentované a dorůstají maximálně délky 2 cm (Bartošová et al., 1982). Nacházejí se i na místech, která běžně označujeme jako holá. V pubertě jsou v určitých oblastech nahrazeny terminálními chlupy (Michalíková, 2002). Vellusové vlasy – chloupky rostou i na "holých" regionech těla, včetně holé pokožky hlavy, nosu a mnoha dalších oblastech těla, i když se tyto oblasti jeví jako bezchlupé (Robbins, 2002).

Intermediální vlasy nahrazují jemný vellus (Bartošová et al., 1982). Jsou silnější než velusový typ, sytější pigmentované, ale bez dřeně (Klír, 1999) a dorůstají maximální délky cca 60 cm (Robbins, 2002). Až do puberty intermediální vlasy tvoří kštici, u dospělých je můžeme najít na pažích a nohou (Michalíková, 2002; Klír, 1999; Harkey, 1993). Nejnápadnější změny vlasů jsou u některých dětí a dospívající mládeže na počátku puberty. Např. rovné vlasy jsou vystřídány vlnitými více nebo naopak méně pigmentovanými apod. většinou se také mění fyzikální vlastnosti vlasů, zvyšuje se pružnost, tažnost a pevnost. Nemění se však uspořádání vlasů do vícečlenných skupin a jejich růst v řadách nebo v pramenech. Také směr růstu vlasů založený již embryonálně se nemění a v určitých lokalizacích zůstává pro každého jedince typický, např. vlasy rostoucí do víru na temeni nebo nad čelem (Bartošová et al., 1982).

Terminální vlasy nahrazují intermediální typ kapilicia nebo jemný vellus na těle, jsou relativně dlouhé, dobře pigmentované, obsahují medulu fragmentovaně nebo po celé délce stvolu (Bartošová et al., 1982) a rostou do maximální délky cca 100 cm (Robbins, 2002). Prvními plně zformovanými terminálními vlasy jsou řasy, obočí a část vlasů kštice (Harkey, 1993; Gaudette, 2000). Hrubé vlasy kapilicia dospívajících chlapců jsou většinou více medulované než jemné dívčí kapilicium (Bartošová et al., 1982). Terminální ochlupení můžeme rozdělit podle vlivu hormonů na jeho tvorbu. První typ (obočí – *supercilia*, řasy – *cilia* a vlasy) je na hladinách hormonů poměrně nezávislý a s pubertou se nemění. Druhý typ je „ambosexuální“ (chlupy pubického ochlupení, axilární ochlupení, disperzní ochlupení na končetinách a vlasy kštice spánkové oblasti). Je ovlivněn hormony, ale jeho folikuly reagují u obou pohlaví stejně. Třetí typ terminálních vlasů (vousy, disperzní ochlupení hrudníku a zad a vlasy temene) je citlivý na vysoké hladiny androgenů mužů a je sekundárním pohlavním znakem (Harkey, 1993; Gaudette, 2000). Terminální chloupky rostou na hlavě, v oblasti řas, obočí, axilární a pubické oblasti, trupu a končetinách, a u mužů v oblasti vousů a jako knír. Vellusové chloupky rostou na prakticky všech ostatních oblastech lidského těla s výjimkou neochlupených oblastí: dlaně, chodidla, spodní stranu prstů rukou a nohou, okraj rtů, těsné okolí prsních bradavek, pupek, bezprostřední blízkost urogenitálních a análních otvorů, oblast nehtů a jizvové tkáně (Robbins, 2002). Terminální vlasy kapilicia jsou však postiženy regresivními změnami v průběhu života dříve než ostatní vlasy. U mužů dříve, u žen o něco později se růstová kapacita některých folikulů snižuje a nad čelem a na temeni vyrůstají sice dosud dlouhé, ale tenčí vlasy, které jsou často bez pigmentu (Bartošová et al., 1982).

Ploušťka vlasů kapilicia stoupá rychle a soustavně během třetího až čtvrtého roku života, méně již do desátého roku a od dvanáctého roku zůstává téměř zcela konstantní. Všechny po sobě následující generace všech typů vlasů mají tedy během života zpočátku růstovou křivku vzestupnou a později sestupnou, i když v rozsahu morfologických variací jsou značné individuální rozdíly (Bartošová et al., 1982).

3.2.7 Tvary průřezů vlasů

Vlasy určité oblasti se liší nejen délkou, strukturou a barvou, ale i průměrem a tvarem. V horizontálním řezu vlasovým stvolem mohou být oválné, okrouhlé, oploštělé, nebo jejich průměr může kolísat po délce stvolu v pravidelných nebo variabilních segmentech. Tvaru příčného řezu odpovídá i konfigurace vlasového stvolu: zvlněný vlas má oválný průřez, rovnému vlasu odpovídá okrouhlý řez a oploštělý tvar podmiňuje stáčení vlasů do prstenců nebo spirály. Geneticky determinovaný tvar vlasů (tab. 2), barva a intenzita pigmentace jsou vedle množství a distribuce vlasů a ochlupení typickými znaky jednotlivých ras (Bartošová et al., 1982).

O charakteru vlasů rozhoduje velikost a tvar vlasového folikulu což je genetická vlastnost řízená hormony a spojená s věkem a rasovými znaky. Zda je vlas kudrnatý, vlnitý, nebo rovný, závisí na dvou věcech: na jeho tvaru, když vyrůstá z folikulu, a na rozložení buněk u

kořínků produkujících keratin. Při pohledu na průřez vlasu bývají rovné vlasy kulatého, vlnité vlasy oválného a kudrnaté vlasy ledvinovitého tvaru. U kudrnatých vlasů je produkce keratinových buněk nerovnoměrná, takže v každém okamžiku je na jedné straně oválného folikulu více buněk než na straně druhé. Produkce nadměrného množství buněk navíc kolísá mezi oběma stranami. To způsobuje, že vyvíjející se vlas roste nejdříve jedním směrem a pak druhým.

Charakter také ovlivňuje přirozená barva vlasů. Přírodní blondýni mají jemnější vlasy než bruneti, zatímco zrzaví lidé mají vlasy nejhustší. Celkově můžeme vlasy rozdělit do třech kategorií: jemné, středně jemné a hrubé a husté. Jemné vlasy mohou být slabé i silné, ale díky svému charakteru mají všechny jemné vlasy stejnou vlastnost – postrádají objem. Jak už název naznačuje, středně jemné vlasy nejsou ani příliš husté, ani příliš řídké a jsou silné a elastické. Husté a hrubé vlasy jsou bohaté a těžké a mají tendenci růst všemi směry. Často postrádají pružnost a bývají zkrapatělé. Na jedné hlavě mohou růst vlasy několika různých typů. Nejjemnější vlasy najdeme například na spáncích, nad čelem a na týlu, zatímco charakter vlasů na zbytku hlavy může být středně jemný, nebo dokonce i pevný (<http://www.vlasy.cz>).

Typ vlasů	Popis vlasů
rovné vlasy	Jsou na průřezu kulaté a vyrůstají z rovných vlasových pochev. Mohou být značně dlouhé.
vlnité vlasy	Jsou na průřezu oválné, vyrůstají také z rovných vlasových pochev a také mohou dorůstat značné délky.
kudrnaté vlasy	Jsou na průřezu velmi oválné až ledvinovité. Vyrůstají ze zahnutých vlasových pochev. Tento typ vlasů převažuje u černošské populace.
pepřovité vlasy	Mají tvar kudrnatých vlasů, ledvinovitý průřez a vyrůstají ze zahnutých vlasových pochev v chomáčích a trsech.
spirálovité vlasy	Vyrůstají ze zahnutých vlasových pochev, mají oválný průřez a místo dřeně dutinu, takže mají vzhled jemných, dlouhých trubiček.

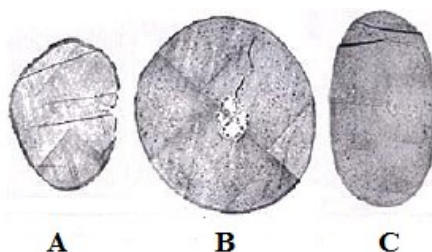
Tabulka 2: Přehledný popis jednotlivých tvarů vlasů (<http://www.vlasy.cz>). Poslední dva typy vlasů se u evropské populace nevyskytují.

3.2.8 Vlas v závislosti na etnické skupině – rase

Termín rasa se týká subpopulací nebo skupin lidí s podobnými biologickými vlastnostmi. V minulosti vyvinuté rasy přetrvávaly, díky tomu, že cestování na velké vzdálenosti bylo omezeno. Zeměpisné či rasové rozdíly, které se nacházejí dnes v typu vlasů a kůži mohou být zbytky dřívějších adaptací na teplotu a jiné vlivy prostředí. Sociologové dnes používají pět světových geografických oblastí ke klasifikaci ras:

- běloši – obyvatelé Evropy a severní Afriky
- mongolové – obyvatelé východní Asie
- američané – obyvatelé severní a jižní Ameriky
- etiopané – obyvatelé střední a jižní Afriky
- malajsané – obyvatelé Austrálie a Indonésie

Pro účely klasifikace vlasů můžeme považovat většinu malajsanů za součást mongolské skupiny. Původní Američané se také mohou řadit do této skupiny, přičemž většina ostatních Američanů se hodí do jedné z následujících tří skupin, a většina národů Evropy, Asie, Jižní Ameriky a Austrálie se řadí do těchto tří skupin: bělošské, mongolské a etiopské (Robbins, 2002). Franbourg et al. (2003) rozděluje lidské vlasy podle etnického původu na 3 hlavní a od sebe odlišné skupiny: asijské (mongoloidní), středoevropské (kaukazoidní) a africké (negroidní). Vlasy těchto etnik se mezi sebou liší v průměru a průřezu (obr. 16), tvaru, mechanických vlastnostech, kompatibilitě, chemickém složení a vlhkosti.



Obrázek 16: Průřez vlasy různých etnických skupin (www.furskin.cz). A – evropský vlas; B – japonský vlas; C – africký vlas.

Vlákna vlasů představují významné strukturální rozdíly v závislosti na etniku, ale i v rámci stejné skupiny (Dias et al., 2007). Vlasy pro jednotlivé etnické skupiny vykazují některé společné znaky (tab. 3), přičemž rozdíly v rámci jednotlivých skupin jsou stejné, ne-li větší, než rozdíly mezi samotnými skupinami. Navíc variabilita vlasů jednoho člověka může být větší, než variabilita mezi různými lidmi (Kelly et al. 2000).

Rasa	Charakteristika vlasů
kaukazoidní	Jsou jemné až středně silné, průměr vlasu kolísá podél stvolu jen minimálně. Mohou mít různé barvy (obvykle ne černou). Hustota pigmentových granul je řídká až střední a jsou rovnoměrně rozložena. Kutikula tenká až střední. Průřez je oválný.
negroidní	Jsou jemné až středně silné, průměr vlasu podél stvolu značně kolísá. Jsou obvykle černě nebo tmavě zbarvené. Mají střední až velká pigmentová granula, uspořádaná do shluků. Vlasy mohou být kudrnaté, spirálovité nebo pepřovité. Příčný průřez je oploštělý.
mongoloidní	Jsou hrubé, průměr se mění jen minimálně. Barva je obvykle černá nebo tmavě hnědá. Pigment je velmi hustý, vytváří skvrny až šmouhy. Mají velmi silnou kutikulu. Příčný průřez vlasem je kulatý. Vlasy jsou rovné.

Tabulka 3: Charakteristické vlastnosti vlasů zástupců tří hlavních lidských ras (Deedrick, Koch 2004; Gaudette, 2000).

Asijské vlasy mají větší průměr a kruhový průřez. Africké vlasy představují v podélném průměru nepravidelnost s eliptickým průřezem. Vlasy Středoevropanů mají střední průměr i tvar průřezu (Robbins, 1988; Kamath et al., 1984; Menkart et al., 1996; Syed et al., 1995). Tvar afrických vlasů připomíná zkroucenou oválnou tyč, zatímco vlasy Středoevropanů a Asiatů jsou více válcové. Africké vlasy vykazují časté kroucení s náhodným otočením ve směru výrazného zploštění (Kamath et al., 1984). Mechanické vlastnosti jsou rozdílné hlavně v tom, že africké vlasy mají menší pevnost v tahu a snadněji se přetrhnou oproti vlasům středoevropským (Kamath et al., 1984; Menkart et al., 1996; Syed et al., 1995). Kompatibilita je rozdílná v tom, že africké vlasy se mnohem obtížněji češou, díky extrémní kudrnaté konfiguraci, oproti vlasům středoevropským (Syed et al., 1995). U chemického složení jsou proteiny a aminokyseliny tvořící keratin podobné u afrických, asijských a středoevropských vlasů (Menkart et al., 1996; Dekio, Jidoi, 1988, 1990; Nappe, Kermici, 1989). A konečně africké vlasy mají nižší obsah vlhkosti než vlasy středoevropanů (Syed et al., 1995). Dále pak Takahashi et al. (2006) studovali rozdíl ve struktuře kutikuly asijských a kaukazoidních vlasů, kdy sledovali rozdíly v počtu vrstev kutikuly, šířce buněk kutikuly, stupně jejich sklonu a mezi kutikulárními okraji. Zjistili, že asijské vlasy mají více vrstev kutikuly a její buňky jsou širší než u druhého typu vlasů, a dále kutikulární sklon u asijských vlasů je strmější a kutikulární interval je užší než pro vlasy kaukazoidního typu.

3.2.9 Vlas v průběhu těhotenství

Fyziologické, biochemické a anatomické změny během těhotenství odrážejí jak adaptaci organismu ženy na nároky vyvíjejícího se plodu, tak adaptační změny zabraňující poškození mateřského organismu v průběhu těhotenství, porodu a šestinedělí. Adaptační změny organismu indukované těhotenstvím jsou obvykle reverzibilní a vracejí se opět na původní úroveň před těhotenstvím za několik měsíců po porodu nebo ukončení laktace (Porodnice, 2002 – 2016). Zároveň díky těmto změnám dochází k pozvolné přípravě na porod a kojení. Dochází ke změnám ve stavbě a funkci orgánů a procesů látkové přeměny v těle matky, k růstu tkání, zadržování tekutin, uvolnění hladkého svalstva a dalším fyziologickým proměnám (Velemínský, 2015). V průběhu těhotenství dochází i k hormonálním změnám, které mají vliv na celý organismus, a tedy i na vlasy. Tyto změny pozorujeme u většiny těhotných, a proto je považujeme za fyziologické (Funai et al., 2013). Během těhotenství dochází v těle matky k mnoha změnám, které mohou mít vliv i na strukturu vlasů. Tyto změny mohou být negativně i pozitivně ovlivňovány řadou faktorů, jako jsou kouření, konzumace alkoholu, váha, tělesná aktivita a hladiny hormonů (Karlsson et al., 2005).

Těhotenství je zátěžová zkouška organismu, mění i pleť a vlasy (Hamplová, 2016). V těhotenství může ženy potrápiti zvýšené maštění či naopak vysušování vlasů. Trvalá může hůře držet a po porodu většinu žen nejspíš rozladí zvýšené vypadávání vlasů. Jsou to sice změny přechodné, ale je také možné, že po narození dítěte již vlasy nebudou tak husté jako dřív, anebo se jejich struktura či barva změní – vlasy zjemní, ztmavnou a podobně. Typ vlasu je určen jeho příčným průřezem. Pokud se tedy vlasy preparují trvalou ondulací, musí se chemickými prostředky narušit povrch vlasů a změnit jejich průřez. Vzhledem k tomu, že je

nutno narušit první vrstvu vlasu, která obsahuje keratin, trvalá ondulace v těhotenství neudrží. Pokožka těla, a tedy i hlavy, je totiž v těhotenství zvýšeně prokrvená, a vrstva keratinu je proto pevnější. V důsledku toho chemický přípravek pro trvalou ondulaci hůře působí (Černá, 2004).

Řada žen bývá překvapena tím, jak jejich vlasy v období těhotenství zesílí, zaznamenávají rychlejší růst a celkové zvětšení objemu vlasů. Bohužel tento stav trvá pouze do porodu. Zvětšení hustoty vlasů je způsobeno tím, že vlasy těhotných žen zůstávají delší dobu v klidové fázi. Jde o cca 60 % vlasů. Denně tedy vypadá méně vlasů než v době, kdy žena není těhotná. Stejně tak dochází u některých těhotných žen k zhroutnutí chloupků po těle, zejména v oblasti paží, nohou a místech nad horním rtem. To je výsledkem působení pohlavních hormonů androgenů, jejichž hladina se začíná nejrychleji zvyšovat v prvním trimestru těhotenství (March of dimes, 2016; Babycenter, 1997 – 2016).

V těhotenství hladina některých hormonů stoupá, proto mohou být vlasy lesklejší, hustší a také se většinou více mastí. Ve většině případů jsou ale ženy se svými vlasy v těhotenství spokojenější. Po porodu se ale hladina těhotenských hormonů prudce sníží a vlasy začnou více vypadávat. Tím však nejsou porušeny vlasové papily a po několika měsících se hustota vlasů vrátí k původnímu stavu (Černá, 2004). Kvalita vlasů se v těhotenství nemění (Pařízek, 2009).

Ukazuje se, že v průběhu gravidity dochází méně často k vypadávání vlasů v terminální fázi, a tak jsou vlasy dočasně hustší. Po šestinedělí pak většinou tyto přestárlé vlasy vypadnou téměř najednou (Yelva, Lynfield, 1960). Padání vlasů v období těhotenství a po porodu se objevuje u mnoha žen. Zatím co před početím dítěte tělo prožívalo hormonální klid, v těhotenství, po porodu a s opětovným začátkem užívání antikoncepce je to s hormony jak na pout'ové dráze. První změny kvality a kvantity porostu může žena vnímat v období druhého až třetího měsíce těhotenství. Tělo prožívá dosud největší hormonální změnu. Druhou vlnu padání vlasů může žena očekávat po porodu. Je to důsledek prodělané fyzické i psychické zátěže. Problém, se však může nejvíce projevit mezi třetím a šestým měsícem po porodu. V tomto období se zrychluje vlasový cyklus, je zkrácena délka doby jeho jednotlivých životních období. Pokud nedošlo během těchto změn k narušení vlasových cibulek, vše se navrátí zpět k normálnímu stavu během dalších tří měsíců (March of dimes, 2016). U netěhotné ženy je asi 20 % vlasových folikulů v klidové fázi, u těhotných je to jen 10 %. Po porodu vstupuje více folikulů do klidové fáze, a to se projeví zvýšeným vypadáváním vlasů. Návrat do původního stavu nastává za 6 – 12 měsíců (Porodnice, 2002 – 2016).

3.3 Mechanické vlastnosti vlasů

Lidský vlas je nehomogenní komplexní materiál z keratinových vláken, která nabízí anizotropní mechanické vlastnosti. V současné době je možné měřit mechanické vlastnosti vlasů klasickými testy, ale nejčastěji jsou tyto testy destruktivní a lze jen obtížně měřit vliv některých vnějších faktorů či ošetření na chování stejného vlasového vlákna (Jamart et al.,

2015). Jako biologický kompozitní materiál má lidský vlas složitou strukturu velmi citlivou na několik vnějších faktorů, jako je vlhkost, teplota a chemické ošetření. Aby bylo možné lépe pochopit dopad těchto faktorů, je důležité studovat a charakterizovat biomechanické vlastnosti vlasů. Vlas o průměru 60 – 100 μm (Zviak, 1988; Bouillon, Wilkinson, 2005), 15 – 110 μm (Kaswell, 1953), 40 – 120 μm (Randebrook, 1964) je složen z proteinu bohatého na síru, z keratinové molekuly. Jeho struktura se skládá ze dvou soustředných částí.

Mechanické vlastnosti vlasového stvolu mohou být změněny primárně různými vnitřními vlivy, např. genetickými, nutričními a metabolickými, nebo sekundárně zevními faktory. Do druhé kategorie patří hlavně často opakované nebo nešetrné či neodborně aplikované poměrně agresivní chemikálie, jakými jsou např. thioglykoláty ve „studené vlně“, koncentrované peroxidy, čpavek, barvy na vlasy a jiné alkálie používané při úpravě vlasů. Negativní vlivy těchto látek mohou mít za následek snížení odolnosti vlasu vůči mechanické zátěži, která druhotně způsobí zlomení nebo přetržení vlasu (Bartošová et al., 1982).

Vlasy jsou překvapivě pevné v tahu, za což odpovídá keratin v cortexu. Dále jeho dlouhé řetězce vytvářejí pravidelnou strukturu, která kromě toho, že je silná, je i flexibilní (Dias, 2004; Robbins, 1994). K přetržení vlasu je třeba dvojnásobné síly než k přetržení stejně silného kovového vlákna. Tato odolnost vlasu závisí na elasticitě vlasu, který může být až pětkrát více protažen do délky než stejně silný kovový drát (Bartošová et al., 1982).

Pro stanovení mechanických vlastností vlasů mohou být použity různé techniky. Nejběžnější jsou destruktivní techniky, jako je tahová zkouška (Velasco, Dias 2009; Thibaut et al., 2010; Benzarti et al., 2011) a nano-vtlačovací testy (Wei et al., 2005). Huck, Baddiel (1971) používají nedestruktivní metodu a měří dynamické odezvy vlasových vláken za použití metody oscilačního paprsku, aby charakterizovali pružné a ztrátové moduly. Jamart et al. (2015) představili experimentální studii, kde použili relaxačních testů provedených na několika segmentech vlasového vlákna za účelem zjištění komplexních rozdílů ve viskoelastických vlastnostech vlasů, v průběhu kinetické desorpce vody. Poté vyvinuli nový mechanický přístup založený na šíření vibrací na vlasovém vlákne. Tento přístup nepoužívá kontakt dvou pevných látek, což má za cíl to, že je nedestruktivní a lze tedy provést několik testů na stejném vzorku v různých podmínkách. Další výhodou této metody je velmi krátká doba trvání, která umožňuje okamžité měření mechanického chování vlákna.

Všechny metody sledování a hodnocení fyzikálních vlastností vlasů jsou časově náročné a vyžadují pečlivost a trpělivost (Bartošová et al., 1982).

3.3.1 Hydrofilní termopolymer

Vlas, jako biologický kompozitní materiál, má složitou strukturu, velmi citlivou na několik vnějších faktorů, a to hlavně na vlhkost, teplotu a chemické ošetření (Zviak, 1988; Bouillon, Wilkinson, 2005).

Vlasové vlákno má pružný charakter, může tedy podléhat mírnému protažení ať za mokra či sucha. Protažení je atributem vlasů působením distální síly (délka), kdy po odeznění této síly se vlákno vrátí do původního stavu. Když je vlas suchý, může se prodloužit o 20 – 30 % ze své délky, a ve styku s vodou až o 50 %. Při kontaktu s amoniakem se stává pružnějším. Tuto vlastnost vlasů ale ovlivňuje chemické a fyzické ošetřování, vystavení slunci či použití elektrických vysoušečů vlasů (Juez, Gimier, 1983).

Ve vlhkém prostředí se vlas stává pružnějším, protože dochází k přerušení méně stabilních vodíkových vazeb v matrix, a nabývá na objemu její hydratací (Bartošová et al., 1982). Kompozitní struktura vláken matrix a orientace intermediálních filament podél podélné osy jsou zodpovědné za anizotropní mechanické vlastnosti vlasů (Robbins, 2012). Kromě toho, přítomností různých typů chemických vazeb, a zejména těch se slabými vazbami, jako jsou vodíkové, se stává vlas velmi citlivý na faktory životního prostředí (Jamart et al., 2015).

Mechanické vlastnosti vlasů jsou také závislé na prosycení molekul keratinu vodou, tedy na relativní vlhkosti a teplotě, ve které jsou vzorky vlasů vyšetřovány (Bartošová et al., 1982). Vliv vody na strukturu a mechanické vlastnosti keratinových vláken byly předmětem již různých studií. Hysterezní křivka sorpce – desorpce ukazuje, že vlasová vlákna jsou schopna absorbovat velké množství vody (Chamberlain, Speakman Leeds, 1931; Barba et al., 2010). Pokud jde o strukturu vlasů, Popescu a Höcker (2007) ukázali, že sorpce vody má za následek nabobtnání vlasu, a zdůrazňovali, že je anizotropní bobtnání spolu s radiálním mnohem důležitější než nabobtnání podélné. Feughelman (1994) vybudoval dvoufázový model, v němž jsou intermediální filamenta považována za vodu neprostupné tyče, umístěné v hydrofilní matrix. Tento model je v souladu s bobtnáním vlasů a může tak představovat vysvětlení závislosti mechanického chování vlasů na relativní vlhkosti. Jako pro všechna keratinová vlákna, jako je vlna, se tahové vlastnosti vlasů mění s relativní vlhkostí (Hearle, Morton, 2008). Když jsou vlasy mokré, začíná mez kluzu na nižší úrovni napětí v důsledku lámání vodíkových vazeb. Kreplak et al. (2002) vysvětlil účinek vody koexistencí dvou deformačních mechanismů v cortexu, klouzání α -řetězců uvnitř mikrofibril a jejich protažení. Přítomnost vody v matrix by mohla usnadnit klouzání intermediálních filament, kde v případě suchých vlasů za standardních podmínek vlhkosti, makroskopické deformace by byly v důsledku kombinace obojího fenoménu. Pevnost vlhkého vlasu je menší než únosnost vlasu suchého (Bartošová et al., 1982).

3.3.2 Měření průměrů

Pro stanovení rozměrů průměrů či průřezů nebo jejich změn u vlasových vláken jsou k dispozici různé metody. Ať již „jednovláknové“ zahrnující lineární hustotu, mikroskopické měření (světelný či elektronový), vibraskopické metody, měření pomocí mikrometrického odpichovátko a lomu laserového paprsku. Pro „vícevláknové“ měření je to pak použití centrifugové metody (Robbins, 2002).

1. Metoda lineární hustoty

Tato metoda určuje tloušťku vlasového vlákna, kdy vlákno je rozděleno na vhodně dlouhé části (cca 10 cm) a udržováno při relativní vlhkosti 55 – 65 % a zváženo na miligramových váhách. Toto nám dává hmotnost vláken v gramech na centimetr.

Tato metoda ale předpokládá, že je hustota všech vlasů stejná, současně je tato metoda vynikající jako průměrová technika na rozměry vlasů v suchém stavu. Také je tato metoda relativně přesná pro určení příčného průřezu a odhadu objemu pro kruhová či elipsovité vlákna. Naopak neposkytuje informaci o eliptičnosti (Robbins, 2002).

2. Mikroskopické metody

Barnard, White (1954); White, Stam (1949); Eckstrom (1951) popíší experimentální podrobnosti pro měření průměru lidského vlasu s pomocí světelného mikroskopu. Získáním průměru můžeme následně vypočítat poloměr, průřez plochy, objem. Světelný mikroskop je výborný pro stanovení rozměrů vlasových vláken, zatímco reagují na kapalně nebo plynně prostředí (včetně vlhkosti vzduchu). Dále může být světelný mikroskop použit pro změření odchylek od kruhovitosti. I když se jedná o přesné měření, musí být opakováno po celé délce vlasové osy v několika opakováních (Robbins, 2002).

Moderní rastrovací elektronový mikroskop je také vynikající přístroj pro měření průměrů vláken lidských vlasů, ale pouze v suchém stavu, přibližně 0 % relativní vlhkosti (Robbins, 2002).

Pro celou naši práci jsme zvolili právě mikroskopickou metodu pro určení průměrů vlasů, a to s pomocí světelného mikroskopu.

3. Vibraskopické metody

Vibraskop je zařízení, které používá oscilující sílu známé frekvence na napínané vlákno. Plocha průřezu může být vypočtena z nejnižší (vlastní) frekvence v cyklech za sekundu, které generují mechanickou rezonanci (Montgomery, Milloway, 1952; Dart, Peterson, 1949).

Tato metoda předpokládá, že vlákno je homogenní a poskytuje průměrný průměr (Montgomery, Milloway, 1952). Tato metoda, stejně jako metoda lineární hustoty, je vynikající technika pro zjištění průměru a nabízí výhody oproti časově náročným mikroskopickým metodám (Robbins, 2002).

4. Metoda mikrometrického odpichovátko

Tato metoda funguje dobře pro tvrdá vlákna, jako je ocel, wolfram a sklo, ale ne tak dobře na měkčí vlákna, jako jsou lidské vlasy. Jedná se o hrubý, ale rychlý způsob pro zjištění přibližného průměru vlasového vlákna. Ale protože při měření jsou vlasy stlačovány silou a tu je obtížné kontrolovat, tato technika poskytuje nízké hodnoty průměrů vláken s velkým rozptylem (Robbins, 2002).

5. Metoda difrakce laserového paprsku

Brancik, Datyner (1977) popsali difrakci monochromatického laserového paprsku pro měření průměru jednotlivých vlněných vláken v kapalinách. Busch (1984) používá difrakční systém laserového paprsku s robotickým ovládáním charakterizující průměr vlasového vlákna a tvar pro velký počet vlasů.

6. Metoda centrifugy

Valko, Barnett, 1952; Barnett, 1952; Ehrhardt, zahrnuje při odstředování použití známé hmotnosti stejných vláken s kapalinou (pro vyvážení), aby se odstranila přebytečná kapalina mezi vlákny. Tento způsob je dobrý pro více vláken, výborně se hodí pro sledování reakce vlasových vláken měřením hmotnostního přírůstku nasáváním kapaliny. Tento způsob může být využíván k přiblížení objemových změn vláken ve vhodných systémech, protože přírůstky v různých relativních vlhkostech odpovídají relativně dobře zvýšením objemu.

3.3.3 Měření v ohybu

Poměrně zajímavým a hojně využívaným způsobem určování mechanických vlastností materiálů je měření v ohybu. Příklad tohoto měření ukazuje následující obrázek 17.



Obrázek 17: Příklad tříbodového ohybové měření (www.proderm.de).

Tato velmi citlivá měření se používají ve třech různých možnostech. Jednoduché ohýbání určuje maximální ohýbací sílu potřebnou k přerušení vrstvy materiálu. Hystereze ohybové síly se měří ohýbáním s jedním návratem do výchozího bodu a opětovným ohnutím, kdy se vyhodnocuje zbývající ústnost. Elastické ohýbání se provádí velkým počtem ohýbacích cyklů pro vyhodnocení flexibility. Výhodou těchto metod je jejich citlivost pro rozlišení mezi zkoumanými materiály s vysokou přesností a spolehlivostí (www.proderm.de).

Typické vyhodnocované parametry této metody jsou:

- maximální ohýbací síla a relaxační čas,
- modul elasticity,
- mez elasticity,
- absorbovaná energie v elastické oblasti,
- únava materiálu.

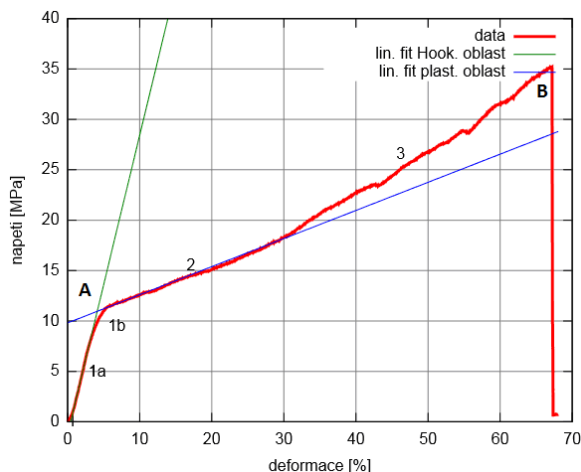
Jak jsme řekli, toto měření je zvláště citlivé na malé změny vlastností v komparativním měření. Současnou technikou ho však není možné provádět pro jednotlivé vlasy. V jediném měřeném vzorku je vlasů použito, ve všech nám známých zprávách, kolem tisícovky. Z tohoto důvodu jsme toto měření i přes jeho výhody pro naši studii nevyužili.

3.3.4 Měření v tahu

Obecně platí, že potřebná hmotnost k tomu aby vlasové vlákno prasklo, je 50 – 100 g. Průměrná hlava má asi 120 000 vlasových vláken, bylo by tedy zapotřebí asi 12 tun k přetržení všech vlasů najednou. Odolnost proti přetržení je funkcí průměru vlákna a stavu cortexu.

Použije-li se na vlas určitá zátěž a měří se jeho prodloužení, získáme grafické znázornění několika charakteristických oblastí (Velasco et al., 2009), známé jako zátěžová křivka (obr. 18). První část je elastická (1a), kdy je deformace malá natolik, že pokud vnější síly přestanou působit, vrátí se vzorek do původního tvaru a rozměru. V případě vlasu tato část obsahuje Hookovskou oblast, ve které je napětí přímo úměrné deformaci. Konstantou této úměrnosti, a tedy směrnici přímky proložení je dán skutečný modul elasticity. Druhá část této oblasti je nelineární (1b) a končí mezi kluzu (A), kterou je definována maximální elastická deformace. Deformace na křivce za tímto bodem jsou již plastické a po ukončení působení vnějších sil zůstává vzorek již trvale deformován. V tomto bodě přechází trhací křivka do tzv. plastické oblasti deformace (Pichon, 1989). Okamžik začátku deformace určujeme z rovnice přímky interpolující trhací křivku v Hookovské oblasti. Konstanta v této rovnici určuje průsečík přímky s osou deformace. O tuto hodnotu poté posouváme všechny údaje o deformaci zjištěné z deformační křivky. Druhá je část (2), ve které již dochází k nevratným změnám na vzorku a kde může docházet k narůstání deformace i při působení konstantní silou, tedy oblast za mezi kluzu. Tato oblast je charakterizována viskoplastickou deformací v souvislosti s postupným přechodem keratinu ze složeného stavu, α -helix, na prodloužený stav, β -skládané listy, ve kterých některé vodíkové vazby jsou kolmé na osu vlákna a napnuté kovalentní vazby jsou hustě propletené ve stabilizovanou síť (Nikiforidis et al., 1993; Pichon, 1989). Tvar křivky v této oblasti je významně ovlivněn deformační rychlostí a pro vyšší rychlosti (u vlasů od 10 %/min) může být počátek této druhé fáze charakterizován zápornou směrnici, tzn. poklesem napětí při zvětšování relativní deformace. Třetí část (3) je oblast zpevnění před přetržením, kdy strmost trhací křivky opět roste (B). Při stálém zvyšování napětí dochází k náhlému přetržení vzorku (Benzarti et al., 2011).

Skutečný modul elasticity (E'), zjišťujeme z Hookovské (lineární) oblasti zátěžové křivky aproximované lineární funkcí. Mez kluzu je určena souřadnicemi průsečíku lineárních aproximací zátěžové křivky v Hookovské oblasti a počátku plastické oblasti. Mez pevnosti je maximální napětí před přetržením vlasu, které určujeme společně s maximálním prodloužením jako souřadnice koncového bodu zátěžové křivky, kdy souřadnice na ose nezávisle proměnných představuje maximální prodloužení (%) a souřadnice na ose závisle proměnných udává mez pevnosti (MPa).



Obrázek 18: Zátěžová křivka získaná při tahové zkoušce vlasu. Vysvětlení všech použitých symbolů je v textu této kapitoly.

Dawber, Messenger (1997) uvádějí, že v oblasti 30 – 70 % se vyskytují nevratné změny a prodloužení o 80 % způsobuje přetržení vlasu. Naše zkušenosti však posouvají počátek nevratných změn před oblast (2) za hranici 6 – 7 % relativní deformace. Maximální prodloužení, tedy poloha bodu B na ose deformace se podle našich měření nachází u většiny národů od 48 – 52 % a u Čechů okolo 40 %. Tento rozdíl bude patrně ovlivněn různými podmínkami měření a to zejména snad vlhkostí vlasu u Dawber, Messenger, kteří jí však nezmiňují.

V první části je síla aplikovaná na celou strukturu, napínání vyžaduje současnou deformaci jak mikrofibril tak i samotné matrix, protože jsou považovány za souběžné (Danilatos, Feughelman, 1979). Protážení bez porušení vazeb je realizované během přechodu mezi Hookovskou oblastí a mezi kluzu, kdy opožděný mechanismus pružnosti může být vysvětlen rozptylem tlaku. Toto narušuje bariéru volné energie molekulárních částí v matrix (Pichon, 1989).

3.3.5 Měření relaxace

Relaxace je technika, při které se vlákno protáhne na danou délku a v této délce se udržuje, zatímco napětí se rozkládá v průběhu času (Robbins, 2002). Robinson, Rigby (1985) zkoumali vlnu i lidské vlasové vlákno relaxačním napětím a našli rozdíly ve směru osy vláken, které připisují klesající úrovni volného merkaptanu dále od kořene. Tento efekt umožňuje slabší a tím pomalejší merkaptan-disulfidovou výměnu a tedy tím i pomalejší rychlost relaxace jak se zvyšuje vzdálenost od pokožky hlavy.

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Metodika samotného experimentu

V této kapitole nejprve zevrubně popíšeme, co a jak jsme měřili, a v její další části uvedeme, jak jsme data vyhodnocovali početně i statisticky. Po kapitole popisující, jak a proč byly odebírány vzorky vlasů pro měření a jaká doprovodná data o gravidních ženách byla sbírána, následuje nejprve kapitola o měření průměru vlasů, kde je podrobně popsáno, jak a kolikrát byl každý vlas měřen. Jsou zde popsány i měřicí přístroje použité pro měření průměru vlasů. Následuje popis deformačního zařízení určeného pro trhací zkoušky vlasů a pro měření jejich relaxace. Jelikož jsme nemalé úsilí věnovali i vývoji metodiky pro měření vlastnosti vlasů za pomoci torzních volných tlumených kmitů, popisujeme zde i aparaturu, kterou jsme za tímto účelem vyvinuli.

Další série pokusů se týkala stanovení Poissonova poměru. K ověření myšlenky, že jej lze stanovit pro jednu upnutý vzorek měřením prověšením a torzními kmity, jsme rovněž vyvinuli měřicí přípravek. I jeho popis je součástí této kapitoly, stejně jako ukázka výpočtu na reálně naměřených datech. Tato ukázka je zde umístěna proto, že na rozdíl od měření relaxačních a trhacích pokusů se mu již v této práci dále nevěnujeme.

Dále následuje výpočetní postup vyhodnocení trhacích a relaxačních dat. Po této kapitole následují již jen dvě doplňkové měřicí metody, a to jedna popisující měření průměrů vlasů v různých směrech, a druhá in vivo měření teplot a vlhkostí vlasů na hlavách žen běžně se vyskytujících za běžných situací v době jejich růstu.

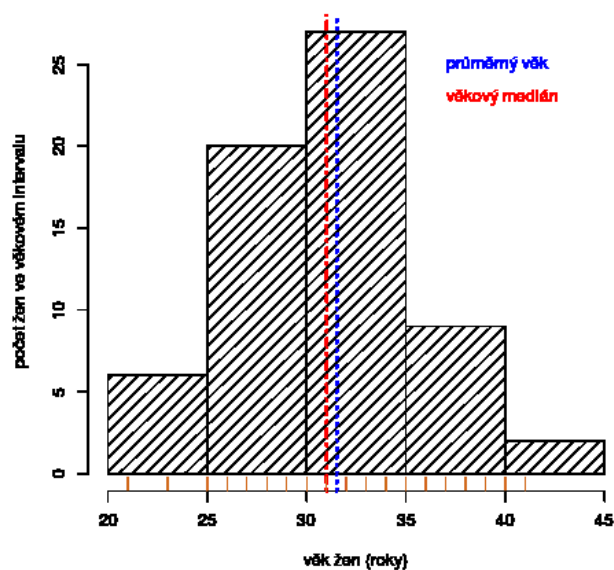
Kapitola je zakončena popisem statistického vyhodnocení dat z trhacích a relaxačních experimentů, které je použito v následující kapitole 5 Výsledky.

4.1.1 Výběr a testovaný soubor osob

Z důvodu zaměření této práce na vlasy těhotných žen jsme oslovili několik soukromých gynekologických ordinací a klinik. Výsledkem byla jediná kladná odezva, a to ze soukromé gynekologické ordinace doc. MUDr. Vojena Güttnera CSc. On sám i jeho zdravotní sestra, paní Milena Svobodová, s námi po celou dobu konání experimentu neúnavně spolupracovali.

Takto jsme získali soubor 64 těhotných žen, od kterých jsme mohli měřit mechanické vlastnosti vlasů po celou dobu jejich těhotenství.

Námi zkoumaná skupina těhotných žen měla různý věkový rozsah, kdy nejmladší žena měla 21 let a nejstarší 41. Věkové rozložení celé skupiny 64 žen můžeme názorně vidět v následujícím grafu 1.



Graf 1: Celkové rozložení věku žen v měřeném souboru.

Pro detailnější pohled na věkové složení skupiny sledovaných žen, byla tato skupina rozdělena dle pořadí probíhajícího těhotenství (tab. 4). Z této tabulky je tedy patrné, že nejvíce žen obsahovala skupina žen poprvé těhotných a v této skupině byl zahrnut nejnižší i nejvyšší věk, tedy 21 a 41 let.

Pořadí vybraného těhotenství	Počet žen ve skupině	Nejmladší žena (roky)	I. kvartil (roky)	Věkový medián (roky)	Průměrný věk (roky)	III. kvartil (roky)	Nejstarší žena (roky)
1. – 3.	64	21	29	31	31,5	34	41
1.	32	21	26	29,5	29,8	31,3	41
2.	19	26	30	32	32,5	34	39
3.	13	30	32	34	34,3	35	40

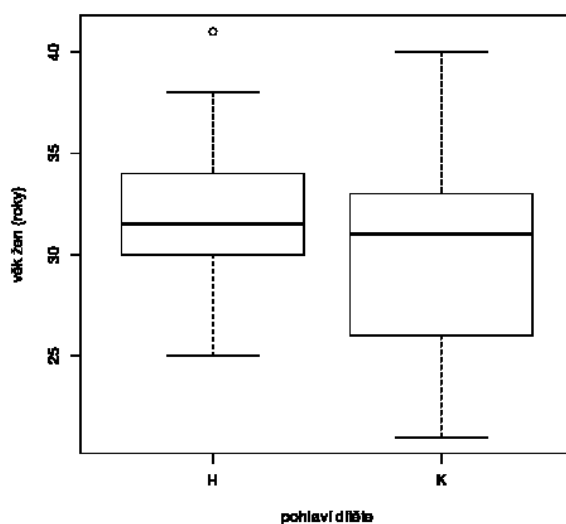
Tabulka 4: Základní popisné statistiky věku pro jednotlivá pořadí těhotenství. Všimněme si, že průměrný věk je ve všech skupinách větší než medián.

Dále byl celý sledovaný soubor těhotných žen rozdělen dle věku a současně i dle pohlaví očekávaného dítěte (tab. 5). Jak je z tabulky patrné, obě skupiny žen zahrnovaly stejný počet. Z této popisné charakteristiky sledovaného souboru žen jsou vyloučeny ženy, u kterých se nám nepodařilo zjistit pohlaví dítěte, ať již pomocí dotazníku či zpětné komunikace.

Pohlaví dítěte	Počet žen ve skupině	Nejmladší žena (roky)	Špičatost	Šikmost	Věkový medián (roky)	Průměrný věk (roky)	Mad (roky)	Nejstarší žena (roky)
holka	26	25	-0,39	0,26	31,5	32	3,71	41
kluk	26	21	-0,78	0,06	31	30,5	5,93	40

Tabulka 5: Základní popisné statistiky věku pro pohlaví očekávaného dítěte. *Mad* – medián absolutní odchylky (od mediánu). Jak vidíme špičatost je v obou případech záporná a distribuce je tedy plošší s významnějšími chvosty než by odpovídalo normálnímu rozdělení, je tedy platykurtické. Obě dvě skupiny vykazují kladnou šikmost distribuce rozložení svých hodnot a jsou tedy mírně levostranná, mírně tak nadřezují mladším ženám.

Pro lepší přehlednost je závislost věku ženy na pohlaví dítěte vynesena do diagramu (graf 2). I při stejném počtu žen v obou skupinách, má skupina žen očekávající chlapce větší věkové rozpětí ačkoli mediány se liší jen minimálně.



Graf 2: Diagram vyobrazení věku žen v závislosti na pohlaví očekávaného dítěte. Jak vidíme, medián věku se v důsledku pohlaví očekávaného dítěte rozlišuje u obou skupin obsahující stejný počet žen jen minimálně. *H* – holka; *K* – kluk.

4.1.2 Odběr vzorků vlasů

Vlasy byly všem těhotným ženám zapojeným do naší studie odebírány vždy každý měsíc těhotenství, a to od prvního trimestru až do konce šestinedělí. Potřebné vzorky byly získány ustřížením ostrými nůžkami těsně u pokožky hlavy v oblasti týlu. Všechny vzorky musely být ustříženy, neboť již při vytržení dochází k namáhání vlasů tahem, čímž se porušují vnitřní chemické vazby a struktura vlasového stvolu, a mohlo by tak docházet ke zkreslení při samotném měření takto získaných vlasů.

Nutno dodat, že i když jsme se snažili odebírat vlasy každý měsíc těhotenství, ne u všech žen se nám toto podařilo dodržet, a to z různých důvodů, např. stěhování, odhalení rizikového těhotenství a tedy předání dané ženy do péče nemocničních lékařů, neukázněnosti maminek.

Jednak z tohoto důvodu ale i z důvodu nezodpovězení všech otázek v dotazníku či v následné komunikaci se mohou lišit počty žen při zpracovávání získaných dat (jak již uvádíme v Kapitole 4.1.1).

Oblast týlu jsme si zvolili záměrně, z důvodu estetiky pro častý odběr vzorků vlasů. I když Stalder, Kirschbaum (2012) uvádějí, že standartní pozice pro odběr vlasů je v oblasti *posterior vertex* (oblast temene), a to z toho důvodu, že tato oblast má rovnoměrné tempo růstu vlasů, nejnižší interindividuální variabilitu a nejnižší podíl vlasů v klidové (telogenní) fázi růstu. Naopak u námi zvoleného odběrového místa jiná literatura (Robbins, 2002) uvádí, že týlní a spánkové oblasti obsahují málo nebo žádné receptory dihydrotestosteronu a vlasy v těchto oblastech zůstávají po celý život jedince a jsou relativně imunní vůči hormonálním vlivům. Také se z této oblasti využívají vlasové folikuly pro autotransplantaci vlasů. Všechny odebrané vzorky byly umístěny do igelitových sáčků se zipem, které byly označeny jménem (číslem) probandky a měsícem daného odběru, aby nedošlo k vzájemné záměně. Současně při prvním odběru každá žena vyplnila krátký dotazník se základními údaji jak o sobě, tak o daném těhotenství a také informovaný souhlas pro sběr vzorků vlasů.

4.1.3 Dotazníkový sběr dat

Dotazník obsahoval dvě části, a to jednu zaměřenou na těhotnou ženu, kde jsme zjišťovali věk ženy, to zda si barví vlasy a kouří, urbanizaci v místě bydliště a další. Ve druhé části byly otázky směřované na samotné těhotenství, a to pořadí těhotenství, četnost těhotenství, pohlaví očekávaného dítěte. Celý dotazník je součástí této práce jako Příloha 8.4.

Pomocí těchto odpovědí jsme pak mohli detailněji zkoumat případný vliv těhotenství na výsledky měření. Dotazník byl zaměřen na zjištění faktorů, o kterých jsme na základě studia literatury předpokládali, že mohou mít vliv na mechanické parametry vlasů. Všechny dotazníky byly uschovány a k nim postupně doplňovány sáčky se vzorky vlasů. Vše bylo uchováno v laboratoři při pokojové teplotě a relativní vlhkosti cca 40 %.

4.1.4 Statistické zpracování dat

Co se týče statistického zpracování dat, byla nejprve věnována pozornost popisným statistikám, zvláště pak distribuci jejich hodnot, které krom jiného poskytly indicie pro rozhodnutí, které mnohorozměrné statistické testy budou při dalším zpracování dat použity. Z tohoto důvodu byla normalita dat testována hned několika prostředky. Dalším krokem bylo zjištění korelací mezi jednotlivými veličinami za pomoci vhodných korelačních koeficientů, jejichž výběr byl také ovlivněn předcházejícím krokem, tedy výsledky z popisných statistik a testů rozložení jednotlivých korelovaných veličin. Došlo i na ověření výsledků redundanční analýzou (RDA). Naopak výsledky tohoto kroku, tedy korelační analýzy, byly opět krom jiného využity pro sestavení co možná nezávislé báze při výběru veličin shlukové analýzy, která měla za cíl rozdělit ženy do několika skupin podle podobností jak hodnot samotných

mechanických charakteristik a materiálových parametrů vlasů, tak podle lineárního trendu změn těchto charakteristik a materiálových parametrů v závislosti na čase v průběhu těhotenství. Také tyto trendy byly, podobně jako samotné hodnoty veličin, statisticky zkoumány co do normality a byly pro ně určeny popisné statistiky, potřebné krom jiného v následujících porovnáních hodnot trendů v jednotlivých skupinách žen. Dále byly ženy rozděleny několikerým tříděním do několika skupin podle různých dotazníkových parametrů, například podle pohlaví očekávaného dítěte, podle toho, zda respondentka kouří, a podobně. Pro každou z takto vzniklých skupin byly opět určeny popisné statistiky, testována normalita. Také byla testována homoskedasticita v rámci daného třídění. V závislosti na těchto výsledcích těchto skupin a výsledcích nerozdělené populace byly prováděny testy rozdílnosti mezi těmito skupinami. Závěry těchto analýz byly rovněž ověřeny metodou analýzy hlavních komponent (PCA). Přesný popis všech těchto metod laskavý čtenář nalezne až na místě jejich konkrétního využití v dalších kapitolách.

4.1.5 Měření průměrů vlasů

Přesto, že měření průměru je u vlasu nejčastěji prováděným měřením, je s ním spojeno mnoho problémů. V Kapitole 4.1.6 o torzních měřeních jsme narazili na problém velké variability této veličiny, u které směrodatná odchylka činí nezdědk 40 % průměrné hodnoty. Tato vlastnost, navíc při použití ve vztahu pro torzi se členem obsahujícím $1/D^4$, znamená směrodatnou odchylku výsledného smykového modulu G prakticky vždy větší než 100 % průměru, což velmi omezuje hodnověrnost výsledků. Přesto, jak bylo dříve ukázáno, je možné určité omezené závěry činit, při využití jak výpočetních, tak experimentálních postupů (středováním právě hodnot $1/D^4$, a určením Poissonova poměru z měření tahového i torsního modulu na identickém vzorku, jak o tom mluví kapitola o měření na E-vahadle; viz Kapitola 4.1.7).

Zásadním problémem při měření na vlasech evropských žen však není jejich skutečná variabilita v délce vzorku, ale jejich průřezový tvar. Ten je přibližně eliptický s poměrem délek poloos kolem 1,62. Stejně jako většina jiných autorů určujeme průměr vlasu z mikroskopického snímku, ovšem pořízeného při neznámé projekci nakloněné elipsy. Určitou výhodou proti ostatním publikacím sice máme v tom, že naše měření průměru byla patnáctkrát opakována v celé délce měřeného profilu (viz níže v této kapitole), a tak odhad střední hodnoty je jistě relevantnější, než při měření jediném, ke kterému se většina autorů uchyluje, přesto však ani ono nevystihuje podstatu problému, v důsledku čehož je například směrodatná odchylka stále velká. Určitým pozitivem nám může být fakt, že za předpokladu podobné excentricity profilových elips vlasů měřených žen je u nich vzájemné porovnání stejně získaných středních hodnot vlastně prováděno s mnohem větší přesností, než by rozptyl těchto hodnot napovídal. Zařízení, které by snímalo vlas v celé délce z několika úhlů současně, však zatím není k dispozici, i přesto, že jeho přínos by byl v této oblasti výzkumu průlomový. Vlastním měřením elipticity vlasů se zabývá naše práce Skřontová et al. (2016 b) a shrnutí výpočtu poskytuje Kapitola 4.5.

Faktem také zůstává, že stejný postup, tedy středování vyšších mocnin reciprokých hodnot, který jsme použili při měření torze (viz Kapitola 4.1.6), by mohl a měl být využit pro počítání průřezů při výpočtech téměř všech materiálových parametrů. Při takovém výpočtu bychom vycházeli vlastně z představy, že tenčí podélné úseky měřeného vlasu se deformují snáze než úseky tlustší, a je proto třeba je započítat s větší vahou. Proti tomuto postupu hovoří dvě skutečnosti. Jednak se tohoto postupu při měření vlasů příliš neuzívá, a jednak, a to především, jak vysvětleno výše, zjištěná délková variabilita průměru je primárně zapříčiněna jinou projekcí profilové elipsy, nikoli skutečnou změnou průřezu vlasu v jeho délce. Tento fakt potvrzují i výsledky pokusů z trojprojekčního snímání zmíněného v Kapitole 4.5.

Z těchto důvodů jsme se v této práci přiklonili při určování průměrů vlasů pro výpočet materiálových vlastností ke klasickému řešení, tedy několikanásobnému měření průměrů v náhodném směru. Pro každý vlas byl na začátku měření zjištěn průměr. Ten jsme zjišťovali pomocí mikroskopu s digitální kamerou (obr. 19) připojenou k počítači, kde díky speciálnímu programu TSVIEW mohl být vlas při zvětšení 40x vyfotografován.

Průměr byl měřen v prvních 3 cm vlasu v 15 opakováních, a to v jeho horní části, tj. té, která byla nejbližší pokožky hlavy při jeho odběru. Tyto hodnoty byly měřeny v pixelech; abychom je mohli převést na mikrometry, museli jsme využít kalibračního sklíčka (obr. 20) změřeného stejným způsobem jako samotný vlas. Daný přepočít jsme pak byli schopni použít k tomu, abychom si přímo v daném programu TSVIEW nastavili měřítko a mohli tak přímo měřit v mikrometrech z pořizovaných fotografií a urychlili průběh celého měření průměrů vlasů. Z naměřených 15 hodnot se poté vypočetla průměrná hodnota udávající průměr daného vlasu. Bohužel tato tabulka, která by ukazovala všechny hodnoty průměrů vlasů, není součástí této práce, kdy pro svou rozsáhlost není tisknutelná, proto zde vidíme pouze její ukázkou (tab. 6).

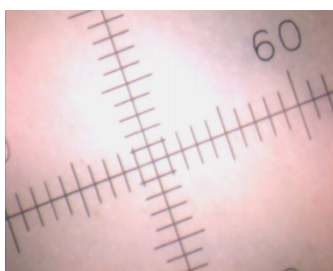
č. vz.	1 ODBĚR								...	8 ODBĚR	
	1		2		3		R		...	R	
	průměr	sm.od.	průměr	sm.od.	průměr	sm.od.	průměr	sm.od.	...	průměr	sm.od.
1	89,45	2,70	89,68	4,89	74,08	1,78	71,94	2,15	...	102,09	3,38
2	90,63	1,43	73,53	4,30	76,51	2,73	72,72	1,74	...	85,82	7,29
3	64,10	5,15	58,06	2,65	69,83	4,05	78,23	1,77	...	89,24	2,99
4	100,82	5,70	93,19	9,25	100,77	6,91	113,71	3,63	...	100,68	10,04
5	60,59	1,44	59,67	1,62	70,44	6,30	70,23	1,48	...	NA	NA
...
64	61,90	2,50	86,64	3,59	76,68	3,79	69,50	2,42	...	NA	NA

Tabulka 6: Ukázkou souhrnné tabulky pro všechny naměřené průměry vlasů v mikrometrech. Kde č. vz. – číslo vzorku, tedy pořadí gravidní ženy; odběr – pořadí odběru, tedy měsíce těhotenství; průměr – průměr vlasu; sm. od. – směrodatná odchylka od průměru; 1, 2, 3 – pořadí vlasů, které byly podrobeny trhacímu experimentu; R – vlas, který byl podroben relaxační zkoušce; NA (not available) – chybějící vzorek.

Pro možnost měření průřezů vlasů byl sestaven držák pro výrobu orientovaného kompozitu vláken, pro který byl podán a přijat užitečný vzor u Úřadu průmyslového vlastnictví (Příloha 8.2).



Obrázek 19: Optický mikroskop připojený pomocí USB kamery k počítači.



Obrázek 20: Kalibrační sklíčko.

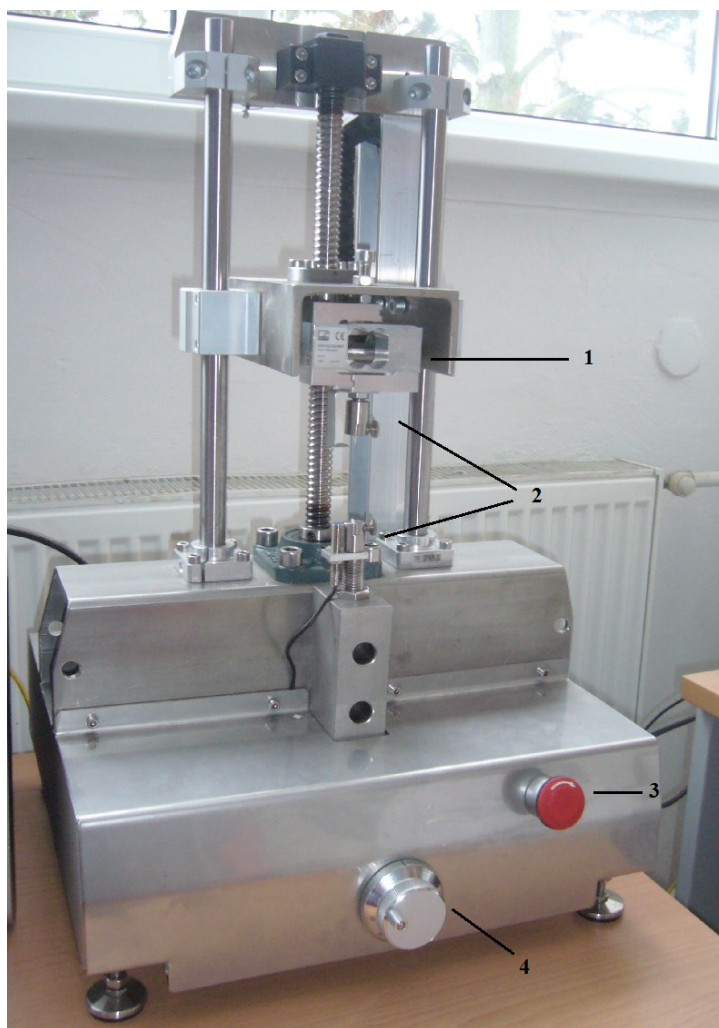
4.1.6 Měření vzorků vlasů pomocí deformační zkoušky tahem

Deformační zkouška tahem patří mezi základní experimentální metody, které zkoumají mechanické vlastnosti látek. Naše měření probíhala na deformačním zařízení Deform typ 2 (obr. 21), který nám laskavě zapůjčila soukromá firma. Toto zařízení je velice vhodné pro měření malých a pomalých změn biologických materiálů. S rozsahem tenzometru do 20 N, dále je vybavena speciálními čelistmi (obr. 22) pro fixaci a měření vláken. Tento deformační stroj také umožňuje provádět jak určení klasické trhací křivky, tak měření relaxace, případně i cyklické zátěže vzorku. Zdvih čelisti trhačky je maximálně 215 mm, z tohoto důvodu jsme používali vzorky o délce do 5 cm. Trhačka je ovládána přes síť ethernet multiplatformním klientským programem Trhey! (obr. 23). Citlivost trhačky je 1 mN. Toto deformační zařízení lze snadno přemístit díky relativně malé hmotnosti 38 kg.

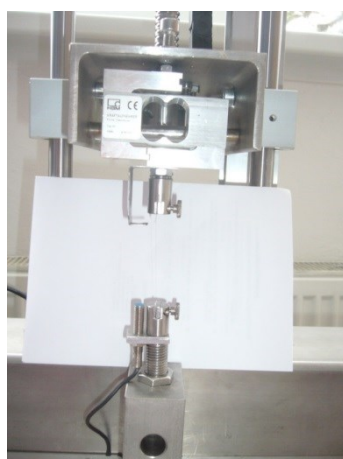
Každý vzorek vlasu, u kterého byl naměřen průměr, byl vložen do čelistí trhačky, přičemž samotné vložení a upnutí do čelisti jsme prováděli pomocí kousku kancelářského papíru o velikosti 0,5 x 0,5 cm. Tento papírek zabraňoval vysmeknutí konce vlasu z čelisti a také jeho uštípnutí na jejich hraně.

Vždy před samotným vložením vzorku a následným spuštěním trhacího či relaxačního experimentu byly čelisti trhačky nastaveny do výchozí pozice o velikosti 1 cm. Takto jsme zabezpečili stejnou počáteční délku pro všechny měřené vzorky vlasů. Pro trhací experiment byla trhačka pomocí ovládacího programu Trhey! nastavena na konstantní rychlost 2 mm/min, kterou byl vlas napínán až do přetržení. U relaxačního experimentu byla tato rychlost stejná, tedy také 2 mm/min, do síly 0,25 N pro vlasy o průměru větším než 60 μm . Vlasy s nižším průměrem byly napínány pouze do síly 0,18 N. Poté, co se vlas napnul, nastala relaxace s časem o délce 300 s, po jehož uplynutí se celý napínací proces opakoval s tím, že druhá relaxace trvala pouze 10 s. S takto nastavenými relaxačními cykly jsme nadále schopni z pořízených dat určit dva relaxační časy.

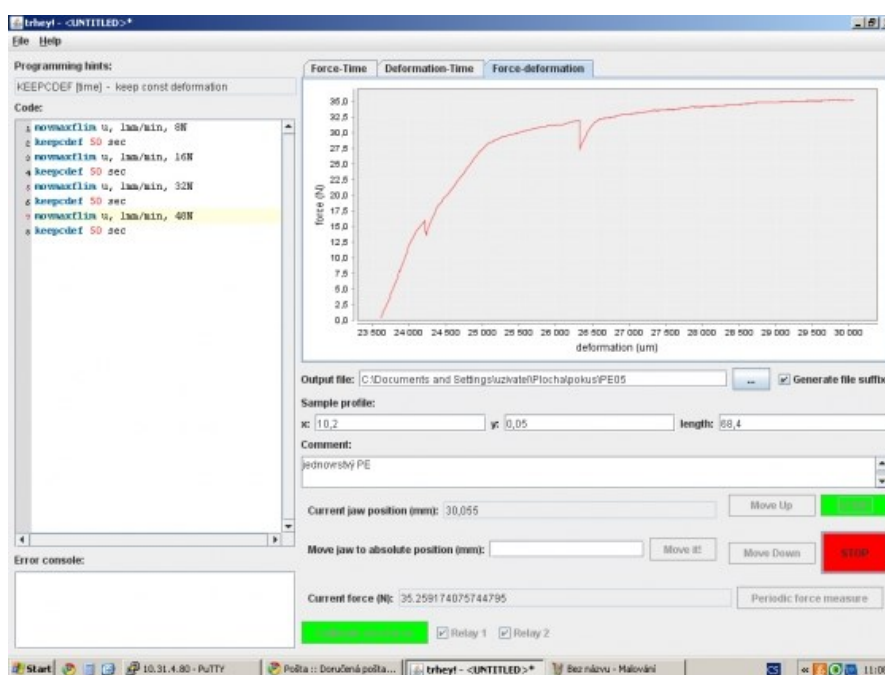
Pro trhací experiment byly měřeny vždy tři vlasy a pro relaxaci vlas jeden. A to z každého odběru, který odpovídal danému měsíci těhotenství pro každou probandku, tedy celkem 1755 vlasů pro tyto dva typy měření.



Obrázek 21: Trhací přístroj Deform typ 2. Kde 1 – tenzometr; 2 – čelisti pro uchycení daného vzorku; 3 – tlačítko zabezpečující okamžité vypnutí stroje v případě nebezpečí; 4 – manipulační kolečko, s jehož pomocí lze pohybovat horní částí čelistí.

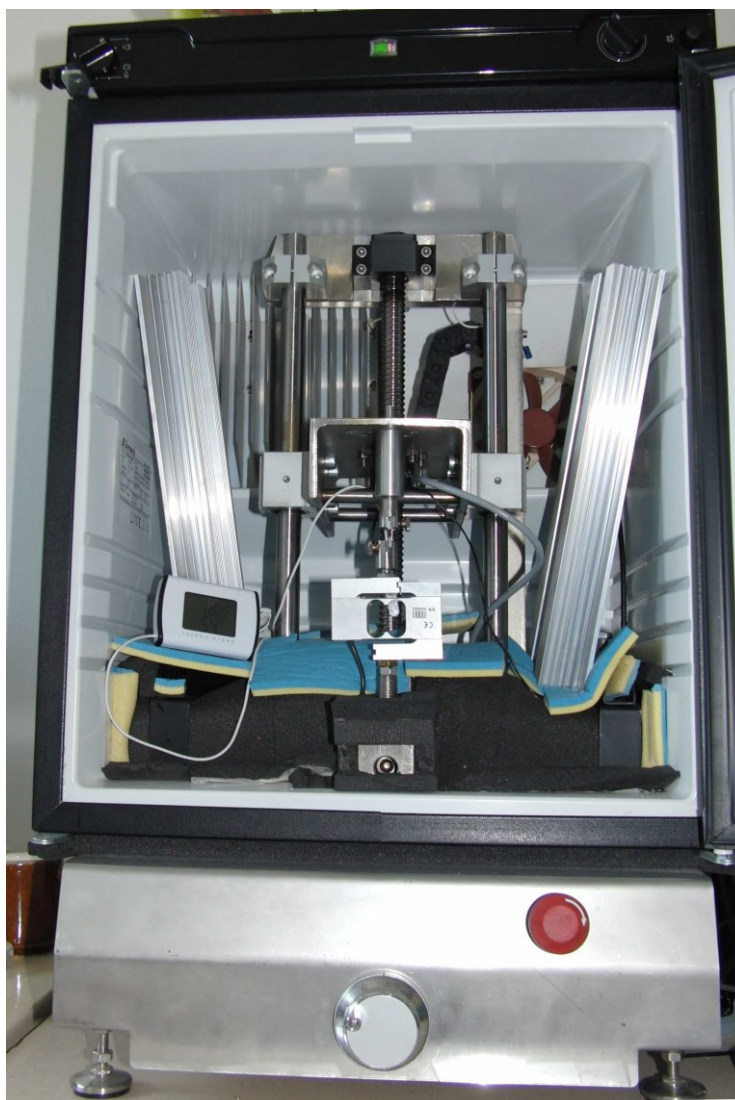


Obrázek 22: Detail čelisti s upnutým vzorkem vlasu. Čelisti jsou vhodné pro uchycení vláken. K těmto čelistem byl podán a také přijat uživatelský vzor CZ 25501 U1 u Úřadu průmyslového vlastnictví (Příloha 8.1).



Obrázek 23: Ukázka ovládacího programu Trhey! k deformačnímu zařízení (www.trhacka.cz). V levé části je okno pro zadání příslušného příkazu, v pravé části se zobrazuje průběh měření formou křivky, díky čemuž lze celé měření opticky kontrolovat a v případě potřeby tedy i zastavit.

K usnadnění udržování konstantní teploty a relativní vlhkosti v nejbližším okolí vzorku byl s pomocí grantu GAUK 884214 sestrojen termobox (obr. 24).



Obrázek 24: Deformační zařízení Deform typ 2 umístěné v termoboxu. Po stranách trhačky jsou přidána aluminiová tělesa, která pomáhala s rychlejším vychlazením celého prostoru a následným udržováním požadované teploty. Spodní část trhačky byla odizolována pěnovou hmotou pro snížení přenosu tepla do prostoru boxu.

4.1.6 Měření vzorků vlasů pomocí torzní deformační zkoušky

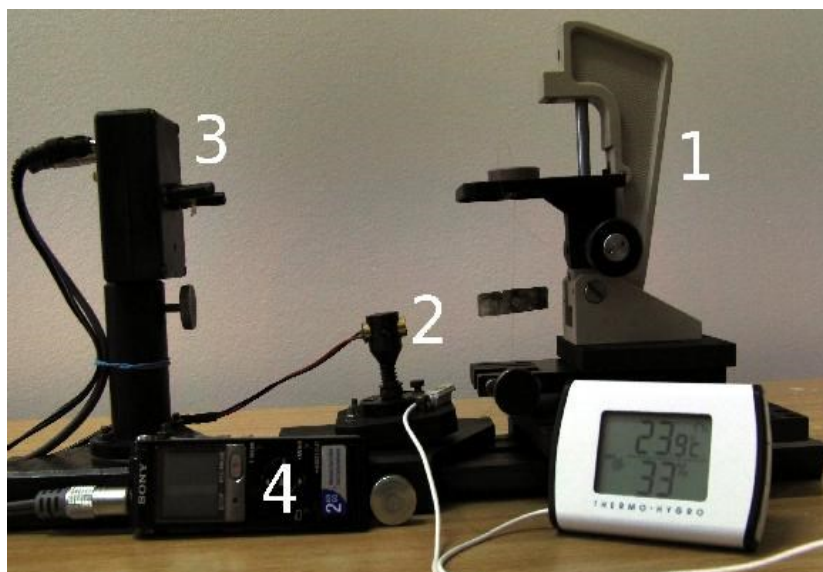
Pro naše torzní měření jsme zvolili dynamickou metodu. Modul smyku určujeme z doby torzních kmitů systému známého momentu setrvačnosti, který je zavěšen na vlákně ze zkoumaného materiálu. Toto zařízení se nazývá torzní kyvadlo a je velmi vhodné pro reologická měření, protože z útlumu kmitů lze snadno stanovit ztráty elastické energie. Torzní kyvadlo se užívá především pro stanovení viskoelastických vlastností zkoumaných látek. Torzně namáhaná vlákna se užívají v řadě citlivých měřicích přístrojů, např. galvanometry, torzní váhy (Havránek, 2007). S touto částí pokusu nám významně a neúnavně pomáhal doc. RNDr. Antonín Havránek CSc., který se účastnil jak prvotních měření, tak i následného zpracování pořízených dat (obr. 25).



Obrázek 25: Zkušební měření na torzní aparatuře a konzultace s doc. RNDr. Antonínem Havránkem CSc.

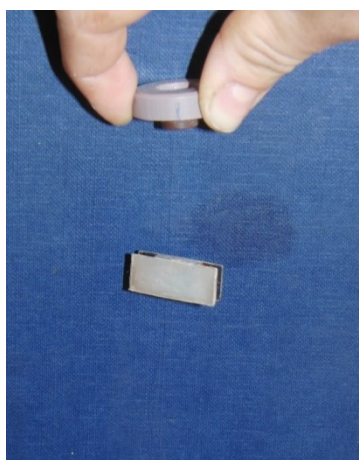
Před začátkem celého měření měl každý vzorek vlasu změřen průměr, a to stejným způsobem jako před měřením v deformačním zařízení. K měření metodou torzního kyvadla jsme s pomocí Ing. Milana Květoně Ph.D. zhotovili vlastní měřicí aparaturu (obr. 26). Tato aparatura pro měření modulu pružnosti v krutu je vedena na FTVS evidenčním formulářem s číslem projektu KAB/2013/FV3 (Příloha 8.3).

Tato měření byla limitována délkou vlasu, která musela být cca 8 cm, a to z toho důvodu, že stojan pro uchycení vlasu byl konstruován pouze pro takto dlouhé a delší vlasy. Další omezující faktor byla velikost průměru daného vlasu, kdy jsme pomocí pilotních měření zjistili, že vlasy s průměrem nižším než 60 μm nejsme v našich podmínkách a s naším měřicím zařízením schopni naměřit. To proto, že vlasy tenčí než 60 μm nejsou schopny udržet zrcátko a pod jeho vahou se deformují, případně zrcátko s jejich středem sklouzává, čímž samotný vlas protahuje. Proto mělo celé toto měření i pro svou časovou náročnost spíše zkušební a doplňkový charakter.



Obrázek 26: Námí sestavený přístroj pro měření torzních kmitů na vzorcích vlasů (foto: autorka). Kde 1 – stojan pro upevnění vlasu na kterém je zavěšeno zrcátko pro odraz laserového paprsku; 2 – laser; 3 – fototranzistor s dvěma závorkami pro zachytávání odraženého paprsku laseru; 4 – zaznamenávací medium, případně lze přístroj zapojit přímo do počítače pomocí portu na připojení mikrofonu.

Celé měření začínalo tím, že příslušný vlas musel být provlečen očkem zrcátka (obr. 27) a to tak, aby zrcátko bylo umístěno v přibližném středu vlasu. Nato byl vlas se zrcátkem upevněn do stojanu a takto umístěn do měřicí aparatury. Poté nastala nejobtížnější a časově nejnáročnější část celého měření, tedy vyvážení a ustálení vlasu tak, aby laser mířil do středu zrcátka. Po ustálení vlasu mohlo začít samotné měření a to tím, že zrcátko bylo vychýleno o 90° , čímž došlo k jeho rozkmitání. Takto zrcátko vytvářelo odrazovou stopu laseru, která byla snímána fototranzistorem a jako zvuková stopa zaznamenána buď do diktafonu, nebo přímo do počítače jako audio záznam.



Obrázek 27: Torzní zrcátko s provlečeným vlasem, který je dále uchycen v držáku, s jehož pomocí se vlas upevňuje do stojanu v aparatuře.

Pro každý vlas byla naměřena 3 měření s tím, že před každým začátkem nového měření byl vždy vlas znovu vyvážen do nulové pozice, tedy do pozice kdy laser ukazuje na střed zrcátka. Všechna měření probíhala pro usnadnění zachycení odrazové stopy laseru v zatemněné místnosti. Také jsme se museli vyvarovat nežádoucích otřesů, které by mohly zkreslovat výsledky měření. Pro zabránění nežádoucímu byť nepatrnému pohybu vzduchu byla vždy po rozkmitání zrcátka celá aparatura zakryta boxem s okénkem pro optickou kontrolu celého měření.

4.1.7 Stanovení Poissonova poměru

Absolutní hodnota relativního zúžení k relativnímu prodloužení vzorku namáhaného tahem je další charakteristickou elastickou konstantou. Tato konstanta se nazývá Poissonův poměr nebo též Poissonovo číslo (Havránek, 2003). Stanovením Poissonova poměru pro vlas se zabýváme v této kapitole.

Přesto, že se běžně biologické tkáně berou jako nestlačitelné, tedy s Poissonovým poměrem $\frac{1}{2}$, je otázkou, do jaké míry je toto splněno. I my jsme se sice této konvence při výpočtu pravého napětí a odvozených veličin při tahových zkouškách (Kapitola 4.2) přidrželi, neboť při relativním porovnávání jednotlivých skupin žen, na které je tato práce primárně zaměřena, nehraje jeho hodnota významnou úlohu. Jsme si však vědomi přibližnosti tohoto odhadu, a proto jsme se pokusili tuto materiálovou konstantu určit i sami.

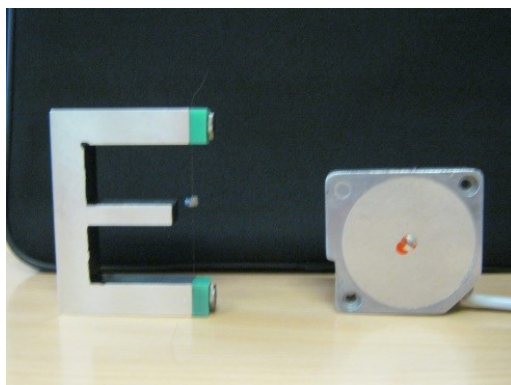
Například nedávná studie Fortiera et al. (2012) rovněž tento údaj zpochybňuje a nahrazuje jej hodnotou 0,4. Studie dále elegantně ukazuje závislost modulu elasticity na rychlosti deformace, která nepřekvapí, vzhledem k viskozitě materiálu, kterou se zabýváme při relaxačních měřeních. Hodnotu dynamického modulu elasticity čistého keratinu uvádí kolem 13 GPa, ovšem pro rychlost 600 $\mu\text{m/s}$, což je rychlost zhruba 18x větší než naše (33 $\mu\text{m/s}$). Pro nemedulované (obr. 14) tenké vlasy se však údaje podobají, jak uvidíme v histogramech Kapitoly 5.1. Dosud jsme se však nesetkali s interpretací deformační zkoušky vlasu jinou než čistě elastickou.

V návaznosti na předcházející experimenty s torzními měřeními jsme se rozhodli pokusit se určit Poissonův poměr z poměru mezi moduly elasticit v tahu a krutu. Aby však nebyl výsledek zatížen dvojitou chybou v nepřesnosti měření proměnlivého průměru vlasu, a to ve druhé a čtvrté mocnině, rozhodli jsme se vytvořit pomůcku, ve které je možné při jednom upnutí vzorku určit oba moduly elasticity.

Hlavním účelem této úlohy je získat hodnoty materiálových parametrů metodou tlumených kmitů. Jsou porovnávány hodnoty modulu elasticity pružnosti ve smyku a viskozita daného materiálu, vlasu. Pro měření jsou použity lidské vlasy o délce 85 mm a o různém průměru, který byl určen vždy pro konkrétní vlas.

Na snímku (obr. 28) je vidět torzní E-vahadlo. Záznam kmitů je uložen na diktafon a poté pomocí programu Audacity vyhodnocen a získané hodnoty časů přeběhu odrazu laserového

paprsku jsou zpracovány pomocí vzorců. Pro výpočet modulu elasticity ve smyku $\mu_{cylinder}$ byla použita rovnice 1 a pro výpočet viskozity μ rovnice 2. Obě rovnice byly použity při dvojnásobném přidání momentu setrvačnosti. Graf 3 znázorňuje torzní kmity při přidání momentu setrvačnosti $I_G = 1,17 \cdot 10^{-9} \text{ kg m}^2$ (rovnice 3). Kdy $I_G = J = \frac{1}{12} m \cdot (a^2 + b^2) = \frac{1}{12} \cdot 0,27 \cdot 10^{-3} \cdot ((4 \cdot 10^{-3})^2 + (6 \cdot 10^{-3})^2) = 1,17 \cdot 10^{-9} \text{ kg m}^2$, kde m je hmotnost zátěže ($m = 0,270 \text{ g}$), a , b jsou rozměry zátěže ($a = 4 \text{ mm}$; $b = 6 \text{ mm}$).



Obrázek 28: Torzní E-vahadlo.

Rovnice pro výpočet modulu elasticity pružnosti ve smyku (Maršík, 2005):

$$\mu_{cylinder} = \frac{4LI_G}{\pi^2 R^4} \omega_{exp}^2 \quad (\text{Pa}) \quad (1)$$

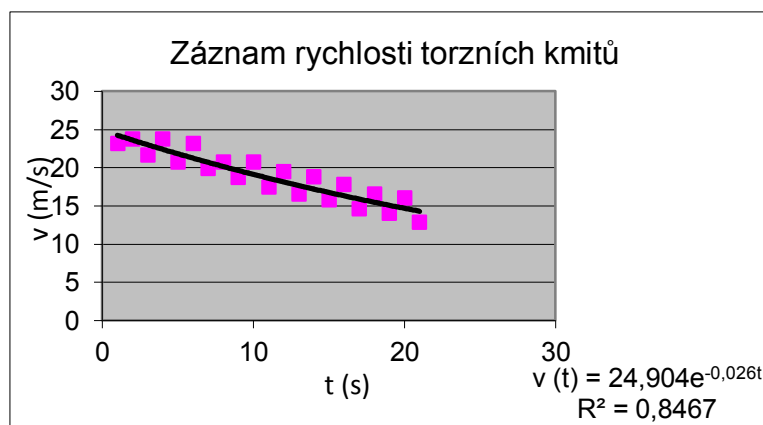
Rovnice pro výpočet viskozity (Maršík, 2005):

$$\mu = \frac{4\sqrt{2}LI_G}{\pi^2 R^2} \beta_{exp} \quad (\text{Pa s}) \quad (2)$$

Rovnice pro výpočet přidání momentu setrvačnosti (Maršík, 2005):

$$I_G = M_G R_{ef}^2 \quad (\text{kg m}^2) \quad (3)$$

Kde $\mu_{cylinder}$ – modul elasticity ve smyku, μ – viskozita, L – délka vlasu, I – moment setrvačnosti, I_G – přidání momentu setrvačnosti, R – poloměr vlasů, D – průměr vlasů ($D = 2R$), R_{ef} – poloměr efektivní, M_G – hmotnost zátěže, β_{exp} – koeficient útlumu tlumeného kmitavého pohybu, ω_{exp} – úhlová frekvence kmitavého pohybu.



Graf 3: Vyhodnocení záznamu rychlosti přechodu světelné stopy světelné závory přes detektor torzních kmitů.

Graf znázorňuje vyhodnocený záznam torzních kmitů pro jeden lidský vlas při přidaném momentu setrvačnosti $I_G = 1,17 \cdot 10^{-9} \text{ kg m}^2$; $L = 85 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$; $R = 0,03538 \text{ mm}$; $\beta_{exp} = 0,026 \text{ s}^{-1}$; $\omega_{exp}^2 = 11,92 \text{ s}^{-1}$.

$$\mu = \frac{4\sqrt{2} \cdot 85 \cdot 10^{-3} \cdot 1,17 \cdot 10^{-9}}{3,14^2 \cdot (35,38 \cdot 10^{-6})^4} \cdot 0,026 = 0,95 \text{ MPa s}$$

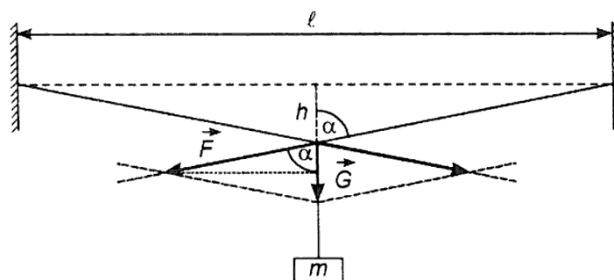
$$\mu_{cylinder} = \frac{4 \cdot 85 \cdot 10^{-3} \cdot 1,17 \cdot 10^{-9}}{3,14^2 \cdot (35,38 \cdot 10^{-6})^4} \cdot 11,92 = 0,31 \text{ GPa}$$

Určení modulu elasticity v tahu pomocí pronesení

Použití stejného vlasu upnutého do přípravku společného jak pro měření modulu elasticity ve smyku, tak i tahu. Modul elasticity v tahu určíme za pomoci pronesení, způsobeného torzním E-vahadlem, když přípravek umístíme do 90° pootočené polohy oproti měření torze (obr. 29). Tento obrázek lze srovnat s následujícím obrázkem (obr. 30), který znázorňuje pronesení pomocí tahu. Pro výpočet modulu elasticity v tahu byla využita soustava rovnic 4.



Obrázek 29: Torzní E-vahadlo pootočené o 90 °.



Obrázek 30: Pronesení pomocí tahu (Sedláček, Roubík, 2007). Kde l – délka vlákna; h – pronesení vlákna; α – úhel vlákna od kolmice ke směru působící tíhy; m – hmotnost; \vec{F} – tahová síla na vlákno; \vec{G} – tíha působícího závaží.

Soustava rovnic (4) pro výpočet modulu elasticity v tahu:

$$E' = \frac{F \cdot l}{\Delta l \cdot S_0} \quad (\text{Pa}) \quad (4)$$

$$F = \frac{G}{2 \sin \alpha} \quad (\text{N})$$

$$\Delta l = l \sqrt{1 + \tan^2 \alpha} - l \quad (\text{mm})$$

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (\mu\text{m}^2)$$

Kde E' – inženýrský modul elasticity v tahu, F – tažná síla za vlákno, l – délka vlákna, Δl – změna délky vlákna, S_0 – počáteční průřez vlákna, G – tíha, α – naměřený úhel, D – průměr vlákna.

Pro účely tohoto odstavce pokládáme $S = S_0$, při trhacích zkouškách předpokládáme objemovou nedeformovatelnost vzorků.

Naměřený úhel α měl hodnotu $\alpha = 1,97^\circ$. Pro tento úhel a hmotnost $m = 0,270$ g, pro poloměr $r = 0,03538$ mm byl s pomocí uvedených rovnic (4) vypočten modul elasticity, který vycházel

$E = \frac{2 \cdot m \cdot g}{(\tan \alpha - \sin \alpha) \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{2 \cdot 0,270 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81373}{(\tan 1,97^\circ - \sin 1,97^\circ) \cdot 0,0738^2 \cdot \pi} = 15,2$ GPa. Výsledky mohou být ovlivněny předepnutím daného vzorku před samotným měřením, v důsledku čehož vychází asi třikrát vyšší.

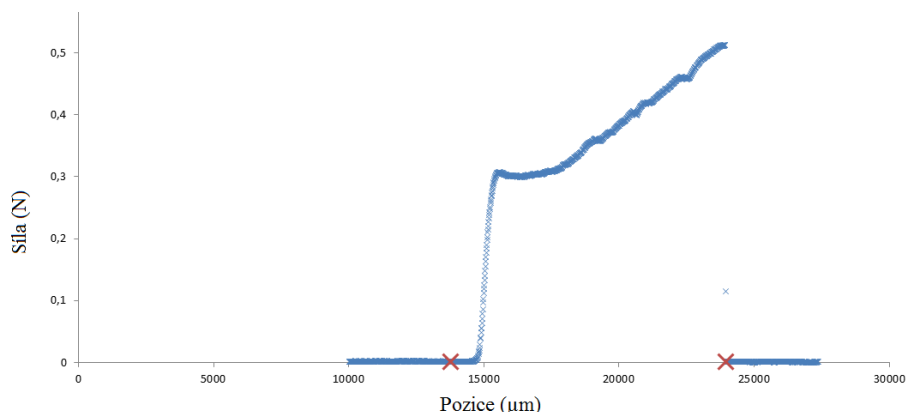
Pokud bychom vlas považovali za izotropní materiál, můžeme psát $\frac{E}{2\mu_{cylinder}} - 1 =$
 $= \text{Poissonovo číslo} = \frac{15,2 \cdot 10^9}{2 \cdot 0,31 \cdot 10^9} - 1 = 23,52$ což nevypadá příliš realisticky a bohužel při opakovaných měřeních bez větších změn vychází totéž. Problém bude nejspíše v nehomogenitě vlasu, kdy maximální tuhost má cortex při povrchu zatímco střed má tuhost zanedbatelnou. Zatímco v tahu se vliv této nehomogenity projeví pouze ve druhé mocnině při torzi pak ve čtvrté. Proto od těchto pokusů upouštíme. Pokud by naopak byl znám Poissonův poměr vlasu z jiného měření např. z přímého měření průřezu při tahové zkoušce, bylo by možné tímto torzním pokusem určovat vnitřní strukturu vlasu.

4.2 Zpracování dat z měření pomocí deformační zkoušky tahem

Pro zpracování tak velkého množství dat z deformačního zařízení jsme s pomocí kolegy Mgr. Václava Bittnera sestavili výpočtový software v programu MS Excel 2010. Výpočtový software je předmětem zápisu u Úřadu průmyslového vlastnictví. Díky softwaru jsme byli schopni zpracovat všechna naměřená data do podoby přehledné tabulky, která obsahovala všechny potřebné i nové námi stanovené mechanické parametry vlasů.

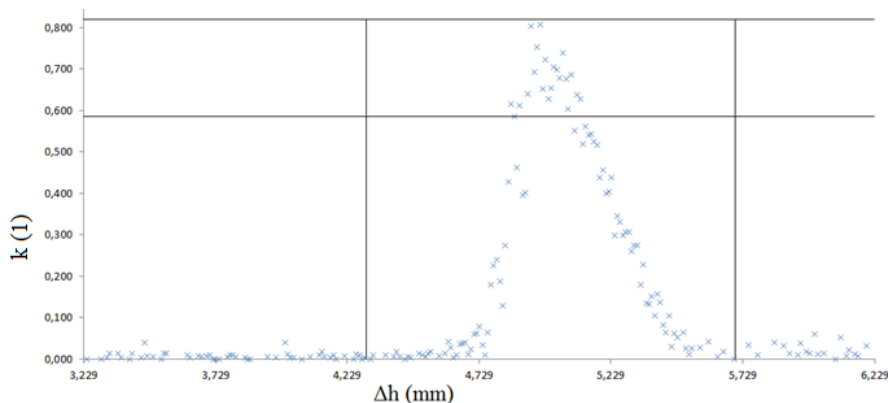
Celý software obsahoval několik listů s potřebnými úkony, které bylo zapotřebí provést pro získání požadovaných údajů. Na prvním listě se vždy doplnil průměr vlasu, u kterého se zjišťovaly ostatní sledované mechanické parametry. Z něho se pak automaticky vypočetl průřez vlasu.

Další list obsahoval prostor pro načtení dat z tahové zkoušky a jejich následnou úpravu. Ta spočívala ve vymezení dvou bodů (obr. 31). První bod vymezoval oblast dat před samotným napínáním daného vzorku. A to proto, že se všechny vzorky upínaly do čelistí trhačky mírně prověšené, aby se předešlo přednapnutí vzorků a tím zkreslení výsledného tvaru deformační křivky. Druhý (koncový) bod byl určen prvním bodem křivky následujícím bezprostředně po přetržení vlasu, a tedy poklesem dané křivky.



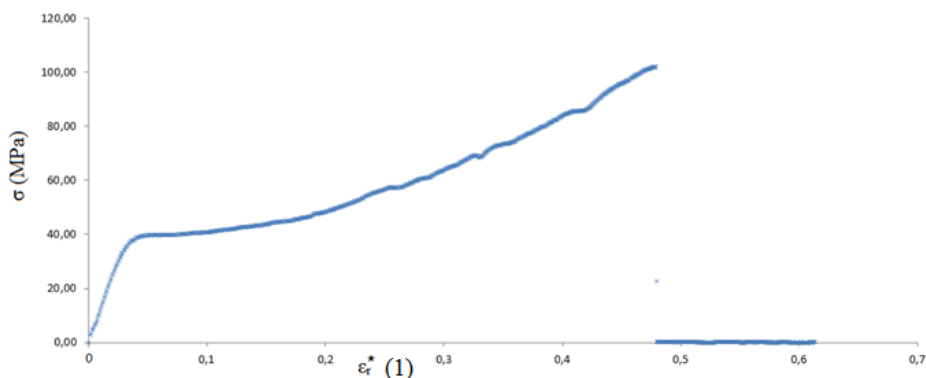
Obrázek 31: Vymezená oblast samotné deformační křivky. Tato oblast je v rozmezí relativní pozice dvou bodů, které jsou označeny křížkem.

V dalším kroku celého výpočtu byla korekce naměřených dat, tedy vymezení oblasti dat z tahové křivky, která určuje lineární oblast (obr. 32). Ta je v následném kroku automaticky proložena přímkou, čímž můžeme provést optickou kontrolu, zda jsme tuto oblast dat vymežili správně, a v případě potřeby ji tak můžeme poopravit.



Obrázek 32: Lineární oblast je vymezena do oblasti peaku, který se v následném kroku automaticky proloží přímkou. V tomto případě data v lineární oblasti křivky jsou v rozmezí 0,59 – 0,82. Kde Δh – posun čelistí; k – směrnice tečny.

V posledním kroku můžeme vidět celou tahovou křivku (obr. 33), od jejího počátku napínání až do přetržení. Zde také již vidíme automaticky vypočtené mechanické charakteristiky daného vzorku. I zde je možná kontrola, s jejíž pomocí můžeme ověřit to, zda automatický výpočet odpovídá bodům v tahové křivce. To bylo nutné provádět zvláště u bodu označujícího skutečné lomové napětí. Do poznámky jsme uváděli označení daného vzorku vlasu, s jehož pomocí se daly pak celkové výsledky rozklíčovat pro jednotlivé probandky.



Obrázek 33: Deformační křivka z výpočtového softwaru. Kde ε_r^* – logaritmičká deformace, $\varepsilon_r^* = \ln \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} \ln(1 + \varepsilon)$, kde ε je poměrná defromace; σ – skutečné napětí.

Poslední list celého softwaru je souhrnná a přehledná tabulka všech vypočtených mechanických charakteristik pro všechny takto vypočtené vzorky vlasů. Tato tabulka byla našim vstupním materiálem pro všechna další zpracování vypočtených dat. Bohužel výsledná tabulka dat ze zpracování všech naměřených deformačních křivek není součástí této práce, a to proto, že pro svou rozsáhlost není tisknutelná, proto zde uvádíme pouze její ukázkou (tab. 7).

č.	D_0	S_0	V_0	l_0	E	E'	$\sigma_{0,05}$	$\sigma_{0,2}$	σ_t	σ_t'	l_{tr}	ε_t	ε_t'	W	W_A	w_e	Pozn.
	(μm)	(μm^2)	($10^6 \mu\text{m}^3$)	(mm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(mm)	(1)	(1)	(mJ)	(MJ/m ³)	(MJ/m ³)	
1	89,45	6284	71,5	11,38	1091	1128	20,5	28,4	98,5	200,1	23,2	1,03	0,71	4,8	67,68	0,19	1_2012.03.13_1
2	89,68	6317	86,1	13,63	1957	2010	37,4	44,0	97,8	153,3	21,4	0,57	0,45	3,3	38,31	0,36	1_2012.03.13_2
3	74,08	4310	55,2	12,82	1943	2010	31,5	48,6	135,2	249,8	23,7	0,85	0,61	4,4	79,71	0,26	1_2012.03.13_3
...
1334	101,51	8093	11,4	14,11	1356	1395	25,7	33,1	84,9	158,6	26,4	0,87	0,63	5,8	50,5	0,24	64_2014.07.02_3

Tabulka 7: Ukázkou výchozí souhrnné tabulky z výpočetního softwaru pro zpracování dat z trhacích experimentů. Kde č. – pořadové číslo vzorku; D_0 – průměr vlasu; S_0 – počáteční průřez vlasu; V_0 – počáteční objem vlasu; l_0 – počáteční délka vlasu; E – inženýrský modul elasticity; E' – skutečný modul elasticity; $\sigma_{0,05}$ – smluvní mez lineariry; $\sigma_{0,2}$ – smluvní mez kluzu; σ_t – lomové napětí; σ_t' – skutečné lomové napětí; l_{tr} – tržná délka vlasu; ε_t – tažnost; ε_t' – skutečná relativní tržná délka; W – celková mechanická práce; W_A – tahová houževnatost; w_e – resilience; Pozn. – poznámka; 1_2012.03.13_1 – označení konkrétního vzorku vlasu (1 je pořadové číslo gravidní ženy, 2012.03.13 je datum dne odběru vzorku vlasů, 1 je číslo konkrétního vlasu).

Veličiny vypočtené tímto softwarem jsou tyto: S_0 (μm^2) – počáteční průřez vlasu; E (MPa) – inženýrský modul elasticity; E' (MPa) – skutečný modul elasticity; $\sigma_{0,05}$ (MPa) – smluvní mez lineariry, jinak řečená smluvní mez elasticity; $\sigma_{0,2}$ (MPa) – smluvní mez kluzu; σ_t (MPa) – lomové napětí; σ_t' (MPa) – skutečné lomové napětí; ε_t (1) – tažnost; ε_t' (1) – skutečná relativní tržná délka; W (mJ) – celková mechanická práce nutná k přetržení materiálu; W_A (MJ/m³) – tahová houževnatost, množství energie nutné k přetržení materiálu vztažené k počátečnímu tažnému objemu; w_e (MJ/m³) – resilience, množství energie v jednotce objemu daného materiálu zatíženého napětím $\sigma_{0,05}$.

Jak vidíme, co se týče meze kluzu, bylo učiněno rozhodnutí použít konvenci, kdy je za tuto mez označována hodnota deformace, při které se tečna deformační křivky od přímky hookovské oblasti odchýlí o 0,2 %. Této konvence bylo použito z výpočetních důvodů na místo obvyklejší konstrukce, kdy je mez kluzu určována z průsečíků přímky aproximující hookovskou oblast a přímky aproximující oblast plastickou.

4.3 Měření relaxace

Mezi jednu ze základních experimentálních metod zkoumající mechanické vlastnosti látek patří relaxační zkouška (pro creepovou zkoušku nemáme vhodné zařízení). Vlas byl napínán rychlostí 2 mm/min do síly 0,25 N s následnou relaxací po dobu 300 s, celý proces se opakoval s tím, že druhá relaxace trvala 10 s. Takto nastaveným cyklem relaxace jsme nadále schopni z pořízených dat určit dva relaxační časy. Všechna potřebná měření probíhala na

deformačním stroji Deform typ 2, který je vhodný pro měření malých a pomalých změn biologických materiálů.

Pro analýzu relaxačních dat byla využita následující rovnice 5:

$$F(t) = F_0 + \sum_{i=1}^3 F_i \cdot e^{\frac{-t}{\tau_i}} \quad (\text{N}) \quad (5)$$

Kde je $F(t)$ – funkce, reprezentující sílu v závislosti na čase t , je použita k popisu naměřené relaxační křivky; F_0 – koncová síla kterou vzorek působí po odeznění všech relaxačních procesů a je uměrná tuhosti k_0 ; F_i – síly, které patří jednotlivým členům relaxace a jsou uměrné tuhostem k_i ; τ_1 – krátkodobý (první) relaxační čas; τ_2 – střednědobý (druhý) relaxační čas; τ_3 – dlouhodobý relaxační čas (považujeme jej za konstantu o velikosti 15273 s).

Pro vyloučení geometrické závislosti vlasů (průměru, elipticity) je třeba pracovat s aktuálním napětím σ (Pa), tj. vztahem (rovnice 6):

$$\sigma(t) = \sigma_0 + \sum_{i=1}^3 \sigma_i e^{\frac{-t}{\tau_i}} \quad (6)$$

kde mezi zatěžující silou $F(t)$ a napětím platí relace (rovnice 7):

$$F(t) = S(t) \cdot \sigma(t) = F_0 + \sum_{i=1}^3 F_i \cdot e^{\frac{-t}{\tau_i}} \quad (7)$$

Aktuální průřez eliptického vlasu je $S = \pi a(t)b(t)$, kde $a(t), b(t)$ jsou okamžité (aktuální) velikosti poloos při zatěžování. Počáteční průřez vlasu je $S = \pi a_0 b_0$. V průběhu zatěžování se průřez mění (rovnice 8):

$$S(t) = \pi(a_0 + a(t) - a_0)(b_0 + b(t) - b_0) = S_0(1 - \nu \varepsilon_{zz}(t))(1 - \nu \varepsilon_{zz}(t)) = S_0[1 - 2\nu \varepsilon_{zz}(t) + (\nu \varepsilon_{zz}(t))^2] \quad (8)$$

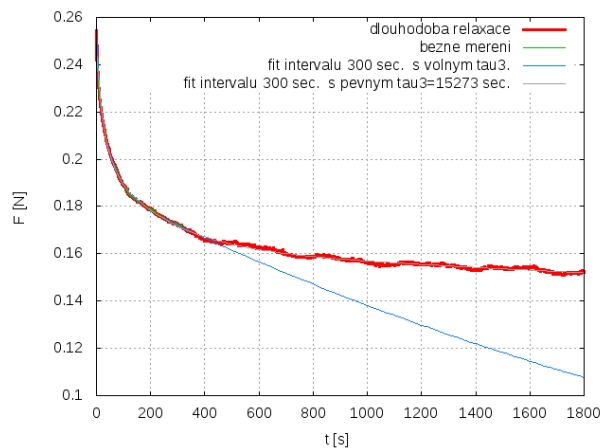
Relativní příčnou deformaci jsme označili $\varepsilon_{xx} = (a(t) - a_0)/a_0, \varepsilon_{yy} = (b(t) - b_0)/b_0$ a zavedli Poissonův poměr $\nu = -\varepsilon_{xx}/\varepsilon_{zz} = -\varepsilon_{yy}/\varepsilon_{zz}$. Zanedbáním členů vyššího řádu lze vztah mezi silou a napětím (rovnice 7) psát ve tvaru:

$$\begin{aligned}
F(t) &= S_0(1 - 2\nu\varepsilon_{zz}(t))\sigma(t) = S_0(1 - 2\nu\varepsilon_{zz}(t))\left(\sigma_0 + \sum_{i=1}^3 \sigma_i e^{-\frac{t}{\tau_i}}\right) = \\
&= S_0\sigma_0(1 - 2\nu\varepsilon_{zz}(t)) + \sum_{i=1}^3 S_0\sigma_i(1 - 2\nu\varepsilon_{zz}(t))e^{-\frac{t}{\tau_i}} = F_0 + \sum_{i=1}^3 F_i e^{-\frac{t}{\tau_i}}
\end{aligned}
\tag{9}$$

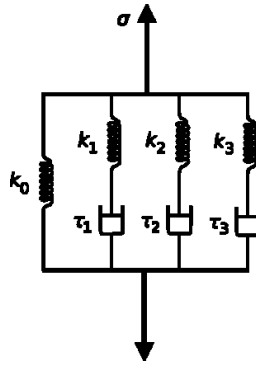
Odtud je zřejmé, že pro hodnoty $\nu \doteq 0,4$; $\varepsilon_{zz} = \varepsilon'_t \approx 0,5$ je člen $(1 - 2\nu\varepsilon_{zz}(t)) \approx 0,6$. Můžeme tudíž předpokládat, že maximální změna průřezu $S(t) = \pi a(t)b(t)$, může ovlivnit velikost aktuálního lomového napětí $\sigma'(t)$, a to až o 40 % (přibližně platí $S(t) \approx 0,6S_0$).

S ohledem na smluvní mez linearitu $\nu \doteq 0,4$; $\varepsilon_{zz} = 0,02$, která je rozhodující pro stanovení modulu E' (rovnice (4)) platí $(1 - 2\nu\varepsilon_{zz}(t)) \approx 0,984$. Je tudíž odchylka způsobená změnou průřezu menší než 2 %. Ke stanovení elastických modulů relaxačních časů lze použít vztah (rovnice 7) a počáteční velikost průřezu vlasů S_0 . Získané hodnoty těchto veličin lze považovat za geometricky nezávislé a považovat je za materiálové parametry vlasů (Maršík, 2016).

Význam jednotlivých členů je vidět na následujícím obrázku 34. Na obrázku 35 můžeme vidět schéma použitého reologického modelu vysvětlující relaxaci.

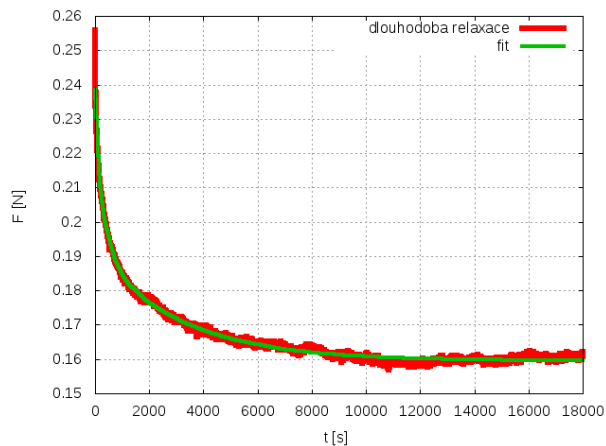


Obrázek 34: Naměřená relaxační křivka a její analýza.



Obrázek 35: Maxwellův model pro relaxační experiment, kde jednotlivá ramena odpovídají jednotlivým silám F_i a časům τ_i , σ je celkové vyvozené napětí v relaxaci.

Třetí relaxační čas $\tau_3 = 15273$ s byl určen sérií šesti dlouhodobých relaxací (obr. 36), kdy byla provedena 150 hodinová měření. Delší měření nemělo smysl provádět, neboť teplotní a vlhkostní výkyvy i za použití termoboxu způsobovaly změny zbytkových sil větší než je pokles zůstatkové relaxační síly. Z těchto šesti měření byla vypočítána průměrná relaxační křivka a z ní určen relaxační čas $\tau_3 = 15273$ s, který byl použit jako stacionární pro vyhodnocení všech zbývajících měření.

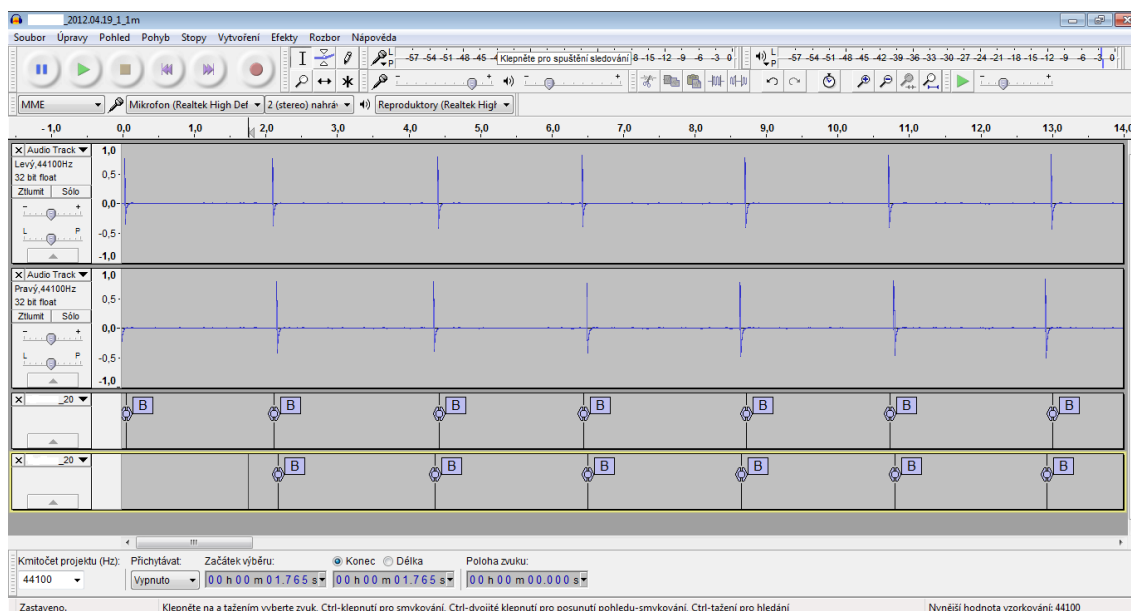


Obrázek 36: Naměřená dlouhodobá relaxace. Kde F – je síla; t – čas; a velikosti jednotlivých koeficientů jsou $F_0 = -0,159535 \pm 7,053 \cdot 10^{-6}$ N (0,004421 %); $F_1 = 0,0362812 \pm 0,0001716$ N (0,4731 %); $\tau_1 = 333,037 \pm 2,026$ s (0,6084 %); $F_2 = 0,0323816 \pm 5,002 \cdot 10^{-5}$ N (0,1545 %); $\tau_2 = 3097,12 \pm 5,726$ s (0,1849 %); $F_3 = 0,0172559 \pm 0,001748$ N (10,13 %); $\tau_3 = 37,2261 \pm 2,733$ s (7,342 %); $F_4 = 0,00675196 \pm 0,001751$ N (25,93 %); $\tau_4 = 11,016 \pm 2,64$ s (23,97 %). Z důvodu dostatečného vystižení tvaru relaxační křivky je pro tyto extrémně dlouhé časy třeba přidat další rameno do materiálového modelu popisujícího vlas. To se v modelu na obrázku 34 projeví přidáním dalšího paralelního ramene obsahující další pružinu a píst. Současně to znamená, že při takto dlouhých měřeních je nejen nutné ale i možné určit tyto další hodnoty viskoelastických členů F_4 a τ_4 . Z těchto extrémně dlouhých měření současně vyplývá skutečnost, že delší měření již není třeba provádět, jelikož nejdelší nalezený relaxační čas je mnohem kratší než celková doba tohoto měření, která by měla být srovnatelná s nejdelším pozorovaným relaxačním časem charakteristickým pro daný materiál. Nejdelší nalezený relaxační čas pro vlas je kolem 3000 s, proto doba měření delší řekněme 3500 s již nepřináší nové výsledky. Z praktického hlediska je však i tato doba pro měření většího počtu vzorku nepřijatelná, proto jsme tuto nejpomalejší relaxaci, respektive její relaxační čas fixovali a metodicky byla doba měření pouze 300 s, jak je uvedeno v metodice.

4.4 Zpracování dat z měření torzní deformační zkoušky

Měření vlasů těhotných žen pomocí metody torzních kmitů mělo spíše doplňkový charakter. A to z důvodů, že toto měření bylo provedeno jen na několika málo vlasech od tří žen, jejichž vlasy splňovaly náročné podmínky pro toto měření.

Zpracování pořízených dat probíhalo za pomoci programu Audacity (obr. 37), který je určen ke zpracování zvukových záznamů. Každý pořízený záznam se v tomto programu rozdělil na dvě stopy, v nichž se automatickým nastavením dohledaly potřebné peaky a označily s pomocí štítků, které ohraničovaly jednotlivé vstupy a výstupy odrazové stopy laseru do fototranzistoru. Tyto peaky pro každou stopu zvlášť představovaly vstupní data pro MS Excel 2010, ve kterém se následně prováděly všechny potřebné výpočty.



Obrázek 37: Ukázka zpracování zvukové nahrávky v programu Audacity.

Vzhledem k faktu, že moment setrvačnosti na vlasu zavěšeného zrcadla je o šest řádů větší než moment setrvačnosti samotného vlasu, a dále k tomu, že útlum amplitudy mezi jednotlivými kmity činí řádově jen procenta, lze použít silně zjednodušený vztah mezi periodou kmitu a momentem setrvačnosti (rovnice 10; Havránek, 2013):

$$G = \frac{8Jl}{R^4T^2} \quad (\text{Pa}) \quad (10)$$

Kde G – modul pružnosti v krutu, J – moment setrvačnosti zrcátka, R – poloměr vlasu a T – perioda kmitu zrcadla na vlasu; l – aktivní deformovaná délka vlasu. V rovnici 1 je moment setrvačnosti značen I_G a zde jako J .

Zavedme konstantu a závislou jen na rozměrech vlasu (soustava rovnic 11; Havránek, 2013):

$$a = \frac{\pi R^4}{2l} \quad (\text{m}^3) \quad (11)$$

Lze pak psát:

$$Ga = \frac{J\omega^2}{\pi} = J \frac{4\pi^2}{T^2} \quad (\text{kg m}^2 \text{ s}^{-2} = \text{Pa m}^4)$$

Kde ω – úhlová rychlost.

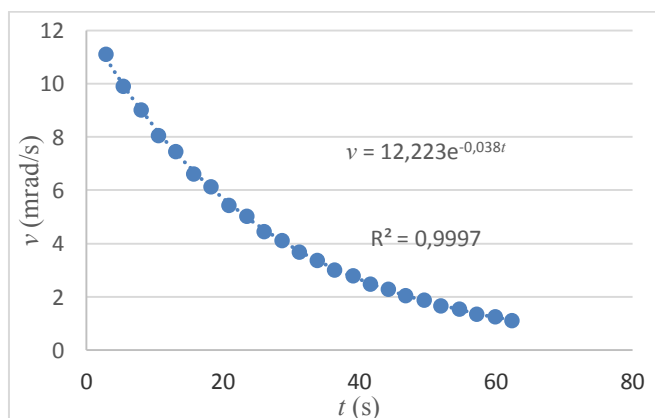
Podobně lze psát pro útlum, jako vztah pro viskozitu (rovnice 12; Havránek, 2013):

$$\eta a = \frac{2J}{T} \ln \frac{v_t}{v_{t+T}} \quad (\text{kg m}^2 \text{ s}^{-1} = \text{Pa s m}^4) \quad (12)$$

Kde η – dynamická viskozita; v_t – maximální amplituda rychlosti při t -tém kmitu; v_{t+T} – maximální amplituda rychlosti o periodu později.

Zavádíme tedy nové relativní parametry proto, abychom mohli jednotlivé vlasy vzájemně porovnávat. Nejsme sice schopni určit přímo materiálové parametry η a G , ale jejich zavedení je užitečné, neboť se vyhneme chybě způsobené nepřesnostmi měření D a tak je možné odhalit i malé difference těchto parametrů mezi jednotlivými skupinami žen.

Alternativou k určení útlumu z poměru po sobě jdoucích amplitud je proložení všech špičkových amplitud rychlosti za pomoci metody nejmenších čtverců, viz následující obrázek 38.



Obrázek 38: Příklad proložení maxim úhlových rychlostí jednotlivých kmitů exponenciálou.

Vzhledem k tomu, že se nám v této práci jedná vždy o relativní změny mechanických parametrů vlasů, bude účelné zavést a dále sledovat veličiny tuhost a útlum. Kde pro tuhost (rovnice 13; Havránek, 2013) píšeme:

$$K = \frac{Ga}{J} = \omega^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} \quad (\text{s}^{-2}) \quad (13)$$

a pro definici koeficientu útlumu (rovnice 14; Havránek, 2013):

$$\beta = \frac{\eta a}{J} = \frac{2}{T} \ln \frac{v_t}{v_{t+T}} \quad (\text{s}^{-1}) \quad (14)$$

4.5 Určení elipticity z trojsměrného měření průměru

Byly vytvořeny dvě skupiny žen. První skupina s označením PG obsahovala ženy, které v uplynulém roce porodily dítě. Druhá skupina s označením NG (ženy, které doposud nerodily) obsahovala stejný počet žen jako skupina PG, a navíc každý člen skupiny NG byl vybrán tak, aby byl genotypově i fenotypově podobný právě jedné ženě ze skupiny PG. Proto, aby mohly být vlasy žen obou skupin mezi sebou porovnány, se zvláště hlídala podobnost odstínu pleti a vlasů, BMI a věk. Všechny ženy byly Středoevropanky ve věku 23 – 32 let, s rozsahem BMI 23 – 28 kg/m², žijící celý svůj dosavadní život ve městě. Všechny vzorky byly odštířeny ze zátylku během jediného dne, aby nedošlo k rozfázování v ročních obdobích, která také mohou mít vliv na stavbu vlasů. Vlasy, minimálně 15 cm dlouhé, byly po třech centimetrech opatřeny voskovými trojhrany. Střední část mezi trojhrany byla fotografována digitálním mikroskopem. Před každým ze třech snímků došlo k pootočení vzorku kolem osy o 120°. V tomto místě pak byl ze snímku stanoven průměr. Takto bylo z každého vlasu pořízeno pět trojic snímků. Z těchto trojic hodnot lze vypočítat excentricitu vlasu v daném místě za předpokladu, že vlas považujeme v řezu za přibližně eliptický, což ovšem bývá pro středoevropské ženy dobře splněno. Pak pro sérii r_i , kde $i \in \{1,2,3\}$, $j \in \{1,2,3,4,5\}$, což jsou naměřené průměry v j -tém místě platí, že:

$$a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi = \left(\frac{A_1}{2}\right)^2 \quad (\mu\text{m}^2) \quad (15)$$

$$a^2 \sin^2 \left(\varphi + \frac{2}{3} \pi\right) + b^2 \cos^2 \left(\varphi + \frac{2}{3} \pi\right) = \left(\frac{A_2}{2}\right)^2 \quad (\mu\text{m}^2) \quad (16)$$

$$a^2 \sin^2 \left(\varphi + \frac{4}{3} \pi\right) + b^2 \cos^2 \left(\varphi + \frac{4}{3} \pi\right) = \left(\frac{A_3}{2}\right)^2 \quad (\mu\text{m}^2) \quad (17)$$

Kde a , b – délka poloosy elipsy; φ – počáteční úhel natočení; A_i – naměřené délky projekcí.

Řešíme tuto soustavu rovnic (15 – 17), a to např. tak, že vyjádříme koeficienty a , b a získáme tak jedinou rovnici pro koeficient φ , kterou pro konkrétní koeficienty A_i řešíme numericky např. za pomoci řešitele aplikace MS Excel 2010. Tímto způsobem tedy zjistíme z koeficientu A_i velikosti poloos definující tvar řezu vlasu. Z nich jsme pak schopni zjistit velikost excentricity (rovnice 18) a plochu řezu vlasu (rovnice 19).

$$E = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (1) \quad (18)$$

$$S = \pi ab \quad (\mu\text{m}^2) \quad (19)$$

Kde E – velikost excentricity; S – plocha řezu vlasu; a , b – délka poloosy elipsy.

Tato práce byla prezentována na konferenci EVM 2016 (Skřontová et al., 2016 b).

4.6 Měření vlhkosti

Prováděli jsme dvě různá měření in vivo a in vitro. In vitro měření spočívalo v nastavení konstantní vlhkosti ve vnitřním prostoru termoboxu za pomoci nasycených roztoků různých solí. Při všech měřeních byla vlhkost v termoboxu monitorována gelovým digitálním vlhkoměrem. Pro zlepšení homogenity vnitřního prostředí termoboxu byla vždy zapnuta vnitřní cirkulace vyvozující v termoboxu proudění vzduchu o střední rychlosti 3 cm/s. Měření in vivo popisuje následující text. Vlas, převážně tvořený keratinem, je silně hydrofilní a hygroskopický biopolymer, který přirozeně významně mění viskoelastické vlastnosti s vlhkostí. To znamená, že z vlhkého vzduchu absorbuje molekuly vody a naopak je vydává. Hmotnostní podíl vody vázané ve vlasu kolísá mezi cca 10 % (např. pouštní klima, suchý vzduch ve vytápěných místnostech) a 30 % (např. tropický deštný prales, mlha nebo sauna) (Anzuino, 1968). Zvlnění vlasu se připisuje faktu, že mechanické vlastnosti vlasu závisí na čase, vlhkosti a teplotě. Zvyšování teploty i zvyšování vlhkosti napomáhá k lepší tvarovatelnosti vlasu (Zuidema, 2002). Relativní vlhkost (RH) absorbovaná do vlasů způsobí změnu jejich proteinové struktury. To znamená, že kudrnaté vlasy se ještě více zvlní a rovné zplhnou a klesnou. Je zřejmé, že stanovení obsahu vlhkosti keratinových vláken závisí na vybraných podmínkách jako je stav suchosti vláken (Downes, McMahon, 1961) nebo na relativní vlhkosti. Množství vlhkosti ve vlasech hraje důležitou roli v jejich fyzikálních a kosmetických vlastnostech (Robbins, 2002).

Cílem bylo zjištění rozsahu relativních vlhkostí na povrchu ovlášené části hlavy v oblasti týlu během běžného dne. Tyto poznatky budou později využity k tomu, aby laboratorní podmínky, v nichž jsou vlasy zkoumány, byly podobné přirozeným podmínkám, které jsou na hlavě, a aby nedocházelo k ovlivňování mechanických parametrů vlasů vlivem okolní relativní vlhkosti.

Data byla získána komerčně vyráběným dataloggerem Comet S2131 (obr. 39) k měření teploty, relativní vlhkosti a rosného bodu. Přístroj měří v rozsahu -30 až 105 °C a $0 - 100$ % RH. K dataloggeru je připojená příslušná sonda a samotný záznam je prováděn do energeticky nezávislé elektronické paměti. Měřicí sonda byla připevněna v oblasti týlu přímo na pokožku hlavy (obr. 40), a to po celou dobu měření, tj. po dobu 48 hodin. Zkoumaná osoba zaznamenávala svou momentální činnost do formuláře pro pozdější rozklíčování naměřených dat. Teplota byla snímána s periodou deseti sekund a v digitální podobě ukládána do paměti dataloggeru. Získaná data byla zobrazena ve formě tabulky a v grafickém znázornění. Byly napočítány některé popisné statistiky ve statistickém programu R.



Obrázek 39: Datalogger Comet S2131.



Obrázek 40: Umístění sondy dataloggeru Comet S2131 v oblasti týlu na hlavě ženy.

4.7 Měření teploty

Prováděli jsme dvě různá měření *in vivo* a *in vitro*. *In vitro* měření spočívalo v udržení konstantní teploty ve vnitřním prostoru termoboxu s pomocí zapnuté vnitřní cirkulace vyvozující proudění vzduchu v termoboxu o střední rychlosti 3 cm/s. Měření *in vivo* popisuje

následující text. Vlas, jako silně hydrofilní biopolymer významně mění viskoelastické vlastnosti s teplotou. Lze předpokládat, že změna například modulu elasticity bude v rámci 10 °C téměř řádová alespoň v oblasti zesklenní. Je proto účelné maximálně zúžit oblast zájmu jen na nativní. Úlohou měření v této práci bylo vymezit tuto oblast.

V pokojových podmínkách si keratin zachovává volnou vodu, která je nedílnou součástí keratinové struktury. Teplotní změny v keratinu silně ovlivňují volnou vodu. V teplotách okolo 100 °C dochází k odstranění volně vázané vody. Uvolnění silně vázané vody je pozorováno při teplotách okolo 140 °C (Humphries et al., 1972). Při teplotách 210 – 250 °C dochází k denuraci keratinu a k narušení jeho helikálních (spirálovitých) vazeb (Milczarek et al., 1992). Rebenfeld et al. (1966) sledovali závislost modulu elasticity v tahu na teplotě u lidského vlasu a ovčího vlákna. Tento modul se snižuje s rostoucí teplotou pro oba typy zkoumaných vláken. Modul elasticity ovčího vlákna je při stejné teplotě nižší než u lidského vlasu.

Cílem bylo zjištění teplotního rozsahu na povrchu ovlášené části hlavy v oblasti týlu během běžného dne. Tyto poznatky budou později využity k tomu, aby laboratorní podmínky, v nichž jsou vlasy zkoumány, byly podobné přirozeným podmínkám, které jsou na hlavě, a aby nedocházelo k ovlivňování mechanických parametrů vlasů vlivem okolní teploty.

Data byla také získána komerčně vyráběným dataloggerem S2131 (obr. 39) k měření teploty, relativní vlhkosti a rosného bodu. Měřicí sonda byla připevněna v oblasti týlu přímo na pokožku hlavy (obr. 40), a to po celou dobu měření, tj. po dobu 48 hodin, celý postup metodiky tohoto měření byl stejný jako u měření vlhkosti (Kapitola 4.6).

4.8 Metodika statistického vyhodnocení dat z trhacích a relaxačních experimentů

Tato kapitola pojednává o běžném postupu, který jsme použili při statistickém vyhodnocení výsledků trhacích a relaxačních experimentů ale i o jejich drobných variacích.

Nejprve bylo potřeba rozhodnout, zda je pro porovnání jednotlivých skupin, ve kterých jsou ženy rozděleny dle pořadí těhotenství anebo podle pohlaví očekávaného dítěte. Aby bylo možné použít parametrické testy ať již t-test pro dvojice hodnot v našem případě tedy pro porovnání např. skupin žen očekávajících chlapce nebo očekávající dívky ale i třeba kuřáček či nekuřáček, ženy které si barví či nebarví vlasy, apod. Anebo ANOVy pro více skupin (např. pořadí prvního až třetího těhotenství) je třeba, aby každá z testovaných skupin splňovala dva základní požadavky: normality a homoskedasticity. Zcela zásadním zvláště pro testy více vlasových vzorků než třiceti (což v našem případě je prakticky vždy) je především homoskedasticita, tedy shodnost rozptylu. Výsledek Kolmogorov-Smirnovova testu, jehož jsme použili, jako test normality rozdělení jsme proto vzhledem k vysokému počtu vzorků v každé skupině (okolo 300 – 600 vzorků) považovali za ověření normality až do pravděpodobnosti 0,2. Teprve nižší hodnoty jsme vyhodnotili, jako zamítnuti normality pro danou skupinu. A to v případě, že histogram dané veličiny okometricky normalitu nevyklučoval. Intervaly histogramů byly vždy optimalizovány pomocí Shimazakiho-

Shinomotova (2010) algoritmu. Pro test homogenity rozptylu jsme použili Bartlettův a Leveneův test. Homogenitu jsme považovali za potvrzenou, pokud alespoň jeden z těchto testů (Bartlettův či Leveneův test) vyšel vyšší než 0,95.

Jak jsme řekli v případě ne příliš častého potvrzení normality a homoskedasticity následovala ANOVA test jehož průměrné hodnoty a směrodatné odchylky byly krom tabulek pro názornost zobrazeny také v Tukey diagramech. V případě daleko častějším, kdy nebyla zvláště homoskedasticita potvrzena, byly použity neparametrické testy nezávislé proměnných, a to Wilcoxonův test pro dvojice skupin čili v podstatě pro dichotomické proměnné. Pro ověření shodnosti mediánů více skupin byly použity testy Kruskal-Wallisův test (někdy též nazýván jako neparametrická ANOVA) a v případě nerozhodnosti bylo přihlédnuto k výsledkům Jonckheere-Terpstrova testu. Takto bylo rozhodnuto o tom, zda se v dané skupině testovaných souborů vyskytuje nějaká se statisticky signifikantně rozdílným mediánem. V případě, že takový testovaný soubor existuje (na 95% hladině významnosti) jsou pak Wilcoxonovým testem po dvojicích testovány všechny kombinace souboru aby bylo zjištěno, které jsou jak odlišné. Výsledek byl také kromě tabulky zobrazen v Tukey diagramu.

Kromě tohoto základního postupu porovnávání jednotlivých skupin samotných hodnot mechanických veličin naměřených na vlasech jednotlivých gravidních žen, byly též stejným postupem zhodnoceny i rozdíly mezi skupinami žen, ve kterých byl na místo hodnot veličin vyhodnocován jejich trend v průběhu těhotenství. Tento trend byl získán jako směrnice přímky prokládající graf kde na vodorovné ose je den těhotenství a na svislé pak daná veličina. Přestože bylo dotazníkem zjišťováno větší množství proměnných, v práci jsou dále ukázány výsledky pouze těch dělení na skupiny, u kterých alespoň pro některou z mechanických veličin vyšel signifikantně statistický rozdíl.

Původně jsme ještě setavili ordinační diagrapy (PCA, RDA) které však potvrdily jen výsledky již dosažené výše popsaným postupem a jediné drobné obohacení bylo v nalezení slabého vlivu dichotomické proměnné bydliště žen (vesnice, město) na některé proměnné. Z tohoto důvodu byla tato kapitola vypuštěna, neboť neúměrně zatěžovala čtenáře.

Další již méně významné využití statistiky v této práci spočívalo v hledání souvislosti mezi jednotlivými veličinami. Byly sestaveny korelační tabulky, ve kterých byla hledána vzájemná monotónní závislost mezi jednotlivými veličinami, a to testem Spearmanovým pořadovým koeficientem.

Posledním zde uváděným pokusem při využití statistiky byla snaha o využití shlukové analýzy pro nalezení skupin sobě si podobných žen. V těchto výpočtech byla vždy použita euklidovská metrika.

Až na průměr a směrodatnou odchylku, které byly počítány v MS Excel 2010 byly všechny ostatní statistiky počítány statistickým program R verze 3.2.3.

5 VÝSLEDKY

Počátek této kapitoly je věnován výpisu průměrných hodnot všech měřených veličin na hlavě každé z měřených žen. Každá hodnota je tedy průměrnou hodnotou ne jen několika vlasů z daného odběru, ale i z několika odběrů během těhotenství. Po tomto přehledu následuje představení jednotlivých veličin v tom smyslu, že se díváme, jak se ta která veličina chová v rámci celé testované populace gravidních žen. V této kapitole se pro každou veličinu uvádí jak základní popisné statistiky, tak histogram dané veličiny a zhodnocení, do jaké míry je možné u dané veličiny předpokládat normální, tedy Gaussovo rozdělení. K posouzení normality používáme Kolmogorov-Smirnovova testu. Tento test považujeme za důležitý, neboť jeho výsledek nám umožní se rozhodnout, zda používat parametrické či neparametrické testy při dalších analýzách.

Po tomto představení souhrnných charakteristik měřených veličin věnujeme chvíli času prozkoumání jejich vzájemných korelací (Kapitoly 5.2a, 5.2b). V následující kapitole 5.3 věnujeme značné úsilí analýze trendů změn zkoumaných veličin probíhajících na hlavách zkoumaných žen v průběhu těhotenství. Změny při této analýze považujeme za rovnoměrné a trendem zde rozumíme postupnou lineární změnu probíhající v celém období těhotenství. Jsou zde nejprve vypsány směrnice změn, tedy trendy všech veličin na hlavách všech zkoumaných gravidních žen.

V Kapitole 5.3.1 je hledána korelace těchto změn, tedy trendů, provedena shluková analýza a nalezeno schéma extrémní podobnosti několika nejvíce a nejméně si podobných žen. Následuje rozptylová analýza trendů všech zkoumaných veličin, a to s ohledem na to, jaké je pohlaví ženami očekávaného potomka a jaké je pořadí těhotenství. Vliv dalších dotazníkových parametrů nebyl nalezen, proto ho zde ve snaze zeštíhlit tuto kapitolu neuvádíme.

Po této kapitole následuje opět zkoumání vlivu pořadí těhotenství a pohlaví očekávaného dítěte, tentokrát již však ne na trendy daných veličin ale na průměrné hodnoty na hlavách žen za celé období těhotenství. Následuje opět analýza rozptylu těchto průměrných hodnot. Těmito odstavci jsme se vypořádali s výsledky trhacích a relaxačních experimentů.

Nyní následuje kapitola uvádějící výsledky a analýzy torzních měření. Po této kapitole jsou na řadě výsledky z trojsměrového měření průměru vlasů a celá kapitola je završena analýzou výsledků in vivo měření.

Přehled naměřených hodnot zprůměrovaných pro jednotlivé ženy (tabulka 8).

č. vz.	D	E'	$\sigma_{0,05}$	$\sigma_{0,2}$	σ'_t	ε'_t	W	W_A	w_e	F_0	F_1	F_2	F_3	τ_1	τ_2
1	86,47	1976,83	36,93	47,43	189,22	0,55	4,67	58,90	0,37	0,143	0,016	0,030	0,062	12,24	135,23
2	74,57	1919,45	35,49	46,55	212,98	0,58	3,80	66,94	0,37	0,150	0,018	0,017	0,064	10,82	88,72
3	66,38	2023,05	37,45	50,69	230,32	0,58	3,32	71,47	0,44	0,133	0,021	0,020	0,063	8,74	87,06
4	92,13	1992,55	39,76	49,43	203,82	0,56	5,95	62,78	0,43	0,176	0,010	0,012	0,055	22,06	61,26
5	71,06	2537,45	42,85	57,60	234,83	0,52	3,64	67,06	0,40	0,159	0,018	0,017	0,053	92,81	9,93
6	97,18	2236,60	45,58	58,21	256,66	0,58	7,76	79,07	0,49	0,157	0,013	0,015	0,072	52,26	76,97
7	81,72	2210,33	41,23	52,35	212,50	0,54	4,25	63,54	0,42	0,125	0,020	0,022	0,082	9,39	108,58
8	67,90	2662,59	45,93	55,92	189,81	0,44	2,34	48,99	0,43	0,125	0,021	0,020	0,044	7,33	89,60
9	102,25	2821,91	43,53	53,94	183,94	0,46	5,43	48,85	0,36	0,166	0,012	0,017	0,061	8,34	101,69
10	87,33	3289,13	51,99	65,38	226,07	0,45	4,71	58,72	0,46	0,177	0,011	0,018	0,054	9,88	112,83
11	91,53	3349,85	49,69	61,92	226,41	0,50	5,42	66,05	0,39	0,163	0,010	0,017	0,069	10,61	123,31
12	88,12	2336,65	38,48	47,84	191,45	0,52	3,98	56,05	0,34	0,164	0,012	0,012	0,067	9,05	80,27
13	80,46	2211,04	37,31	45,78	149,67	0,48	2,99	41,42	0,33	0,148	0,016	0,021	0,057	9,86	97,79
14	93,29	2542,73	45,79	56,23	194,89	0,47	5,10	53,38	0,44	0,167	0,011	0,016	0,055	8,86	86,17
15	57,76	2798,40	44,98	58,22	216,53	0,50	2,16	60,60	0,39	0,143	0,018	0,018	0,017	11,15	101,25
16	78,68	3044,62	52,98	65,46	220,11	0,47	4,32	61,45	0,49	0,184	0,013	0,014	0,036	8,86	80,31
17	93,26	2512,98	43,50	54,04	183,87	0,47	4,74	51,57	0,42	0,170	0,010	0,012	0,065	8,86	87,24
18	93,03	2687,71	45,03	56,23	186,28	0,45	4,81	50,06	0,40	0,185	0,010	0,012	0,052	8,96	93,15
19	70,12	2609,34	45,26	57,71	205,46	0,49	3,12	57,84	0,45	0,161	0,020	0,023	0,044	9,86	102,76
20	93,28	2185,05	37,38	46,73	143,12	0,41	3,52	37,41	0,34	0,165	0,013	0,018	0,057	8,50	88,02
21	64,64	2472,71	42,14	52,41	193,80	0,47	2,41	52,04	0,40	0,167	0,019	0,022	0,041	8,58	81,34
22	91,40	2295,39	42,14	50,97	150,46	0,42	3,66	39,38	0,42	0,185	0,012	0,017	0,042	8,82	90,60
23	83,87	2771,69	48,15	58,84	202,23	0,50	4,33	58,66	0,44	0,185	0,012	0,016	0,033	8,57	86,07
24	72,35	3252,87	55,28	68,93	200,73	0,49	3,36	61,08	0,50	0,141	0,018	0,021	0,060	9,54	94,55
25	84,89	2593,14	43,83	54,34	205,31	0,50	4,11	57,37	0,39	0,163	0,014	0,017	0,058	10,51	90,75
26	86,90	2571,58	47,12	57,15	190,18	0,45	4,15	50,68	0,47	0,162	0,011	0,016	0,056	7,93	82,43
27	84,62	2782,57	49,84	60,97	217,78	0,49	4,61	60,88	0,49	0,207	0,011	0,020	0,018	7,65	87,42
28	65,81	2947,29	51,17	65,09	229,16	0,46	2,82	59,89	0,47	0,137	0,018	0,026	0,054	10,90	143,73
29	89,04	2828,72	54,33	64,78	219,08	0,46	4,58	57,24	0,59	0,165	0,011	0,014	0,066	7,77	73,21
30	82,44	3145,23	54,86	66,32	212,99	0,41	3,75	53,48	0,51	0,162	0,011	0,021	0,064	9,02	120,80
31	99,87	2600,77	40,65	51,48	181,29	0,46	5,14	47,77	0,33	0,155	0,011	0,017	0,076	10,42	116,55
32	74,59	2634,94	46,82	56,67	217,99	0,52	3,85	62,37	0,45	0,134	0,010	0,017	0,074	10,71	106,57
33	78,74	2426,29	42,43	52,21	181,00	0,51	3,43	51,03	0,39	0,161	0,019	0,025	0,046	9,80	95,39
34	86,76	2673,89	42,78	53,43	193,85	0,47	4,49	52,14	0,36	0,145	0,016	0,020	0,069	10,03	97,74
35	90,48	2238,20	35,67	44,52	165,48	0,48	4,08	45,27	0,30	0,163	0,015	0,020	0,054	9,81	100,35
36	68,63	2486,77	51,00	59,83	190,46	0,43	2,39	47,48	0,62	0,164	0,019	0,022	0,044	9,79	98,19
37	95,50	2143,27	38,12	45,95	155,55	0,48	4,20	42,71	0,37	0,150	0,017	0,024	0,059	9,10	100,75
38	85,41	2386,16	41,42	50,74	200,21	0,54	4,20	59,52	0,38	0,168	0,018	0,044	0,027	10,53	128,43
39	78,03	2209,97	39,57	47,78	213,35	0,52	3,79	59,83	0,48	0,117	0,023	0,039	0,072	10,75	117,27
40	81,10	2315,64	44,12	53,67	215,72	0,53	3,94	62,26	0,51	0,144	0,021	0,044	0,040	10,93	147,96
41	77,95	2342,88	40,04	49,34	183,98	0,48	2,84	50,08	0,36	0,151	0,021	0,035	0,043	11,73	116,76
42	90,19	2468,19	43,91	55,28	225,03	0,53	5,16	65,32	0,41	0,154	0,013	0,029	0,060	9,75	116,27
43	73,03	2739,37	57,76	67,52	237,13	0,48	3,18	62,35	0,74	0,119	0,017	0,034	0,081	10,21	124,75
44	80,69	2627,52	47,58	58,44	244,17	0,54	4,63	72,01	0,46	0,152	0,016	0,035	0,049	10,95	130,41

č. vz.	D	E'	$\sigma_{0,05}$	$\sigma_{0,2}$	σ'_t	ε'_t	W	W_A	w_e	F_0	F_1	F_2	F_3	τ_1	τ_2
45	84,63	2242,43	39,49	47,99	174,26	0,49	3,57	47,20	0,39	0,162	0,013	0,031	0,048	10,53	116,90
46	76,53	2330,04	42,21	51,51	169,07	0,46	2,64	45,25	0,47	0,145	0,018	0,032	0,056	8,75	105,82
47	94,64	2622,05	43,62	54,57	193,22	0,48	4,71	53,49	0,38	0,109	0,017	0,039	0,104	10,16	139,88
48	84,94	2447,36	44,43	53,61	203,38	0,50	4,06	56,73	0,48	0,107	0,016	0,032	0,094	12,70	162,89
49	77,82	2507,78	41,95	51,66	202,15	0,54	3,62	59,86	0,37	0,118	0,013	0,031	0,090	10,90	135,29
50	86,80	2239,34	45,95	55,63	205,96	0,49	4,08	56,14	0,59	0,150	0,016	0,026	0,058	9,25	107,09
51	80,98	2126,13	40,47	51,19	224,22	0,54	3,90	63,89	0,48	0,147	0,018	0,035	0,053	10,16	107,44
52	87,84	2401,42	42,91	53,64	182,41	0,47	3,66	50,22	0,42	0,135	0,012	0,026	0,082	11,40	129,42
53	77,22	2783,09	47,36	58,39	193,13	0,45	3,19	50,09	0,42	0,128	0,012	0,024	0,051	10,43	135,07
54	77,24	2678,97	49,42	62,10	231,68	0,49	3,77	64,89	0,48	0,151	0,012	0,022	0,072	11,11	123,82
55	91,87	3217,54	59,12	73,20	248,60	0,47	5,96	68,85	0,57	0,165	0,011	0,024	0,063	12,38	145,09
56	86,41	2166,70	41,82	52,33	175,65	0,50	3,79	50,92	0,43	0,126	0,014	0,022	0,092	9,28	99,47
57	94,08	2546,95	45,86	57,61	201,85	0,48	4,81	55,41	0,44	0,138	0,009	0,020	0,081	11,73	136,64
58	74,43	2417,28	46,78	57,35	192,48	0,46	2,90	51,92	0,48	0,122	0,017	0,024	0,073	9,39	119,94
59	88,64	2791,91	52,70	64,69	211,07	0,47	4,64	59,51	0,52	0,156	0,010	0,023	0,065	12,16	149,21
60	85,73	2076,62	46,97	55,92	211,36	0,50	4,21	59,88	0,59	0,140	0,015	0,026	0,071	10,09	105,59
61	75,91	2687,46	49,19	61,41	210,83	0,48	3,29	58,41	0,49	0,113	0,014	0,029	0,096	12,37	157,23
62	92,89	2846,03	60,38	72,47	265,95	0,51	6,52	75,77	0,74	0,146	0,011	0,026	0,077	13,48	195,20
63	87,89	2589,37	46,37	57,67	215,52	0,47	4,49	56,98	0,45	0,141	0,016	0,043	0,055	12,57	156,10
64	86,43	2593,32	49,91	61,40	214,81	0,48	4,51	59,74	0,52	0,157	0,021	0,032	0,039	8,08	82,61
\bar{x}	83,22	2534,61	45,29	56,07	203,32	0,49	4,09	56,85	0,45	0,15	0,01	0,02	0,06	12,17	108,92
s_x	9,25	325,92	5,64	6,53	24,69	0,04	1,01	8,32	0,09	0,02	0,00	0,01	0,02	11,59	28,18
\tilde{x}	84,92	2540,09	44,70	55,77	203,60	0,48	4,07	57,60	0,44	0,15	0,01	0,02	0,06	10,06	105,71

Tabulka 8: Střední hodnoty pro všechny sledované mechanické parametry u všech žen. Kde č. vz. – číslo vzorku; \bar{x} – průměr; s_x – směrodatná odchylka; \tilde{x} – medián; D ($\mu\text{m}/\text{den}$) – průměr vlasů; E' (MPa/den) – skutečný modul elasticity; $\sigma_{0,05}$ (MPa/den) – smluvní mez linearity; $\sigma_{0,2}$ (MPa/den) – smluvní mez kluzu; σ'_t (MPa/den) – skutečné lomové napětí; ε'_t ($10^{-3}/\text{den}$) – skutečná relativní tržná délka; W ($\mu\text{J}/\text{den}$) – celková mechanická práce; W_A (mJ/den) – tahová houževnatost; w_e ($\text{kJm}^{-3}\text{den}^{-1}$) – resilience; F_0 ($\mu\text{N}/\text{den}$) – koncová síla kterou vzorek působí po odeznění všech relaxačních procesů; F_1 , F_2 , F_3 ($\mu\text{N}/\text{den}$) – síly patřící jednotlivým členům relaxace; τ_1 (s/den) – první (krátkodobý) relaxační čas; τ_2 (s/den) – druhý (střednědobý) relaxační čas.

5.1 Představení vlastností veličin

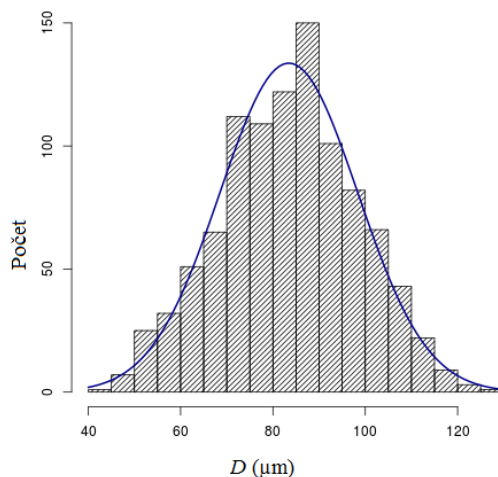
V této kapitole budou ukázány vlastnosti všech zjišťovaných veličin. Nejprve budou uvedeny jejich statistiky s histogramy a dále budou zkoumány vzájemné korelace těchto veličin. Pro každou veličinu je vždy použit maximální počet naměřených pozorování. Tyto statistiky uvádíme proto, že je dobré nejprve se seznámit s charakterem rozložení zkoumaných veličin v měřené populaci.

Následující tabulka 9 uvádí základní přehled popisných statistik určených pro všechna měřená data. V případě veličin zjišťovaných z trhacích experimentů se jedná o statistiky určené na 1023 vzorcích odebraných z hlav 64 žen, v případě dat relaxačních se jednalo o 331 vzorků z hlav 64 žen.

	D	E'	$\sigma_{0,05}$	$\sigma_{0,2}$	σ_t'	ε_t'	W	W_A	w_e	F_0	F_1	F_2	F_3	τ_1	τ_2
<i>min</i>	42	708	7	5	37	0,05	0,3	3	0,01	0,02	0,002	0,008	0,000	4	27
<i>I. kvartil</i>	73	2087	36	46	165	0,45	2,9	45	0,30	0,11	0,011	0,016	0,032	8	83
<i>medián</i>	84	2449	43	53	198	0,49	4,0	55	0,38	0,16	0,013	0,022	0,058	10	100
<i>průměr</i>	83	2562	45	56	201	0,49	4,0	56	0,44	0,15	0,015	0,023	0,060	10	110
<i>sm.odch.</i>	15	718	13	14	53	0,07	1,5	18	0,27	0,05	0,006	0,009	0,041	3	46
<i>III. kvartil</i>	93	2949	51	64	232	0,53	5,0	66	0,49	0,18	0,017	0,028	0,087	12	130
<i>max</i>	125	7148	123	147	450	0,72	8,8	129	3,30	0,25	0,037	0,059	0,204	33	406

Tabulka 9: Základní popisné statistiky veličin. Kde *min* – minimum; *I. kvartil* – první kvartil; *sm. odch.* – směrodatná odchylka; *III. kvartil* – třetí kvartil; *max* – maximum; D (μm) – průměr vlasů; E' (MPa) – skutečný modul elasticity; $\sigma_{0,05}$ (MPa) – smluvní mez linearity; $\sigma_{0,2}$ (MPa) – smluvní mez kluzu; σ_t' (MPa) – skutečné lomové napětí; ε_t' (1) – skutečná relativní tržná délka; W (mJ) – celková mechanická práce; W_A (MJ/m³) – tahová houževnatost; w_e (MJ/m³) – resilience; F_0 (N) – koncová síla kterou vzorek působí po odeznění všech relaxačních procesů; F_1, F_2, F_3 (N) – síly patřící jednotlivým členům relaxace; τ_1 (s) – první (krátkodobý) relaxační čas; τ_2 (s) – druhý (střednědobý) relaxační čas. Modře jsou označeny data získaná z trahcích experimentů, červeně data z experimentů relaxačních.

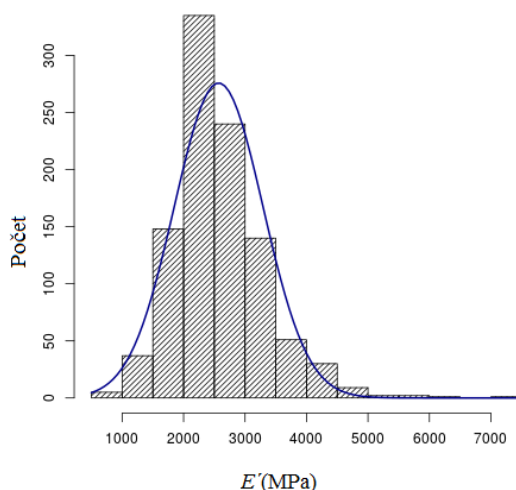
Průměr vlasu (D), jak vidíme na následujícím histogramu (graf 4), celkem dobře splňuje normální rozdělení o parametrech, kdy střední hodnota je 83,5 μm a směrodatná odchylka 14,9 μm . Tento fakt potvrzuje i p-hodnota z Kolmogorova-Smirnovova testu normality, která je 0,78. Všechny intervaly následujících histogramů jsou optimalizovány pomocí Shimazakiho-Shinomoto algoritmu (2010).



Graf 4: Histogram průměrů vlasů (D).

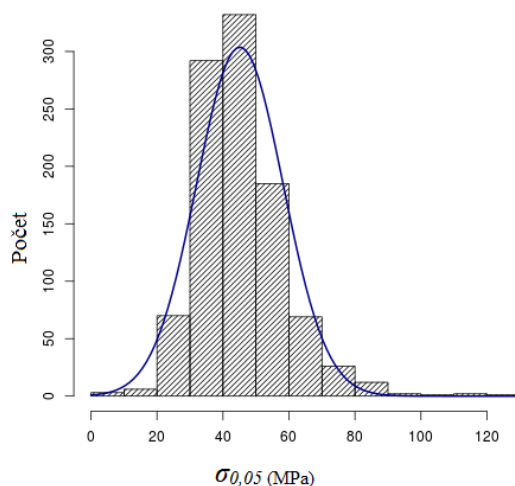
Následující graf 5 zobrazuje rozložení pravého modulu elasticity (E'). Bylo použito 1083 hodnot od 64 žen. Modrá křivka v grafu ukazuje shodu nejlepšího Gaussova rozložení a střední hodnoty 2570 MPa, velikost směrodatné odchylky je 723 MPa. Tento fakt potvrzuje i

Kolmogorov-Smirnovův test normality, jehož hodnota pro přímé hodnoty E' činí $4,159 \cdot 10^{-5}$. Tato situace se z výrazně zlepšila, provedeme-li tento test z logaritmované hodnoty modulu elasticity, jeho hodnota pak činí 0,1318, zvýší se tedy zhruba tisícinásobně. A pro takto velký datový soubor ji můžeme téměř považovat za důkaz normality, neboli důkaz skutečnosti, že i veličina E' má logaritmicko-normální rozdělení.



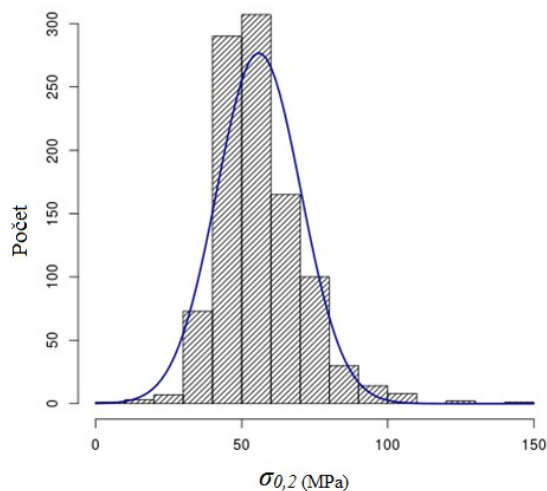
Graf 5: Histogram pravého modulu elasticity (E'), modrou křivkou je naznačena optimální Gaussova křivka.

Přibližně shodné závěry platí i pro veličinu meze linearitity ($\sigma_{0,05}$) se střední hodnotou 45,12 MPa a směrodatnou odchylkou 13,13 MPa, zobrazenou na dalším grafu (graf 6). Kolmogorov-Smirnovův test pro původní hodnoty vycházel $0,54 \cdot 10^{-5}$, zatímco pro zlogaritmované hodnoty poskytl p-hodnotu 0,058. Lze tedy říci, že rozložení se zhruba dva a půl řádu pravděpodobněji chová i u meze linearitity jako logaritmicko normální spíše, než rozložení normální.



Graf 6: Histogram meze linearity ($\sigma_{0,05}$).

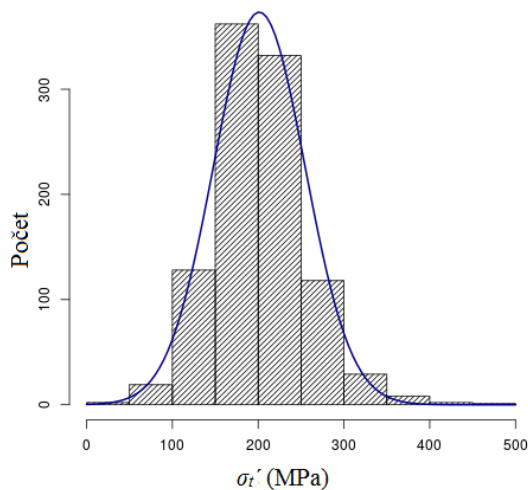
Vzhledem k výše uvedeným závěrům nepřekvapí ani podobnost výsledků u smluvní meze elasticity ($\sigma_{0,2}$), respektive její velká podobnost se závěry pro mez linearity, což můžeme vidět na grafu 7. Střední hodnota optimálního Gaussova rozdělení je 56 MPa a její směrodatná odchylka 14 MPa. Kolmogorov-Smirnovův test normality pro původní hodnoty dá p-hodnotu $1,37 \cdot 10^{-6}$ a pro hodnoty zlogaritmované 0,053.



Graf 7: Histogram smluvní meze elasticity ($\sigma_{0,2}$).

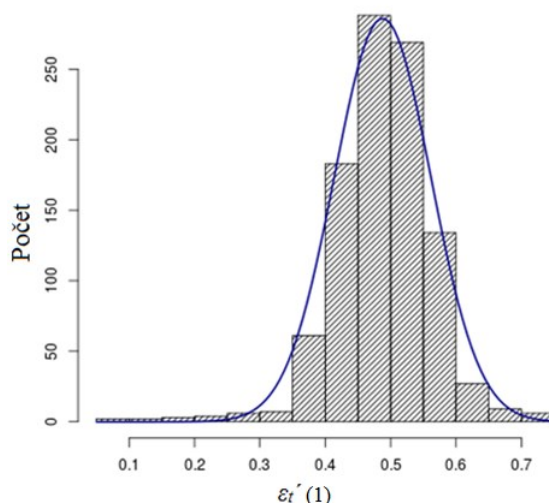
Ve skutečném lomovém napětí (σ_l), jehož rozložení vidíme na následujícím grafu 8, nalzáme první veličinu, u které dle našich výsledků nemá smysl předpokládat, že by na místo normálního rozdělení měla logaritmicke normální. Velikost střední hodnoty je 201 MPa a

směrodatné odchytky 53 MPa. Pro přímé hodnoty Kolmogorov-Smirnovův test normality vychází 0,107, zatímco pro hodnoty zlogaritmované jen 0,024, tedy zhruba čtyřikrát menší.



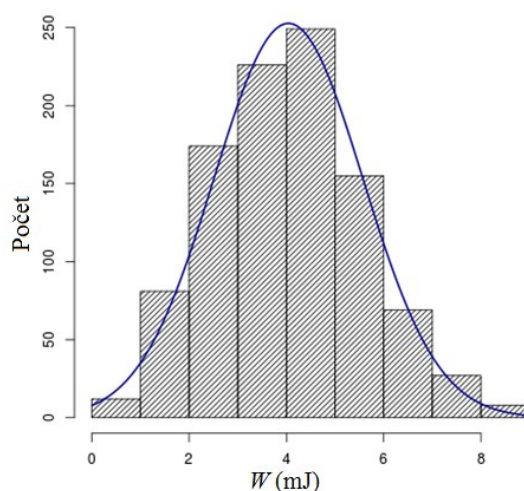
Graf 8: Histogram skutečného lomového napětí (σ_t).

Histogram skutečné relativní tržné délky (ε_t) na následujícím grafu 9 ukazuje, že nejspíše několik vlasů s malými hodnotami bylo zřejmě nějak mechanicky porušeno a že reálné hodnoty se nalézají až v oblasti přibližně 0,3 výše. Gaussova křivka nyní dobře popisuje nalezenou skutečnost, a to s parametry 0,488 pro střední hodnotu a 0,074 pro směrodatnou odchytku. Test normality, nejspíše vzhledem k odlehlým hodnotám, zmíněným výše, pro přímé hodnoty vychází 0,0034, avšak pro hodnoty zlogaritmované ještě mnohem menší, a sice $2 \cdot 10^{-12}$. Pročež lze s úspěchem přepokládat, že hodnoty skutečné relativní tržné délky mají ve sledovaném vzorku populace normální rozdělení.



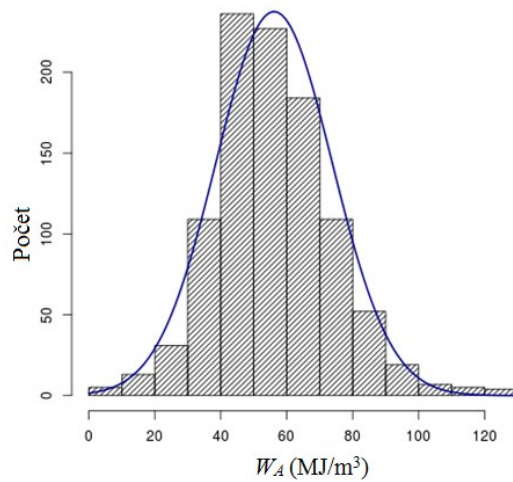
Graf 9: Histogram skutečné relativní tržné délky (ε_t).

Celková práce nutná k přetržení (W) má rozložení velmi blízké normálnímu, jak můžeme posoudit i z následujícího grafu 10. Gaussova křivka zde vychází s parametry 4,04 mJ pro střední hodnotu a pro směrodatnou odchylku 1,53 mJ. Kolmogorov-Smirnovův test normality nás o normalitě této veličiny přesvědčí hodnotou 0,57.



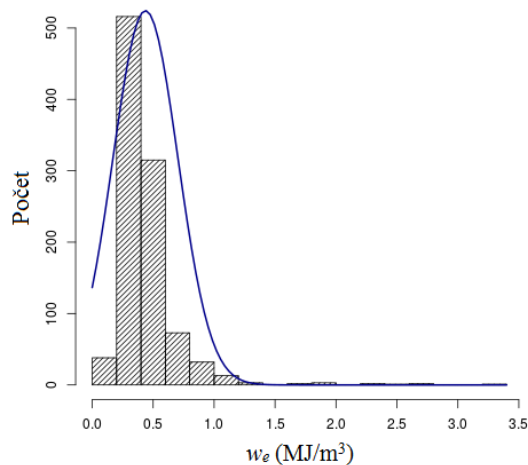
Graf 10: Histogram celkové mechanické práce nutné k přetržení daného materiálu (W).

Další veličinou mající přibližně normální rozdělení je tahová houževnatost (W_A). Parametry normálního rozdělení jsou pro střední hodnotu 56 MJ/m³ a směrodatnou odchylku 18 MJ/m³. Kolmogorov-Smirnovův test normality je 0,03. Histogram (graf 11) vidíme níže.



Graf 11: Histogram tahové houževnatosti (W_A).

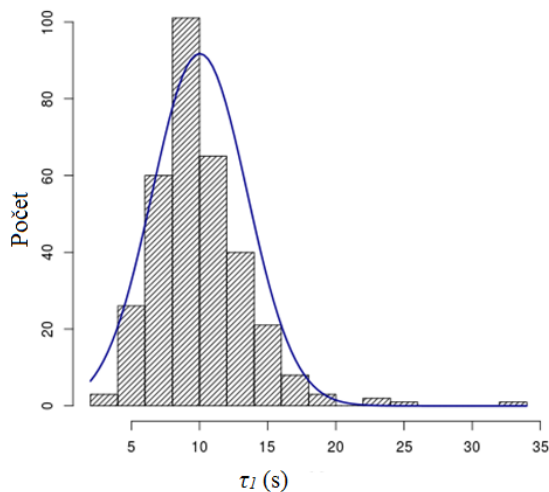
S jistotou však můžeme říci, že normální rozdělení nemá poslední z námi sledovaných veličin určených z trhacích dat, tedy resilience (w_e). Histogram (graf 12) vidíme níže, shoda Gaussova rozdělení o parametrech střední hodnoty $0,437 \text{ MJ/m}^3$ a se směrodatnou odchylkou $0,266 \text{ MJ/m}^3$ se získanému histogramu ani vzdáleně nepodobá. Dokonce i po odstranění odlehlých hodnot nad $1,5 \text{ MJ/m}^3$ nevychází p-hodnota z Kolmogorova-Smirnova testu normality větší než $2 \cdot 10^{-16}$. Zlogaritmované hodnoty pak přeci jen poskytují hodnotu o něco větší, a to i v případě ponechání odlehlých hodnot, tedy hodnotu $0,000677$. Je tedy zřejmé, pro které rozdělení se ze dvou uvedených rozhodnout.



Graf 12: Histogram resilience (w_e).

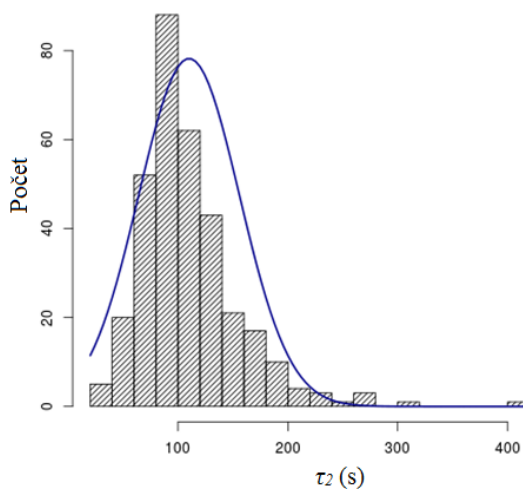
Následující grafy jsou histogramy veličin získaných relaxačním experimentem. Zde sledujeme veličiny τ_1 , τ_2 , F_0 , F_1 , F_2 , F_3 .

Pro relaxační čas τ_1 (graf 13) nám Gaussovo rozdělení vychází o parametrech pro střední hodnotu 10,0 s a směrodatnou odchylkou 3,5 s. Kolmogorov-Smirnovův test vychází 0,00489, a pokud hodnoty zlogaritmuje, pak výsledná hodnota je asi stokrát větší, tedy 0,449.



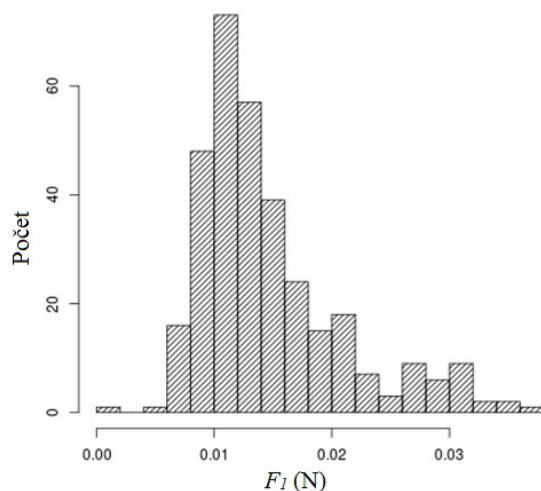
Graf 13: Histogram relaxačního času (τ_1).

Pokus o proložení Gaussovou křivkou, která nám u druhého relaxačního času (τ_2) dává velikost střední hodnoty 110 s a směrodatnou odchylku 46 se nepodaří (graf 14). Což potvrzuje i Kolmogorov-Smirnovův test normality s p-hodnotou 0,00013, zatímco tentýž test hodnot zlogaritmovných dává hodnotu 0,48.



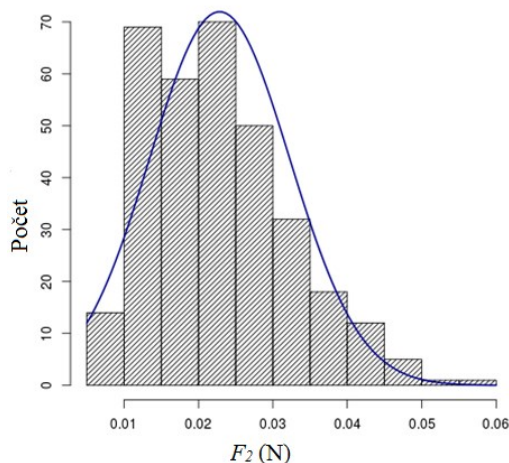
Graf 14: Histogram relaxačního času (τ_2).

Síla F_1 , patřící jednomu z členů relaxace, nemá žádné parametry, a to z důvodů, že se skládá ze dvou oblastí a není jí proto možné vyhodnotit (graf 15).



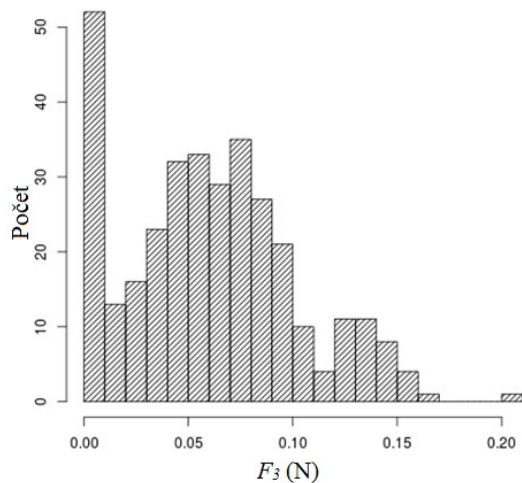
Graf 15: Histogram síly F_1 patřící jednomu z členů relaxace.

Síla F_2 , která patří dalšímu členu relaxace (graf 16), nám při proložení Gaussovou křivkou dává velikost střední hodnoty 0,0228 N a směrodatné odchylky 0,0094 N. Kolmogorov-Smirnovův test normality nám poskytuje hodnotu 0,16, a pokud jej provedeme na zlogaritmovaných hodnotách, pak je jeho hodnota 0,2, tedy prakticky stejná.



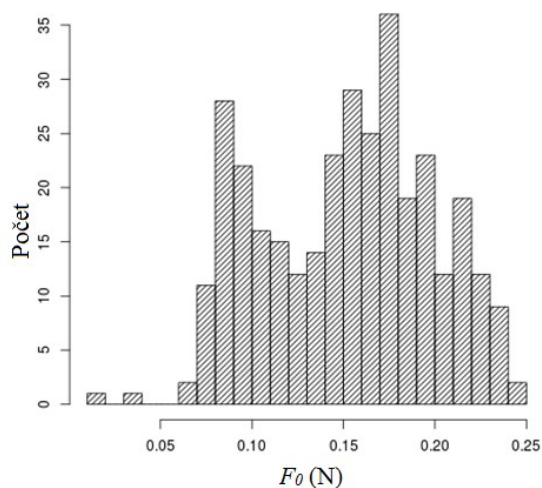
Graf 16: Histogram síly F_2 patřící dalšímu z členů relaxace.

K hodnocení síly F_3 , která patří poslednímu z členů relaxace, nemůžeme také nic říct, protože nemá jednoduché rozdělení (graf 17).



Graf 17: Histogram síly F_3 patřící poslednímu z členů relaxace.

Také koncová síla F_0 , kterou vzorek působí po odeznění všech relaxačních procesů, nemá jednoduché rozdělení, a tudíž jej také nelze vyhodnotit (graf 18).



Graf 18: Histogram koncové síly, kterou vzorek působí po odeznění všech relaxačních procesů (F_0).

5.2a Korelace veličin

Po představení rozložení jednotlivých zkoumaných veličin bude ukázáno, které z těchto veličin jsou závislé. Vzhledem k faktu, že nejsou hodnoty jednotlivých veličin stejného rozsahu a navíc zřídka mívají normální rozdělení, nabízí se použití Spearmanova pořadového korelačního koeficientu na místo obvyklejšího Pearsonova. Výsledná korelační tabulka 10 vznikla použitím průměrných hodnot ze třech vlasů prvního odběru pro veličiny získané z trhacích křivek a jednoho vlasu z prvního odběru pro relaxační veličiny. Musíme tedy mít na paměti, že se v principu jedná o výběr vlasů od jedné ženy, ale různé veličiny jsou určeny z různých vlasů, neboť např. relaxační veličiny nelze určit z vlasu, který prošel trhací zkouškou.

Jednotlivé korelace jsou vyznačeny dle věcné významnosti, tedy slabá korelace je nižší jak 0,3, středně silná korelace je v rozmezí 0,3 – 0,7 a silná korelace je vyšší jak 0,7 (Hendl, 2016).

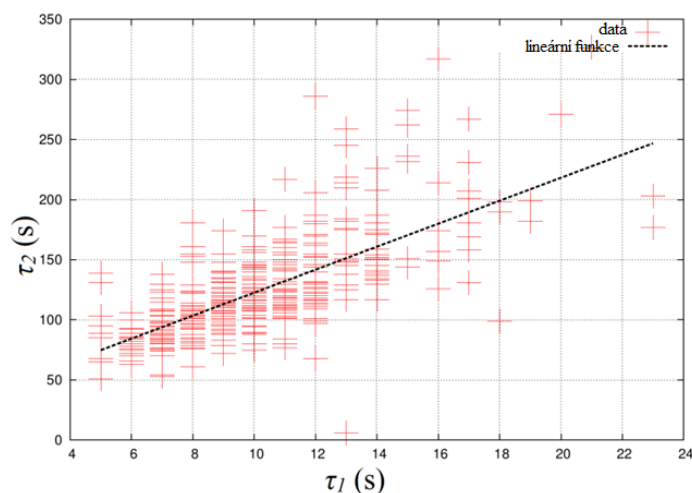
	E'	$\sigma_{0,05}$	$\sigma_{0,2}$	σ_t'	ε_t'	W	W_A	w_e	D_R	F_0	F_1	F_2	F_3	τ_1	τ_2
D_T	-0,11	-0,04	-0,11	-0,12	0,13	0,79	0,01	-0,05	0,54	0,22	-0,48	-0,27	-0,05	0,16	0,06
E'		0,75	0,81	0,45	-0,28	0,12	0,32	0,37	-0,16	-0,22	-0,08	0,04	0,24	-0,24	-0,02
$\sigma_{0,05}$			0,96	0,59	-0,08	0,27	0,50	0,84	0,00	-0,08	-0,28	-0,10	0,16	-0,05	0,02
$\sigma_{0,2}$				0,63	-0,12	0,22	0,51	0,78	-0,08	-0,09	-0,24	-0,09	0,17	-0,06	0,01
σ_t'					0,50	0,42	0,94	0,55	-0,11	-0,12	-0,05	0,12	0,14	0,17	0,15
ε_t'						0,47	0,69	0,10	0,10	-0,03	-0,03	0,06	0,04	0,22	0,08
W							0,52	0,24	0,41	0,11	-0,50	-0,25	0,06	0,19	0,01
W_A								0,49	-0,06	-0,09	-0,04	0,10	0,13	0,22	0,17
w_e									0,10	0,03	-0,33	-0,12	0,06	0,15	0,10
D_R										0,10	-0,48	-0,18	0,10	0,20	0,09
F_0											0,01	-0,21	-0,92	0,20	-0,08
F_1												0,57	-0,16	-0,08	0,00
F_2													0,04	0,10	0,52
F_3														-0,18	0,03
τ_1															0,66

Tabulka 10: Celkový přehled pořadových korelačních koeficientů všech měřených veličin. Kde D_T – průměr vlasů z trhacích experimentů; E' – skutečný modul elasticity; $\sigma_{0,05}$ – smluvní mez linearity; $\sigma_{0,2}$ – smluvní mez kluzu; σ_t' – skutečné lomové napětí; ε_t' – skutečná relativní tržná délka; W – celková mechanická práce; W_A – tahová houževnatost; w_e – resilience; D_R – průměr vlasů pro relaxační experimenty; F_0 – koncová síla kterou vzorek působí po odeznění všech relaxačních procesů; F_1, F_2, F_3 – síly patřící jednotlivým členům relaxace; τ_1 – první (krátkodobý) relaxační čas; τ_2 – druhý (střednědobý) relaxační čas. Barvy v této tabulce označují sílu korelace, světle modrou je označená slabá korelace, světle zelenou střední korelace a světle červenou korelace silná.

Je pozoruhodné, že korelační koeficient mezi průměrem vlasů odebíraných pro relaxaci D_r a průměrem vlasů odebíraných z téže hlavy pro trhací zkoušky D_t činí 0,54, což značí velmi

silnou korelaci. Takový výsledek lze sice očekávat, je však potvrzením a jakousi kontrolou toho, že vlasy odebírané z jedné hlavy se vzájemně podobají. Z relaxačních veličin má nejvyšší korelační koeficient τ_1 s τ_2 , a to 0,66. Velmi vysoká korelace je i mezi silami F_1 a F_2 , a to 0,57. A záporná korelace dlouhodobé relaxace F_3 s reziduální silou F_0 činí $-0,92$.

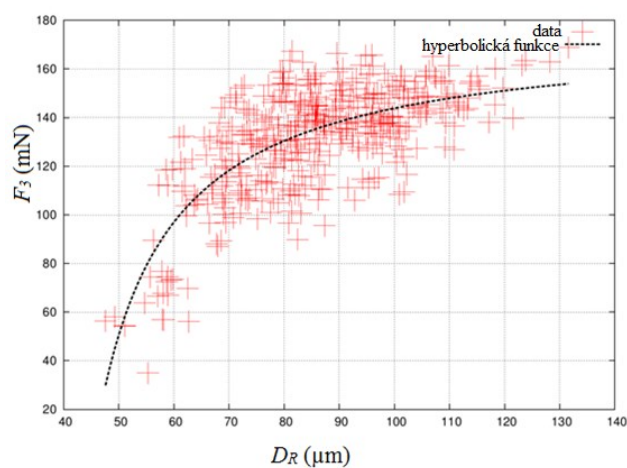
Za bližší rozbor stojí právě současná korelace mezi F_1 , F_2 , τ_1 , τ_2 . Jak vidíme na následujícím grafu 19, je korelace τ_1 a τ_2 viditelná přímo.



Graf 19: Zobrazení závislosti mezi relaxačními časy τ_1 a τ_2 . Křížkem v grafu jsou označeny jednotlivé naměřené relaxační časy pro všechny naměřené vlasy.

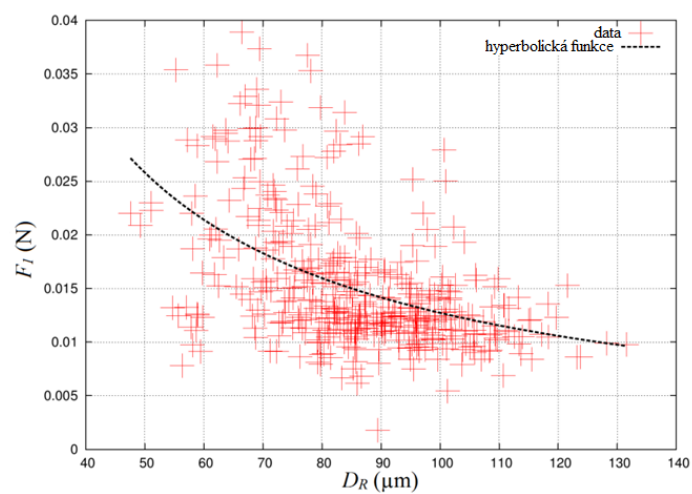
Velikost korelačních koeficientů mezi veličinami τ_1 a τ_2 i tento graf 17 nás přesvědčují, že tvar relaxační křivky zůstává pro různé vlasy neměnným. Vzhledem k této vlastnosti, velikosti korelačních koeficientů (tab. 6) mezi veličinami F_i , τ_i a grafu 21 lze říci, že změna F_1 způsobuje změnu $F_2 \Rightarrow$ změna $\tau_2 \Rightarrow$ změna τ_1 a to pokaždé ve stejném směru. Neboli žádná z těchto veličin F_1 a F_2 , τ_1 , τ_2 se nemění samostatně ale vždy současně se všemi ostatními, a to navíc tak, aby jejich vzájemný poměr zůstal zachován. Vypadá to tedy, pokud lze uvažovat, že tyto veličiny reprezentují strukturální vlastnosti vlasů, že struktura vlasů v porovnání z různých hlav zůstává zachována. Po změně měřítka na časové ose lze tak přejít od průběhu získaného na jednom vlase k průběhu získanému na vlase jiném. Tvar křivky zůstává neměnným, a je tedy fraktálním invariantem. Tuto vlastnost považujeme za podstatný výsledek této práce.

Přestože korelační koeficient D_R vůči F_3 činí pouze 0,1, závislost těchto veličin, byť nelineární, je dobře viditelná v následujícím grafu 20.

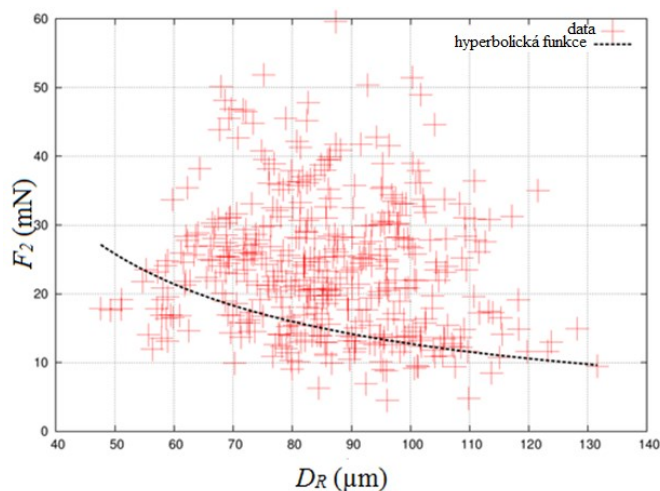


Graf 20: Zobrazení závislosti mezi průměrem vlasu z relaxačního experimentu (D_R) a relaxační síly (F_3). Křížkem v grafu jsou označeny jednotlivé naměřené vlasy.

Dále přikládáme i podobně vynesené závislosti D_R na F_1 (graf 21) a D_R na F_2 (graf 22), jejichž vypovídací hodnota je však omezena.

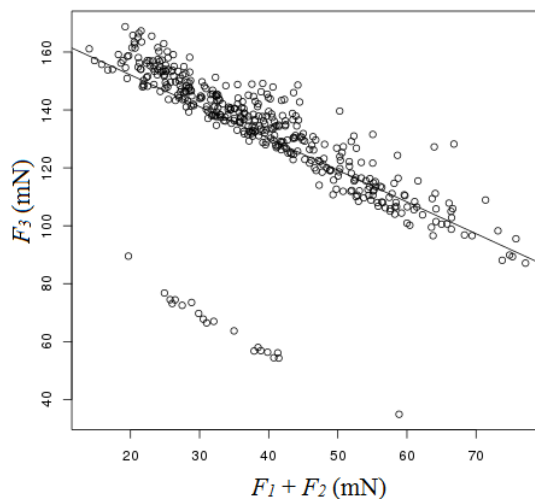


Graf 21: Závislost relaxační síly F_1 na průměru vlasů z relaxačních experimentů D_R . Křížkem v grafu jsou označeny jednotlivé naměřené vlasy.



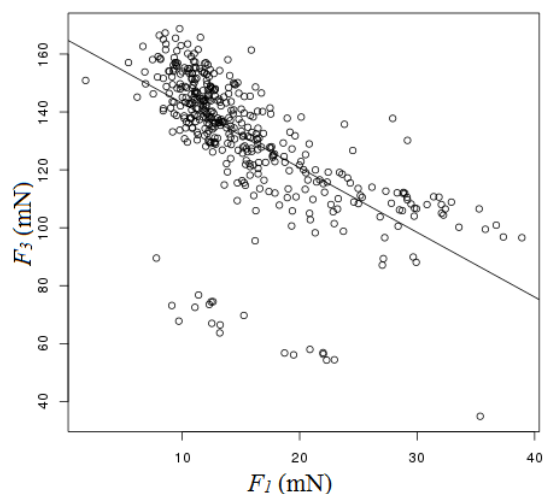
Graf 22: Závislost relaxační síly F_2 na průměru vlasů z relaxačních experimentů D_R . Křížkem v grafu jsou označeny jednotlivé naměřené vlasy.

Zajímavou souvislost vykazuje kombinace $F_1 + F_2$ na F_3 (graf 23). Až na několik odlehlých hodnot, které vznikly tím, že se vlasy tenší než $60 \mu\text{m}$ napjaly silou $0,18 \text{ N}$, na místo $0,25 \text{ N}$ na kterou byly napjaty ostatní měřené vlasy, se jedná prakticky o lineární závislost. Dokonce je patrné, že směrnice odlehlých bodů je prakticky totožná se směrnici hlavní skupiny, a zdá se tedy, že charakter relaxačního procesu se nějak prudce nevyvíjí s budící silou, pokud je tato v elastické oblasti.

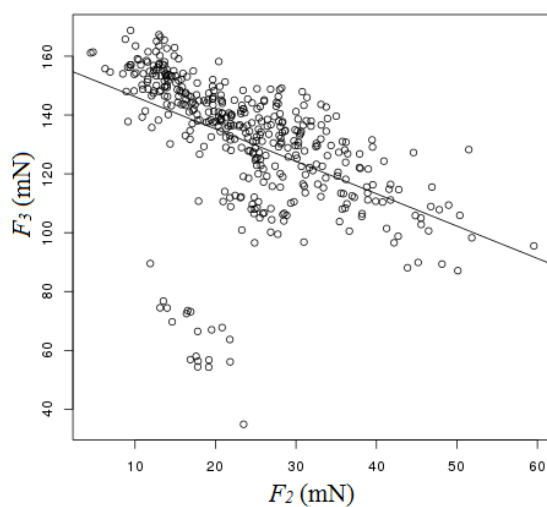


Graf 23: Závislost součtu relaxačních sil $F_1 + F_2$ na velikosti F_3 . Zatímco závislost F_1 i F_2 i jednotlivě na F_3 je složitější, závislost F_3 na tomto součtu je prakticky lineární. Můžeme si povšimnout, že i pro odlehlou skupinu hodnot, která vznikla primárním natažením vlasu na $0,18 \text{ N}$ na místo $0,25 \text{ N}$ jako u ostatních, je směrnice proložené přímkou těmito odlehlými body prakticky shodná s hlavní skupinou.

Pokud zobrazíme jen závislost F_1 na F_3 či F_2 na F_3 , jak ukazují následující grafy 24, 25, zjistíme, že lineární korelace je mnohem nižší.



Graf 24: Závislost jednotlivých relaxačních sil jednotlivých členů relaxace, zde závislost F_3 na F_1 .

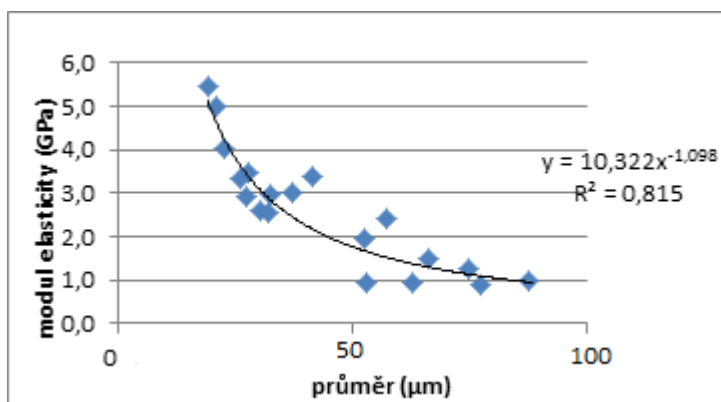


Graf 25: Závislost jednotlivých relaxačních sil jednotlivých členů relaxace, zde závislost F_3 na F_2 .

5.2b Vztah mezi modulem elasticity a průměrem chlupu

Pro zajímavost uvedeme námi zjištěnou závislost modulu elasticity na průměru chlupu. Vzhledem k tomu, že jsme nepořídili dostatečně široký jednorázový odběr z hlavy jedné ženy, a současně je v medulování vlasů menší než typická medulování chlupů a současně je zpravidla variabilita průměru vlasů na jedné hlavě nižší než variabilita tlouštěk chlupů u zvířat rozhodli jsme se tuto zajímavou závislost prozkoumat na zvířecích chlupech. Testy na ženských vlasech nevyklučují podobné chování, které bylo zjištěno u zvířecích chlupů, avšak

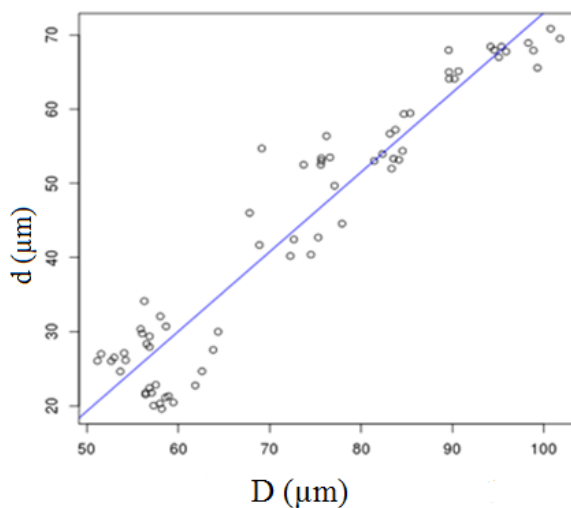
vzhledem k výše zmíněným důvodům nevykazují zdaleka tak přesvědčivou korelaci. Následující graf 26 dokládá tuto vlastnost pro chlupy morčat.



Graf 26: Závislost modulu elasticity na průměru chlupů.

Tato průměrová závislost modulu elasticity, jak se domníváme, je způsobená medulováním silnějších chlupů a nepřítomností meduly v tenkých chlupcích. Medula má asi 200 krát menší modul elasticity a z hlediska tuhosti chlupu se proto jeví téměř jako dutina kortexu. Tuto vlastnost jsme rozebírali v našem příspěvku z konference TAE 2013, Šimková et al. (2013).

Závislost tloušťky meduly na průměru chlupu jsme zkoumali na fretčích chlupcích, u kterých je popsána následujícím grafem 27 a rovnicí (20).



Graf 27: Zobrazení závislosti průměru meduly na celkovém průměru chlupů. Kde d – průměr meduly; D – průměr chlupu.

$$d = 0,7D - 21 \quad (\mu\text{m}) \quad (20)$$

Kde d – průměr meduly; D – průměr chlupu.

Tato rovnice nám říká, že průměr meduly roste s průměrem chlupu, ta se vyskytuje pouze u chlupů silnějších než 21 μm . Koeficient úměrnosti (zde 0,7) společně s počátečním průměrem chlupu, který je již modulován, zde 21 μm , navrhujeme jako vhodnou charakterizaci daného typu srsti. Důsledek medulování se projeví, podobně jako u morčat, prudkým nárůstem modulu elasticity počítaného přes celý průměr chlupu pro hodnoty průměrů blížících se kritické hranici, pod kterou není chlup již medulován. Korekcí modulu elasticity počítající s medulovanou částí vlákna se zybýváme v našem příspěvku na konferenci TAE 2016, Skřontová et al. (2016 a).

5.3 Trendy a jejich analýzy

Nyní se dostáváme k jednomu z hlavních témat této práce. Pokusíme se nyní z našich výsledků stanovit, zda dochází v průběhu těhotenství k signifikantním změnám mechanických parametrů vlasů. Jelikož se jedná o krucální problém této práce, nenecháme se odradit slabými výsledky jedné statistické metody, avšak použijeme postupně hned tři. Z tohoto důvodu bude tato kapitola rozdělena do dvou oddílů, ve kterých je táž otázka zkoumána vždy na stejných datech, avšak jinými statistickými metodami s mírně rozlišnými výsledky.

Základním problémem totiž je, že změny hodnot mechanických parametrů vlasů v průběhu těhotenství jsou sice značné, avšak u každé ženy jiné. První kapitola se proto zabývá snahou nalézt typické skupiny nebo alespoň extrémně odlišné jedince jako báze těchto odlišných skupin, a stanovit tak pravděpodobný vývoj alespoň pro jednotlivé části ženské populace. Další dvě kapitoly se zabývají populací jako celkem a ověřují, zda přeci jen neexistují některé mechanické parametry, které by se měnily v celé populaci.

Následující tabulka 11 obsahuje střední trendy všech sledovaných mechanických parametrů pro všechny gravidní ženy. Výpočet těchto trendů probíhal následovně: pro každý odběr byla vypočtena průměrná hodnota dané veličiny, byl vynesena graf těchto průměrných hodnot v jednotlivých odběrech v závislosti na čase odběru. Tedy vznikl graf závislosti dané veličiny na dni těhotenství. Takto vynesené střední hodnoty byly proloženy optimální přímkou ve smyslu minimalizace čtverců odchylek. Tabulka 11 pak ukazuje hodnoty směrnic těchto přímek, neboli trendů všech měřených veličin u jednotlivých gravidních žen.

\check{c} v_z	D	E'	$\sigma_{0,05}$	$\sigma_{0,2}$	σ_t'	ε_t'	W	W_A	w_e	F_0	F_1	F_2	F_3	τ_1	τ_2
1	0,04	0,50	0,00	-0,01	-0,18	-0,24	0,07	-0,07	-0,11	300	-40	25	-232	0,02	0,13
2	0,00	1,38	0,00	0,00	-0,19	-0,34	-4,72	-0,09	-0,31	247	10	-8	-259	0,00	-0,10
3	0,05	0,07	0,00	0,04	0,27	0,44	11,17	0,11	0,72	55	-7	-11	134	0,01	-0,02
4	0,05	-0,01	0,04	0,03	0,11	0,08	14,36	0,04	0,95	136	46	-25	-156	0,35	-0,34
5	0,00	0,36	-0,02	-0,05	-0,41	-0,46	-13,01	-0,16	-0,60	-142	77	82	-43	0,04	-0,01
6	0,01	-2,84	-0,03	-0,06	-0,07	0,34	0,40	0,01	-0,07	-174	-59	41	213	-0,55	0,57
7	0,04	-1,61	-0,01	-0,01	0,09	0,35	9,23	0,05	0,10	164	-41	-8	-90	0,01	0,06
8	-0,06	-2,34	-0,04	-0,05	-0,17	0,03	-6,71	-0,04	-0,29	-387	1	7	41	0,00	0,09
9	-0,03	2,72	0,05	0,06	0,16	0,08	0,05	0,06	0,48	-153	-6	-28	203	-0,01	-0,11
10	-0,03	0,81	-0,01	0,03	0,22	-0,08	-0,04	0,05	0,17	-228	17	45	110	0,03	0,39
11	0,00	-1,51	0,02	0,01	0,11	0,05	4,05	0,03	0,40	-213	4	-9	236	0,01	0,45
12	0,03	4,71	0,11	0,13	0,28	-0,13	12,75	0,08	1,39	-301	-44	33	331	-0,02	-0,16
13	0,05	-1,76	-0,04	-0,04	-0,05	-0,23	2,51	-0,03	-0,36	-199	53	-12	40	-0,01	-0,11
14	-0,09	-1,29	-0,06	-0,07	-0,19	0,15	-10,90	-0,04	-1,06	-474	10	40	276	0,00	0,03
15	-0,02	3,93	0,04	0,05	0,01	-0,21	-1,25	-0,01	-0,17	-274	-11	-29	109	0,02	0,10
16	-0,09	-0,77	0,00	0,02	-0,04	0,01	-8,08	0,01	0,18	-241	74	73	-140	-0,02	-0,03
17	-0,02	-1,34	0,00	-0,03	-0,06	-0,11	-7,51	-0,03	0,20	-287	22	22	227	-0,01	-0,07
18	-0,04	4,27	0,01	0,02	-0,01	-0,24	-2,76	-0,02	-0,59	81	18	6	-132	0,00	0,31
19	0,04	0,30	0,03	0,01	-0,01	0,20	3,04	0,02	0,77	5	-25	-5	50	0,01	0,05
20	0,11	-2,75	-0,05	-0,06	0,00	0,41	12,77	0,01	-0,42	-184	-1	-16	226	-0,01	-0,12
21	0,07	-2,05	-0,05	-0,06	-0,01	0,46	5,90	0,03	-0,56	393	-99	-23	-237	0,01	0,07
22	0,15	-3,18	-0,04	-0,05	-0,07	0,54	13,56	0,01	-0,18	178	4	23	-161	0,02	0,25
23	0,03	-1,87	-0,07	-0,08	-0,22	0,01	-2,38	-0,06	-1,01	-199	20	22	147	0,03	0,22
24	-0,01	-6,81	-0,12	-0,13	-0,07	0,40	1,61	-0,01	-1,18	173	-54	-46	-101	0,00	-0,07
25	0,00	-0,75	0,00	-0,01	-0,07	-0,18	0,36	-0,04	0,12	313	22	17	-383	0,00	0,05
26	-0,05	4,00	0,12	0,14	0,51	0,13	5,41	0,10	1,79	-418	-21	-5	117	-0,02	-0,15
27	0,08	-0,93	-0,08	-0,11	-0,32	-0,20	4,13	-0,12	-1,75	-181	-37	60	191	0,01	0,40
28	0,23	1,44	0,00	-0,02	-0,18	0,10	17,46	-0,02	-0,42	509	53	104	-114	0,03	0,65
29	-0,02	1,85	0,10	0,10	0,34	-0,04	1,55	0,08	1,75	278	10	8	-302	0,01	0,14
30	-0,05	1,94	-0,01	-0,02	-0,07	-0,15	-8,18	-0,04	-0,46	71	2	-15	-50	0,00	-0,10
31	-0,02	-0,29	-0,02	-0,02	0,06	0,15	-1,09	0,02	-0,28	-105	18	27	20	0,01	0,06
32	-0,03	-1,36	-0,01	-0,02	0,02	0,05	-1,94	0,00	-0,07	577	8	-28	-544	0,02	-0,06
33	0,11	1,88	0,03	0,03	0,31	0,09	11,97	0,08	0,31	-25	-102	-113	300	0,01	0,03
34	0,00	-2,02	-0,03	-0,03	-0,24	-0,40	-6,23	-0,09	-0,29	386	-17	-16	-340	0,00	0,00
35	-0,02	-1,08	-0,01	-0,02	-0,04	-0,01	-2,63	-0,02	-0,09	54	-11	8	-45	0,01	0,15
36	0,00	1,13	0,11	0,10	0,36	0,16	4,47	0,10	3,25	131	24	95	-285	0,02	0,22
37	0,01	-0,80	0,01	0,00	0,05	0,06	0,10	0,01	0,30	75	16	29	-94	0,00	0,02
38	-0,09	-0,11	0,03	0,02	-0,16	-0,80	-17,61	-0,11	0,68	471	117	57	-727	-0,02	-0,26
39	-0,13	1,21	0,03	0,04	0,56	0,59	2,80	0,18	0,72	-315	101	-19	110	-0,02	-0,40
40	0,05	-4,65	0,01	-0,01	-0,18	0,06	2,25	-0,06	2,58	-453	25	8	379	-0,01	-0,10
41	0,02	5,25	0,05	0,07	0,05	-0,45	-0,20	0,00	0,18	-615	80	71	385	-0,03	-0,40
42	0,05	-2,80	-0,04	-0,03	-0,26	-0,29	-1,09	-0,10	-0,30	900	5	34	-946	0,03	0,05
43	0,13	-12,20	-0,21	-0,25	-0,62	0,54	6,83	-0,12	-0,10	359	29	76	-458	-0,02	-0,28
44	-0,03	0,26	0,00	-0,01	0,05	0,08	-1,73	0,02	-0,19	-78	9	2	67	0,01	-0,01
45	0,13	4,28	-0,02	0,02	-0,29	0,18	7,15	-0,02	-1,77	731	-25	-97	-615	-0,05	-0,42

č. vz.	D	E'	$\sigma_{0,05}$	$\sigma_{0,2}$	σ_t'	ε_t'	W	W_A	w_e	F_0	F_1	F_2	F_3	τ_1	τ_2
46	-0,01	-1,52	0,00	-0,02	-0,43	-0,60	-8,30	-0,12	0,28	54	-61	3	47	0,00	0,13
47	-0,19	3,00	0,03	0,05	0,42	0,33	-8,64	0,14	-0,01	-565	30	57	510	0,00	0,13
48	0,01	-1,17	0,02	0,01	0,00	-0,14	2,56	-0,02	1,03	12	1	-1	-28	0,01	0,29
49	0,05	-0,56	-0,02	-0,02	-0,14	-0,02	2,45	-0,03	-0,42	-386	-30	-39	486	0,03	0,39
50	-0,05	3,93	-0,07	-0,05	0,02	0,10	-3,59	0,02	-2,70	-80	30	8	14	-0,04	-0,56
51	0,02	-3,95	0,02	0,01	0,09	-0,11	3,12	0,01	3,25	-35	5	-7	16	0,03	0,26
52	-0,07	-3,21	-0,07	-0,11	-0,22	0,14	-8,18	-0,06	-0,83	105	38	45	-183	-0,07	-0,38
53	0,03	2,13	0,09	0,04	1,15	0,52	16,67	0,25	1,21	2100	169	298	216	0,17	2,89
54	0,13	2,89	0,07	0,11	0,45	0,24	24,26	0,14	0,94	469	-10	-48	-333	-0,03	-0,18
55	-0,07	3,82	0,05	0,06	0,00	-0,36	-7,84	-0,04	0,18	20	-5	-25	26	-0,01	-0,13
56	-0,06	1,07	-0,01	0,02	0,16	-0,36	-4,24	0,01	-0,45	722	-20	1	-717	0,00	0,07
57	-0,04	0,46	0,01	0,00	0,10	0,21	-3,01	0,04	0,23	-283	20	-2	161	-0,02	-0,20
58	0,20	1,16	0,06	0,05	0,31	0,86	20,49	0,18	0,91	-138	-160	-25	158	0,01	0,06
59	-0,09	-1,19	0,02	0,01	0,23	0,39	-3,01	0,07	0,58	-525	15	32	483	0,02	0,27
60	-0,11	-3,21	0,02	0,02	-0,08	-1,33	-25,33	-0,18	1,81	606	24	52	-763	0,06	0,32
61	-0,02	4,13	-0,02	-0,03	-0,23	-0,21	-4,96	-0,07	-1,22	161	-2	15	-155	-0,04	-0,78
62	-0,08	-6,62	0,07	0,04	0,13	0,07	-7,81	0,02	4,82	290	5	73	-281	0,00	0,16
63	0,07	-2,89	-0,10	-0,15	-0,21	0,11	8,72	-0,08	-1,51	37	5	102	-172	-0,02	-0,17
64	-0,04	-2,50	0,13	0,09	0,57	1,24	10,56	0,34	3,29	1150	-87	41	-1128	0,03	0,20
\bar{x}	0,01	-0,30	0,00	0,00	0,03	0,04	0,97	0,01	0,25	72,64	3,72	16,88	-65,38	0,00	0,06
s_x	0,08	3,05	0,06	0,06	0,28	0,38	8,87	0,09	1,26	440,43	50,20	54,98	335,52	0,09	0,44
\tilde{x}	0,00	-0,43	0,00	0,00	-0,01	0,06	0,08	0,00	0,04	28,65	5,02	7,88	-6,89	0,00	0,04

Tabulka 11: Střední trendy pro všechny sledované mechanické parametry u všech žen. Kde č. vz. – číslo vzorku; \bar{x} – průměr; s_x – směrodatná odchylka; \tilde{x} – medián; D ($\mu\text{m}/\text{den}$) – průměr vlasů; E' (MPa/den) – skutečný modul elasticity; $\sigma_{0,05}$ (MPa/den) – smluvní mez linearity; $\sigma_{0,2}$ (MPa/den) – smluvní mez kluzu; σ_t' (MPa/den) – skutečné lomové napětí; ε_t' ($10^{-3}/\text{den}$) – skutečná relativní tržná délka; W ($\mu\text{J}/\text{den}$) – celková mechanická práce; W_A (mJ/den) – tahová houževnatost; w_e ($\text{kJm}^{-3}\text{den}^{-1}$) – resilience; F_0 ($\mu\text{N}/\text{den}$) – koncová síla kterou vzorek působí po odeznění všech relaxačních procesů; F_1 , F_2 , F_3 ($\mu\text{N}/\text{den}$) – síly patřící jednotlivým členům relaxace; τ_1 (s/den) – první (krátkodobý) relaxační čas; τ_2 (s/den) – druhý (střednědobý) relaxační čas.

Přesto je zřejmé, že rozptyl hodnot je mnohem větší, než jakákoli jejich střední hodnota. Jen výjimečně leží medián mimo interval obsahující nulovou hodnotu. Jedná se tedy o směs několika nesourodých skupin. Předpokládejme, že tato nesourodost je tvořena rozdílností skupin žen, nikoli vlasů na každé hlavě. V tomto případě by mohl existovat způsob, jak tyto skupiny žen vzájemně rozdělit a pro každou z nich v případě nalezení souvisejícího parametru dopředu určit, jak se budou hodnoty mechanických parametrů vlasů během těhotenství měnit.

5.3.1 Shluková analýza

V prvním kroku nám tedy jde o nalezení skupiny vzájemně si podobných žen, tedy takových žen, u nichž mají všechny zkoumané mechanické parametry během těhotenství podobný vývojový trend. Ve druhém kroku se pokusíme zjistit, zda takto získané skupiny poji nějaké

markery v oblasti zjišťovaných údajů o zkoumaných ženách.

Jelikož závislost některých analyzovaných trendů veličin by mohla ovlivnit použitelnost separačních metod, provedeme nejdříve výběr jen těch vzájemně nezávislých. Jelikož rozložení není Gaussovské, provedeme výpočet Spearmanových korelačních koeficientů mezi všemi veličinami vzájemně. Výsledek je v tabulce 12. Silně korelující veličiny (označené červeně) vyloučíme z další analýzy.

Všimněme si, že všechny korelační koeficienty v tabulce jsou kladné! A nejnižší z nich má hodnotu 0,12, což značí sice jen slabou korelaci, a to mezi veličinami F_3 a F_0 , které však vykazují silnou nelineární korelaci. Opět je tato tabulka obarvena dle věcné významnosti (viz Kapitola 5.2a).

	E'	$\sigma_{0,05}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{t'}$	ε_t'	W	W_A	w_e	F_0	F_1	F_2	F_3	τ_1	τ_2
D	0,47	0,49	0,41	0,51	0,61	0,87	0,57	0,57	0,72	0,32	0,43	0,54	0,66	0,57
E'		0,86	0,87	0,67	0,27	0,49	0,58	0,64	0,48	0,46	0,46	0,55	0,56	0,42
$\sigma_{0,05}$			0,95	0,82	0,39	0,63	0,74	0,89	0,46	0,39	0,34	0,56	0,49	0,38
$\sigma_{0,2}$				0,87	0,38	0,60	0,78	0,86	0,41	0,39	0,32	0,54	0,48	0,36
$\sigma_{t'}$					0,67	0,78	0,96	0,87	0,40	0,33	0,25	0,67	0,48	0,45
ε_t'						0,75	0,80	0,58	0,45	0,17	0,31	0,63	0,38	0,51
W							0,83	0,74	0,59	0,21	0,27	0,58	0,54	0,51
W_A								0,84	0,42	0,28	0,29	0,68	0,46	0,49
w_e									0,45	0,38	0,38	0,63	0,46	0,43
F_0										0,33	0,33	0,12	0,65	0,47
F_1											0,59	0,35	0,55	0,29
F_2												0,53	0,50	0,66
F_3													0,41	0,62
τ_1														0,65

Tabulka 12: Tabulka pořadových korelačních Spearmanových koeficientů. Kde D – průměr vlasů; E' – skutečný modul elasticity; $\sigma_{0,05}$ – smluvní mez linearitu; $\sigma_{0,2}$ – smluvní mez kluzu; $\sigma_{t'}$ – skutečné lomové napětí; ε_t' – skutečná relativní tržná délka; W – celková mechanická práce; W_A – tahová houževnatost; w_e – resilience; F_0 – koncová síla kterou vzorek působí po odeznění všech relaxačních procesů; F_1, F_2, F_3 – síly patřící jednotlivým členům relaxace; τ_1 – první (krátkodobý) relaxační čas; τ_2 – druhý (střednědobý) relaxační čas. Barvy v této tabulce označují sílu korelace, světle modrou je označena slabá korelace, světle zelenou střední korelace a světle červenou korelace silná.

Nejprve při realizaci prvního z výše uvedených kroků provedeme neparametrický průzkum a pokus o nalezení několika podobných žen. Postupujeme v těchto krocích:

- 1) Seřadíme všechny ženy podle velikosti trendu dané veličiny.
- 2) Zapamatujeme si ženy ležící v prvním a čtvrtém kvartilu hodnot trendu dané veličiny.
- 3) Pokud hodnota trendu dané ženy leží v prvním kvartilu, přisoudíme jí hodnotu 1, pokud ve

druhém či třetím, hodnotu nula, pokud ve čtvrtém, hodnotu -1 .

4) Toto přiřazení provedeme pro všechny veličiny.

5) Spočteme součet párových součinů takto přiřazených hodnot pro všechny dvojice použitých nezávislých veličin.

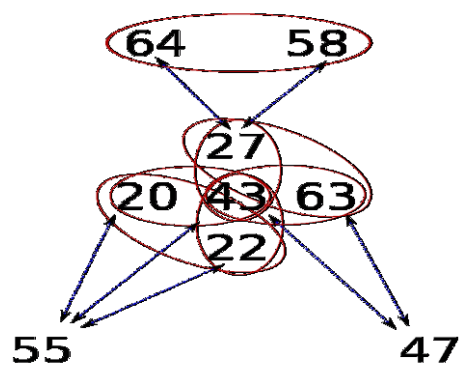
6) Vidíme, že hodnota tohoto součtu je velká, pokud trendy veličin mají pro dvojici žen stejné znaménko, hodnotu blízkou nule mají dvojice, pro které jsou trendy náhodné, a silně zápornou hodnotu mají dvojice žen, kterým se hodnoty zkoumaných veličin během těhotenství chovají zcela opačně. V podstatě se tedy jedná o obdobu znaménkového testu bez normování.

Grafické znázornění dominantních závislostí vidíme na obrázku 41.

Věnujme se nejprve vlivu podobnosti trendů veličin, jak se jejich hodnota mění v průběhu těhotenství. Předpokládejme, že směrnice změn tvoří otisk specifický pro tu kterou skupinu žen. Tedy například, že zatímco například poloměr vlasů jedné skupiny žen klesá v průběhu gravidity rychlostí $3 \mu\text{m}/\text{měsíc}$ a jejich modul elasticity roste rychlostí $10 \text{MPa}/\text{měsíc}$, pro jinou skupinu by mohlo platit něco jiného. A to například, že v těhotenství poloměr vlasů naopak roste se střední rychlostí $2 \mu\text{m}/\text{měsíc}$, modul elasticity zase naopak roste o $15 \text{MPa}/\text{měsíc}$.

Pro jednotlivé ženy tedy nejprve určíme trendy jednotlivých veličin, a to tak, že provedeme proložení přímkou dané veličiny na časové ose. Tyto trendy porovnáváme pořadovým korelačním koeficientem pro všechny veličiny mezi všemi ženami.

Při hledání maximální podobnosti mezi trendy všech veličin lze postupně dojít k závěru, že velkou podobnost trendů vykazují páry žen číslo 64 a 58, 27 a 43, 20 a 43, 63 a 43, 22 a 43, 20 a 22, 27 a 63. Naopak velkou rozdílnost trendů vykazují páry 64 a 27, 58 a 27, 47 a 63, 47 a 43. Žena 55 je velmi nepodobná hned třem ženám s čísly 20, 43 a 22. Přehledně tento výsledek zachycuje následující obrázek 41:

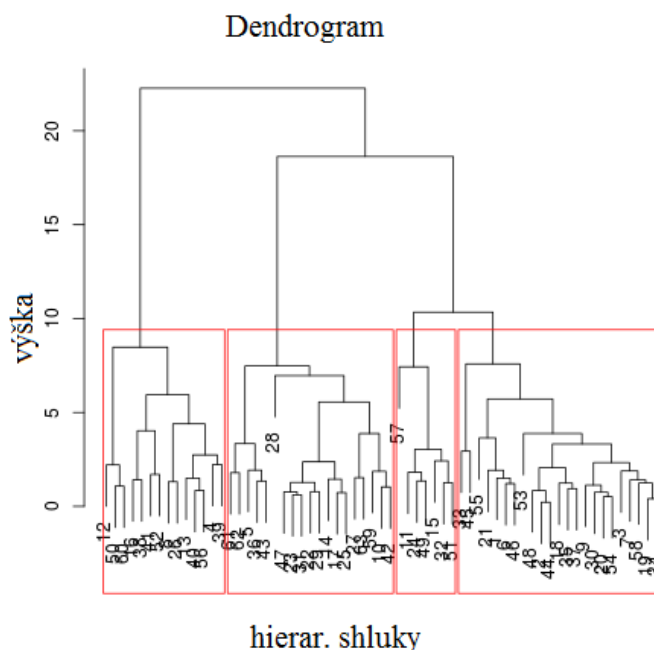


Obrázek 41: Diagram extrémní podobnosti. Čísla označují čísla jednotlivých žen. Ženy s nejnižší podobností jsou označeny modrými šipkami, nejpodobnější ženy jsou naopak spojeny červenou elipsou.

Obrázek zachycuje to, které ženy se vzájemně nejvíce podobají a které naopak nejméně při porovnávání trendů veličin v průběhu těhotenství.

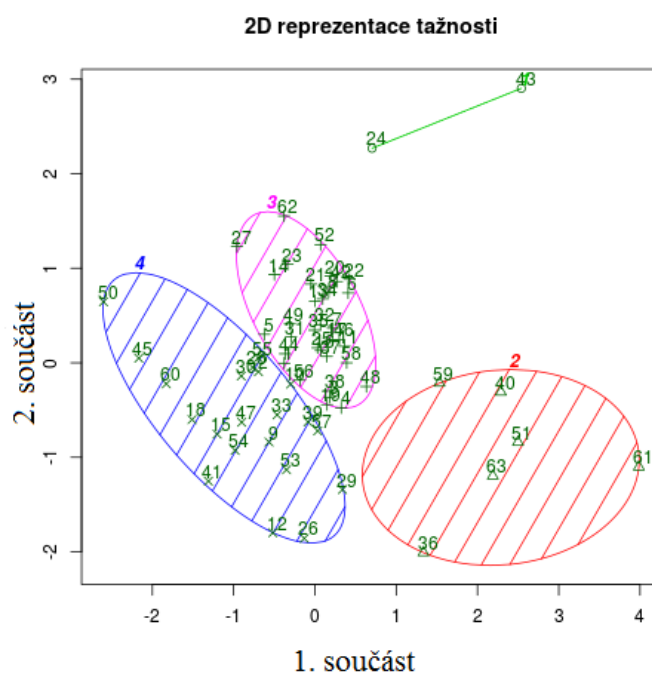
Bohužel, jak lze ověřit z vyplněných dotazníků (Příloha 8.6), nelze vše interpretovat v rámci zjišťovaných parametrů. Zatímco žena s číslem 55 se ženě s číslem 20 podobá v tom, že si obě barvily v minulosti vlasy, ale v současnosti se již nebarví, a také obě čekají potomka mužského pohlaví, i když žena 55 očekává dvojčata různého pohlaví. Žena 55 se ženě 22 nemůže podobat, a to proto, že žena 22 si barví vlasy i v současnosti a denně kouří. A pokud porovnáme ženu s číslem 55 vůči ženě 43, zjistíme, že žena 43 je občasnou kuřačkou, poprvé těhotná a dítě je ženského pohlaví. Obdobně můžeme srovnat i ženu 47, která si barví vlasy i v současnosti, je potřetí těhotná a dítě je holčička, s ženou číslo 43, která si barvila vlasy pouze v minulosti, je občasnou kuřačkou a i když také očekává holčičku, je těhotná teprve poprvé. Při srovnání téže ženy, tj. 47 s ženou 63 zjistíme rozdíly v tom, že žena 63 denně kouřila, je podruhé těhotná a očekává chlapce a navíc užívá hořčik a železo. A nakonec můžeme srovnat ženy s čísly 64, 58 a 27. První dvě, tj. 64 a 58, mají společné parametry barvení vlasů v současnosti, prvního těhotenství a mužského pohlaví dítěte. Těmito parametry se výrazně odlišují od ženy 27, která si vlasy nebarvila a ani nebarví, je těhotná poprvé a pohlaví dítěte je ženské.

Alternativně můžeme použít hierarchickou shlukovou analýzu (ACA; v programu R verze 3.2.3) pro rozdělení původních hodnot trendů. Metriku jsme zvolili euklidovskou. Zajímavý dendrogram trendů pořízený Wardovou metodou (Murtagh, Legendre, 2011) s vyznačením čtyř hlavních skupin vidíme na následujícím obrázku 42.



Obrázek 42: Rozdělení žen do čtyř skupin za využití trendů všech veličin. Dendrogram je vytvořen pomocí Wardovy metody hierarchické shlukové analýzy (hierar. shluky).

O rozdělení do skupin jsme se pokusili i u všech jednotlivých veličin. Výsledky nebyly příliš přesvědčivé, jak dokládá následující obrázek 43. Pro který bylo použito nehierarchické shlukové analýzy založené na k -průměru, ve které se předpokládá, že lze shlukované ženy chápat jako body v euklidovském prostoru. Počet shluku jsme zvolili čtyři. Shluky jsou definovány svými centroidy, což jsou body ve stejném prostoru jako shlukované ženy. Ženy se zařazují do toho shluku, jehož centroidu jsou nejbližší. Algoritmus postupuje tak, že vyjde z nějakých (obvykle náhodně zvolených) centroidů přiřadí do nich body, přepočítá centroidy tak, aby šlo o těžiště shluku bodů, pak opět přiřadí body k nově stanoveným centroidům atd., až se poloha centroidů ustálí (Hartigan, 1975).



Obrázek 43: Plošná reprezentace tažnosti vytvořená s pomocí nehierarchické shlukové analýzy.

Pozoruhodné je, že skupiny získané na různých parametrech oběma metodami se v podstatě shodují. Tento fakt nám dává naději, že skupiny žen se stejným vývojem vlasů v těhotenství opravdu existují.

Přistupme k druhému kroku, hledání markeru, pomocí kterého by bylo možno předem rozhodnout, do které skupiny daná žena patří. Může se jednat:

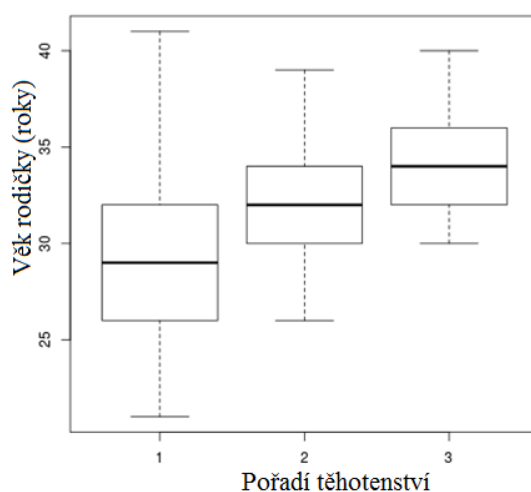
- a) o počáteční parametry samotných vlasů,
- b) o vnější parametry jako je věk žen, barvení apod.

Může se ovšem také jednat o parametry, které se nám nepodařilo zjistit, například geneticky fixované.

5.3.2 Analýza trendů

V této kapitole zhodnotíme statistickou významnost rozdílů jednotlivých skupin. Nejprve se budeme věnovat rozdílům trendů v závislosti na pořadí těhotenství a posléze na pohlaví očekávaného dítěte.

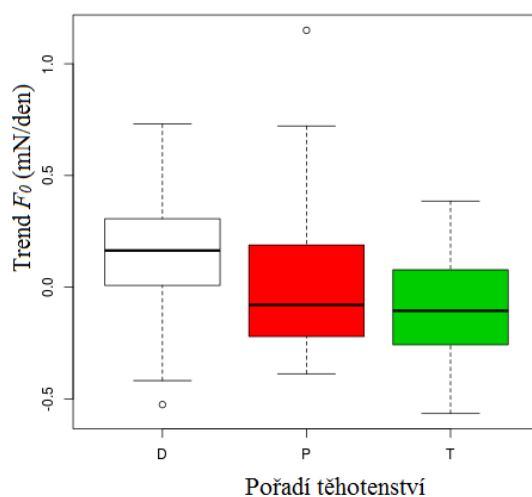
Následující analýza má za cíl zjistit, do jaké míry se od sebe odlišují lineární trendy mechanických charakteristik vlasů během prvních třech těhotenství. Za tímto účelem jsme vlasy každé testované gravidní ženy odebírali několikrát v průběhu těhotenství a provedli tři trhací a jeden relaxační experiment. Hodnoty mechanických parametrů zjištěných z těchto experimentů byly proloženy přímkou, a tak bylo zjištěno, do jaké míry se u té které ženy v průběhu těhotenství daný parametr mění. U různých žen se jednalo o různé pořadí těhotenství. Ze statistik byly vyloučeny ženy s vícečetným těhotenstvím, tj. matky dvojčat atd. Zpracovávalo bylo celkem cca 1720 vlasů od 62 těhotných žen. Celkově tedy v průměru bylo použito 7 odběrů pro každou ženu. Časová závislost trhacích a relaxačních veličin byla proložena přímkou a směrnice těchto přímků byly porovnávány mezi skupinou 30 žen poprvé těhotných, 18 žen podruhé těhotných a 14 žen třetíkrát těhotných potětí. Věkové složení těchto skupin můžeme vidět na grafu 28.



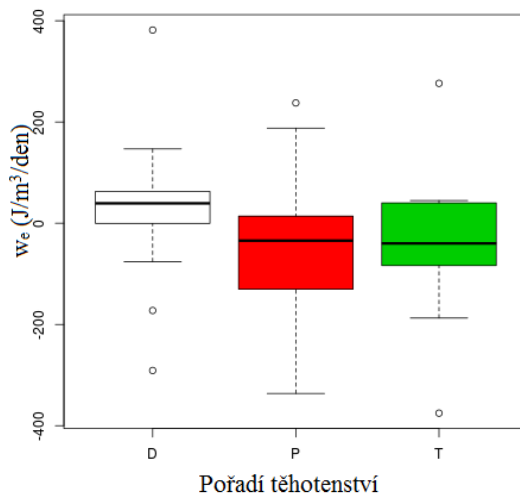
Graf 28: Zobrazení závislosti věku ženy na pořadí těhotenství.

Na testovaných výběrech časových trendů bylo Kolmogorov-Smirnovovým testem zjišťováno, zda se jednalo o veličiny s normálním rozdělením. Gaussovskost byla ověřována pro každou skupinu těhotných žen zvlášť i pro všechny měřené ženy dohromady. Pro ověření homoskedasticity (shodnost rozptylu) bylo použito testů Bartlettova a Leveneova, a na rozhodnutí, zda se jednotlivé skupiny od sebe odlišují, klasický ANOVA test, v případě normálního homoskedasticitního rozložení. V ostatních případech pak testu Kruskal-Wallisova a Jonckheer-Terpstrova, což jsou neparametrické alternativy ke klasické ANOVě. Při čemž Jonckheer-Terpstrův test se výrazně doporučuje používat na místo obvyklejšího

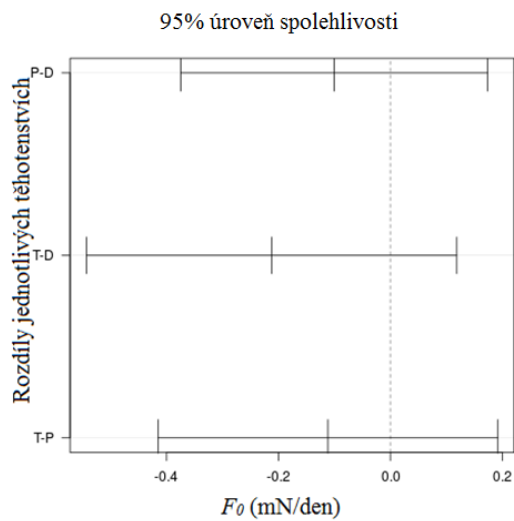
Kruskal-Wallisova, neboť je citlivější a je možné tak ve většině případů nadále pracovat na 5% hladině významnosti, kterou je v případě Kruskal-Wallisova testu většinou nutné opustit a spokojit se tak s hladinou 10%. V následujících tabulkách 13 – 18 vidíme výsledky vzájemného porovnání trendů těchto skupin žen. Jak se ukazuje, trendy následujících veličin jsou tvořeny normálním rozdělením pro trhací veličiny D , E' , $\sigma_{0,05}$, $\sigma_{0,2}$, σ_t' , ε_t' , W a relaxační veličiny F_0 , F_1 , F_2 , F_3 . Z těchto skupin však pouze D , E' , $\sigma_{0,05}$, $\sigma_{0,2}$ splňují podmínku homoskedasticity a je tak pro ně možné použít klasický ANOVA test. Žádná skupina se však bohužel na 5% hladině významnosti od ostatních neodlišuje. Nejblíže k odlišnosti má rozdíl trendů mezi druhým a třetím těhotenstvím pro veličinu průměr vlasů, kde pravděpodobnost shody těchto dvou skupin žen je pouze 36 %. Ostatní veličiny nám svými vlastnostmi nedávají možnost buď nevyločit normalitu anebo potvrdit homoskedasticitu, a musíme tedy pro ně použít neparametrické testy, jako jsou Kruskal-Wallisův a Jonckheer-Terpstrův. Nejpravděpodobnější adepty na zaručenou rozdílnost skupin jsou veličiny F_0 a w_e . Párové Wilcoxonovy testy pak prozrazují, že zaručená rozdílnost na 5% hladině významnosti se u resilience nalézá mezi trendy prvního a druhého těhotenstvím a u těhotenství druhého a třetího. Hraniční (5,5%) je pro F_0 mezi prvním a třetím těhotenstvím. Pro tyto veličiny s prokázaným vlivem pořadí těhotenství na trend daných veličin uvádíme i dva boxové diagramy (grafy 29, 30) a Tukey diagramy (grafy 31, 32), které názorně popisují danou situaci. Dále je pravděpodobná rozdílnost skupin viditelná pouze u skupin F_0 , a to mezi druhým a třetím těhotenstvím, pro F_3 mezi prvním a třetím těhotenstvím, pro ε_t' mezi druhým a třetím těhotenstvím a také mezi prvním a druhým těhotenstvím. Pro ostatní veličiny není důvod z naměřených dat předpokládat, že by mezi časovými trendy jednotlivých těhotenství měla existovat významná rozdílnost.



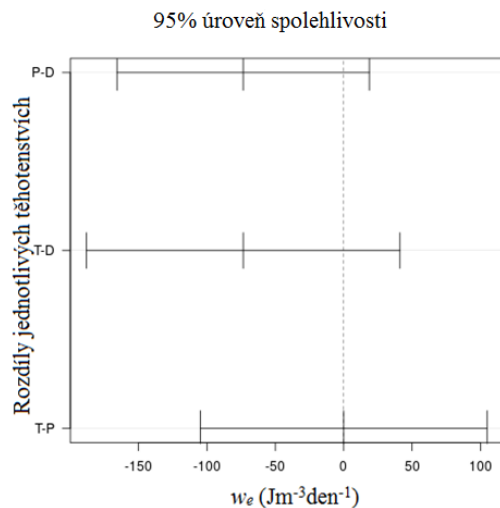
Graf 29: Zobrazení závislosti trendů F_0 na pořadí těhotenství. Kde P – první těhotenství; D – druhé těhotenství; T – třetí těhotenství.



Graf 30: Zobrazení závislosti trendů resilience (w_e) na pořadí těhotenství. Kde P – první těhotenství; D – druhé těhotenství; T – třetí těhotenství.



Graf 31: Tukey diagram rozdílu hodnot trendů pro konečnou sílu (F_0). Ukazuje 95% interval výskytu rozdílů hodnot trendů mezi jednotlivými těhotenstvími. Hodnoty odpovídají milinewtonům za den. Kde P-D – rozdíl mezi prvním a druhým těhotenstvím; T-D – rozdíl mezi třetím a druhým těhotenstvím; T-P – rozdíl mezi třetím a prvním těhotenstvím.



Graf 32: Tukey diagram rozdílů hodnot trendů pro resilienci (w_e). Ukazuje 95% interval výskytu rozdílů hodnot trendů mezi jednotlivými těhotenstvími. Hodnoty odpovídají $\text{Jm}^{-3}\text{den}^{-1}$. Významné rozdíly jsou mezi prvním a druhým těhotenstvím, a mezi druhým a třetím těhotenstvím, jenže opačného znaménka. Změny resiliencie ve třetím těhotenství jsou prakticky stejné, jako u těhotenství prvního. Jistota největší změny je při prvním těhotenství, téměř 90 %. Kde P-D – rozdíl mezi prvním a druhým těhotenstvím; T-D – rozdíl mezi třetím a druhým těhotenstvím; T-P – rozdíl mezi třetím a prvním těhotenstvím.

		<i>D</i>		<i>E'</i>		$\sigma_{0,05}$		$\sigma_{0,2}$		σ_t'		ε_t'	
<i>K-S</i>	0,5622	0,7756	0,5928	0,6677	0,7017	0,4835	0,6864	0,6340	0,3039	0,5664	0,6392	0,6518	
		0,7211		0,9586		0,9367		0,8990		0,6906		0,6894	
		0,8733		0,7334		0,9529		0,9938		0,7321		0,9964	
<i>Bar.</i>	0,6048		0,7496		0,7842		0,8249		0,01781		0,0030		
<i>Lev.</i>	0,7612		0,7141		0,9951		0,9826		0,1436		0,145		
<i>K-W</i>	0,4138		0,5163		0,9591		0,7482		0,7441		0,2699		
<i>J-T</i>	0,3956		0,1752		0,4103		0,3295		0,4005		0,3527		
<i>R²</i>	0,3461		0,4283		0,8807		0,5972		0,7894		0,5089		
<i>AN.</i>	<i>p - d</i>	-0,026	0,485	-0,289	0,970	-0,0007	0,999	0,0014	0,997	0,0446	0,850	-0,0001	0,533
	<i>t - d</i>	-0,038	0,364	1,103	0,583	0,0087	0,911	0,0217	0,632	0,0652	0,799	-0,0001	0,619
	<i>t - p</i>	-0,012	0,880	1,312	0,403	0,0095	0,877	0,0202	0,620	0,0206	0,973	0	0,997
<i>Wil.</i>	<i>p - d</i>	0,2654		0,9155		0,9769		0,8697		0,7356		0,1651	
	<i>t - d</i>	0,2381		0,3829		0,9397		0,4953		0,3829		0,1578	
	<i>t - p</i>	0,9114		0,2689		0,7385		0,5278		0,7199		0,9311	
<i>min</i>	<i>p. t.řh.</i>	-0,1259		-12,20		-0,2068		-0,2462		-0,6264		-0,0013	
	<i>d. t.řh.</i>	-0,0882		-6,813		-0,1232		-0,1529		-0,285		-0,0004	
	<i>t. t.řh.</i>	-0,1946		-2,797		-0,0634		-0,072		-0,2648		-0,0004	
<i>I.kv.</i>	<i>p. t.řh.</i>	-0,0433		-1,789		-0,2304		-0,0306		-0,1703		-0,0002	
	<i>d. t.řh.</i>	-0,0259		-2,443		-0,0247		-0,0411		-0,1275		0	
	<i>t. t.řh.</i>	-0,0367		-1,286		-0,0319		-0,0318		-0,03723		0,0002	
\tilde{x}	<i>p. t.řh.</i>	-0,0071		-0,337		0,0012		-0,0086		-0,006563		0	
	<i>d. t.řh.</i>	0,0117		-0,7522		-0,0003		-0,008		-0,01132		0,0001	
	<i>t. t.řh.</i>	-0,0172		-0,2936		0,006		0,0156		0,01089		0	
$\bar{x} \pm s_x$	<i>p. t.řh.</i>	0,0002 ± 0,0693		0,6272 ± 3,0630		-0,0006 ± 0,062		-0,0070 ± 0,068		0,0358 ± 0,34		0 ± 0,0005	
	<i>d. t.řh.</i>	0,0257 ± 0,0830		-0,418 ± 3,33		0,0001 ± 0,057		-0,0084 ± 0,067		-0,0088 ± 0,19		0,0003 ± 0,0003	
	<i>t. t.řh.</i>	-0,0119 ± 0,0842		0,6852 ± 2,7106		0,0088 ± 0,5271		0,0133 ± 0,0585		0,0564 ± 0,2236		-0,000008 ± 0,0002	
<i>III.kv.</i>	<i>p. t.řh.</i>	0,0376		1,136		0,02		0,0339		0,1728		0,0002	
	<i>d. t.řh.</i>	0,0568		2,078		0,0352		0,0233		0,1000		0,0003	
	<i>t. t.řh.</i>	0,0344		2,999		0,0337		0,0463		0,2837		0,0001	
<i>max</i>	<i>p. t.řh.</i>	0,1952		5,25		0,13		0,1102		1,152		0,0012	
	<i>d. t.řh.</i>	0,2345		4,281		0,1208		0,1399		0,5112		0,0005	
	<i>t. t.řh.</i>	0,1139		4,712		0,1092		0,1291		0,4219		0,0004	

Tabulka 13: Výsledky vzájemného porovnání trendů skupin žen v závislosti na pořadí těhotenství. *K-S* – Kolmogorov-Smirnovův test (test normality); *Bar.* – Bartlettův test (test homogenity rozptylu); *Lev.* – Leveneův test (test homogenity rozptylu); *K-W* – Kruskal-Wallisův test (alternativa ANOVy); *J-T* – Jonckheere-Terpstrův test (alternativa ANOVy); *R²* – kvadratická hodnota Pearsonova koeficientu mezi hodnotou veličiny a pořadím těhotenství; *AN.* – ANOVA; *Wil.* – Wilcoxonův test; *p - d* – rozdíl trendů mezi prvním a druhým těhotenstvím; *t - d* – rozdíl trendů mezi třetím a druhým těhotenstvím; *t - p* – rozdíl trendů mezi třetím a prvním těhotenstvím; *min* – minimum; *I. kv.* – první kvartil; \tilde{x} – medián; \bar{x} – průměr; s_x – směrodatná odchylka; *III. kv.* – třetí kvartil; *max* – maximum; *D* – průměr vlasů; *E'* – skutečný modul elasticity; $\sigma_{0,05}$ – smluvní mez linearity; $\sigma_{0,2}$ – smluvní mez kluzu; σ_t' – skutečné lomové napětí; ε_t' – skutečná relativní tržná délka.

		<i>W</i>		<i>W_A</i>		<i>w_e</i>	
<i>K-S</i>		0,1695	0,4263	0,0915	0,4652	0	0,0007
			0,9996		0,5256		0,3345
			0,7781		0,4899		0,6502
<i>Bar.</i>		0,0005		0,0745		0	
<i>Lev.</i>		0,03131		0,3829		0,6028	
<i>K-W</i>		0,7042		0,7883		0,04172	
<i>J-T</i>		0,1954		0,7560		0,2097	
<i>R²</i>		0,9531		0,7791		0,7967	
<i>AN.</i>	<i>p - d</i>	0,0028	0,994	0,00015	0,916	0	0,997
	<i>t - d</i>	0,0102	0,95	-0,00014	0,951	-0,0001	0,813
	<i>t - p</i>	0,0074	0,968	-0,00029	0,774	-0,0001	0,814
<i>Wil.</i>	<i>p - d</i>	0,5821		0,6923		0,0222	
	<i>t - d</i>	0,7053		0,7913		0,0369	
	<i>t - p</i>	0,4802		0,5278		0,9704	
<i>min</i>	<i>p. těh.</i>	-0,0253		-0,178		-0,0027	
	<i>d. těh.</i>	-0,0078		-0,07787		-0,0018	
	<i>t. těh.</i>	-0,0109		-0,1045		-0,0011	
<i>I.kv.</i>	<i>p. těh.</i>	-0,0052		-0,060		-0,0004	
	<i>d. těh.</i>	0,0001		-0,0286		-0,0005	
	<i>t. těh.</i>	-0,0062		-0,0186		-0,0003	
\tilde{x}	<i>p. těh.</i>	-0,0010		-0,009		0,0002	
	<i>d. těh.</i>	0,0026		0,008		0,0001	
	<i>t. těh.</i>	-0,0011		0,0119		-0,0002	
$\bar{x} \pm s_x$	<i>p. těh.</i>	-0,0001 ± 0,0101		0,0061 ± 0,118		0,0003 ± 0,0014	
	<i>d. těh.</i>	0,0035 ± 0,0071		0,0033 ± 0,0494		0,0002 ± 0,0014	
	<i>t. těh.</i>	-0,0069 ± 0,0081		0,0135 ± 0,0670		0,0001 ± 0,0008	
<i>III.kv.</i>	<i>p. těh.</i>	0,0041		0,041		0,0008	
	<i>d. těh.</i>	0,0079		0,0376		0,0007	
	<i>t. těh.</i>	0,0015		0,0751		0,0003	
<i>max</i>	<i>p. těh.</i>	0,0243		0,034		0,0030	
	<i>d. těh.</i>	0,0175		0,0979		0,0048	
	<i>t. těh.</i>	0,0128		0,1439		0,0017	

Tabulka 14: Vzájemné porovnání trendů skupin žen v závislosti na probíhajícím těhotenství. *K-S* – Kolmogorov-Smirnovův test (test normality); *Bar.* – Bartlettův test (test homogenity rozptylu); *Lev.* – Leveneův test (test homogenity rozptylu); *K-W* – Kruskal-Wallisův test (alternativa ANOVy); *J-T* – Jonckheere-Terpstrův test (alternativa ANOVy); *R²* – kvadratická hodnota Pearsonova koeficientu mezi hodnotou veličiny a pořadím těhotenství; *AN.* – ANOVA; *Wil.* – Wilcoxonův test; *p - d* – rozdíl trendů mezi prvním a druhým těhotenstvím; *t - d* – rozdíl trendů mezi třetím a druhým těhotenstvím; *t - p* – rozdíl trendů mezi třetím a prvním těhotenstvím; *min* – minimum; *I. kv.* – první kvartil; \tilde{x} – medián; \bar{x} – průměr; *s_x* – směrodatná odchylka; *III. kv.* – třetí kvartil; *max* – maximum; *W* – celková mechanická práce; *W_A* – tahová houževnatost; *w_e* – resilience.

		F_0		F_1		F_2		F_3		τ_1		τ_2	
K-S		0,2455	0,2852	0,1114	0,5994	0,2362	0,4757	0,5268	0,7331	0	0,8400	0,0463	0,3820
			0,7785		0,3427		0,7446		0,6878				0,5144
			0,8544		0,3582		0,4373		0,8513				0,5412
Bar.		0,0003		0,0177		0,0003		0,0010		0		0	
Lev.		0,0633		0,4736		0,1469		0,0356		0,6222		0,0716	
K-W		0,1510		0,6201		0,5061		0,3781		0,4197		0,5414	
J-T		0,0472		0,3527		0,1532		0,8800		0,9014		0,8046	
R²		0,0256		0,7104		0,1596		0,2063		0,9540		0,2190	
AN.	p - d	-0,0001	0,899	0	0,732	0	0,977	0,0001	0,833	0,0018	0,997	0,1200	0,621
	t - d	0,0003	0,087	0	0,777	0	0,187	-0,0001	0,469	0,0094	0,954	0,2060	0,408
	t - p	0,0004	0,021	0	0,997	0	0,192	-0,0002	0,178	0,0076	0,964	0,0860	0,828
Wil.	p - d	0,7356		0,3581		0,7945		0,8394		0,2654		0,3481	
	t - d	0,1578		0,4953		0,4715		0,4259		0,9097		0,6498	
	t - p	0,0547		0,9901		0,2376		0,1376		0,3269		0,4498	
min	p. těh.	-0,6146		-0,1604		-0,0479		-1,1280		-72		-556	
	d. těh.	-0,5254		-0,9946		-0,0971		-0,6148		-548		-782	
	t. těh.	-0,5653		-0,1022		-0,1129		-0,9457		-25		-155	
I.kv.	p. těh.	-0,2170		-0,0075		-0,0096		-0,2657		-13		-130	
	d. těh.	0,0081		-0,0327		-0,0239		-0,2018		-15		-140	
	t. těh.	-0,2742		-0,0113		-0,0163		-0,1396		-2		-6	
\tilde{x}	p. těh.	-0,0562		0,0135		0,0074		0,0404		5		-10	
	d. těh.	0,1611		-0,0045		-0,0013		0,1144		4		53	
	t. těh.	-0,1053		0,0095		0,0207		0,0198		5		291	
$\bar{x} \pm s_x$	p. těh.	0,0922 \pm 0,5300		0,0144 \pm 0,0590		0,0244 \pm 0,0620		-0,0741 \pm 0,3800		8 \pm 40		94 \pm 573	
	d. těh.	1132 \pm 0,2995		-0,0120 \pm 0,0368		0,0089 \pm 0,0494		-0,0859 \pm 0,2410		-11 \pm 155		20 \pm 334	
	t. těh.	-0,0347 \pm 0,3923		3778 \pm 0,0412		0,0102 \pm 0,0472		-0,0140 \pm 0,3810		3 \pm 15		42 \pm 118	
III.kv.	p. těh.	0,2746		0,0289		0,0470		0,1586		22		219	
	d. těh.	0,2951		0,0047		0,0285		0,0382		15		205	
	t. těh.	0,0814		0,0179		0,0343		0,2757		10		98	
max	p. těh.	2,1000		0,1694		0,2983		0,4861		173		2895	
	d. těh.	0,7307		0,0527		0,1043		0,4828		353		650	
	t. těh.	0,9000		0,0747		0,0727		0,5096		28		310	

Tabulka 15: Výsledky porovnání trendů pro skupiny žen v závislosti na pořadí těhotenství. *K-S* – Kolmogorov-Smirnovův test (test normality); *Bar.* – Bartlettův test (test homogenity rozptylu); *Lev.* – Leveneův test (test homogenity rozptylu); *K-W* – Kruskal-Wallisův test (alternativa ANOVy); *J-T* – Jonckheere-Terpstrův test (alternativa ANOVy); *R²* – kvadratická hodnota Pearsonova koeficientu mezi hodnotou veličiny a pořadím těhotenství; *AN.* – ANOVA; *Wil.* – Wilcoxonův test; *p - d* – rozdíl trendů mezi prvním a druhým těhotenstvím; *t - d* – rozdíl trendů mezi třetím a druhým těhotenstvím; *t - p* – rozdíl trendů mezi třetím a prvním těhotenstvím; *min* – minimum; *I. kv.* – první kvartil; \tilde{x} – medián; \bar{x} – průměr; s_x – směrodatná odchylka; *III. kv.* – třetí kvartil; *max* – maximum; F_0 – koncová síla kterou vzorek působí po odeznění všech relaxačních procesů; F_1 , F_2 , F_3 – síly patřící jednotlivým členům relaxace; τ_1 – první (krátkodobý) relaxační čas; τ_2 – druhý (střednědobý) relaxační čas. Hodnoty trendů jsou přeneseny tisíci. Změna tedy odpovídá změně veličiny za tisíc měsíců. Žlutě jsou vyznačeny signifikantní rozdíly.

		<i>D</i>		<i>E'</i>		$\sigma_{0,05}$		$\sigma_{0,2}$		σ_i'		ε_i'	
<i>K-S</i>	<i>k</i>	0,4114	0,6309	0,6762	0,1863	0,452	0,2915	0,4537	0,2933	0,8422	0,9156	0,4828	0,9736
	<i>h</i>		0,5472		0,7238		0,9785		0,9795		0,5881		0,1750
<i>Bar.</i>		0,3624		0,7225		0,4201		0,1483		0,6626		0,0015	
<i>Lev.</i>		0,5160		0,5443		0,8386		0,6003		0,6762		0,0872	
<i>Wil.</i>		0,5699		0,1547		0,1096		0,0633		0,1851		0,3802	
<i>J-T</i>		0,7216		0,9254		0,9473		0,9697		0,9106		0,8151	
<i>AN.</i>		0,0010	0,966	-0,923	0,304	-0,0221	0,211	-0,0315	0,114	-0,0589	0,404	0	0,767
<i>min</i>	<i>k</i>	-126		-6813		-123		-153		-237		-0,80	
	<i>h</i>	-195		-12200		-207		-246		-624		-0,24	
<i>I.kv.</i>	<i>k</i>	-56		-2562		-42		-50		-184		-0,21	
	<i>h</i>	-27		-1111		-10		-14		-52		-0,01	
\tilde{x}	<i>k</i>	-12		-939,4		-12		-16		-41		0,04	
	<i>h</i>	-1		278,3		5		13		59		0,08	
$\bar{x} \pm s_x$	<i>k</i>	5,2 ± 88		-680 ± 3031		-10,5 ± 56		-19,1 ± 58		5,8 ± 235		0,1 ± 0,40	
	<i>h</i>	4,3 ± 73		248 ± 3262		11,7 ± 66		12,3 ± 78		64,6 ± 258		0,1 ± 0,20	
<i>III.kv.</i>	<i>k</i>	37		1396		21		21		99		0,12	
	<i>h</i>	42		2503		38		50		230		0,21	
<i>max</i>	<i>k</i>	235		4267		132		90		572		1,24	
	<i>h</i>	134		4712		121		140		511		0,54	

Tabulka 16: Vzájemné porovnání trendů skupin žen v závislosti na pohlaví dítěte. *K-S* – Kolmogorov-Smirnovův test (test normality); *Bar.* – Bartlettův test (test homogenity rozptylu); *Lev.* – Leveneův test (test homogenity rozptylu); *Wil.* – Wilcoxonův test (alternativa ANOVy); *J-T* – Jonckheere-Terpstrův test (alternativa ANOVy); *AN.* – ANOVA; *k* – kluk; *h* – holka; *min* – minimum; *I. kv.* – první kvartil; \tilde{x} – medián; \bar{x} – průměr; s_x – směrodatná odchylka; *III. kv.* – třetí kvartil; *max* – maximum; *D* – průměr vlasů; *E'* – skutečný modul elasticity; $\sigma_{0,05}$ – smluvní mez linearity; $\sigma_{0,2}$ – smluvní mez kluzu; σ_i' – skutečné lomové napětí; ε_i' – skutečná relativní tržná délka. Hodnoty trendů jsou přenásobeny tisícem. Změna tedy odpovídá změně veličiny za tisíc měsíců.

		W		W_A		w_e	
K-S	k	0,2698	0,9428	0,1967	0,5939	0,5439	0,8983
	h		0,0381		0,1809		0,2761
Bar.		0,0568		0,0254		0,3644	
Lev.		0,5467		0,2891		0,9442	
Wil.		0,0633		0,0662		0,6789	
J-T		0,9697		0,9683		0,6676	
AN.		-0,0176	0,473	-0,00022	0,572	0	0,882
min	k	-114		-3		-0,34	
	h	-123		-2		-0,38	
I.kv.	k	-58		-0,65		-0,0001	
	h	-18		-0,16		-0,1023	
\tilde{x}	k	-17		-0,33		-0,0155	
	h	22		0,17		-0,0048	
$\bar{x} \pm s_x$	k	4,8 ± 102		0,089 ± 1,60		-0,024 ± 0,15	
	h	22,4 ± 68		0,308 ± 1,03		-0,030 ± 0,12	
III.kv.	k	13		0,40		0,02	
	h	70		0,72		0,06	
max	k	339		4,82		0,38	
	h	144		3,25		0,15	

Tabulka 17: Výsledky porovnání trendů skupin žen v závislosti na pohlaví očekávaného dítěte. *K-S* – Kolmogorov-Smirnovův test (test normality); *Bar.* – Bartlettův test (test homogenity rozptylu); *Lev.* – Leveneův test (test homogenity rozptylu); *Wil.* – Wilcoxonův test (alternativa ANOVy); *J-T* – Jonckheere-Terpstrův test (alternativa ANOVy); *AN.* – ANOVA; *k* – kluk; *h* – holka; *min* – minimum; *I. kv.* – první kvartil; \tilde{x} – medián; \bar{x} – průměr; s_x – směrodatná odchylka; *III. kv.* – třetí kvartil; *max* – maximum; W – celková mechanická; W_A – tahová houževnatost; w_e – resilience. Hodnoty trendů jsou vynásobeny tisícem. Změna tedy odpovídá změně veličiny za tisíc měsíců.

		F_0		F_1		F_2		F_3		τ_1		τ_2	
$K-S$	k	0,9061	0,7199	0,2964	0,7586	0,6978	0,9683	0,8948	0,9545	0,3228	0,298	0,9397	0,9523
	h		0,5881				0,2622				0,6582		
Bar.		0,8742		0,0089		0,6802		0,6991		0,3003		0,1468	
Lev.		0,6439		0,2355		0,9483		0,6754		0,7598		0,3406	
Wil.		0,0932		0,5569		0,8399		0,1234		0,3109		0,3109	
J-T		0,0466		0,2784		0,5876		0,9407		0,8491		0,8491	
AN.		0,0002	0,0909	0	0,741	0	0,958	-0,0002	0,0936	-0,0045	0,473	-0,0952	0,208
min	k	-0,3873		-0,1604		-0,1129		-1,128		-72		-782	
	h	-0,5653		-0,09946		-0,0971		-0,6148		-45,4		-424	
I.kv.	k	-0,0947		-0,01294		-0,0154		-0,2017		-13,6		-133	
	h	-0,2807		-0,02499		-0,0087		-0,2358		-15		-98,3	
\tilde{x}	k	0,0726		0,004741		0,0064		-0,09704		1,8		7,3	
	h	-0,1291		0,0026		0,0053		0,05873		8,23		61	
$\bar{x} \pm s_x$	k	0,124 \pm 0,34		0,00078 \pm 0,059		0,01 \pm 0,047		-0,14 \pm 0,32		-3 \pm 24		-34 \pm 301	
	h	-0,0418 \pm 0,33		-0,0037 \pm 0,034		0,0107 \pm 0,043		0,0076 \pm 0,30		1,5 \pm 20		60,8 \pm 223	
III.kv.	k	0,2574		0,0227		0,0315		0,0400		6,1		155	
	h	0,2494		0,0194		0,0330		0,1999		15		199	
max	k	1,2		0,117		0,1043		0,2996		33		650	
	h	0,7307		0,0743		0,0949		0,5096		35		447	

Tabulka 18: Vzájemné porovnání trendů skupin žen v závislosti na pohlaví dítěte. $K-S$ – Kolmogorov-Smirnovův test (test normality); *Bar.* – Bartlettův test (test homogenity rozptylu); *Lev.* – Leveneův test (test homogenity rozptylu); *Wil.* – Wilcoxonův test (alternativa ANOVy); *J-T* – Jonckheere-Terpstrův test (alternativa ANOVy); *AN.* – ANOVA; k – kluk; h – holka; *min* – minimum; *I. kv.* – první kvartil; \tilde{x} – medián; \bar{x} – průměr; s_x – směrodatná odchylka; *III. kv.* – třetí kvartil; *max* – maximum; F_0 – koncová síla kterou vzorek působí po odeznění všech relaxačních procesů; F_1 , F_2 , F_3 – síly patřící jednotlivým členům relaxace; τ_1 – první (krátkodobý) relaxační čas; τ_2 – druhý (střednědobý) relaxační čas. Hodnoty trendů jsou přenásobeny tisícem, změna tedy odpovídá změně veličiny za tisíc měsíců.

5.4 Vliv parametru těhotenství na mechanické vlastnosti vlasů

Nejprve se v této kapitole zaměříme na hodnoty jednotlivých veličin pro různé skupiny žen a pokusíme se odhalit signifikanci rozdílů těchto hodnot pro dané skupiny žen. Analýzu provedeme pomocí Kruskal-Wallisova testu.

Dále v této kapitole shrneme výsledky faktorové analýzy na hodnotách všech naměřených dat. Pro stručnost zde uvedeme jen výsledky těch faktorů, které poskytly alespoň nějaký signifikantní rozdíl skupin. Bohužel se ukázalo, že mezi ně nepatří žádný z demografických parametrů (stáří respondentek, urbanizace místa bydliště) u zkoumaného vzorku populace ani žádný parametr spojený s výživou vlasů, jako je kouření žen či barvení vlasů. Zásadními parametry, u kterých jsou prokazatelné nálezy, a to shodně při využití obou níže popsanych statistických metod, jsou především pořadí těhotenství a pohlaví dítěte. Další použitou metodou je využití parametrické či neparametrické ANOVy.

5.4.1 Porovnání hodnot veličin v jednotlivých skupinách žen

Nyní uvedeme hodnoty všech pozorovaných veličin pro ženy rozdělené do skupin podle pohlaví očekávaného dítěte a podle pořadí těhotenství. Společně s těmito hodnotami uvádíme i základní statistické vlastnosti těchto množin, a to jednotlivých i vzájemných.

V následující tabulce 19, vidíme, že rozdíly hodnot v závislosti skupin žen na pořadí těhotenství se vyskytují u průměrů vlasů, a to pro všechny tři skupiny žen. Nejsilnější vlasy se vyskytují ve třetím těhotenství $87,46 \pm 15,62 \mu\text{m}$, dále následuje těhotenství druhé $84,54 \pm 15,84 \mu\text{m}$ a nejtenčí vlasy jsou u těhotenství prvního $81,02 \pm 14,05 \mu\text{m}$. Dále pak je signifikantní rozdíl pro smluvní mez kluzu, kdy dané rozdíly jsou pro první a druhé těhotenství ($55,17 \pm 13,79$ a $57,47 \pm 14,47$ MPa) a dále pak pro třetí a první těhotenství ($54,8 \pm 14,19$ a $55,17 \pm 13,79$ MPa). Další signifikantní rozdíl vidíme pro skutečné lomové napětí, a to pro rozdíly mezi třetím a druhým těhotenstvím ($193,9 \pm 54,29$ a $207,2 \pm 55,43$ MPa) a třetím a prvním těhotenstvím ($193,9 \pm 54,29$ a $205,4 \pm 53,67$ MPa). Tentýž rozdíl vidíme i pro skutečnou relativní tržnou délku, tedy opět mezi třetím a druhým těhotenstvím ($0,4760 \pm 0,0700$ a $0,4969 \pm 0,0780$) a třetím a prvním těhotenstvím ($0,4760 \pm 0,0700$ a $0,4974 \pm 0,0780$).

Následující tabulka 20 ukazuje signifikantní rozdíly pro skupiny žen v závislosti na pořadí těhotenství. Dané signifikantní rozdíly můžeme vidět pro celkovou mechanickou práci, a to mezi prvním a druhým těhotenstvím ($3,87 \pm 1,48$ a $4,49 \pm 1,96$ mJ) a mezi třetím a druhým těhotenstvím ($4,28 \pm 1,56$ a $4,49 \pm 1,96$ mJ). Další rozdíly jsou také pro tahovou houževnatost a to mezi třetím a druhým těhotenstvím ($53,09 \pm 16,80$ a $59,07 \pm 19,14$ MJ/m³) a mezi třetím a prvním těhotenstvím ($53,09 \pm 16,80$ a $57,83 \pm 18,18$ MJ/m³). Tento rozdíl platí i pro resilienci, kde jsou velikosti hodnot pro rozdíl mezi třetím a prvním těhotenstvím ($0,4061 \pm 0,21$ a $0,4587 \pm 0,25$ MJ/m³) a pro rozdíl mezi třetím a prvním těhotenstvím ($0,4061 \pm 0,21$ a $0,4457 \pm 0,29$ MJ/m³).

Tabulka 21 ukazuje signifikantní rozdíly pro relaxační sílu F_2 , a to mezi třetím a prvním těhotenstvím ($0,0201 \pm 0,0097$ a $0,0242 \pm 0,0099$ N). Také zde vidíme signifikantní rozdíl pro první relaxační čas τ_1 a to mezi třetím a prvním těhotenstvím ($9,57 \pm 2,98$ a $12,83 \pm 15,68$ s).

		D		E'		$\sigma_{0,05}$		$\sigma_{0,2}$		σ_i'		ε_i'						
K-S		0,7219	0,7198	0	0,0008	0	0,0044	0	0,0001	0,0205	0,2916	0,0014	0,2325					
			0,5022				0,2679				0,0110			0,0197		0,1989		0,0386
			0,4228				0,007351				0,0035			0,0079		0,3608		0,0912
Bar.		0,0172		0,1193		0,5593		0,5756		0,7882		0,1131						
Lev.		0,0201		0,6295		0,2544		0,1702		0,8455		0,2670						
K-W		0		0,1845		0,0689		0,0135		0,0012		0,0003						
J-T		0		0,0476		0,5951		0,5621		0,996		0,9997						
R²		0		0,1412		0,9355		0,8260		0,0112		0,0004						
AN.	p - d	3,518	0,0011	48,26	0,561	1,705	0,113	2,297	0,037	1,82	0,869	-0,0005	0,995					
	t - d	6,445	0	70,69	0,352	-0,374	0,914	-0,369	0,930	-11,55	0,0091	-0,0215	0,0003					
	t - p	2,927	0,037	22,44	0,917	-2,079	0,104	-2,666	0,045	-13,37	0,0056	-0,0210	0,0016					
Wil.	p - d	0,0007		0,1059		0,0985		0,0274		0,7456		0,6253						
	t - d	0,0058		0,8772		0,0250		0,00542		0,0010		0,0024						
	t - p	0		0,1698		0,3417		0,2742		0,0010		0,0001						
min	p. t. ěh.	36,68		708,3		4,35		5,36		39,85		0,0524						
	d. t. ěh.	45,9		837,5		8,537		25,39		68,76		0,0362						
	t. t. ěh.	47,58		1180		18,4		25,97		37,09		0,0979						
I.kv.	p. t. ěh.	71,74		2030		36,51		46,15		171,3		0,4507						
	d. t. ěh.	72,9		2104		37,11		47,33		170,5		0,4514						
	t. t. ěh.	78,64		2095		35,84		45,3		158,9		0,4437						
\tilde{x}	p. t. ěh.	80,64		2415		43,17		53,42		203,9		0,5015						
	d. t. ěh.	85,12		2476		44,02		54,97		204,2		0,4940						
	t. t. ěh.	88,14		2429		42,10		52,08		192,5		0,4830						
$\bar{x} \pm s_x$	p. t. ěh.	81,02 ± 14,05		2504 ± 737,79		44,53 ± 12,8		55,17 ± 13,79		205,4 ± 53,67		0,4974 ± 0,0780						
	d. t. ěh.	84,54 ± 15,84		2553 ± 697,24		46,23 ± 13,26		57,47 ± 14,47		207,2 ± 55,43		0,4969 ± 0,0780						
	t. t. ěh.	87,46 ± 15,62		2575 ± 666,13		44,15 ± 12,5		54,8 ± 14,19		193,9 ± 54,29		0,4760 ± 0,0700						
III.kv.	p. t. ěh.	89,97		2897		50,90		62,62		236,5		0,546						
	d. t. ěh.	94,89		3007		53,28		66,21		237,5		0,5438						
	t. t. ěh.	98,9		2911		49,39		61,84		222,3		0,5195						
max	p. t. ěh.	122,7		7148		123,20		147,4		450,8		0,7189						
	d. t. ěh.	131,7		5918		99,05		107,5		489		0,7218						
	t. t. ěh.	125,2		4906		113		124,2		406,2		0,6446						

Tabulka 19: Vzájemné porovnání hodnot skupin žen na probíhajícím těhotenství. K-S – Kolmogorov-Smirnovův test (test normality); Bar. – Bartlettův test (test homogenity rozptylu); Lev. – Leveneův test (test homogenity rozptylu); K-W – Kruskal-Wallisův test (alternativa ANOVy); J-T – Jonckheere-Terpstrův test (alternativa ANOVy); R² – kvadratická hodnota Pearsonova koeficientu mezi hodnotou veličiny a pořadím těhotenství; AN. – ANOVA; Wil. – Wilcoxonův test; p - d – rozdíl trendů mezi prvním a druhým těhotenstvím; t - d – rozdíl trendů mezi třetím a druhým těhotenstvím; t - p – rozdíl trendů mezi třetím a prvním těhotenstvím; min – minimum; I. kv. – první kvartil; \tilde{x} – medián; \bar{x} – průměr; s_x – směrodatná odchylka; III. kv. – třetí kvartil; max – maximum; D – průměr vlasů; E' – skutečný modul elasticity; $\sigma_{0,05}$ – smluvní mez linearity; $\sigma_{0,2}$ – smluvní mez kluzu; σ_i' – skutečné lomové napětí; ε_i' – skutečná relativní tržná délka. Žlutě jsou vyznačeny signifikantní rozdíly.

		W		W_A		w_e	
$K-S$		0,113	0,9261	0,0172	0,353	0	0
			0,0455		0,1765		0
			0,7257		0,4317		0
$Bar.$		0		0,06997		0	
$Lev.$		0		0,1968		0,0858	
$K-W$		0		0,0001		0,0065	
$J-T$		0		0,9982		0,7986	
R^2		0		0,0025		0,0868	
$AN.$	$p - d$	0,621	0	1,235	0,5610	0,0130	0,7380
	$t - d$	0,413	0,0016	-4,743	0,0009	-0,0396	0,0930
	$t - p$	-0,209	0,250	-5,977	0,0001	-0,0526	0,0323
$Wil.$	$p - d$	0		0,4477		0,0615	
	$t - d$	0,6958		0		0,0014	
	$t - p$	0,0001		0,0002		0,0852	
min	$p. t\check{e}h.$	0,2472		3,261		0,0044	
	$d. t\check{e}h.$	0,0887		1,744		0,0176	
	$t. t\check{e}h.$	0,2521		2,716		0,0778	
$I.kv.$	$p. t\check{e}h.$	2,792		46,240		0,2985	
	$d. t\check{e}h.$	2,986		46,82		0,3162	
	$t. t\check{e}h.$	3,148		42,81		0,2936	
\tilde{x}	$p. t\check{e}h.$	3,874		56,880		0,3835	
	$d. t\check{e}h.$	4,216		57,6		0,4031	
	$t. t\check{e}h.$	4,371		52,14		0,3600	
$\bar{x} \pm s_x$	$p. t\check{e}h.$	3,87 ± 1,48		57,83 ± 18,18		0,4457 ± 0,29	
	$d. t\check{e}h.$	4,49 ± 1,96		59,07 ± 19,14		0,4587 ± 0,25	
	$t. t\check{e}h.$	4,28 ± 1,56		53,09 ± 16,80		0,4061 ± 0,21	
$III.kv.$	$p. t\check{e}h.$	4,817		68,750		0,4943	
	$d. t\check{e}h.$	5,675		69,89		0,5193	
	$t. t\check{e}h.$	5,415		62,32		0,4824	
max	$p. t\check{e}h.$	8,297		135,20		3,30	
	$d. t\check{e}h.$	11,44		145,9		2,63	
	$t. t\check{e}h.$	8,259		124,7		2,52	

Tabulka 20: Vzájemné porovnání hodnot skupin žen v závislosti na probíhajícím těhotenství. $K-S$ – Kolmogorov-Smirnovův test (test normality); $Bar.$ – Bartlettův test (test homogenity rozptylu); $Lev.$ – Leveneův test (test homogenity rozptylu); $K-W$ – Kruskal-Wallisův test (alternativa ANOVy); $J-T$ – Jonckheere-Terpstrův test (alternativa ANOVy); R^2 – kvadratická hodnota Pearsonova koeficientu mezi hodnotou veličiny a pořadím těhotenství; $AN.$ – ANOVA; $Wil.$ – Wilcoxonův test; $p - d$ – rozdíl trendů mezi prvním a druhým těhotenstvím; $t - d$ – rozdíl trendů mezi třetím a druhým těhotenstvím; $t - p$ – rozdíl trendů mezi třetím a prvním těhotenstvím; min – minimum; $I. kv.$ – první kvartil; \tilde{x} – medián; $\bar{x} \pm s_x$ – průměr; s_x – směrodatná odchylka; $III. kv.$ – třetí kvartil; max – maximum; W – celková mechanická práce; W_A – tahová houževnatost; w_e – resilience. Žlutě jsou vyznačeny signifikantní rozdíly.

		F_0		F_1		F_2		F_3		τ_1		τ_2	
<i>K-S</i>		0,0041	0,0478	0	0,0001	0,1141	0,2461	0,0249	0,1486	0	0	0,0004	0,1767
			0,1295		0,0370		0,2686		0,5806		0		0,0084
			0,6353		0,0034		0,0161		0,5711		0,2848		0,1041
<i>Bar.</i>		0,7686		0,0611		0,0155		0,7807		0		0	
<i>Lev.</i>		0,6623		0,0896		0,0968		0,9504		0,1182		0,0229	
<i>K-W</i>		0,3977		0,4624		0,0008		0,5816		0,2439		0,1086	
<i>J-T</i>		0,1123		0,8926		0,9998		0,6030		0,8013		0,8913	
R^2		0,1987		0,1136		0,0004		0,8630		0,1819		0,4287	
<i>AN.</i>	<i>p - d</i>	0,0005	0,9941	-0,0005	0,7483	-0,0020	0,1391	0,0040	0,6756	1,24	0,7753	7,78	0,3101
	<i>t - d</i>	0,0080	0,3407	-0,0012	0,2563	-0,0041	0,0015	-0,0020	0,9176	-3,26	0,2270	-7,13	0,4338
	<i>t - p</i>	0,0074	0,4605	-0,0007	0,6863	-0,0020	0,2540	-0,0060	0,5354	-4,50	0,0978	-14,91	0,0506
<i>Wil.</i>	<i>p - d</i>	0,7844		0,5048		0,2299		0,5236		0,5354		0,5568	
	<i>t - d</i>	0,3240		0,5693		0,0129		0,3157		0,1041		0,0509	
	<i>t - p</i>	0,1795		0,2286		0,0002		0,5568		0,2030		0,0787	
<i>min</i>	<i>p. t. ěh.</i>	0,0381		0,0020		0,0083		0		4,39		6,54	
	<i>d. t. ěh.</i>	0,0176		0,0033		0,0069		0		2,32		5,91	
	<i>t. t. ěh.</i>	0,0647		0,0071		0,0081		0		3,69		26,69	
<i>I.kv.</i>	<i>p. t. ěh.</i>	0,1072		0,0107		0,0170		0,0286		7,68		79,41	
	<i>d. t. ěh.</i>	0,1034		0,0104		0,0163		0,0354		8,22		83,98	
	<i>t. t. ěh.</i>	0,1287		0,0105		0,0129		0,0309		8,04		78,53	
\tilde{x}	<i>p. t. ěh.</i>	0,1576		0,0128		0,0226		0,0570		9,72		103,5	
	<i>d. t. ěh.</i>	0,1591		0,0130		0,0235		0,0589		9,83		98,01	
	<i>t. t. ěh.</i>	0,166		0,0123		0,0172		0,0539		9,12		93,54	
$\bar{x} \pm s_x$	<i>p. t. ěh.</i>	0,1508 ± 0,045		0,0151 ± 0,0065		0,0242 ± 0,0099		0,0593 ± 0,0410		12,83 ± 15,68		105,9 ± 43,03	
	<i>d. t. ěh.</i>	0,1513 ± 0,047		0,0146 ± 0,0065		0,0221 ± 0,0078		0,0633 ± 0,0430		14,07 ± 21,1		113,7 ± 57,25	
	<i>t. t. ěh.</i>	0,1587 ± 0,044		0,0139 ± 0,0053		0,0201 ± 0,0097		0,0572 ± 0,0410		9,57 ± 2,98		98,78 ± 35,48	
<i>III.kv.</i>	<i>p. t. ěh.</i>	0,1805		0,0185		0,0305		0,0854		12,13		128,1	
	<i>d. t. ěh.</i>	0,1840		0,0169		0,0276		0,0885		12,12		139,1	
	<i>t. t. ěh.</i>	0,1898		0,0154		0,0251		0,0797		10,84		111,5	
<i>max</i>	<i>p. t. ěh.</i>	0,2468		0,0368		0,0505		0,1625		104,2		263	
	<i>d. t. ěh.</i>	0,2387		0,0346		0,0410		0,2044		151,7		406,2	
	<i>t. t. ěh.</i>	0,2403		0,0347		0,0585		0,1631		23,36		221	

Tabulka 21: Výsledky porovnání hodnot pro skupiny žen v závislosti na probíhajícím těhotenství. *K-S* – Kolmogorov-Smirnovův test (test normality); *Bar.* – Bartlettův test (test homogenity rozptylu); *Lev.* – Leveneův test (test homogenity rozptylu); *K-W* – Kruskal-Wallisův test (alternativa ANOVy); *J-T* – Jonckheere-Terpstrův test (alternativa ANOVy); R^2 – kvadratická hodnota Pearsonova koeficientu mezi hodnotou veličiny a pořadím těhotenství; *AN.* – ANOVA; *Wil.* – Wilcoxonův test; *p - d* – rozdíl trendů mezi prvním a druhým těhotenstvím; *t - d* – rozdíl trendů mezi třetím a druhým těhotenstvím; *t - p* – rozdíl trendů mezi třetím a prvním těhotenstvím; *min* – minimum; *I. kv.* – první kvartil; \tilde{x} – medián; \bar{x} – průměr; s_x – směrodatná odchylka; *III. kv.* – třetí kvartil; *max* – maximum; F_0 – koncová síla kterou vzorek působí po odeznění všech relaxačních procesů; F_1, F_2, F_3 – síly patřící jednotlivým členům relaxace; τ_1 – první (krátkodobý) relaxační čas; τ_2 – druhý (střednědobý) relaxační čas. Žlutě jsou vyznačeny signifikantní rozdíly.

Tabulka 22 ukazuje, že u průměru vlasů je rozdíl ve skupinách žen očekávajících chlapce či děvče jen na 10% hladině významnosti, rozdíl činí 1,69 μm , číselné hodnoty pro chlapce jsou $82,54 \pm 14,15 \mu\text{m}$, zatímco pro děvče $84,23 \pm 15,53 \mu\text{m}$. Modul elasticity je asi nejjistějším identifikátorem ze zde zkoumaných dvou skupin, pro něj jsme schopni dokonce rozhodnout na 1% hladině významnosti, že se skupina žen očekávajících chlapce významně odlišuje od skupiny čekajících děvče. Pro skupinu žen očekávajících chlapce vychází $2488 \pm 705 \text{ MPa}$, tedy významně méně než pro skupinu žen očekávajících děvče $2643 \pm 731 \text{ MPa}$. Na 5% hladině významnosti rozlišíme mez linearity a mez kluzu. Opět na 1% hladině významnosti můžeme rozlišit skutečné lomové napětí, kdy pro ženy očekávající chlapce má hodnoty $195,7 \pm 53,6 \text{ MPa}$, kdežto u žen očekávající děvče je vyšší tedy $206 \pm 53 \text{ MPa}$.

Tabulka 23 udává, že u celkové mechanické práce i u tahové houževnatosti jsme schopni určit rozdíl, a to na 1% hladině významnosti. Kdy pro celkovou mechanickou práci jsou číselné hodnoty o velikosti $3,84 \pm 1,47 \text{ mJ}$ pro ženy očekávající chlapce, a pro ženy očekávající děvče vyšší tedy $4,21 \pm 1,56 \text{ mJ}$. Velikosti hodnot pro tahovou houževnatost jsou opět vyšší pro ženy očekávající děvče, tedy $57,53 \pm 17,43 \text{ MJ/m}^3$ a pro ženy očekávající chlapce $54,58 \pm 17,73 \text{ MJ/m}^3$.

Poslední tabulka 24 udává, že u relaxačních sil F_1 a F_2 jsme schopni určit rozdíl, a to na 0,5% hladině významnosti. Pro relaxační sílu F_1 jsou hodnoty o velikosti $0,0157 \pm 0,0065 \text{ N}$ pro ženy očekávající kluka, pro ženy očekávající děvče jsou tyto hodnoty nižší $0,0138 \pm 0,0058 \text{ N}$. Hodnoty pro relaxační sílu F_2 jsou vyšší pro ženy očekávající chlapce, tedy $0,0245 \pm 0,0096 \text{ N}$ a pro ženy očekávající děvče jsou o velikosti $0,0215 \pm 0,0090 \text{ N}$.

		<i>D</i>		<i>E'</i>		$\sigma_{0,05}$		$\sigma_{0,2}$		σ_t'		ε_t'	
<i>K-S</i>	<i>k</i>	0,8119	0,6543	0	0,0132	0	0,0008	0	0,0013	0,1032	0,9126	0,0036	0,0648
	<i>h</i>		0,5475		0,0010		0,0009		0,0013		0,0131		0,0322
<i>Bar.</i>		0,0386		0,4191		0,976		0,9264		0,7524		0,0335	
<i>Lev.</i>		0,0344		0,8577		0,4509		0,3275		0,1663		0,2868	
<i>Wil.</i>		0,1389		0,0002		0,0100		0,0055		0,0053		0,5705	
<i>J-T</i>		0,9306		0,9999		0,995		0,9972		0,9973		0,7148	
<i>AN.</i>		-1,69	0,0736	-154,85	0,0007	-1,66	0,0457	-2,09	0,0215	-10,31	0,0023	-0,0034	0,4653
<i>min</i>	<i>k</i>	42,18		708,3		7,307		5,36		37,09		0,0524	
	<i>h</i>	45,69		837,500		6,926		18,24		39,85		0,1020	
<i>I.kv.</i>	<i>k</i>	72,85		2012		35,14		44,54		159,1		0,4460	
	<i>h</i>	73,51		2168		37,39		47,72		170,8		0,4485	
\tilde{x}	<i>k</i>	83,43		2378		42,01		52,33		193,4		0,4899	
	<i>h</i>	84,52		2525		44,08		54,46		203,7		0,4918	
$\bar{x} \pm s_x$	<i>k</i>	82,54 ± 14,15		2488 ± 705		44,23 ± 13,10		54,74 ± 14,41		195,7 ± 53,59		0,4859 ± 0,0780	
	<i>h</i>	84,23 ± 15,53		2643 ± 731		45,89 ± 13,11		56,84 ± 14,35		206 ± 52,84		0,4893 ± 0,0700	
<i>III.kv.</i>	<i>k</i>	91,70		2878		51,17		63,22		230,5		0,5326	
	<i>h</i>	95,13		3025		51,64		64,25		232,8		0,5308	
<i>max</i>	<i>k</i>	119,4		5918		103,6		107,5		386,4		0,7189	
	<i>h</i>	125,2		7148		123,2		147,4		450,8		0,7116	

Tabulka 22: Vzájemné porovnání hodnot skupin žen dle pohlaví očekávaného dítěte. *K-S* – Kolmogorov-Smirnovův test (test normality); *Bar.* – Bartlettův test (test homogenity rozptylu); *Lev.* – Levenevův test (test homogenity rozptylu); *J-T* – Jonckheere-Terpstrův test (alternativa ANOVy); *Wil.* – Wilcoxonův test (alternativa ANOVy); *AN.* – ANOVA; *min* – minimum; *I. kv.* – první kvartil; \tilde{x} – medián; \bar{x} – průměr; s_x – směrodatná odchylka; *III. kv.* – třetí kvartil; *max* – maximum; *k* – kluk; *h* – holka; *D* – průměr vlasů; *E'* – skutečný modul elasticity; $\sigma_{0,05}$ – smluvní mez linearity; $\sigma_{0,2}$ – smluvní mez kluzu; σ_t' – skutečné lomové napětí; ε_t' – skutečná relativní tržná délka. Žlutě jsou vyznačeny signifikantní rozdíly.

		W		W_A		w_e	
<i>K-S</i>	<i>k</i>	0,5696	0,8013	0,0287	0,571	0	0
	<i>h</i>		0,9457		0,0348		0
<i>Bar.</i>		0,217		0,7049		0,1259	
<i>Lev.</i>		0,2221		0,339		0,8701	
<i>Wil.</i>		0,0002		0,0139		0,2854	
<i>J-T</i>		0,9999		0,9931		0,8573	
<i>AN.</i>		-0,3722	0,0001	-2,95	0,0080	-0,0060	0,7205
<i>min</i>	<i>k</i>	0,2521		2,72		0,0206	
	<i>h</i>	0,4156		3,26		0,0079	
<i>I.kv.</i>	<i>k</i>	2,76		43,33		0,2965	
	<i>h</i>	3,08		46,22		0,2999	
\tilde{x}	<i>k</i>	3,86		53,21		0,3746	
	<i>h</i>	4,20		56,54		0,3928	
$\bar{x} \pm s_x$	<i>k</i>	3,84 \pm 1,47		54,58 \pm 17,73		0,4336 \pm 0,2800	
	<i>h</i>	4,21 \pm 1,56		57,53 \pm 17,43		0,4397 \pm 0,2600	
<i>III.kv.</i>	<i>k</i>	4,81		65,17		0,49	
	<i>h</i>	5,29		67,39		0,50	
<i>max</i>	<i>k</i>	8,24		120,40		3,30	
	<i>h</i>	8,82		128,70		2,63	

Tabulka 23: Výsledky porovnání hodnot skupin žen v závislosti na pohlaví očekávaného dítěte. *K-S* – Kolmogorov-Smirnovův test (test normality); *Bar.* – Bartlettův test (test homogenity rozptylu); *Lev.* – Leveneův test (test homogenity rozptylu); *Wil.* – Wilcoxonův test (alternativa ANOVy); *J-T* – Jonckheere-Terpstrův test (alternativa ANOVy); *AN.* – ANOVA; *k* – kluk; *h* – holka; *min* – minimum; *I. kv.* – první kvartil; \tilde{x} – medián; \bar{x} – průměr; s_x – směrodatná odchylka; *III. kv.* – třetí kvartil; *max* – maximum; *W* – celková mechanická; W_A – tahová houževnatost; w_e – resilience. Žlutě jsou vyznačeny signifikantní rozdíly.

		F_0		F_1		F_2		F_3		τ_1		τ_2	
$K-S$	k	0,0154	0,1386	0	0,0013	0,1604	0,3796	0,0540	0,2472	0,0049	0,2783	0,0001	0,0102
	h		0,1748		0,0004		0,0283		0,1599		0,0278		0,0080
Bar.		0,0740		0,1622		0,386		0,1463		0,1824		0,42	
Lev.		0,1178		0,293		0,7877		0,2541		0,57		0,5914	
Wil.		0,1235		0,0010		0,0044		0,796		0,866		0,6217	
J-T		0,9383		0,0005		0,0022		0,3978		0,4328		0,3107	
AN.		-0,0069	0,1786	0,0019	0,0041	0,0030	0,0038	0	0,992	-0,0281	0,9416	1,04	0,8381
min	k	0,0782		0,0052		0,0083		0		3,769		30,59	
	h	0,0176		0,0020		0,0081		0		3,694		26,69	
I.kv.	k	0,1088		0,0114		0,0173		0,0364		7,929		84,76	
	h	0,1173		0,0099		0,0136		0,0268		7,691		80,84	
\tilde{x}	k	0,1509		0,0139		0,0234		0,0580		9,581		102,5	
	h	0,1615		0,0122		0,0208		0,0584		9,445		97,73	
$\bar{x} \pm s_x$	k	0,1485 \pm 0,0430		0,0157 \pm 0,0065		0,0245 \pm 0,0096		0,0605 \pm 0,0390		10,00 \pm 3,29		110,6 \pm 44,41	
	h	0,1554 \pm 0,0490		0,0138 \pm 0,0058		0,0215 \pm 0,0090		0,0605 \pm 0,0440		10,03 \pm 3,65		109,5 \pm 47,31	
III.kv.	k	0,1763		0,0179		0,0293		0,0878		11,62		127,30	
	h	0,1929		0,0158		0,0272		0,0871		11,78		132,90	
max	k	0,2468		0,0368		0,0585		0,1497		24,01		314,40	
	h	0,2403		0,0347		0,0505		0,2044		32,57		406,20	

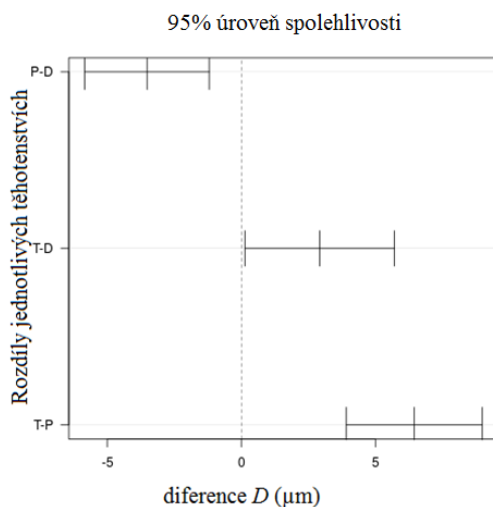
Tabulka 24: Vzájemné porovnání hodnot skupin žen v závislosti na pohlaví dítěte. $K-S$ – Kolmogorov-Smirnovův test (test normality); $Bar.$ – Bartlettův test (test homogenity rozptylu); $Lev.$ – Leveneův test (test homogenity rozptylu); $Wil.$ – Wilcoxonův test (alternativa ANOVy); $J-T$ – Jonckheere-Terpstrův test (alternativa ANOVy); $AN.$ – ANOVA; k – kluk; h – holka; min – minimum; $I. kv.$ – první kvartil; \tilde{x} – medián; \bar{x} – průměr; s_x – směrodatná odchylka; $III. kv.$ – třetí kvartil; max – maximum; F_0 – koncová síla kterou vzorek působí po odeznění všech relaxačních procesů; F_1, F_2, F_3 – síly patřící jednotlivým členům relaxace; τ_1 – první (krátkodobý) relaxační čas; τ_2 – druhý (střednědobý) relaxační čas. Žlutě jsou vyznačeny signifikantní rozdíly.

5.4.2 Analýza rozptylu hodnot měřených veličin

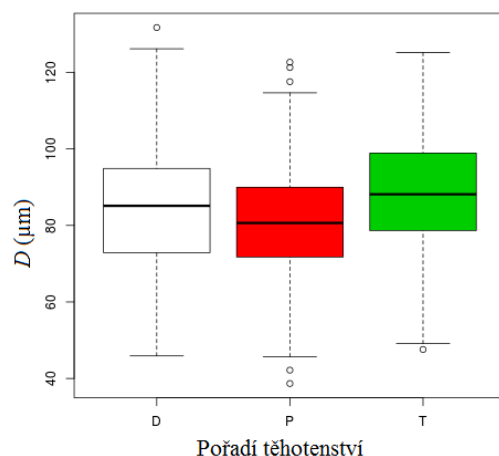
Dalším krokem bylo porovnání samotných hodnot veličin naměřených pro 3 první těhotenství různých žen. Pro 1669 vlasů 62 žen, u kterých probíhalo jedno z prvních třech těhotenství, jsme určili mechanické parametry z trhacích a relaxačních křivek. Při každém odběru byly brány tři vzorky vlasů pro trhací pokus a jeden vlas pro pokus relaxační. Vzorky byly odebírány časově rovnoměrně v celém období těhotenství a šestinedělí, zhruba po šesti týdnech. Věkovou strukturu věkových skupin můžeme vidět na grafu 28. Četnosti jednotlivých skupin byly následující: poprvé těhotných žen bylo 30, podruhé 18 a potřetí 14. Pro každou z těchto skupin a každou veličinu byly vypočteny základní popisné statistiky a vyhodnoceny následující statistické testy. Jako první na nich bylo Kolmogorov-Smirnovým testem zjišťováno, zda se jednalo o veličiny s normálním rozdělením. Gaussovskost byla ověřována pro každou skupinu těhotných žen zvlášť i pro všechny měřené ženy dohromady. Pro ověření homoskedasticity bylo použito Bartlettova a Leveneova testu, a na rozhodnutí,

zda se jednotlivé skupiny od sebe odlišují, klasického ANOVA testu v případě normálního homoskedasticitního rozložení a testu Kruskal-Wallisova a Jonckheer-Terpstrova pro všechny ostatní případy. Což jsou neparametrické alternativy ke klasické ANOVě. Při čemž Jonckheer-Terpstrův test se výrazně doporučuje používat na místo obvyklejšího Kruskal-Wallisova, neboť je citlivější a je možné tak ve většině případů nadále pracovat na 5% hladině významnosti, kterou je v případě Kruskal-Wallisova testu většinou nutné opustit a spokojit se tak s hladinou 10%.

Celkově i po skupinách normální se nám zde jeví jen průměr D , a tak pouze pro tuto ze všech 15 sledovaných veličin můžeme použít pro porovnání skupin těhotných žen, respektive jejich průměrných hodnot, klasického ANOVA testu. Docházíme k jednoznačnému závěru, že všechny tři skupiny žen se vzájemně prokazatelně liší na 5% hladině významnosti. Pro grafické srovnání nejlépe poslouží následující Tukey diagram (graf 33). Rozložení hodnot je zobrazeno pro přehlednost ještě v boxovém diagramu (graf 34). Největší změnu průměru tedy vlasy zaznamenávají mezi prvním a druhým těhotenstvím a zhruba poloviční mezi druhým a třetím těhotenstvím. V obou případech se jedná o zvětšení tloušťky vlasů, neboli s přibývajícím počtem těhotenství roste tloušťka vlasů, ovšem čím dál pomaleji. Největší rozptyl mají průměry vlasů žen po druhém těhotenství.



Graf 33: Tukey diagram ukazuje rozdílnost průměrů vlasů žen po jednotlivých těhotenstvích. Kde P-D – rozdíl mezi prvním a druhým těhotenstvím; T-D – rozdíl mezi třetím a druhým těhotenstvím; T-P – rozdíl mezi třetím a prvním těhotenstvím. Vodorovná škála ukazuje diferenci průměrů v mikrometrech.



Graf 34: Diagram znázorňuje rozdíly základních statistik žen po jednotlivých těhotenstvích. Kde D – průměr vlasů; D – druhé těhotenství; P – první těhotenství; T – třetí těhotenství.

Mezi prvním a druhým těhotenstvím dochází ke ztloustnutí vlasu o $3,5 \mu\text{m}$, mezi druhým a třetím o $2,9 \mu\text{m}$ a mezi prvním a třetím v průměru o $6,4 \mu\text{m}$, což zhruba odpovídá součtu předcházejících změn. Jelikož však homoskedasticita nebyla zcela potvrzena ani pro průměry a nabývá hraničních hodnot, je důležité zhodnotit i výsledky neparametrických testů shody, avšak jak Kruskal-Wallis, tak Jonckheere-Terpstra test jednoznačně potvrzují závěry o rozdílnosti průměrů středních hodnot těchto třech skupin žen. Wilcoxonův párový neparametrický test pak podle očekávání vykazuje nejjistější rozdílnost skupin mezi prvním a třetím těhotenstvím a nejméně jistou rozdílnost mezi třetím a druhým, ve všech případech však s nejistotou mnohem menší než 1%. A tak sled středních hodnot $81 \pm 14 \mu\text{m}$, $85 \pm 16 \mu\text{m}$ a $87 \pm 16 \mu\text{m}$ považujeme za první podstatný výsledek tohoto hrubého srovnání.

Vzhledem k tomu, že pro počty vzorků mnohem vyšší než 60 nehraje nenormalita takový význam pro nepoužitelnost klasického ANOVA testu, je možné přihlídnout k výsledkům klasické ANOVy i pro E' , $\sigma_{0,05}$, $\sigma_{0,2}$, σ_t' , ε_t' , W_A , F_0 , F_1 , F_3 . Pro E' , $\sigma_{0,05}$, F_0 , F_1 , stejně jako F_3 však nedostáváme žádnou naději na rozdílnost průměrů třech zkoumaných skupin. V případě modulu elasticity neparametrické testy tyto závěry potvrzují s výjimkou rozdílu prvního a druhého těhotenství, kdy na 5% hladině významnosti spatřujeme nárůst modulu přibližně o 50 MPa. Jednoznačné výsledky, ve kterých se shodují všechny použité testy, už jsou jen v rozdílnosti W a τ_2 . Celková práce nutná k přetržení vlasu W se významně odlišuje mezi prvním a druhým těhotenstvím, tedy mezi $3,9 \pm 1,5$ a $4,5 \pm 2$ mJ. Dlouhodobý relaxační čas se pak dle všech použitých testů odlišuje mezi prvním a třetím těhotenstvím, zkrátí se ze 106 na 99 s. Pravděpodobně totéž platí i pro první relaxační čas, výsledky však nejsou tak jednoznačné a dochází zde k posunu z $9,6 \pm 3$ na $12,8 \pm 15$ s.

Přirozenou otázkou je, do jaké míry jsou předcházející výsledky ovlivněny stářím rodiček. Je totiž pochopitelné, že v průměru se bude třetí těhotenství vyskytovat u rodiček starších než těhotenství první. Z tohoto důvodu uvádíme tabulky 25 a 26 udávající konstanty úměrnosti

mezi jednotlivými veličinami a věkem zjištěnými pro jednotlivá těhotenství a především pak statistické charakteristiky těchto úměrností. Můžeme si zde všimnout, že nejvyšší korelaci vykazují W , E' , F_1 u třetího těhotenství, kde koeficient determinace R^2 dosahuje míry až 0,04. Pro všechny ostatní těhotenství a veličiny jsou korelace menší než 0,01, s výjimkou průměru vlasu, kde činí 0,03. Zde se ovšem znaménko korelace pro průměr v jednotlivých těhotenstvích liší, což ukazuje na náhodnost tohoto ukazatele. Nejnižšími korelacemi s věkem disponují relaxační časy τ_1 a τ_2 a resilience w_e , kdy se koeficient determinace nikdy nepřehoupne přes 0,01. Celkově tak lze hrubé výsledky uvedené výše pro jejich významnou signifikanci prohlásit za použitelné, i s přihlédnutím k parametru věku respondentek – maminek. Vlivem stárnutí na ženské vlasy jsme se podrobně zabývali v konferenčním příspěvku Skřontová et al. (2012) a článku Jelen et al. (2014), viz Přílohy 8.9 a 8.12.

	D_T	E'	$\sigma_{0,05}$	$\sigma_{0,2}$	σ_t'	ε_t'	W	W_A	w_e
ρ	0,040	0,042	0,016	0	-0,045	-0,100	0,008	-0,068	-0,012
S	315589848	314845017	323528153	328542039	343395294	361667828	326151311	350929701	332683795
<i>p-hodnota</i>	0,159	0,137	0,581	0,990	0,112	0	0,788	0,016	0,665

Tabulka 25: Konstanty úměrnosti mezi trhacími veličinami a věkem sledovaných žen. Kde ρ – Spearmanův koeficient pořadové korelace; S – suma odchylek; *p-hodnota* – odhadnutá pravděpodobnost shody; D_T – průměr vlasů z trhacích experimentů; E' – skutečný modul elasticity; $\sigma_{0,05}$ – smluvní mez lineariry, jinak řečená smluvní mez elasticity; $\sigma_{0,2}$ – smluvní mez kluzu; σ_t' – skutečné lomové napětí; ε_t' – skutečná relativní tržná délka; W – celková mechanická práce; W_A – tahová houževnatost; w_e – resilience.

	D_R	F_0	F_1	F_2	F_3	τ_1	τ_2
ρ	0,181	-0,021	-0,005	-0,003	-0,072	-0,098	0,128
S	269223339	335453869	330265438	329636507	352444241	360921354	286588427
<i>p-hodnota</i>	0	0,464	0,862	0,916	0,010	0	0

Tabulka 26: Konstanty úměrnosti mezi relaxačními veličinami a věkem žen. Kde ρ – Spearmanův koeficient pořadové korelace; S – suma odchylek; *p-hodnota* – odhadnutá pravděpodobnost shody; D_R – průměr vlasů z relaxačních experimentů; F_0 – koncová síla kterou vzorek působí po odeznění všech relaxačních procesů; F_1 , F_2 , F_3 – síly patřící jednotlivým členům relaxace; τ_1 – první (krátkodobý) relaxační čas; τ_2 – druhý (střednědobý) relaxační čas.

Tato část se týká zjištění korelace mezi trendem časového vývoje parametrů vlasů od jednotlivých žen a pohlaví nenarozeného dítěte. Počet žen očekávajících dítě mužského pohlaví byl 24 a žen očekávajících dítě ženského pohlaví bylo 26. Bylo tedy zjišťováno, zda existuje nějaká korelace mezi pohlavím dítěte a trendem (časovou směrnici) hodnoty v průběhu těhotenství. Jediná veličina z 15 zkoumaných, u které byla na 10% hladině významnosti užšími metodami ověřena rozdílnost trendů, byla F_0 neboli koncová síla. Zatímco pro mužské pohlaví plodu byla zjištěna závislost této síly pozitivní se směrnici 0,12 μN na den, pro plod ženského pohlaví byl naopak zaznamenán pokles této koncové síly, a to na úrovni 0,4 μN .

Rozsáhlejší soubor signifikantních rozdílů však získáváme pro porovnání samotných hodnot mechanických parametrů vlasů v závislosti na pohlaví očekávaného dítěte. Pro 12 veličin z 15 mají matky očekávající děvčátko vyšší střední hodnoty než ty, které očekávají chlapce. Jmenovitě pak jde o D , E' , $\sigma_{0,05}$, $\sigma_{0,2}$, σ_t' , ε_t' , W , W_A , w_e , F_0 , F_3 , τ_1 , zatímco pro ostatní veličiny F_1 , F_2 , τ_2 byl zaznamenán pokles. Z poklesu byl statisticky nejvýznamnější u F_1 a F_2 , a to dokonce na 0,5% hladině významnosti. Na 10% hladině významnosti byla naopak zjištěna střední hodnota průměru vlasů pro ženy očekávající děvče $84 \pm 16 \mu\text{m}$, zatímco pro ženy očekávající chlapce $83 \pm 14 \mu\text{m}$. Další signifikantní rozdíl byl zjištěn u σ_t' , kde na 1% hladině významnosti se středními hodnotami $206 \pm 53 \text{ MPa}$ a $196 \pm 54 \text{ MPa}$ vychází střední hodnoty vyšší opět pro matky očekávající děvče. Dále signifikantně pro plod ženského pohlaví vychází modul elasticity $2,6 \pm 0,7 \text{ GPa}$ oproti $2,5 \pm 0,7 \text{ GPa}$. Na 5% hladině významnosti rovněž pro $\sigma_{0,2}$, $\sigma_{0,05}$, W_A . Poslední signifikantní rozdíl na 0,5% hladině významnosti je zjištěn pro celkovou mechanickou práci nutnou k přetržení a činí $3,8 \pm 1,5 \text{ mJ}$ a $4,2 \pm 1,6 \text{ mJ}$ ve prospěch dívek.

Celkově tedy můžeme říci, že změny v průběhu těhotenství kromě F_0 nejsou závislé na pohlaví dítěte, ovšem z nějakého důvodu platí, že ženy s hrubšími (tužšími, tlustšími, pevnějšími) vlasy častěji očekávají děvče. Jejich vlasy však současně méně relaxují.

5.5 Torzní měření

Jak jsme popsali v Kapitole 4.1.6, základem tohoto měření je odečítání časů průchodů světelného paprsku odraženého od zrcátka, které tvoří torzní kyvadlo, dvěma světelnými závory. Tímto způsobem získáváme např. následující hodnoty (tabulka 27). V prvním sloupci jsou zaznamenány časové okamžiky průchodu paprsku první optickou závorou, v druhém sloupci závorou druhou. Pokud od sebe odečítáme po sobě jdoucí časy první závory, získáváme tak informaci o periodě kmitů. Přesněji musíme vždy brát součet po sobě jdoucích dvou hodnot, a to jednak z toho důvodu, že při jednom kyvu dochází ke dvěma průchodům paprsku závory, a jednak proto, že vzhledem k obtížné seřiditelnosti nulové polohy kyvadla je vždy jeden z těchto časů menší než druhý, neboť paprsek při nulové výchylce neprochází dokonalým středem mezi závory. Pokud provedeme rozdíl hodnot průchodů první a druhou závorou, získáváme tak informaci o aktuální maximální rychlosti kyvadla. Získáváme tak z tabulky 27 tabulku následující (28).

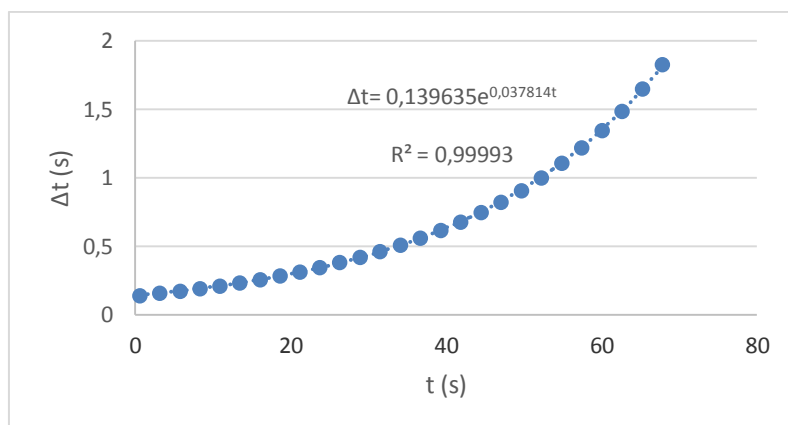
$t_{1.z.} (ms)$	$t_{2.z.} (ms)$
3,120	3,194
5,828	5,745
8,280	8,370
10,936	10,834
13,384	13,493
16,079	15,956
18,503	18,637
21,226	21,076
23,645	23,807
26,403	26,221
28,798	28,996
31,599	31,377
33,960	34,200
36,807	36,538
39,125	39,416
42,024	41,698
44,289	44,642
47,250	46,854
49,446	49,873
52,484	52,004
54,592	55,113
57,728	57,143
59,729	60,363
62,980	62,267
64,852	65,627
68,243	67,368
69,954	70,906

Tabulka 27: Hodnoty časů při průchodu laserového paprsku přes závoru při samotném měření torze. Kde $t_{1.z.}$ – časy průchodů první závorou; $t_{2.z.}$ – časy průchodů druhou závorou.

<i>Čas měření (s)</i>	<i>Doba přechodu (s)</i>
0,596	0,140
3,157	0,157
5,787	0,173
8,325	0,192
10,890	0,211
13,439	0,232
16,018	0,257
18,570	0,284
21,151	0,312
23,726	0,344
26,312	0,380
28,897	0,420
31,488	0,462
34,080	0,509
36,673	0,560
39,271	0,617
41,861	0,679
44,466	0,749
47,052	0,823
49,660	0,907
52,244	1,001
54,853	1,106
57,436	1,219
60,046	1,347
62,624	1,488
65,240	1,650
67,806	1,827

Tabulka 28: Výpočet maximální rychlosti vahadla.

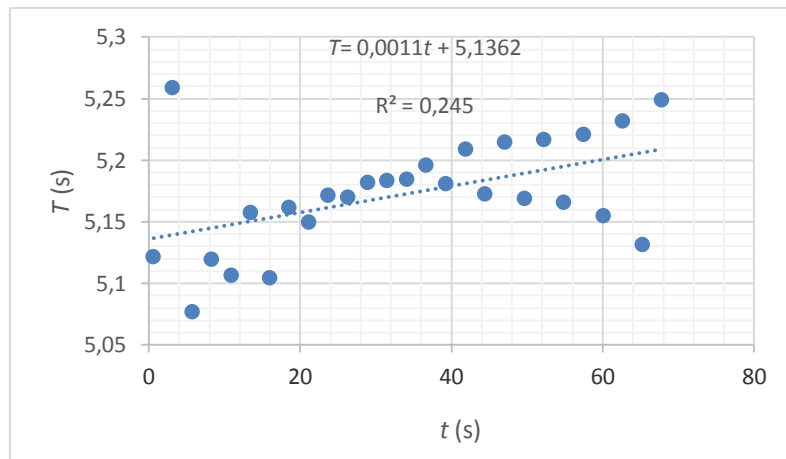
Hodnoty z tabulky 28 můžeme zobrazit v grafu 35 a proložit exponenciálou. Jiný možný postup získáme vyhodnocením vzájemných poměrů po sobě jdoucích rychlostí. Jejich přehled vidíme v tabulce 29 a zobrazené jsou v grafu 36, kde jsou proloženy přímkou, neboť kupodivu perioda tohoto kyvadla závisí na amplitudě.



Graf 35: Doba, za kterou kmitadlo překoná úhel 5° kolem nulové výchylky.

<i>č. m. (s)</i>	<i>p. km. (s)</i>
0,596	5,122
3,157	5,259
5,787	5,077
8,325	5,120
10,885	5,107
13,439	5,158
16,018	5,105
18,570	5,162
21,151	5,150
23,726	5,172
26,312	5,170
28,897	5,182
31,488	5,184
34,080	5,185
36,673	5,196
39,271	5,181
41,861	5,209
44,466	5,173
47,052	5,215
49,660	5,169
52,244	5,217
54,853	5,166
57,436	5,221
60,046	5,155
62,624	5,232
65,240	5,132
67,806	5,249

Tabulka 29: Vyhodnocení poměru po sobě jdoucích rychlostí. Kde *č. m.* – čas měření; *p. km.* – naměřená perioda kmitu.



Graf 36: Poměr po sobě jdoucích maximálních rychlostí vahadla.

Z periody a útlumu jsme schopni spočítat tuhost a koeficient útlumu (Kapitola 4.4). Můžeme také spočítat poměr po sobě jdoucích rychlostí a z nich určit střední hodnotu (tabulka 30).

<i>č. m. (s)</i>	<i>stř. h. p.</i>
0,596	1,258
3,157	1,216
5,787	1,229
8,325	1,211
10,885	1,206
13,439	1,230
16,018	1,220
18,570	1,210
21,151	1,213
23,726	1,222
26,312	1,220
28,897	1,212
31,488	1,212
34,080	1,213
36,673	1,212
39,271	1,213
41,861	1,215
44,466	1,210
47,052	1,212
49,660	1,220
52,244	1,219
54,853	1,217
57,436	1,219
60,046	1,222
62,624	1,227
65,240	1,228
0,596	15,152

Tabulka 30: Poměr po sobě jdoucích rychlostí a z nich určena střední hodnota. Kde *č. m.* – čas měření; *stř. h. p.* – střední hodnota poměru po sobě jdoucích rychlostí.

Střední hodnoty spolu se směrodatnými odchylkami získané z měření v předcházejících tabulkách této kapitoly uvádíme v následující tabulce 31.

<i>veličina</i>	\bar{x}	s_x
<i>doba kmitu (s)</i>	5,1786	0,05078
<i>poměr rychlosti</i>	1,2164	0,00593

Tabulka 31: Střední hodnoty periody a útlumu. Kde \bar{x} – průměr; s_x – směrodatná odchylka.

Jak vidíme, podle předpokladu platí, že postupy k získání útlumového koeficientu jsou prakticky ekvivalentní, neboť $1,2164 \doteq e^{\beta T} = e^{0,037814 \cdot 5,1786} = 1,2163$. Z těchto čísel snadno dopočítáme koeficient tuhosti $K = \frac{4\pi}{T^2} = 0,4686 \text{ s}^{-2}$ a koeficient útlumu $\beta = \frac{2}{T} \ln \frac{v_t}{v_{t+T}} = 0,03286$. Pro zajímavost přikládáme přehled výsledků spočtených podobným

postupem pro tři různé ženy, 18 různých vlasů v následující tabulce 32. Další tabulka 33 pak obsahuje přehled výsledků opakovaných na témže vlasu.

č. vz.	č. o.	č. vl.	\bar{D} (μm)	$s_{\bar{D}}$ (μm)	\bar{T} (s)	s_T (s)	\bar{v}_{t+T} (1)	$s_{\bar{v}_{t+T}}$ (1)	$\frac{\bar{G}a}{J}$ (s^{-2})	$\frac{s_{\bar{G}a}}{J}$ (s^{-2})	$\frac{\bar{\eta}a}{J}$ ($\text{kgm}^2\text{s}^{-1}$)	$\frac{s_{\bar{\eta}a}}{J}$ ($\text{kgm}^2\text{s}^{-1}$)
5	2	3	88,51	2,97	4,0444	0,0075	1,1780	0,0029	0,7683	0,0029	0,0810	0,0012
	5	1	73,22	4,55	5,1715	0,0098	1,2189	0,0035	0,4699	0,0018	0,0765	0,0010
7	1	1	73,32	5,69	4,2568	0,0218	1,1328	0,0007	0,6935	0,0071	0,0586	0,0001
	3	3	73,12	9,99	4,9230	0,0182	1,2290	0,0022	0,5185	0,0038	0,0838	0,0004
	6	1	83,34	2,83	3,2119	0,0018	1,1502	0,0015	1,2181	0,0014	0,0871	0,0008
		3	83,96	3,25	4,2671	0,0042	1,1923	0,0035	0,6902	0,0013	0,0824	0,0013
8	1	1	63,58	3,35	6,6446	0,0139	1,2105	0,0038	0,2846	0,0012	0,0575	0,0008
		2	73,76	1,88	3,4400	0,0013	1,1197	0,0002	1,0619	0,0008	0,0657	0,0001
		3	97,38	2,71	3,9472	0,0017	1,1503	0,0006	0,8065	0,0007	0,0710	0,0003
	2	1	81,27	4,62	5,2746	0,0133	1,1958	0,0015	0,4517	0,0023	0,0678	0,0005
		2	57,83	5,05	5,2653	0,0098	1,1758	0,0024	0,4533	0,0017	0,0615	0,0007
	3	1	68,68	3,18	5,7214	4,7418	1,2144	0,0031	0,4082	0,1306	0,0692	0,0101
	4	1	69,12	1,59	5,9794	0,0054	1,2204	0,0035	0,3515	0,0006	0,0666	0,0010
		2	65,22	1,68	4,6494	0,0045	1,1577	0,0010	0,5813	0,0011	0,0630	0,0003
		3	87,21	3,96	4,4428	0,0074	1,1850	0,0012	0,6367	0,0021	0,0764	0,0003
	5	1	62,72	1,00	6,6695	0,0238	1,2054	0,0009	0,2825	0,0020	0,0560	0,0002
	7	1	60,47	2,16	6,3248	0,0090	1,1730	0,0024	0,3141	0,0009	0,0505	0,0006
		2	76,03	4,20	3,8206	0,0043	1,1382	0,0006	0,8609	0,0019	0,0678	0,0002

Tabulka 32: Přehled výsledků pro všech 18 vlasů. Kde č. vz. – číslo vzorku; č. o. – číslo odběru; č. vl. – číslo vlasu; \bar{D} – průměr vlasu; $s_{\bar{D}}$ – směrodatná odchylka průměru; \bar{T} – průměrná doba kmitu; s_T – směrodatná odchylka doby kmitu; \bar{v}_{t+T} – poměr rychlostí; $s_{\bar{v}_{t+T}}$ – směrodatná odchylka poměru rychlostí; $\frac{\bar{G}a}{J}$ – průměrná hodnota tuhosti; $\frac{s_{\bar{G}a}}{J}$ – směrodatná odchylka tuhosti; $\frac{\bar{\eta}a}{J}$ – průměrná hodnota útlumového koeficientu; $\frac{s_{\bar{\eta}a}}{J}$ – směrodatná odchylka útlumového koeficientu.

č. měření	\bar{T} (s)	s_T (s)	\bar{v}_{t+T} (1)	$s_{\bar{v}_{t+T}}$ (1)	$\frac{Ga}{J}$ (s^{-2})	$\frac{\eta a}{J}$ ($\text{kgm}^2\text{s}^{-1}$)
1	4,0534	0,0310	1,1812	0,0200	0,7648	0,0822
2	4,0350	0,0927	1,1787	0,0099	0,7718	0,0815
3	4,0449	0,0281	1,1741	0,0106	0,7681	0,0794

Tabulka 33: Přehled výsledků opakovaných měření na témže vlasu. Kde č. měření – číslo měření na tomž vlasu; \bar{T} – průměrná doba kmitu; s_T – směrodatná odchylka doby kmitu; \bar{v}_{t+T} – průměrná hodnota poměru rychlostí; $s_{\bar{v}_{t+T}}$ – směrodatná odchylka poměru rychlostí; $\frac{Ga}{J}$ – tuhost; $\frac{\eta a}{J}$ – útlumový koeficient.

Jako nejspokojivější metoda určení β se nám jeví proložení křivkou z grafu 38, kde je korelace a rozptyl nejmenší. Experiment ukazuje na vysokou míru opakovatelnosti výsledku

měření na tomtéž vlasu. Problém je však s měřením průměru, viz Kapitola 4.1.4. Měření momentu setrvačnosti lze provést kalibrací, kdy na místo vlasu použijeme např. vlasec se známým modulem elasticity. Přes určité úspěchy této metody zjišťujeme, že se hodí zvláště při určování změn na tomtéž vlasu. Nejspíše by byla dobře použitelná pro závislosti na teplotě, vlhkosti apod. Pro cíle této práce, kdy primárním záměrem je porovnání mnoha vlasů téže ženy a mnoha žen vzájemně, je závislost R^4 silným omezením.

5.6 Výsledky z měření elipticity vlasů

Celá tato práce se týkala rozboru možnosti, že tvar řezu vlasu je dán nejen geneticky, jak je většinou uváděno, ale může se měnit i během života daného jedince. Jelikož se tato práce týkala těhotných žen a jejich vlasů, pokusili jsme se tuto metodu využít k tomu, abychom zjistili, zda se během gravidity mění tvar řezu ženských vlasů. Ze zátylku žen, které v uplynulém roce rodily (PG), byly odebrány delší vlasy, jejichž část pamatovala ještě období před těhotenstvím. Řezy těmito vlasy nám daly možnost vrátit se v čase a zjistit, jaký tvar měly vlasy před, při a po těhotenství. Kontrolní skupinu tvořily ženy, které doposud nerodily (NG), ovšem párově k první skupině žen, tedy byly podobného stáří, typu vlasů a BMI. Tím byly eliminovány případné sezónní vlivy na tvar vlasů.

V následujících tabulkách 34 a 35 jsou přehledně uspořádané průměrné hodnoty velikosti plochy a ploch řezů získaných v jednotlivých úsecích vlasů zkoumaných žen. Každá průměrná hodnota a její směrodatná odchylka byla určována z 5 měření prováděných na daném úseku vlasu.

<i>mo</i>	<i>NG1</i>				<i>NG2</i>				<i>NG3</i>			
	<i>E</i>	<i>s_E</i>	<i>S</i> (μm ²)	<i>s_S</i> (μm ²)	<i>E</i>	<i>s_E</i>	<i>S</i> (μm ²)	<i>s_S</i> (μm ²)	<i>E</i>	<i>s_E</i>	<i>S</i> (μm ²)	<i>s_S</i> (μm ²)
11.2015	0,48	0,21	20819	5193	0,70	0,04	8335	469	0,47	0,17	11682	1922
8.2015	0,32	0,12	14263	651	0,62	0,14	9326	1591	0,61	0,17	15867	5572
5.2015	0,54	0,06	13996	1688	0,81	0,06	9478	2359	0,60	0,31	13873	6581
2.2015	0,44	0,11	16666	348	0,79	0,03	9857	2222	0,70	0,17	17060	4264
12.2014	0,49	0,16	21744	5423	0,64	0,10	8095	1506	0,71	0,15	12349	2971

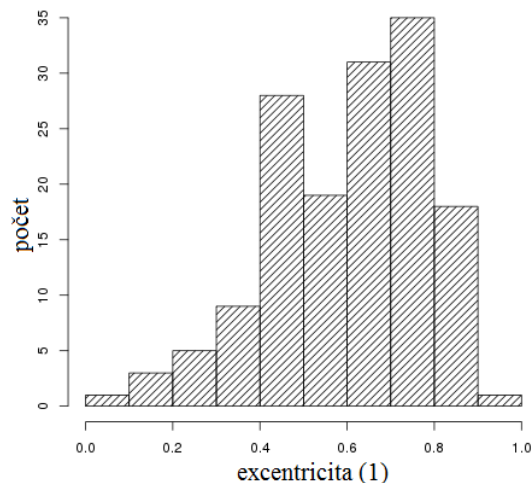
Tabulka 34: Průměrné hodnoty excentricit a průřezů ve zkoumaných obdobích pro ženy z kontrolní skupiny (skupina NG). Kde *NG1* – první žena z kontrolní skupiny, *NG2* – druhá žena z kontrolní skupiny; *NG3* – třetí žena z kontrolní skupiny; *mo* – měřené období; *E* – excentricita; *s_E* – směrodatná odchylka excentricity; *S* – průřez vlasu; *s_S* – směrodatná odchylka průřezu.

<i>mo</i>	<i>PG1</i>				<i>PG2</i>				<i>PG3</i>			
	<i>E</i>	<i>s_E</i>	<i>S</i> (μm ²)	<i>s_S</i> (μm ²)	<i>E</i>	<i>s_E</i>	<i>S</i> (μm ²)	<i>s_S</i> (μm ²)	<i>E</i>	<i>s_E</i>	<i>S</i> (μm ²)	<i>s_S</i> (μm ²)
11.2015	0,77	0,05	13056	4085	0,57	0,14	9534	1394	0,64	0,08	16783	1336
8.2015	0,76	0,16	14520	3065	0,60	0,15	8596	1146	0,65	0,08	14790	3644
5.2015	0,62	0,14	15541	2856	0,59	0,17	10377	1471	0,62	0,13	14061	1227
2.2015	0,75	0,12	11777	3165	0,40	0,27	15976	3247	0,59	0,22	12715	2553
12.2014	0,60	0,24	22017	4050	0,69	0,14	15582	2282	0,45	0,05	14366	1484

Tabulka 35: Průměrné hodnoty excentricit a průřezů ve zkoumaných obdobích pro ženy, které již mají děti (skupina PG). Kde *PG1* – první žena ze skupiny žen majících dítě; *PG2* – druhá žena ze skupiny žen majících dítě; *PG3* – třetí žena ze skupiny žen majících dítě; *mo* – měřené období; *E* – excentricita; *s_E* – směrodatná odchylka excentricity; *S* – průřez vlasu; *s_S* – směrodatná odchylka průřezu. Žlutě podbarvené buňky určují období od porodu do odběru vzorků vlasů.

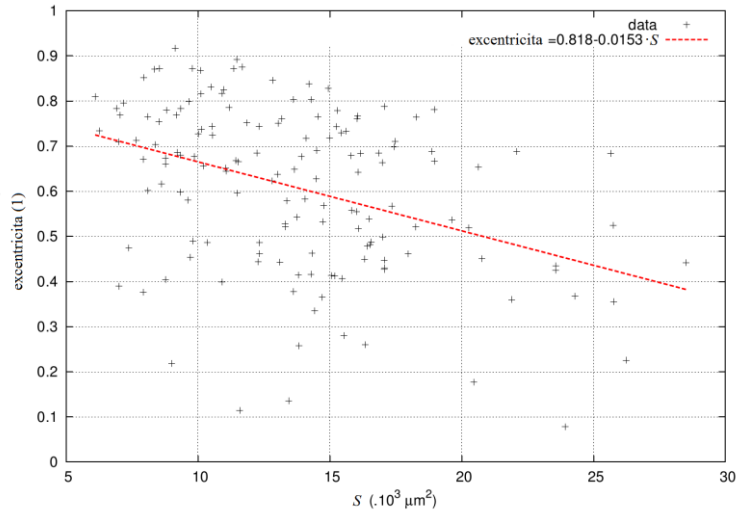
Sezónní vlivy zkoumaných žen nevykazují žádný prokazatelný vliv na zkoumané veličiny. Zatímco u probandky NG 2 dochází k nárůstu průřezu vlasů v zimních obdobích, u zbývajících dvou probandek téže skupiny je trend prakticky opačný. Podobně nesourodě působí i sezónní výkyvy excentricit u probandek NG 1 a 3.

Zajímavé je rozložení hodnot excentricit všech měřených probandek. Histogram získaný z těchto 150 hodnot vidíme na grafu 37. V něm je dobře vidět, že naprostá většina 90 % excentricit se nachází v intervalu 0,4 – 0,8. Tento fakt je v dobré shodě s pozorováním Porter et al. (2009).



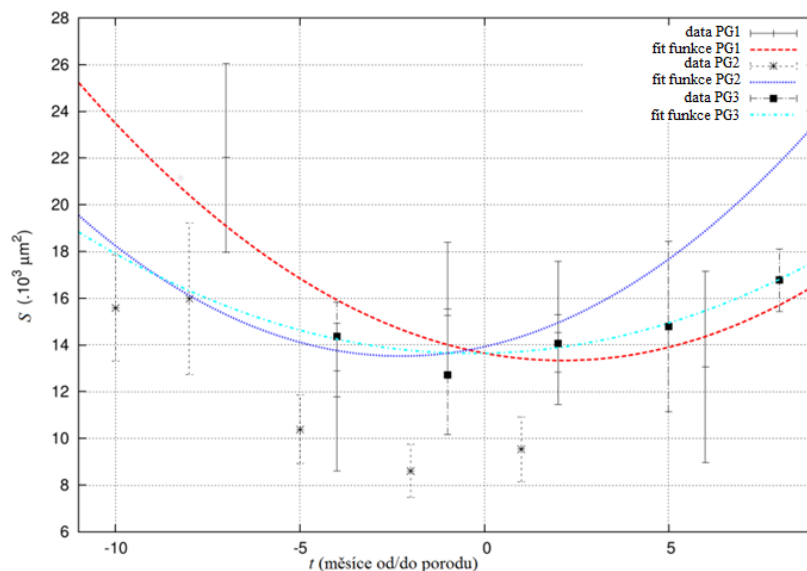
Graf 37: Histogram excentricit celé skupiny zkoumaných žen.

Dalším zajímavým pozorováním charakterizujícím skupinu středoevropských žen je, že existuje poměrně silná závislost mezi průřezem vlasů a jejich elipticitou. Platí, že čím je vlas silnější, tím je jeho elipticita menší a tvar průřezu se blíží kruhu. Koeficient determinace této závislosti činí 0,36. Situaci vidíme v grafu 38. Tato skutečnost nebyla zatím nikde popsána.



Graf 38: Závislost excentricity na průřezích (S) všech naměřených vlasů u obou skupin žen.

Velmi zajímavý výsledek poskytuje vyhodnocení průřezu vlasů zobrazené v závislosti na čase od porodu. Výsledky jsou zobrazeny v grafu 39. Trendy průběhů jsou zde proloženy kvadratickou funkcí. Pozoruhodné je, že pro všechny ženy je tento průběh konkávní, neboli kvadratický člen aproximační rovnice je ve všech případech kladný. Další pozoruhodnou skutečností je blízkost minim těchto kvadratických funkcí na časové ose. Všechna leží v blízkosti porodu, což přesně souhlasí s pozorováním Skřontová et al. (2015 a). Současně je tento výsledek v přímém rozporu s prací Nissimov, Elchalal (2003), kteří pozorovali významný nárůst průměrů vlasů v těhotenství.



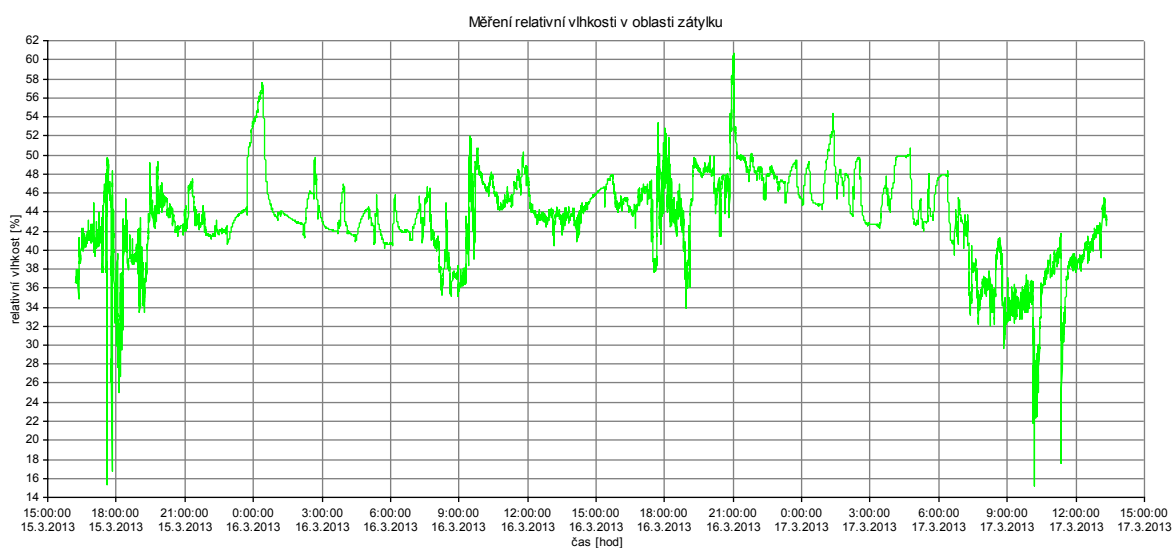
Graf 39: Ukazuje závislost průřezů (S) vlasů na čase (t) odpovídajícím době před a po porodu pro ženy PG 1 – 3, tedy ty, kterým se v krátké minulosti narodilo dítě.

Vývoj elipticity v průběhu těhotenství a po něm se nám nepodařilo jednoznačně stanovit. Na rozdíl od práce Marschner et al. (2003) nebyl nalezen žádný společný jmenovatel naměřených probandek. Jediné zjištění v tomto smyslu plyne z grafu 38 a 39. Lze tak říci, že elipticita vlasů v průběhu těhotenství roste a po porodu opět klesá. Tento jev, z kterého vyplývá zvýšená kučeravost v porodním období společně s faktem, že v průběhu těhotenství vlasy méně vypadávají, může být důvodem, proč většina žen udává, že v průběhu těhotenství měly více vlasů a pevnější účes.

Hlavním přínosem této studie je především ověření možnosti určení elipticity vlasu z třech snímků při známé úhlové změně pohledu. Vzhledem k počtu pozorování jsou ostatní výsledky spíše indiciemi motivujícími k dalším studiím. V tomto smyslu je třeba vyzdvihnout zvláště rozložení elipticit vlasů evropských žen, dále pak závislost elipticity na průřezu vlasem a konečně potvrzení závislosti snižování průřezu vlasů s časovou vzdáleností od porodu, která je možná očekávatelná, neboť vlasy mohou být v období gravidity vyživovány méně na úkor plodu.

5.7 Výsledky pro měření vlhkosti

Níže představujeme výsledky z experimentu, jenž se zabýval měřením vlhkosti *in vivo* a měl za cíl kontinuálně monitorovat relativní vlhkost na povrchu lidské hlavy. Měření byla prováděna po dobu 48 hodin a monitorovala tuto veličinu při různých denních i nočních aktivitách zkoumaných osob. Teplota byla snímána s periodou deseti sekund kontaktně na temeni ženských hlav a v digitální podobě zaznamenávána do paměti připojeného dataloggeru neovlivňujícího pohyb zkoumaných osob (viz. Kapitola 4.6). Výsledkem práce je jednak histogram výskytu jednotlivých relativních vlhkostí a rychlostí jejich změn (graf 40), dále pak důkladnější analýza vývoje změn relativní vlhkosti v obdobích zvýšené fyzické aktivity.



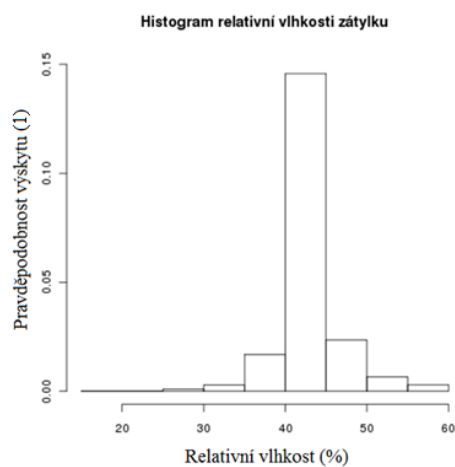
Graf 40: Graf průběhu vlhkosti vlasů v zátylku na čase. Ukázka naměřených dat.

Tabulka 36 poskytuje ucelený přehled průměrů, minim a maxim pro oba sledované probandy za celou dobu měření, tj. za 48 hodin, kdy měli umístěn snímač na povrchu hlavy ve vlasech.

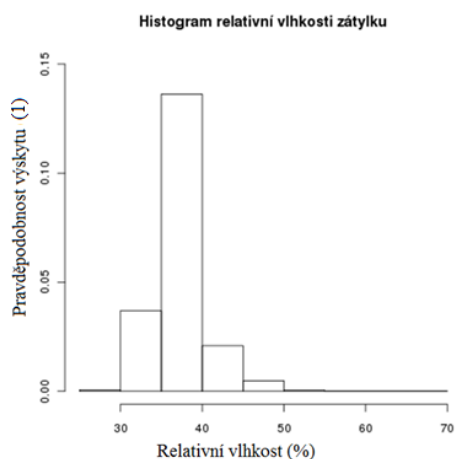
	<i>Proband 1</i>	<i>Proband 2</i>
<i>RH</i> (%)	43,41 ± 4,54	37,26 ± 3,07
<i>RH_{min}</i> (%)	15,1	27,9
<i>RH_{max}</i> (%)	60,6	69,1

Tabulka 36: Ukázka základních statistik naměřených souborů vlhkostí na hlavách probandek. Kde *RH* – průměrná hodnota a její směrodatná odchylka pro relativní vlhkost; *RH_{min}* – minimální hodnota relativní vlhkosti; *RH_{max}* – maximální hodnota relativní vlhkosti.

Význam výsledků z těchto měření byl především v zúžení oblasti zájmu vlhkostí vlasů v nativních podmínkách. Ukázalo se, že po většinu času leží vlhkost vlasů pouze v oblasti 32 – 48 % RH a může mít hodnotu i o 10 % nižší než v okolí probanda. Toto dosvědčují následující histogramy (graf 41, 42).

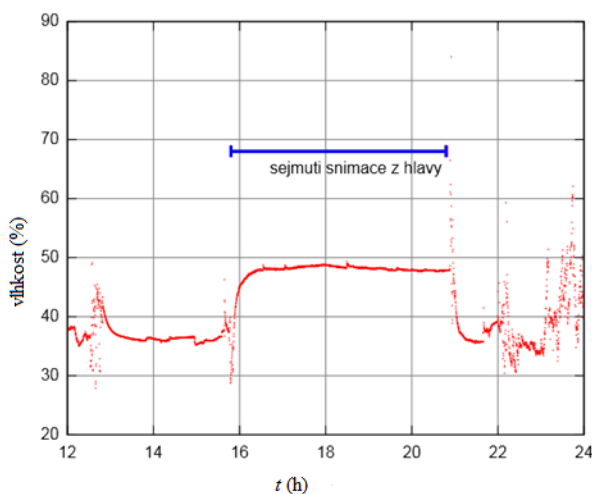


Graf 41: Vyhodnocení rozmezí relativní vlhkosti u probanda 1.



Graf 42: Vyhodnocení rozmezí relativní vlhkosti u probanda 2.

Z následného grafu 43 vyplývá, že ve vlasech se vyskytuje relativní vlhkost o deset procent nižší, než má okolní vzduch v místnosti, ve které se proband pohybuje.

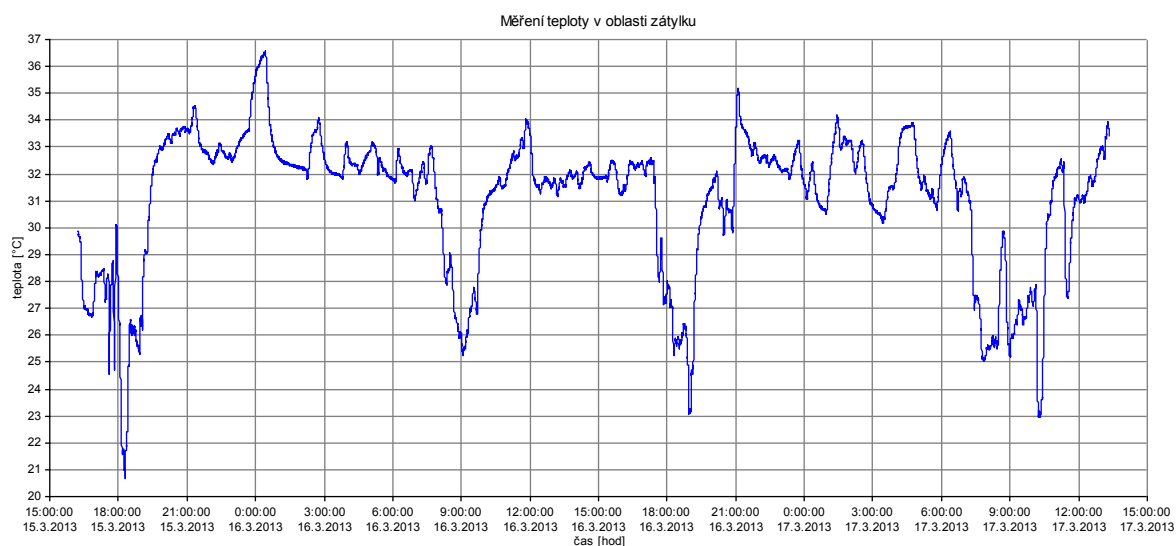


Graf 43: Detail ukazující změnu vlhkosti při oddálení vlhkoměru z vlasů do volného prostoru.

V rámci tohoto experimentu byl získán základní přehled o chování relativní vlhkosti v průběhu dne. Z naměřených dat bylo možno vyvodit, v jakém rozmezí se pohybují vlhkosti vlasů v průběhu běžných každodenních činností i spánku. Přestože se nalezené hodnoty nalézaly v rozmezí 15 – 70 % relativní vlhkosti, při zúžení intervalu na 95 % pravděpodobnosti výskytu bylo zjištěno, že interval nativních vlhkostí vlasů leží jen v rozmezí 32 – 48 % RH a má přibližně gaussovský charakter. Konkrétní hodnota vlhkosti vždy ale závisí na hustotě a tloušťce vlasů.

5.8 Výsledky pro měření teploty

Níže uvádíme výsledky z experimentu popsaného v Kapitole 4.7. V rámci celého experimentu byla kontinuálně monitorována teplota na povrchu hlavy. Výsledkem celé práce je níže uvedený histogram výskytu jednotlivých teplot a rychlostí jejich změn (graf 44), dále pak důkladnější analýza částí tepelného vývoje v obdobích zvýšené fyzické aktivity.



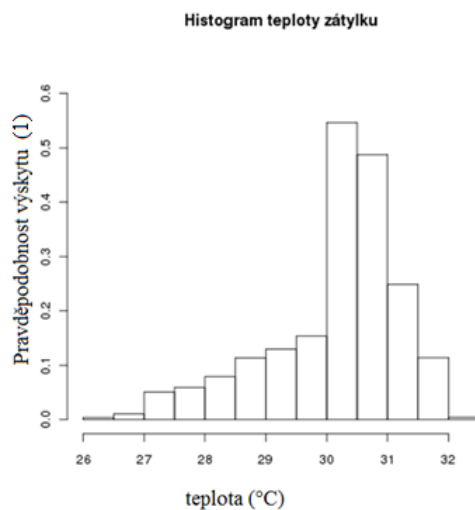
Graf 44: Ukázka naměřeného průběhu teplot zátylku a průběh rychlostí jejich změn v průběhu celého měření.

Tabulka 37 je ukázkou základních statistik pro naměřené hodnoty teplot, čímž nám poskytuje ucelený přehled vývoje teploty u sledovaných probandů v průběhu celého měření.

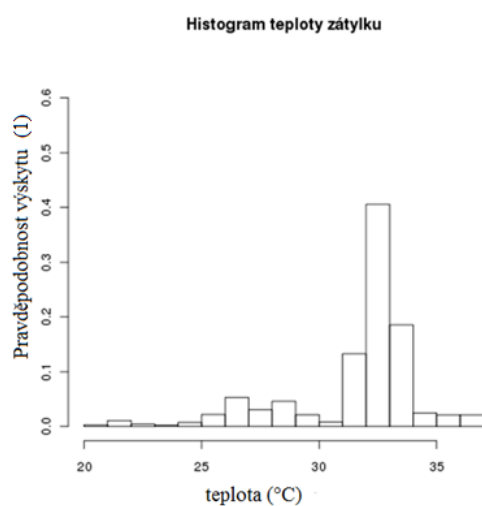
	<i>Proband 1</i>	<i>Proband 2</i>
t (°C)	$31,04 \pm 2,59$	$30,19 \pm 1,09$
t_{min} (°C)	20,7	26,3
t_{max} (°C)	36,5	32,2

Tabulka 37: Základní statistiky naměřených souborů teplot na hlavách probandů. Kde t – teplota, její průměr a směrodatná odchylka; t_{min} – teplotní minimum; t_{max} – teplotní maximum.

Histogramy (graf 45, 46) i časový průběh ukazují na rozdílnou teplotu ženského zátylku v období denních činností a v průběhu spánku. Tato teplota se liší o několik stupňů Celsia a je poměrně konstantní. Výsledný histogram přes celé dny je dán součtem dvou nezávislých Gaussových křivek normálních rozdělání. Toto může být způsobeno například rozdílnou intenzitou prokrvení pokožky hlavy, zvláště pak zátylku, kde byl po celou dobu měření umístěn snímač.



Graf 45: Vyhodnocení teplotního rozmezí v době měření u probanda 1.



Graf 46: Vyhodnocení teplotního rozmezí v průběhu měření pro probanda č. 2.

Podařilo se nám zúžit teplotní oblast, ve které se nalézají vlasy na zátylku ženských hlav v průběhu běžných dnů a nocí. Tato oblast se pohybovala v rozmezí 25 – 35 °C pro námi sledované probandy.

6 DISKUSE

Celá tato práce měla stanovených několik hlavních cílů (Kapitola 2.1), které jsme se snažili naplnit. Mezi ně patřilo prozkoumat mechanické chování vlasů v průběhu gravidity u konkrétních žen, a jeho případné změny zachytit jako měřitelné parametry a pokusit se je tak vysvětlit. Dále pak ukázat, zda se mechanické parametry vlasů během těhotenství mění a také to, zda jsou tyto změny jednoznačně prokazatelné v daných laboratorních podmínkách. Také jedním z cílů bylo stanovit odběrové místo pro sběr vzorků tak, aby bylo možno sesbírat velké množství vzorků vždy ze stejné odběrové oblasti, a případně vyvinout použitelnou metodiku pro měření mechanických (reologických) parametrů velkého počtu vlasů. S tímto souvisí sestavení dostatečně velkého výzkumného souboru, na kterém by bylo možno použít co nejvíce statisticky průkazných metod. Dále pak jsme chtěli zjistit, zda hodnoty mechanických parametrů vlasů v průběhu těhotenství závisí na vnějších faktorech (např. bydliště ženy, kouření, barvení vlasů) a případně na parametrech těhotenství (např. pohlaví dítěte, pořadí těhotenství, věk ženy). Dále jsme chtěli nalézt korelace mezi měřenými mechanickými veličinami charakteristickými pro vlas. A nakonec ověřit, zda všechny mechanické vlastnosti vlasů mají normální (Gaussovo) rozdělení.

Abychom mohli prozkoumat mechanické chování vlasů, vyvinuli jsme software, který nám umožnil zpracovat velké množství dat a současně tak z každého vzorku zjistit mechanické (reologické) parametry, které jsme pak tímto mohli lépe vysvětlit. Takto jsme dokázali zjistit velký počet parametrů jen z trhacích křivek. Tyto parametry jsou počáteční průřez vlasu (S_0), inženýrský modul elasticity (E), skutečný modul elasticity (E'), smluvní mez lineariry (neboli smluvní mez elasticity, $\sigma_{0,05}$), smluvní mez kluzu ($\sigma_{0,2}$), lomové napětí (σ_l), skutečné lomové napětí (σ_l'), tažnost (ϵ_l), skutečná relativní tržná délka (ϵ_l'), celková mechanická práce nutná k přetržení materiálu (W), tahová houževnatost (W_A), resilience (w_e). Další parametry jsme zjišťovali z dat pořízených relaxační zkouškou. A to koncovou sílu po relaxaci (F_0), síly patřící jednotlivým členům relaxace (F_1, F_2, F_3), krátkodobý relaxační čas (τ_1) a střednědobý relaxační čas (τ_2). Takto velký soubor mechanických parametrů je ojedinělý, neboť v literatuře nalezneme jen základní parametry, a to smluvní mez kluzu, skutečný modul elasticity, skutečné lomové napětí, případně některé relaxační síly (Hay, Wall, 2011; Benzarti et al., 2011). V tomto ohledu je naše práce ojedinělá, a proto můžeme diskutovat s jinými autory pouze minimální počet mechanických parametrů.

Nejčastěji diskutovaným parametrem pro vlasy je jejich průměr. V tomto ohledu se mnohá literatura liší, protože pokud pro všechny námi sledované ženy určíme velikost průměru vlasů, tedy $84,48 \pm 15,15 \mu\text{m}$, zjistíme, že nám vychází vyšší, než uvádí např. Hay, Wall (2011), kteří udávají velikost průměrů $56,2 \pm 10 \mu\text{m}$, či Benzarti et al. (2011) $70 \pm 5 \mu\text{m}$. Tato rozdílnost může být zapříčiněna několika faktory, a to např. odlišným počtem naměřených vzorků vlasů, případně rozdílnými odběrovými místy vzorků na hlavě nebo subjekty, od kterých byly vzorky vlasů odebrány. Dalším důvodem může být i rozdílnost v rámci jednoho vlasu, neboť jak uvádí Guohua et al. (2005): Vlasy se v jednotlivých úsecích liší svojí tloušťkou vzhledem k přítomnosti či absenci kutikuly, což výrazně ovlivňuje jejich vlastnosti. Ovšem pokud přistoupíme na myšlenku, že zvětšení průměru vlasů je znakem jejich degradace, neboť interiérové odchovy zvířat způsobují jak řidnutí srsti, tak zvyšování

průměru jednotlivých chlupů, a v procesu stárnutí je průměr vlasu a modul elasticity rovněž rostoucí a rovněž tak se populačně za posledních 100 let zvýšil minimálně o 15 μm , lze pak konstatovat, že ženy s horšími vlasy častěji rodí děvče. Něco takového však nelze říci zcela obecně, neboť naprosto určitě existují i ženy s tenkými nekvalitními vlasy. Zdá se však, že na rozdíl od průměru vlasů je modul elasticity vhodnou charakteristikou kvality vlasu, neboť jeho růst patrně vždy znamená kvalitativní ztrátu stavu vlasu. Tuto myšlenku potvrzuje i náš výsledek, že ženy žijící ve městech mají průměr i modul elasticity vyšší než ženy žijící na venkově. Rovněž tak opakované porody podle této myšlenky a našich výsledků kvality vlasů nepřispívají a každý další porod znamená jak zvýšení průměru vlasů, tak zvýšení modulu elasticity. Což je opět odpověď na jednu z našich vědeckých otázek, Kapitola 2.2.

Dále pak s literaturou můžeme porovnat skutečný modul elasticity, kdy nám v průměru vychází o velikosti $2,53 \pm 0,71$ GPa a Hay, Wall (2011) udávají $7,22 \pm 0,93$ GPa. Zde opět dochází k velké odlišnosti, a to ve prospěch literatury. Odlišnost může být, stejně jako u průměru, způsobená rozdílným místem odběru vzorku, poškozením samotných vlasů a v neposlední řadě i odlišností velikosti zkoumaného souboru. V tomto případě my jsme prováděli tahové zkoušky pro 1334 vlasů a Hay, Wall (2011) pouze pro vlasů 11! Ale práce Skřontová et al. (2011) potvrzuje vyšší modul elasticity pro negravidní ženy.

Měření, které se někdy vyskytuje v literatuře jako možnost zjišťování skutečného modulu elasticity ve smyku, je s pomocí torzních kmitů (Bartošová et al., 1982; Robbins, 2002). Pro nás to bylo současně jak doplňkové měření, tak jedna z vědeckých otázek. Celou metodiku jsme podrobně popsali v Kapitole 4.1.6, a jak se ukázalo, při pokusu o stanovení Poissonova poměru způsobuje nehomogenita elasticity v radiálním směru, že se modul elasticity určený torzními kmity jeví daleko vyšším, než reálně odpovídá elasticitě kterékoli vrstvy vlasu. Skutečný modul elasticity vychází dvakrát až šestkrát vyšší než u jiných autorů (např. Hay, Wall, 2011; Franbourg et al., 2003; Mamada, Nakamura, 2007) včetně nás. Z této skutečnosti by šlo vycházet při budoucích studiích a určit tak radiální distribuci elasticity vlasu.

Jedním z našich cílů bylo stanovit odběrové místo pro snazší odběr vzorků vlasů a také pro to, že dostupná literatura zabývající se zkoumáním mechanických (reologických) parametrů vlasů neuvádí odběrové místo na hlavě daného jedince. Zvolili jsme si odběrové místo v oblasti týlního hrbolu jednak proto, že lze snadno tento hrbol nahmatat na každé hlavě, a také z estetického hlediska pro častý odběr vlasů pro náš výzkumný záměr. Ačkoli víme, že Stalder, Kirschbaum (2012) uvádějí jako standartní pozici pro odběr vlasů oblast *posterior vertex* (oblast temene), a to proto, že tato oblast má rovnoměrné tempo růstu vlasů, nejnižší interindividuální variabilitu a nejnižší podíl vlasů v telogenní (klidové) fázi růstu. Naopak naši variantu odběru vlasů z oblasti týlu podporuje Robbins (2002), jenž uvádí, že týlní a také spánkové oblasti obsahují málo nebo žádné receptory dihydrotestosteronu a vlasy v těchto oblastech zůstávají po celý život jedince a jsou relativně imunní proti hormonálním vlivům.

Za cíl jsme si také dali sestavit dostatečně velký výzkumný soubor. Nakonec tento soubor činil 64 žen, od kterých jsme odebírali jednou za měsíc několik vlasů, a to v intervalu od prvního trimestru až do konce šestinedělí. I přes velkou snahu se nám u několika žen toto nepodařilo splnit, případně jiné ženy neodpověděly na příslušné otázky v dotaznících, proto

jsme museli vždy danou statistickou metodu použít na různě velké soubory žen. To mělo za následek vedlejší efekt zjištění mechanických vlastností tak velkého souboru vlasů, že je možnost stanovení hodnot a korelací zjišťovaných mechanických veličin a jejich odhad pro celou středoevropskou populaci, a to proto, že ze vzorku 64 žen lze do určité míry činit i závěry o těchto veličinách pro celou současnou českou populaci, neboť externí validita při tomto počtu měření není již zcela zanedbatelná. Je samozřejmostí, že interní validita této práce je mnohem vyšší, neboť stanovení hodnot všech veličin probíhala pro relaxační veličiny 421 krát a pro trhací veličiny alespoň 1334 krát a pro měření průměrů vlasů dokonce 26 325 krát.

Dalšími cíli bylo nalézt korelace mezi jednotlivými mechanickými veličinami a ověřit to, zda mají normální (Gaussovo) rozdělení. Zde musíme upozornit, že výsledky týkající se korelací veličin, a zvláště pak zjištěné korelace mezi mechanickými parametry, tak i parametry historie těhotných žen, jsou nové a není možno je tedy porovnávat.

Co se týče rozložení hodnot v ženské populaci, překvapila většina veličin svou nenormalitou. Jak je popsáno v Kapitole 5.1, ukazuje se, že v našem populačním vzorku týlní vlasy mají normální (Gaussovo) rozdělení pouze u průměrů a celkové mechanické práce nutné k přetržení materiálu. U některých veličin (E' , $\sigma_{0,05}$, $\sigma_{0,2}$, w_e , τ_1 , τ_2) se nám podařilo prokázat logaritmicko-normální rozdělení, což znamená, že jsme tyto veličiny přiřadili mezi jiné biometrické veličiny, jako je krevní tlak (McManus, 1983), hmotnost, délka apod., které tímto rozdělením oplývají rovněž. Veličiny F_0 , F_1 a F_3 vykazují komplikovanou distribuční funkci a zvláště u F_3 je možné předpokládat rozdělení do dvou skupin.

Zajímavá je silná pozitivní korelace relaxačních veličin F_1 , F_2 , τ_1 , τ_2 , která naznačuje, že poměr hodnot těchto veličin zůstává pro vlasy na hlavách žen z našeho souboru konstantní (Kapitola 5.1).

Jedna z vědeckých otázek se týkala významu trendů neboli průměrné časové změny hodnot veličin v tomto období. Tyto trendy vypovídají o změnách hodnot mechanických veličin vlasů v průběhu těhotenství nejlépe. Bohužel u žádné z veličin se nám nepodařilo prokázat, že během těhotenství se její hodnota mění pro všechny ženy společně. Jiná situace ovšem nastává, pokud rozdělíme množinu všech žen podle místa, kde žijí, a především pak podle pohlaví očekávaného dítěte. Určitou roli rovněž hraje i pořadí těhotenství. Co se týče trendů, vychází statisticky signifikantní rozdíl u resilience a všech sil relaxace (F_i). U všech těchto veličin je pořadí těhotenství statisticky signifikantním faktorem. Statisticky signifikantním ukazatelem pro trendy F_0 je pohlaví dítěte. Další závěr lze činit pro samotné hodnoty měřených veličin. Uvedené dva parametry, tedy pořadí těhotenství, pohlaví dítěte, jednoznačně korelují především s průměrem vlasů, mezi linearitou, mezi kluzu, skutečnou relativní tržnou délkou, tahovou houževnatostí a F_0 , F_1 , F_3 , τ_2 . PCA analýzou byly všechny tyto závěry potvrzeny, a navíc byla nalezena méně významná závislost těchto veličin na místě, kde ženy žijí. Z úsporných důvodů a kvůli faktu, že se jedná pouze o malé rozšíření výsledků, byl však tento typ analýzy a její výsledky z této práce vypuštěny.

Za cíl jsme si také stanovili vyvinutí metodiky pro měření velkého počtu vzorků vlasů. I když k zjišťování trhacích a relaxačních křivek jsme využili konvenčně vyráběné deformační zařízení, pro které jsme si jen upravili vhodné čelisti, aby splňovaly naše nároky (Příloha 8.1), zjistili jsme, že i tak musíme vlas nejprve vložit do kousku papíru a až poté do samotných čelistí. Jednak zabraňujeme jeho vysmeknutí, ale také jeho rozdrčení či uštípnutí o hranu čelisti (viz Kapitola 4.1.5). Uvádíme to zde proto, že jsme neměli možnost se o ničem podobném dočíst v nám dostupné literatuře. I když jsme vynaložili značné úsilí na vývoj optimální metodiky v několika zajímavých oblastech průzkumu mechanických vlastností vlasů kromě v této práci uváděných postupů, jako např. rozdíly v mechanických vlastnostech ženských a mužských vlasů; rozdíly mezi vlasy dospělých a dětí; rozdílnost vlasu v jeho jednotlivých úsecích; vliv teploty a vlhkosti na mechanické vlastnosti vlasů (in vitro), případně porovnání mechanických vlastností chlupů pro různé druhy zvířat apod, rozhodli jsme se ve snaze zkrácení této práce se jimi zde nezabývat a věnovat se především hlavnímu tématu této práce. Jen okrajově zde můžeme zmínit, že z in vivo měření relativní vlhkosti vzduchu ve vlasech jsme zjistili, že je zpravidla během dne o 10 % nižší než v okolním vzduchu.

7 ZÁVĚR

Výsledky této práce lze rozdělit na plánované, které jsou v souladu s původním cílem a názvem práce, a výsledky neplánované, i když neméně zajímavé, které vznikly takovými porovnáními naměřených dat, která jsme původně neplánovali.

Do první skupiny patří především prokázání změny průměru vlasu a resilience v období těhotenství společně celému zkoumanému vzorku populace. U ostatních zkoumaných veličin se zdá, že je jejich vývoj v období gravidity společný vždy jen určitým částem populace. Přestože shluková analýza dává poměrně jasný obraz rozdělení populace, nepodařilo se nám za pomoci dotazníkových markerů nalézt takové, které by nezávisle určily příslušnost do těchto skupin, a tím je ověřit a vysvětlit, což může být například způsobeno genetickým charakterem dělení, které dotazník nepodchytil.

Podařilo se však prokázat souvislosti těhotenství jako celku i některých jeho parametrů s některými mechanickými parametry vlasů, čímž si můžeme odpovědět na jednu z vědeckých otázek (Kapitola 2.2). Na rozdíl od prokázaných závislostí několika mechanických veličin na pořadí těhotenství, které považujeme za předpokladatelné, je prokázaná silná korelace mezi pohlavím dítěte a některými mechanickými parametry pro nás výsledkem naprosto nečekaným. Především sem patří průměr vlasů, modul elasticity, mez linearit, mez kluzu, mechanická práce, tahová houževnatost. Ženy, které očekávají děvče, mají prokazatelně vyšší průměr vlasů, tedy 84,23 μm , a současně platí, že tytéž ženy očekávající dívky mají hodnoty pro modul elasticity, které činí 2643 MPa, zatímco u žen očekávající chlapce jen 2488 MPa. Ve prospěch žen očekávajících děvče jsou také hodnoty meze linearit 45,89 MPa a hodnoty meze kluzu 56,84 MPa oproti hodnotám pro ženy očekávající chlapce, tedy pro mez linearit 44,23 MPa a pro mez kluzu 54,74 MPa.

Je pochopitelné, že určitý vývoj zaznamenávají mechanické parametry vlasů i pro opakované porody. Nám se to podařilo prokázat pro následující veličiny: průměr vlasů, modul elasticity a konečnou sílu relaxace F_0 .

Ženy žijící na venkově oplývají vlasy tenčími a ve smyslu modulu elasticity měkčími než ženy městské. U ostatních dotazníkových parametrů jako je kouření, barvení vlasů, apod. se kupodivu jednoznačný celopopulační vliv nepodařilo prokázat.

Přestože netušíme, co je příčina souvislostí výše uvedených třech korelací, nezbývá než je prohlásit na základě naměřených dat na našem vzorku populace za prokázané.

Hlavním úkolem této práce bylo zjištění vlivů parametrů gravidních žen na mechanické parametry vlasů, což se také podařilo; považujeme za podstatné zjištění středních hodnot u těchto bílých žen a jejich rozložení v místní populaci naměřené na tolika vzorcích. Jsou to ukazatele, které se mohou s vývojem populace historicky nemálo vyvíjet, a proto fixování hodnot současné dějinné etapy v této práci považujeme za cenný příspěvek. Podobně také nalezení několika netriviálních korelací mechanických veličin a především zjištění invariantnosti (neměnnosti) tvaru relaxační křivky na vlasu považujeme za dosud nezjištěné a cenné. Také zjištění, že některé relaxační časy a resilience mají na místo normálního

(Gaussova) rozdělení prokazatelně rozdělení logaritmicko-normální, považujeme za překvapivé.

Závěrem bychom chtěli doporučit případným následovníkům důkladnější rozvinutí měření s pomocí metody tlumených kmitů. Pro nás díky své časové náročnosti mělo spíše doplňkový charakter. Také by bylo zajímavé pomocí námi nalezené metody měření vlasů v tahu naměřit vlasy jiných skupin lidí, ať již mužů, dětí různého stáří či lidí s různým onemocněním. Neboť jak se ukázalo, prací zaměřených na zkoumání mechanických vlastností vlasů v detailnějším měřítku a pro větší počty vzorků stále není mnoho.

8 PŘÍLOHY

- 8.1 Užitiný vzor – Čelisti pro uchycení tenkých vláken
- 8.2 Užitiný vzor – Držák pro výrobu orientovaného kompozitu vláken
- 8.3 Evidenční formulář FTVS – Aparatura pro měření modulu pružnosti v krutu
- 8.4 Dotazník pro respondentky
- 8.5 Informovaný souhlas respondentek
- 8.6 Zpracované odpovědi z dotazníků
- 8.7 Hair quality in gravid versus non-gravid women
- 8.8 The structure of hair thickness distribution over women's heads surface
- 8.9 Changes in the mechanical parameters of hair in a group of women in reproductive age
- 8.10 Viskoelastické parametry vlasů (Scientia Movents 2012)
- 8.11 Změny mechanických parametrů vlasů u žen v reprodukčním věku (Stárnutí 2012)
- 8.12 Hair material parameters determination by free oscillations method (HB 2012)
- 8.13 Časové rozložení denních teplot na povrchu lidské hlavy při fyzických aktivitách (Věda v pohybu, pohyb ve vědě 2012)
- 8.14 Determination of viscoelastic properties of human hair by damped torsion oscillation method (ISB 2013)
- 8.15 The dependence of viscoelastic parameters of hair on its structure (HB 2014)
- 8.16 Viscoelastic parameters of mammalian hair (ESB 2015)
- 8.17 Effect of mechanical parameters hair Caucasian pregnancy women (ISB 2015)
- 8.18 Vliv gravidity na tvar a tloušťku vlasu (EVM 2016)
- 8.19 Relationship between the medulla and the diameter of ferret hairs (TAE 2016)

8.1 Užitený vzor – Čelisti pro uchycení tenkých vláken

UŽITNÝ VZOR

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2013 - 27551**
(22) Přihlášeno: **06.03.2013**
(47) Zapsáno: **10.06.2013**

(11) Číslo dokumentu:

25501

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:
G01N 3/08 (2006.01)
G01N 1/36 (2006.01)

(73) Majitel:
Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy, Praha - Vokovice, CZ

(72) Původce:
Skřontová Marie, Stěbořice, CZ
Šimková Lucie, Klatovy, CZ
Zeman Josef Ing., Praha, CZ

(74) Zástupce:
PhDr. Petr Šťastný Ph.D., patentový zástupce, José Martího 31, Praha, 16952

(54) Název užitého vzoru:
Čelisti pro uchycení vláken do trhacího stroje

CZ 25501 U1

Úřad průmyslového vlastnictví v zápisném řízení nezjišťuje, zda předmět užitého vzoru splňuje podmínky způsobilosti k ochraně podle § 1 zák. č. 478/1992 Sb.

Čelisti pro uchycení vláken do trhacího stroje

Oblast techniky

Technické řešení pojednává o konstrukci čelistí, díky kterým lze účinně a snadno uchytit vlákna do trhacího stroje se současnou možností měření síly trhu či tahu.

5 Dosavadní stav techniky

10 Typy biologických vláken, která jsou za přírodních podmínek nepravidelně uspořádána a orientována je zapotřebí při jejich trhání uchytit natolik pevně, že nedojde k jejich posunu během trhání a zároveň nedojde k jejich přetržení nebo poškození v důsledku úchytu. V trhacích strojích lze tato vlákna bez poškození uchytit pomocí navíjení, to ale vyžaduje relativně delší časový úsek nebo prostor mezi trhacími čelistmi. Trhací čelisti dále zpravidla nejsou vybaveny technologií zjišťující sílu tahu či trhu, kterými jsou vlákna namáhána. Navíc je mnoho čelistí konstruováno pouze pro potřebu jednorázového přetrnutí a nikoliv opakovaného namáhání tahem. Zejména opakované namáhání tahem vyžaduje pevný, ale přiměřený úchyt čelistí, který zatím není dostatečně vyřešen. Při řešení grantu GAP/407/10/1624 nebyl systém čelistí, který by vyhovoval frekvenčnímu zatěžování vláken, v průmyslové výrobě nalezen.

Podstata technického řešení

20 Uvedené nevýhody dosavadní konstrukce čelistí pro uchycení vláken řeší toto technické řešení čelistí, kdy je ke konstrukci čelisti pro uchycení vláken do trhacího stroje využito širokého šroubu, ve kterém je vytvořen úchytný otvor pravidelného obdélníkového tvaru. Do tohoto úchytného otvoru je vložena kovová destička o stejném rozměru, jako je stěna úchytného otvoru. Kovová destička je navíc připevněna k dotahovacímu šroubu, který kovovou destičku drží a zároveň přitahuje ke stěně, přičemž je mezi kovovou destičkou a stěnou umístěno uchycované vlákno s výplňovým polystyrenem. Výplňový polystyren je měkčí, nežli uchycované vlákno a vytváří kolem uchycovaného vlákna ochrannou vrstvu. Dochází tak k uchycení relativně jemného vlákna tak, že je možné jeho cyklické frekvenční namáhání tahem nebo trhem.

30 Širokého šroubu je pro konstrukci čelisti využito tak, aby byla čelist snadno umístitelná k úchytné podložce nebo trhací hřídeli trhacího stroje. V případě umístění čelisti na úchytné podložce je čelist umístěna vedle nastavitelného délkového čidla, které při doteku s kontaktním šroubem umístěným na trhací hřídeli zastavuje pohyb trhací hřídele. Nastavitelné délkové čidlo je konstruované jako nastavitelný dutý šroub, na jehož hrotu je tlakový snímač. Je tak zajištěno, aby nedocházelo k deformaci vlákna pomocí tlaku, a je zde rovněž možnost nastavení délky vlákna, které je trháno nebo namáháno tahem.

35 V případě umístění čelisti na trhací hřídel je čelist umístěna na tenzometrické čidlo, které tvoří konec trhací hřídele. Použité tenzometrické čidlo měří sílu trhu nebo tahu a zároveň není během trhání vláken tvarově deformováno. Je tak možné zaznamenat sílu, při jaké došlo k přetržení nebo natažení vlákna. Případně zjištění, kolikrát bylo třeba namáhat vlákno konkrétní silou, než došlo k jeho přetržení.

Přehled obrázků na výkresech

40 Toto technické řešení je snadněji pochopitelné z jednoho z možných příkladů provedení, kde na obr. 1 je znázorněna čelist při uchycení vlákna pomocí destičky, polystyrenu a dotahovacího šroubu.

Na obr. 2 je znázorněn trhací stroj při upevnění vlákna do čelistí, které jsou umístěny k délkovému čidlu a tenzometrickému čidlu.

Příklady provedení technického řešení

- Ke konstrukci čelisti 1 pro uchycení vláken 2 do trhacího stroje 3 je využito širokého šroubu, ve kterém je vytvořen úchytný otvor 9 pravidelného obdélníkového tvaru dle obr. 1. Do tohoto úchytného otvoru 9 je vložena kovová destička 8 o stejném rozměru, jako je stěna 11 úchytného otvoru 9 dle obr. 1. Kovová destička 8 je navíc připevněna k dotahovacímu šroubu 10, který kovovou destičku 8 drží a zároveň přitahuje ke stěně 11, přičemž je mezi kovovou destičkou 8 a stěnou 11 umístěno uchycované vlákno 2 s výplňovým polystyrenem 12 dle obr. 1. Výplňový polystyren 12 je měkčí, nežli uchycované vlákno 2 a vytváří kolem uchycovaného vlákna 2 ochrannou vrstvu.
- Širokého šroubu je pro konstrukci čelisti 1 využito tak, aby byla čelist snadno umístitelná k úchytné podložce 4 nebo trhací hřídeli 6 trhacího stroje 3 dle obr. 2. V případě umístění čelisti 2 na úchytné podložce je čelist 2 umístěna vedle nastavitelného délkového čidla 5, které při dotyku s kontaktním šroubem 13 umístěným na trhací hřídeli 6 zastavuje pohyb trhací hřídele 6 dle obr. 2. Nastavitelné délkové čidlo 5 je konstruované jako nastavitelný dutý šroub, na jehož hrotu je tlakový snímač Lm8 Indutivo.
- V případě umístění čelisti 2 na trhací hřídel 6 je čelist umístěna na tenzometrické čidlo 7, které tvoří konec trhací hřídele 6 dle obr. 2. Použité tenzometrické čidlo 7 S2 od výrobce HBM měří silu trhu a zároveň není během trhání vláken 2 tvarově deformováno.

Průmyslová využitelnost

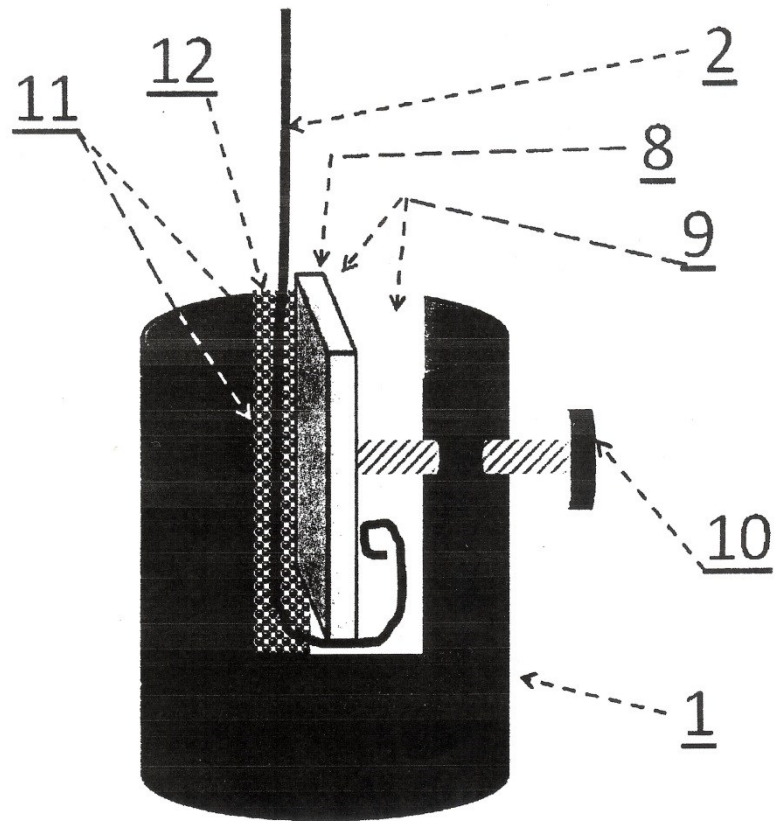
- Toto technické řešení čelistí pro uchycení vláken do trhacího stroje je využitelné v laboratořích, které zjišťují vlastnosti vláken, jako jsou vlasy, chlupy či jiná vlákna. Pomocí tohoto technického řešení je možné rychle a nenákladně zjišťovat mechanickou pevnost, pružnost a odolnost vláken. Využití čelistí se týká i průmyslových pracovišť např. pro testování vlastností vlasů po aplikaci šampónů nebo kondicionérů.

N Á R O K Y N A O C H R A N U

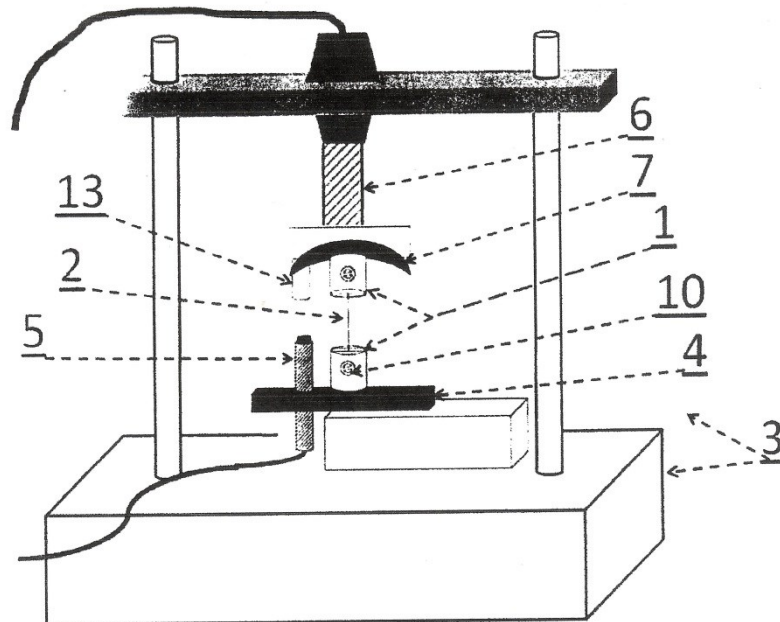
1. Čelisti (1) pro uchycení vláken (2) do trhacího stroje (3), **v y z n a č u j í c í s e t í m , ž e** je jako jejich úchyt použita kovová destička (8) umístěná do úchytného otvoru (9) v čelisti (1), přičemž je tato kovová destička (8) přitahována dotahovacím šroubem (10) ke stěně (11) úchytného otvoru (9), kdy je mezi kovovou destičkou (8) a stěnou (11) umístěno vlákno (2) s výplňovým polystyrenem (12), zároveň je jedna čelist (1) umístěna na úchytné podložce (4) vedle nastavitelného délkového čidla (5) a druhá čelist (1) je umístěna na trhací hřídeli (6) opatřené tenzometrickým čidlem (7) a kontaktním šroubem (13) pro délkové čidlo (5).

2 výkresy

Obr.1




Obr. 2



Konec dokumentu

8.2 Užitený vzor – Držák vláken pro výrobu orientovaného kompozitu vláken

UŽITNÝ VZOR		(11) Číslo dokumentu:
(19) ČESKÁ REPUBLIKA	(21) Číslo přihlášky: 2012 - 26557	24711
	(22) Přihlášeno: 16.08.2012	(13) Druh dokumentu: U1
ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ	(47) Zapsáno: 17.12.2012	(51) Int. Cl.: B32B 37/14 (2006.01) B32B 5/08 (2006.01) B32B 27/02 (2006.01)
(73) Majitel: Fakulta tělesné výchovy a sportu University Karlovy, Praha - Veveslavín, CZ		
(72) Původce: Skřontová Marie, Stěbořice, CZ Šimková Lucie, Klatovy, CZ		
(74) Zástupce: PhDr. Petr Šťastný Ph.D. advokát, José Martího 31, Praha 6, 16252		
(54) Název užitého vzoru: Držák vláken pro výrobu orientovaného kompozitu vláken		

CZ 24711 U1

Úřad průmyslového vlastnictví v zápisném řízení nezjišťuje, zda předmět užitého vzoru splňuje podmínky způsobilosti k ochraně podle § 1 zák. č. 478/1992 Sb.

Držák vláken pro výrobu orientovaného kompozitu vlákenOblast techniky

Technické řešení pojednává o držáku, díky kterému lze ekonomicky vyrábět orientované kompozity vláken.

5 Dosavadní stav techniky

10 Typy biologických vláken, která jsou za přírodních podmínek nepravidelně uspořádána a orientována je při jejich řezání zapotřebí zalít do hmoty, po jejímž ztuhnutí se vlákna při řezu nesmýkají. Toto zalití hmotou je možné provést vytvořením parafinového kompozitu, který má již pravidelný pevný tvar. Běžně je kompozit vyráběn tak, že jsou biologická vlákna jednoduše zalita do obdélníkové formy. Tento způsob umožňuje libovolné řezání biologických vláken, ale nezajišťuje dostatečně standardní podmínky pro provedení přesně kolmého řezu vlákna, což je požadavek při řešení mnohých vědeckých studií. Při řezech je navíc nutné měnit směr řezu, přičemž vzniká poměrově značné množství odpadu.

Podstata technického řešení

15 Uvedené nevýhody dosavadního způsobu výroby kompozitů vláken řeší toto technické řešení držáku, kdy je ke konstrukci držáku vláken využito úchytné kovové rameno na kterém se nachází pohyblivý kloub. Úchytné rameno lze upevnit na stůl nebo jiný stabilní objekt šrouby, páskou nebo jiným úchytným způsobem. Pohyblivý kloub umožňuje otáčení ramena držáku kolem vodorovné osy pohyblivého kloubu o 90°, kde je výchozí poloha držáku vhodná pro upevnění a natahování vláken do držáku a poloha otočená o 90° je vhodná pro vylití výplňového prostoru postupně tuhoucím materiálem. Pokud je držák v poloze vhodně pro upevnění a natahování vláken, lze vlákna natáhnout např. zavěšením závaží na konce vláken při umístění vlákna do drážek na plochých kvádrotvých vložkách.

25 Střed držáku tvoří výplňový prostor, který je tvořen spodní stěnou, zadní stěnou, horní stěnou a bočními stěnami držáku. Zadní a spodní stěna držáku jsou vyrobeny z kovu a pevně přichyceny k úchytnému rameni. Boční stěny jsou tvořeny z plochých kvádrotvých vložek naskládaných na sebe, které zároveň fungují jako úchyty vláken. Ploché kvádrotvité destičky jsou skládány svými otvory na šrouby, které jsou pevně umístěny ve spodní stěně tak, aby pod úhlem 90° vyčnívaly ze spodní stěny. Odejmutelná horní stěna je vyrobena z kovu, a je možné ji přichytit dotahovacími maticemi šroubů k bočním stěnám.

30 Ploché kvádrotvité vložky jsou vyrobeny ze středně tvrdého plastu, který se při dotažení dotahovacími maticemi deformuje tak, že utěsňuje mikroprostory mezi kvádrotvými vložkami a vloženými vlákny. Ploché kvádrotvité vložky jsou opatřeny drážkami k orientaci natahovaných vláken. Pomocí drážek na kvádrotvých vložkách lze v jedné řadě plochých kvádrotvých vložek orientovat jednotlivá vlákna. Skládáním plochých kvádrotvých vložek na sebe na podklad ze spodní stěny držáku jsou vytvořeny boční stěny držáku pro vytvoření výplňového prostoru.

35 Výplňový prostor s uchycenými vlákny je možné v poloze vhodné pro vylití vylít postupně tuhoucím materiálem, čímž vznikne obdélníkový kompozit orientovaných vláken. Poloha vhodná pro vylití výplňového prostoru je nastavena díky kloubu na pohyblivém rameni. Takto vyrobený kompozit vláken má přesně orientovaná vlákna, která lze navíc jednotlivě či po řadách označit.

Přehled obrázků na výkresech

Toto technické řešení je snadněji pochopitelné z jednoho z možných příkladů provedení, kde na obr. 1 je znázorněn držák vláken z přední strany při dotažení odejmutelné horní stěny připevňovacími maticemi.

Na obr. 2 je znázorněn držák z horního pohledu při upevňování vláken, kdy je vidět polohu a tvar plochých kvádrovitých vložek, které jsou postupně skládány na sebe do držáku. Na ploché kvádrovitě vložce vedle držáku je vidět otvor pro šroub a zároveň jde vidět úchyty pro vlákna v podobě úchytných drážek. Lze rovněž vidět, že dotahovací šroub tvoří zároveň osu pro vkládání plochých kvádrovitých vložek.

Příklady provedení technického řešení

Ke konstrukci držáku 1 vláken 2 je využito úchytné kovové rameno 3 na kterém se nachází pohyblivý kloub 4, dle obr. 1 a 2. Úchytné rameno 3 lze upevnit na stůl nebo jiný stabilní objekt. Pohyblivý kloub 4 umožňuje otáčení ramena 3 držáku 1 kolem vodorovné osy pohyblivého kloubu 4 o 90°, kde je výchozí poloha držáku 1 vhodná pro upevňování a natahování vláken 2 do držáku 1 dle obr. 2 a poloha otočená o 90° je vhodná pro vylití výplňového prostoru 12 postupně tuhoucím materiálem.

Výplňový prostor 12 je tvořen spodní stěnou 11 a zadní stěnou 8 držáku 1, vyrobených z kovu, které jsou pevně přichyceny k úchytnému rameni 3 dle obr. 2, a dále pak bočními stěnami 13 z plochých kvádrovitých vložek 6 dle obr. 1, a dále odejmutelnou horní stěnou 10 vyrobenou z kovu, kterou je možné přichytit dotahovacími maticemi 9 šroubů 5 dle obr. 1 a 2 k bočním stěnám 13. Šrouby 5 jsou pevně umístěny ve spodní stěně 11 tak, aby pod úhlem 90° vyčnívaly ze spodní stěny 11 a mohly tvořit osy pro boční stěny 13 dle obr. 2.

Ploché kvádrovitě vložky 6 jsou vyrobeny ze středně tvrdého plastu, který se při dotažení dotahovacími maticemi 9 deformuje tak, že utěsňuje mikroprostory mezi kvádrovitými vložkami 6 a vloženými vlákny 2. Ploché kvádrovitě vložky 6 jsou opatřeny drážkami 7 k orientaci natahovaných vláken 2 a otvory 14 pro šrouby 5 dle obr. 2. Pomocí drážek 7 na kvádrovitých vložkách 6 lze v jedné řadě plochých kvádrovitých vložek 6 orientovat jednotlivá vlákna 2. Skládáním plochých kvádrovitých vložek 6 na sebe na podklad ze spodní stěny 11 držáku 1 jsou vytvořeny boční stěny 13 držáku 1 pro vytvoření výplňového prostoru 12 dle obr. 1. Dle obr. 2 jsou mezi plochými kvádrovitými vložkami 6 natažena a upevněna jednotlivá vlákna 2.

Výplňový prostor 12 s uchycenými vlákny 2 je možné vylít postupně tuhoucím materiálem, čímž vznikne obdélníkový kompozit orientovaných vláken 2. Takto vyrobený kompozit vláken 2 má přesně orientovaná vlákna 2, která lze navíc jednotlivě či po řadách označit.

Průmyslová využitelnost

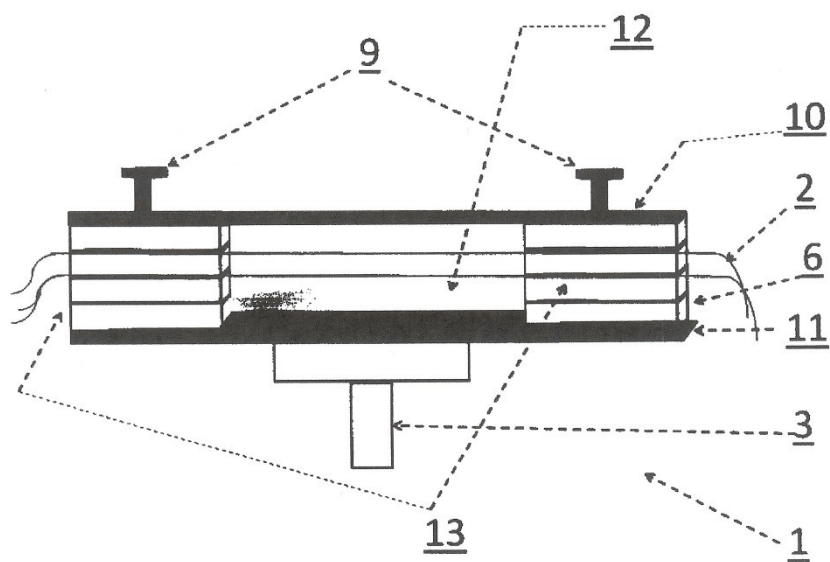
Toto technické řešení držáku vláken pro výrobu orientovaného kompozitu vláken je využitelné v laboratořích, které zjišťují vlastnosti vláken jako jsou vlasy, chlupy či jiná vlákna. Pomocí tohoto technického řešení je možné rychle a nenákladně vyrábět orientované kompozity vláken z kterých lze velmi přesně provádět řezy těmito vlákny. Výroba kompozitů se týká i průmyslových pracovišť např. pro testování vlastností vlasů po aplikaci šampónů nebo kondicionérů.

NÁROKY NA OCHRANU

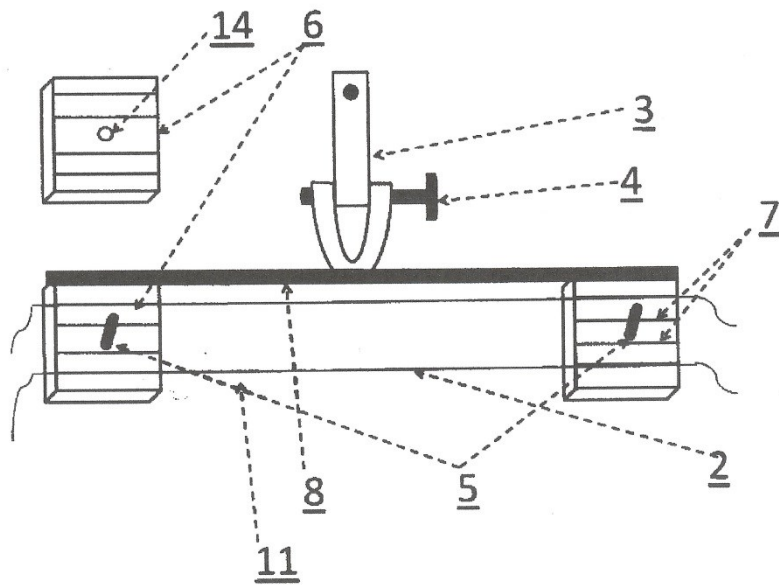
1. Držák (1) vláken (2) na výrobu orientovaného kompozitu vláken (2), vyznačující se tím, že zahrnuje úchytné rameno (3), které je opatřené pohyblivým kloubem (4), a ke kterému je pevně přichycena zadní stěna (8) a spodní stěna (11), přičemž z této spodní stěny (11) vyčnívají šrouby (5) pro vyskládání plochých kvádrovitých vložek (6) s otvory (14) na sebe, kde tyto kvádrovitě vložky (6), opatřené úchytnými drážkami (7) k orientaci natahovaných vláken, jsou upevnitelné k sobě za vytvoření bočních stěn (13) výplňového prostoru (12) ve středu držáku, pro vylití tuhoucím materiálem, a kde k těmto bočním stěnám (13) je dotahovacími maticemi (9) přichycena odnímatelná horní stěna (10).

2 výkresy

Obr. 1



Obr. 2



Konec dokumentu

8.3 Evidenční formulář FTVS – Aparatura pro měření modulu pružnosti v krutu

©FTVS-UK evidence VaV výsledků nepodléhající řízení o zápisu u ÚPV v Praze

EVIDENČNÍ FORMULÁŘ

Název výsledku: **Měřič modulu pružnosti pro krut vláken**

1. Informace o projektu

GAČR P407/10/1624 Identifikace limitních účinků hypokineticke enviromentální zátěže na spolehlivost senzomotorických reakcí člověka
PRVOUK P38 Biologické aspekty zkoumání lidského pohybu

Evidenční číslo projektu přidělené poskytovatelem: **KAB/2013/FV3**

Doba řešení projektu: 1 rok

Stručný popis projektu:

Technické řešení pojednává o konstrukci měřiče modulu pružnosti pro krut tenkých vláken, který je schopen měřit torzní vlastnosti vláken za standardizovaných podmínek.

2. Tvůrce (v kolonce podíl na řešení je určen jeden garant výsledku):

Jméno a příjmení, titul: Skřontová Marie
Adresa bydliště: Stěbořice 47, Stěbořice 74751
Název zaměstnavatele: Fakulta tělesné výchovy a sportu University Karlovy
Sídlo zaměstnavatele: José Martího 31, Praha 6
IČ zaměstnavatele: 00216208
Oddělení/útvary: katedra Anatomie a Biomechaniky
Telefonní číslo/a: 736605076 E-mail: skrontova.m@seznam.cz
Příspěvek tvůrce (slovně): řešení konstrukce a schématu držáku
Podíl na řešení v %: 30% spoluautor

Jméno a příjmení, titul: Lucie Šimková
Adresa bydliště: Plzeňská 642, Klatovy 33901,
Název zaměstnavatele: Fakulta tělesné výchovy a sportu University Karlovy
Sídlo zaměstnavatele: José Martího 31, Praha 6
IČ zaměstnavatele: 00216208
Oddělení/útvary: katedra Anatomie a Biomechaniky
Telefonní číslo/a: 732723030 E-mail: LucikSimik@seznam.cz
Příspěvek tvůrce (slovně): řešení konstrukce a schématu držáku
Podíl na řešení v %: 30% spoluautor

Jméno a příjmení, titul: Josef Zeman
Adresa bydliště: Hurbanova 11, Praha 4
Název zaměstnavatele: Česká zemědělská univerzita v Praze
Sídlo zaměstnavatele: Kamýcká 129, 165 00 Praha-Suchdol
IČ zaměstnavatele:
Oddělení/útvary:
Telefonní číslo/a: 724339633 E-mail: zeman@dzeta.cz
Příspěvek tvůrce (slovně): konstrukce a návrh řešení
Podíl na řešení v %: 35% spoluautor

[Zadejte text.]

Stránka 1/8

Jméno a příjmení, titul: doc.dr. Karel Jelen,CSc.
Adresa bydliště: Malířská 8, 17000 Praha 7
Název zaměstnavatele: Fakulta tělesné výchovy a sportu University Karlovy
Sídlo zaměstnavatele: José Martího 31, Praha 6
IČ zaměstnavatele: 00216208
Oddělení/útvár: katedra Anatomie a Biomechaniky
Telefonní číslo/a: 603 526 656 E-mail: jelen@ftvs.cuni.cz
Příspěvek tvůrce (slovně):
Podíl na řešení v %: garant 2%

3. Kategorie výsledku:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> poloprovoz | <input type="checkbox"/> certifikovaná metodika |
| <input type="checkbox"/> ověřená technologie | <input type="checkbox"/> software |
| <input type="checkbox"/> prototyp | <input type="checkbox"/> specializované mapy |
| <input checked="" type="checkbox"/> v funkční vzorek | <input type="checkbox"/> výzkumná zpráva |

4. název a podnázev výsledku:

Průtokový měřič vzduchu pro vdech i výdech zároveň

5. Stručný popis výsledku (co je podstatou výsledku a co je v něm nové):

Běžné měřiče modulů pružnosti jsou konstruovány pro měření vlastností vláken v tahu, tlaku nebo smyku. Pro měření krutu se měřice pružnosti potažmo mezi pevnosti zaměřují především na pevné materiály jako osy kol a převodovky. Po podrobné studii dostupných měřících technologií v rámci řešení grantu GAP/407/10/1624 a PRVOK P38 bylo zjištěno, že pro měření tenkých vláken nejsou průmyslově konstruovány měřiče modulu pružnosti v krutu. Pokud již takovéto měřiče existují, není u nich zajištěna dostatečná standardizace měření a nebo jsou konstruovány pro pevné tyče a nikoliv ohebná vlákna.

6. Technické parametry výsledku (uvedte technické aj. parametry):

Uvedené nevýhody dosavadních měřičů modulu pružnosti řeší toto technické řešení, které umožňuje nastavení délky měřené části vlákna, standardní podmínky měření a detekci rozsahu a pružnosti vláken při opakovaném krutu. Řešení spočívá v umístění velmi lehkého zrcadla na měřené vlákno, které se otáčí stejně (se stejnou rychlostí a frekvencí) jako měřené vlákno. Takto připevněné zrcadlo na vláknu tvoří měřitelné torzní kyvadlo. Měřené vlákno je napnuto ve svislé poloze mezi závěsem, který svírá vlákno přes těsnící gumu a dolním držákem, přičemž je v základní poloze nastaveno zrcadlo kolmo k laserové diodě. Na zrcadlo svítí laser, který je v klidové poloze nasměrován kolmo na střed zrcadla potažmo vlákna, a který je náklonem zrcadla odrážen v různých úhlech. Kolmo k odrazům laserového paprsku od zrcadla jsou umístěny dva fototranzistory s převaděčem vlnění na zvukový signál. Fototranzistory jsou umístěny ve známé vzdálenosti od laserového modulu, který je v jejich středu a snímají dobu průchodu laserového paprsku. Z převaděče vlnění jsou pak jako základní data vyhodnocovány doby průchodu laserových paprsků, které určují frekvenci kmitu a celkovou dobu kmitání měřeného vlákna. Z frekvence kmitů a doby trvání kmitů je možné vypočítat modul pružnosti vlákna v krutu při známé iniciační síle způsobující krut. V blízkosti zrcadla je umístěn

[Zadejte text.]

Stránka 2/8

pružinový úderník, který rozkmitá zrcadlo i měřené vlákno známou silou. V blízkosti vlákna je dále umístěn teploměr a vlhkoměr, pro zjišťování standardních podmínek, za kterých je krut měřen.

7. Ekonomické parametry výsledku např. roční zvýšení objemu výroby, zisku, exportu, atd.

Náklady: Vytvoření funkčního vzorku mělo nákladovou cenu 20 000 CZK, Laboratoř nemusí nakupovat dražší obdobné soustavy jednotlivě v řádově stejných částkách a funkční vzorek je aplikovatelný na další spirometrické sestavy.

Výnosy :

8. Oblast průmyslové využitelnosti výsledku:

Toto technické řešení měřiče modulu pružnosti pro krut vláken je využitelné v laboratořích, které zjišťují vlastnosti vláken jako jsou vlasy, chlupy či jiná vlákna. Pomocí tohoto technického řešení je možné rychle a nenákladně zjišťovat mechanickou pevnost, pružnost a odolnost vláken v krutu. Využití se týká i průmyslových pracovišť např. pro testování vlastností vlasů po aplikaci šampónů nebo kondicionérů či při výrobě silonových vláken s přesně danými krutovými vlastnostmi. V neposlední řadě lze tímto měřičem zjišťovat krutové vlastnosti scaffold nosičů.

9. Seznam výkresů (jsou-li nutné) na listu formátu A4, pokud možno na výšku, se vztahovými značkami označujícími jednotlivé prvky řešení (výkres by měl být proveden trvanlivými černými čarami, bez použití jiných barev a stínování):

Toto technické řešení je snadněji pochopitelné z jednoho z možných příkladů provedení, kde na obr. 1 je schéma měřiče modulu pružnosti pro krut vláken, které ukazuje způsob odrazu laserového paprsku do fototranzistoru.

Na obr. 2 je znázorněn detail závěsu měřeného vlákna za pomocí těsnící gumy.

10. Popis konstrukce:

Ke konstrukci měřiče 1 modulu pružnosti pro krut vláken 2, je využito dvou fototranzistorů 3 značky KINGBRIGHT (650 nm) o rozměrech 3mm a napájením 30V s převaděčem vlnění 4, které jsou umístěny na lineární optické lavici 15 v horizontální vzdálenosti 3cm od středového laserového modulu 4 650 nm (červený) s výkonem do 5 mW dle obr. 1, který díky použité optice vykresluje tenkou čáru. Modul je napájený stejnosměrným spínaným zdrojem 5V/0,5 A.

Převaděč vlnění 4 zaznamenává průchod laserového paprsku 5 oběma fototranzistory 3 dle obr. 1. Dále je převaděč vlnění 4 spojen s počítačem a převádí průchod laserového paprsku 5 fototranzistory 3 na zvukovou stopu. Dle doby průchodu laserového paprsku 5 jednotlivými fototranzistory 3 je určována velikost a doba krutu měřeného vlákna 2.

Laserový modul 4 je na začátku měření umístěn kolmo k detekčnímu zrcadlu 6, které je připevněno na měřeném vlákně 2 dle obr. 1. Měřené vlákno 2 je napnuto mezi horním závěsem 8 a dolním držákem 9, které jsou umístěny na

[Zadejte text.]

Stránka 3/8

otočném výškově nastavitelném podstavci 12, který umožňuje měření vláken 2 o různé délce a zároveň nastavení laserového paprsku 5 na střed detekčního zrcadla 6 dle obr. 1.

Horní závěs 8 drží měřené vlákno 2 pomocí těsnící gumy 11, z které vlákno 2 visí kolmo dolů dle obr. 2. Užití těsnící gumy 11 zajišťuje, že se vlákno 2 nenamáhá ve smyku. Dolní držák 9 je konstruován tak, že uchytí vlákno po jeho natažení ve spodní části.

Poblíž detekčního zrcadla 6 je umístěn pružinový úderník 7 pro navození krutu vlákna 2 dle obr. 1. Pružinový úderník 7 navodí kmitání detekčního zrcadla 6, což způsobuje krut připevněného vlákna 2.

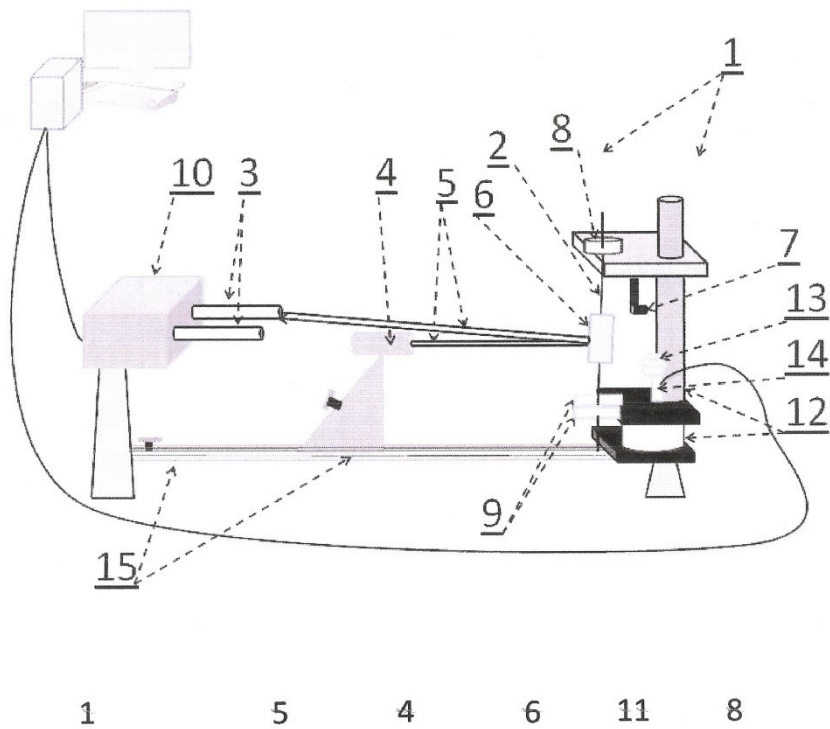
Pro zjišťování podmínek měření je v blízkosti měřeného vlákna 2 umístěn vlhkoměr 13 s teploměrem 14 dle obr. 1, který je spojen kabely s počítačem, který hodnoty teploty a vlhkosti zaznamenává během měření.

11. seznam podpůrných dokumentů, např. zadávací texty, kresby, fotografie, grafy, náčrty, vývojové diagramy, data o výkonu, zprávy, videa z prověřování funkčnosti:

12. Seznam změn a revizí řízeného dokumentu:

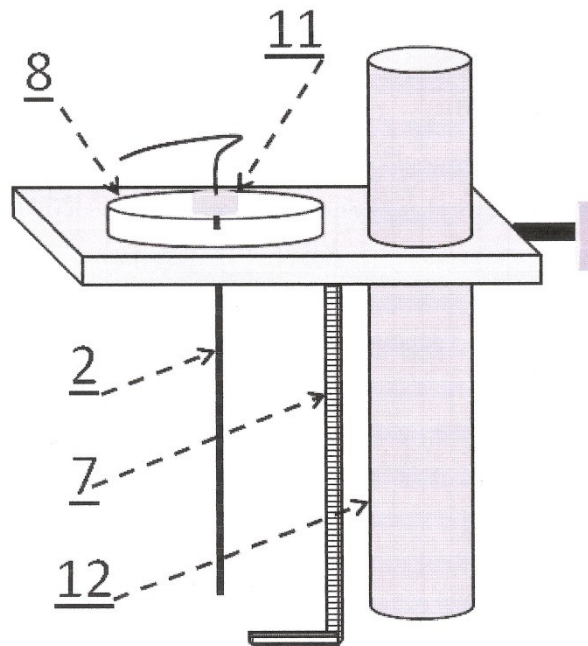
Verze	Datum	Obsah změny / revize	Jméno a podpis garanta
A	25.11.2013	Nový dokument	

Obrázek 1:



[Zadejte text.]

Obrázek 2:



8.4 Dotazník pro respondentky

Číslo vzorku:

Datum odběru:

DOTAZNÍK

JMÉNO:

KONTAKT email:

telefon:

VĚK

BARVENÍ VLASŮ v minulosti ANO / NE

v současnosti ANO / NE

ZAMĚSTNÁNÍ (doba ukončení)

BYDLIŠTĚ město / vesnice

KOUŘENÍ (množství, doba ukončení)

KOLIKRÁT DO TÝDNE SI MYJETE VLASY?

ZVLÁŠTNOSTI V ŽIVOTNÍM STYLU (vegetariánství, veganství, ...)

PRAVIDELNÉ UŽÍVÁNÍ LÉČIV (název)

UŽÍVÁNÍ VÝROBKŮ OBSAHUJÍCÍCH - KOFEIN, TEIN (např. káva, cola, kofola, čaje, čokoláda, ...)

- jak často
- přibližné množství

DÉLKA TĚHOTENSTVÍ

POŘADÍ TĚHOTENSTVÍ

POHLAVÍ NENAROZENÉHO DÍTĚTE

VÍCEČETNÉ TĚHOTENSTVÍ (dvojčata, trojčata,...)

8.5 Informovaný souhlas respondentek

INFORMOVANÝ SOUHLAS

s odběrem a zpracováním vlasů

Souhlasím s tím, aby mi v soukromé gynekologické ordinaci doc. MUDr. Vojena Güttnera CSc. byly během těhotenství pravidelně odebírány vzorky vlasů za účelem výzkumné práce, která se zabývá sledováním změn mechanických parametrů vlasů v průběhu těhotenství. Tato práce probíhá v rámci postgraduálního studia na Fakultě tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy v Praze.

V Praze dne, podpis:

8.6 Zpracované odpovědi z dotazníků

č.vz.	věk	bar. ⁻¹	bar. ¹	byd.	kouř. (ukon.)	zam.	mytí	farm.	d. těh.	p. těh.	1. od.	pohl.
1	32	A	A	M	N	MD	2-3x	N	10t	2	13.3.2012	H
2	26		A	M	od 20 - 24let		7x	EU	10t	1	19.4.2012	K
3	30	A		M	N		2-3x	N	13t	1	6.3.2012	
4	32	N	N	M	N	MD	2x	N	10t	2	27.2.2012	K+K
5	32	A		V	N	MD	3x	N	14t	1	21.3.2012	
6	30	N	N	M	N	prodavačka	3-4x	N	10t	2	19.3.2012	
7	36		A	M	N	učitelka	2x	EU	14t	2	19.4.2012	H
8	25	A	A	V	15d (březen 2012)		7x	N	11t	1	9.5.2012	K
9	34	N	N	M	N	MD	3x	N	11t	2	11.6.2012	H
10	41	A	A	M	N	oční technik	2-3x	N	8t	1	14.11.2012	H
11	29	A	A	M	N	manažerka	3-4x	N	12t	1	10.9.2012	H
12	38	A	A	V	N	projektant	2x	N	10t	3	5.9.2012	H
13	31	A	A	M	N	administrativa	2x	N	10t	1	3.12.2012	K
14	31	A	A	M	N		2x	N	10t	3	27.11.2012	
15	34	A	A	V	N	kuchařka	7x	N	14t	3	31.5.2012	H
16	34	N	N	M	N		3x	N	10t	3	21.11.2012	H
17	25		A	V	(březen 2012)	adm. pracovnice	4-5x	N	8t	1	1.8.2012	H
18	32	N	N	V	N		1x	EU	10t	3	18.10.2012	K
19	30	N	A	V	N	asistentka	2x	N	10t	2	18.10.2012	H
20	37	A	N	M	N	právník	2x	N	14t	3	8.3.2012	K
21	32	A	N	V	(červen 2012)		4x	N	9t	2	26.7.2012	H
22	39	A	A	M	3-7d	herečka	1-2x	N	13t	2	10.4.2013	
23	25	A	N	M	N		3-4x	N	9t	1	13.12.2012	K
24	33	A	A	M	N		2x	N	12t	2	12.12.2012	K
25	30	A	N	M	N		3x	N	10t	2	5.11.2012	H
26	26	A	A	M	N	nezaměstnaná	2x	N	14t	2	12.3.2012	H
27	29	N	N	M	N	OSVČ	3x	N	15t	1	20.8.2012	H
28	29	A	A	M	N	v kanceláři	3x	FL	14t	2	10.5.2012	K
29	34	A	A	M	N	manažerka	3x	N		3	30.7.2012	H
30	31	A	A	M	N	proj. manažer	3x	EU	10t	1	8.1.2013	K
31	31	A	A	M	N	MD	7x	LE	12t	3	7.11.2012	H
32	34	A	A	M	N		2-3x	N	14t	1	4.4.2012	
33	35	N	N	M	N		3x	AS	1ět	3	3.9.2012	K
34	35	A	A	M	N		3x	LE	10t	3	6.2.2013	K
35	31	A	A	M	N	instrumentářka	3x	N	10t	1	6.3.2013	K
36	36	A	A	M	N	hudebnice	2-3x	N	10t	1	27.3.2013	H
37	40	A	A	M	N	právník	1x	LE	10t	3	12.3.2013	K
38	21	A	A	M	10d (2011)		4x	N	11t	1	8.1.2013	K
39	32	N	N	M	N	volná noha	2x	N	7t	1	12.12.2012	K
40	34	A	A	V	1-2d (leden 2013)		4-5x	N	10t	1	24.4.2013	
41	28	A	A	M	(srpen 2002)		3x	N	14t	1	19.4.2012	
42	35	A	N	M	N	právník	2x	N	13t	3	24.7.2012	
43	30	A	N	M	občas	servírka	3x	N	10t	1	22.4.2013	H

č.vz.	věk	bar. ⁻¹	bar. ¹	byd.	kouř. (ukon.)	zam.	mytí	farm.	d. těh.	p. těh.	1. od.	pohl.
44	29	N	N	M	N	prac. zak. sl.	3x	N	7t	1	5.3.2012	H
45	30	A	A	M	N	min. ŽP	3-4x	N	10t	2	25.3.2013	H
46	41	A	A	M	N	úřednice	2x	N	10t	1	10.5.2012	
47	30	A	A	M	N	fyzioterapeut	3x	N	10t	3	15.4.2013	H
48	33	A	N	M	N		3x	N	8t	2	13.12.2012	H
49	37	A	A	M	příležitostně	právník	3x	N	10t	1	2.8.2012	H
50	26	A	N	V	N	kancelář	7x	N	10t	1	6.2.2013	K
51	29		A	M	N	referentka	5x	Mg, C	15t	1	22.10.2012	K
52	25	A	A	M	A	spec. prodeje	3x	N	10t	1	20.2.2013	K
53	30	A	A	M	N	soud	2x	N	10t	1	21.6.2012	
54	31	A	melír	M	N		2x	N	10t	1	4.7.2012	H
55	39	A	N	M	N		3-4x	N	14t	2	19.11.2012	K+H
56	23	A	A	M	občas		2x	N	10t	1	16.1.2013	K
57	26	A	N	M	N		4x	N	10t	1	29.1.2013	H
58	27	A	A	M	N	zdravotní sestra	4x	N	15t	1	15.4.2013	K
59	34	N	A	V	N	MD	1x	N	10t	2	5.3.2013	H
60	31	A	A	M	N	státní správa	2-3x	N	10t	1	31.1.2013	
61	31	A	A	M	3d (leden 2012)	finanční manažer	3x	EU	10t	2	4.3.2013	K
62	32	A	A	M	N	META o.s.	3-4x	N	10t	2	6.3.2013	K
63	36	A	A	M	5d (květen 2010)	fyzioterapeut	1x	Fe, Mg	18t	4	19.12.2014	K
64	29	N	A	M	N		3x	N	39t	1	1.5.2014	K

Vysvětlivky: č. vz. – číslo vzorku; bar.⁻¹ – barvení vlasů v minulosti; bar.¹ – barvení vlasů v současnosti; byd. – bydliště ženy; kouř. (ukon.) – kouření, v závorce uvedeno kdy přestala kouřit; zam. – zaměstnání; mytí – jak často si žena během týdne myje vlasy; farm. – užívání farmakologik; d. těh. – délka těhotenství při prvním odběru vlasů; p. těh. – pořadí sledovaného těhotenství; 1. od. – datum prvního odběru vlasů; pohl. – pohlaví očekávaného dítěte; A – ano; N – ne; M – město; V – vesnice; MD – mateřská dovolená; OSVČ – osoba samostatně výdělečně činná; adm. pracovnice – administrativní pracovnice; proj. manažer – projektový manažer; prac. zak. sl. – pracovnice zákaznických služeb; min. ŽP – ministerstvo životního prostředí; spec. prodeje – specialista prodeje; d – denně; H – holka; K – kluk; K+K – dvojčata kluci; K+H – dvojčata kluk holka; EU – euthyrox (navození rovnováhy hormonů štítné žlázy); LE – letrox (náhrada chybějících hormonů štítné žlázy); AS – asacol (k léčbě nespecifických střevních zánětů); FL – flonidan (pomáhá regulovat alergické reakce a jejich příznaky); Mg – hořčík; Fe – železo; C – vitamín C. V místech, kde jsou volná místa v kolonkách, daná žena na tuto otázku neodpověděla.

**8.7 Hair quality in gravid versus non-gravid women (Acta Universitatis Carolinae
Kinanthropologica 2011, vol. 47 (2): 117 – 125)**

ACTA UNIVERSITATIS CAROLINAE,
KINANTHROPOLOGICA Vol. 47, 2 – 2011

Pag. 117–125

CHARLES UNIVERSITY IN PRAGUE,
FACULTY OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORT,
DEPARTMENT OF ANATOMY AND BIOMECHANICS

HAIR QUALITY IN GRAVID VERSUS NON-GRAVID WOMEN

MARIE SKŘONTOVÁ, LUCIE ŠIMKOVÁ, KAREL JELEN

SUMMARY

The article deals with search for the material parameters that would be suitable for specification of human hair viscoelastic properties. These parameters have simultaneously satisfied an unambiguous differentiation between gravid and non-gravid women. Microscope was used to determine the hair thickness, a pull-test deformation device then to establish both the tearing resistance and relaxation curves, taken as a basis to determine values of Young's modulus, relaxation time, shear yield point, breaking point, maximum elongation. Taken from the region around occipital condyla, ninety samples of uncolored female hair were placed under measurement. This study has shown that at least the parameters of yield point, diameter, and the second relaxation time are significantly affected by gravity.

Key words: human hairs, viscoelastic model of hairs, Youngs modul hairs, relaxation time of hairs

INTRODUCTION

As a non-live part of human body a hair undergoes various changes in quality throughout its life cycle, not only during the female gravity. This is why this paper is focused on its research just during the period of gravity when the changes, once arisen, could be easiest identifiable. Even the sample-taking phase posed a problem already, as it was uneasy to find a gravid woman with uncolored hair. Despite all the complications and due to a good cooperation with the Faculty Hospital in Ostrava and its personnel we succeeded.

Relaxation, elasticity, extensibility rank themselves among the basic properties of hair, being also measurements within this paper. Further the limit values, such as yield points, breaking points, were measured.

Several computer programs, such as ScopePhoto, GIMP, Gnuplot were used within the study, moreover the instrumentation, such as the Deform pull-test machine (Type 2) with its TRHEY! control software.

117

Hair

Human hair is a nanocomposite fiber with its physical look and mechanical strength being influenced by a variety of factors, such as ethnic origin, hygiene, chemical treatment, or living environment (Zhenxing et al., 2009). There are two basic functions of human hair, cosmetic and protective. It serves the purpose of heat insulation, protecting the skin mainly against burns, and works as a mechanical protection against abrasions (Robbins, 2002). Hair thickness, length, and quality depend on hair positioning (head/body), on hereditary predispositions, and age (Pröckl, 2005). Hair thickness changes along its length. A hair is complete near head, with its cuticula mostly missing at hair ends as a result of mechanical wear (Guohua et al., 2005). Structure of hair and its parts is depicted e.g. in (Bartošová et al., 1982), (Pröckl, 2005). For chemical structure of hair see e.g. (Pröckl, 2005).

Mechanical Properties of Hair

Mechanical properties of hair – strength, elasticity, ductility – are subject to hair structure and molecular arrangement of hair keratin. They are mainly dependant on hair cortex ultrastructure that ranks itself, in terms of its structure, among the mechanically anisotropic materials as it consists of elastically extensible fibers and of hygroscopic and relatively rigid matrix. When exposed to moisture, a hair becomes more elastic, as less stable hydrogen bonds tend to break within the matrix and its volume grows by action of matrix hydration. Strength of moist hair is less than the bearing capacity of a dry hair. Other layers of hair – medulla and cuticula – are less important in view of mechanical characteristics. Mechanical properties of hair shank may be primarily changed by action of various internal influences: genetic, nutritive, metabolic in their nature. Secondary influences are ascribable to external factors: aggressive chemicals (thioglycolates, concentrated peroxides, ammonia). Adverse action of these substances may result in reduced resistance to mechanical loads, which may cause the hair break or tear (Bartošová et al., 1982). Strength and elasticity of the hair that has been colored or otherwise damaged is strongly reduced compared to the hair that has never experienced chemical treatment (Guohua et al., 2005). Hair strength is measured as the maximum weight a hair withstands before getting ruptured. Hair ductility is the length by which the hair gets prolonged by action of the above maximum weight. Elasticity is the most important characteristic of hair, being the ability to be prolonged by action of tensile force and deformed by action of rotation, and restore its original length and shape, once these forces stop acting. Mechanical characteristics of hair, other than hair length and thickness, are also depending on the extent to which the keratin molecules are saturated with water, and thus also on the relative humidity and temperature at which the sample hair is examined (Bartošová et al., 1982).

Hair Changes During Gravidity

Hair is one of the body parts the quality of which is influenced by changes in hormone levels, mainly the growing level of estrogens as the pregnancy progresses (APA, 2007).

A variety of women has experienced quicker growth, thickening of hair, and overall increase in hair volume. This condition lasts until the childbirth only. Increased hair density

is the result of the fact that daily loss of hair is less than during a non-pregnancy of a woman. Equally, some of the pregnant women observe growing density of hairs across the body, mainly around their arms, legs, and above upper lip. It results by action of androgens, sexual hormones, whose level starts increasing at utmost rate during the first trimester of pregnancy (March of Dimes, 2009), (Babyleuter, 2012). After the childbirth, on the contrary, the hair quality deteriorates strikingly and more and more hair fall out (Pröckl, 2005).

OBJECTIVE

Objective of this study was to demonstrate or disprove the influence of female gravidity on quality of hair. It is alleged in the specialized articles that hair quality improves during pregnancy. The scientists see the reason behind this phenomenon in a relic from the evolution era when there was a need of plentiful hair (fur) to maintain proper bodily temperature and/or heat up a cub.

Hypothesis of this study: Hair quality improves during gravidity, in qualitative and quantitative terms.

METHODS

It was necessary before commencement of the work to collect the samples in accordance with the given requirements. The hair ought to be uncolored, cut just at the head skin. Sample hair from ten women were available for our measurements. The first five women (index 1–5) were non-gravid, other five of them (index 6–10) were gravid. 9 pieces of hair from every woman went under measurement.

At the beginning, hair diameters were measured, using a microscope connected to a computer with the GIMP program (Fig. 1).

For every piece of hair, its diameters was measured 5-times at various points of its length. Total diameters was determined thereafter (Tab. no. 1). Measurements were taken in pixels, to be then converted to micrometers. These (diameter) values were compared

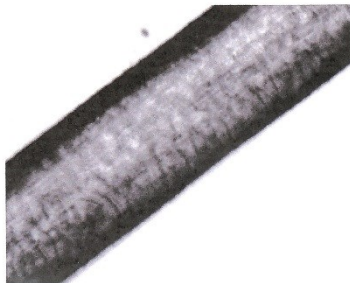


Figure 1. Photography of hair in mikroskop

119

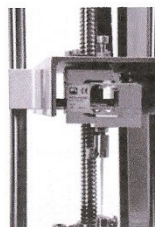


Figure 2. Detail of jaws breaker Deform 2

(Graph 1, 2). The scale was calibrated by means of a glass with decimal marks, inserted under the microscope lens.

As for other inputs, they were ambient air temperature and humidity. These parameters may strongly effect the hair properties. The measurements were entered into the TRHEY! program used to control the pull-test machine of the Type Deform 2 (Fig. 2).

The work with the pull-test machine of the Type Deform 2 followed. At this point the hair was clamped between the machine's jaws. For easier handling and to avoid hair being slipped out and crushed a piece of paper was wrapped around the hair before its clamping. Initiation length of hair was also measured at this point. Value of relaxation, slow or quick tearing were selected by means of the TRHEY! program. Speed and maximum spacing of the pull-test machine jaws were then set for the given quantities. Tearing or tensioning time was set as constant. Given the relaxation, the speed was set to 10 mm per minute, maximum jaw spacing to 5 mm, and time to 300 seconds. The values of 10 mm per minute, maximum spacing to 70 mm and time of 300 seconds were used for slow tearing. For quick tearing, the values were adjusted to 100 mm per minute, maximum spacing to 70 mm, and time to 300 seconds. Three reiterations were used to measure the samples for every quantity monitored.

The following formula was applied to relaxation:

$$F(t) = a + b \cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} + d \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

where F – hair-exerted force, t – time, a – final elastic member, b – elasticity of Maxwell member with short time of relaxation, τ_1 , τ_2 – relaxation times of Maxwell elements, d – elasticity of Maxwell member with long time of relaxation.

To clarify your overall image a chart reflecting the relaxation curve is attached among the results.

Young's modulus was used for the slow and quick tearing process calculations:

$$E = \frac{l_0}{S} \cdot K \quad S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

where l_0 – initial hair length, K – hair rigidness equal to slope of the tearing test curve's linear section, S – hair cross-section, D – diameter.

Extensibility was among other characteristics being assessed, determined from the chart.

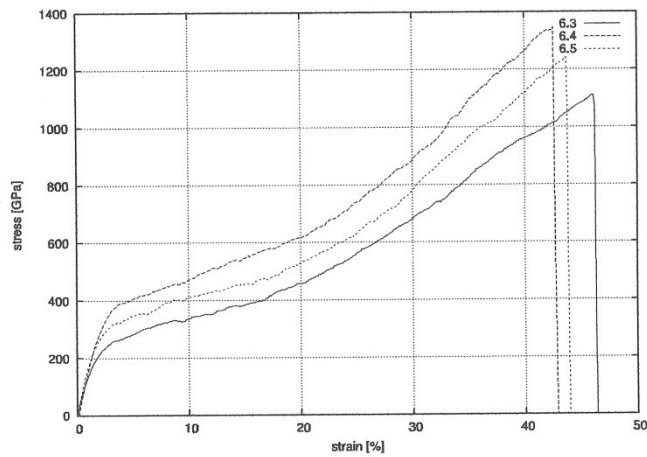


Figure 3. Comparisons of rearing test curves for three pieces of hair from a gravid woman

RESULTS

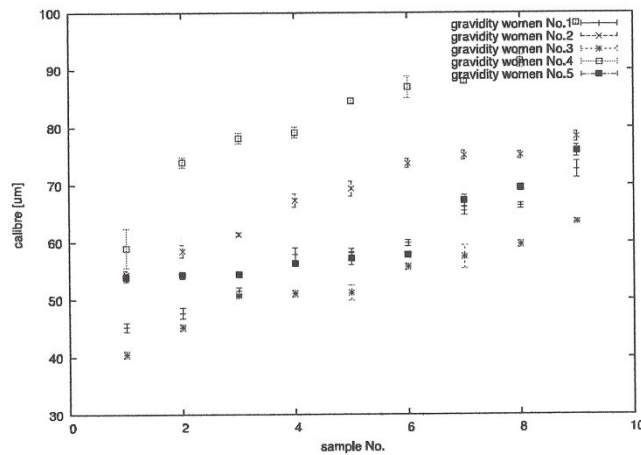


Figure 4. The calibre hairs in gravidity women

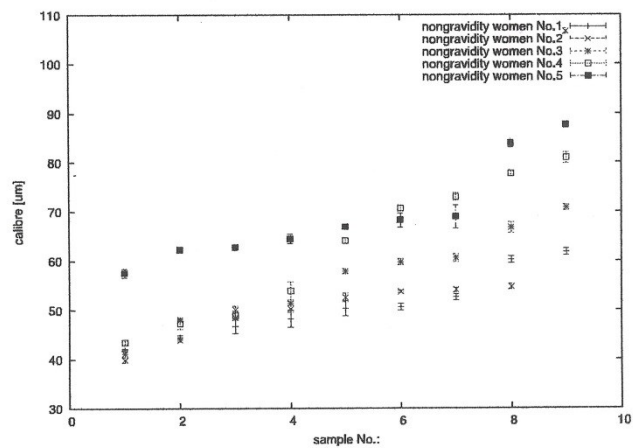


Figure 5. The calibre hairs in nonpregnancy women

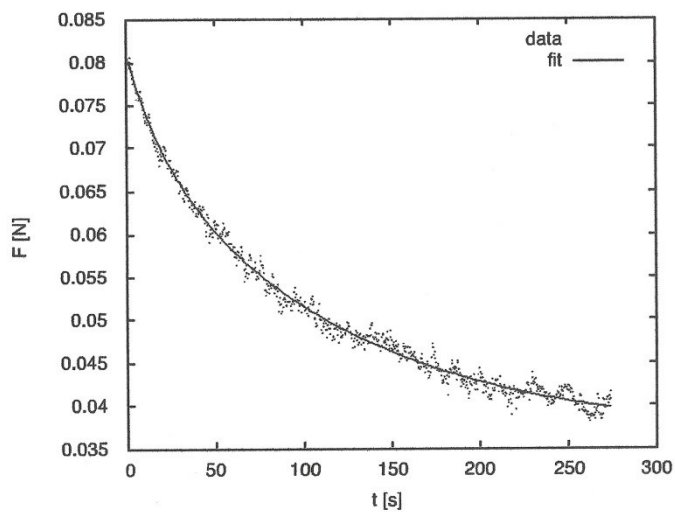


Figure 6. The curve of relaxation

Table 1. Total calibre of hairs

NONGRAVIDITY		
Sample	Calibre [μm]	Standard deviation
1	50.81	6.38
2	56.27	18.61
3	56.23	9.04
4	62.27	13.49
5	69.34	9.43
GRAVIDITY		
	Calibre [μm]	Standard deviation
6	58.36	8.62
7	68.18	7.99
8	52.84	6.87
9	82.01	11.24
10	60.75	7.67

Table 2. Young's modul for slow and fast tear in nongravidity women

NONGRAVIDITY		
Sample	E_s [GPa]	E_f [GPa]
1	2.26	2.99
	2.38	0.32
	1.23	6.85
2	2.41	6.01
	2.60	3.47
	2.70	2.70
3	4.47	4.75
	2.78	2.11
	4.95	4.82
4	1.72	2.30
	1.52	1.73
	1.31	1.63
5	2.48	2.18
	3.85	1.76
	1.90	1.66

Table 3. Young's modul for slow and fast tear in gravidity women

GRAVIDITY		
Sample	E_p [GPa]	E_R [GPa]
6	50.81	6.38
	1.72	1.82
	2.38	2.40
7	2.03	3.13
	1.74	2.73
	2.27	2.83
8	2.51	3.81
	2.36	2.03
	2.52	1.79
9	2.55	1.25
	0.94	1.16
	1.19	1.36
10	1.35	1.69
	3.74	2.94
	1.90	1.85
	4.23	2.20

DISCUSSION AND CONCLUSION

Values of hair diameter were determined on five samples from gravid women and on five samples from non-gravid women. In respect of the fact that the hair width is not equal along the entire hair length, decreasing from the hair base on (Guohua et al., 2005), the measurements had to be taken at several points. For the purpose hereof five different points were selected with subsequent averaging of partial results. Non-gravid hair diameter was found about 5.5% less than its counterpart for gravid women.

Yield point was found as higher (2.7%) for non-gravid women than for the gravid ones (2.3%). It can be deduced from the above that the gravid women's hair show lower capacity as for its elasticity. Here, the results differ from the original hypothesis. There can be several reasons, such as a defect of a particular piece of hair or unequal hair sections being measured. The pieces of hair differ in their thickness from one section to another due to the cuticula presence or absence which finds major reflection in their properties (Guohua et al., 2005). In both cases, regardless of whether subject to slow or quick tearing process, Young's modulus was found higher for non-gravid women. Slow tearing process gave the value of 2.57%, quick process the 3.02%. For assessment of these values see Table 2 and 3. It was moreover found that the hair extensibility ranged around 40%.

In this studies are magnitude no all throws for characteristic changes mechanical properties, because their natural diffusion on individuals is greater than change accompanied pregnancy. During pregnancy hair happen soft and thin (about 3%). At straining and after

break to the original condition return less and slower than hair women nongravidity. The hairs of pregnancy women are less adapt tension. Further was place, do you hair pregnant women relaxed slower. A at slow tear these hair break faster, therefore support smaller stress. The limit elasticity is nongravidity women higher (2.7%) than in gravidity women (2.3%).

Our hypothesis has been confirmed for the thickness parameter. As demonstrated, a change in these parameters may also evoke the above described perception of gravid women.

REFERENCES

- APA. (2007). Pregnancy and Hair Loss. www.americanpregnancy.org [online]. American Pregnancy Association, March 2007 [visited 8. 3. 2012]. Available from <http://www.americanpregnancy.org/pregnancyhealth/hairloss.html>
- BabyCenter, LLC. (2012). Hair and nail changes during pregnancy. www.babycenter.com [online]. Babycenter, LLC, [visited 8. 3. 2012]. Available from http://www.babycenter.com/0_hair-and-nail-changes-during-pregnancy_1456563.bc.
- BARTOŠOVÁ L., JORDA V., ŠTÁVA Z. (1982). Choroby vlasů a ovlášené kůže. Avicenum zdravotnické nakladatelství, 1st edition, 256 p.
- GUOHUA W., BHUSHAN B., TORGERSON P. M. (2005). Nnomechanical characterization of human hair using nanoindentation and SEM. Ultramicroscopy, 105, 1–4, pp. 248–266.
- March of Dimes, The. (2009). Hair changes. www.marchofdimes.com [online]. March of Dimes Foundation, June 2009 [visited 8. 3. 2012]. Available from http://www.marchofdimes.com/pregnancy/yourbody_hair.html
- PROČKL, J. (2005). Příručka o vlasech. www.studioamadeus.cz [online]. 30. 12. 2005 [visited 8. 3. 2012]. Available from <http://www.studioamadeus.cz/o-vlasech>.
- ROBBINS, R. C. (2002). Chemical and Physical Behavior of Human Hair (4th ed.).
- ZHENXING, H., GAOSHENG, L. (2009). Measurement of Young's modulus and Poisson's ratio of Human Hair using Optical techniques. Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering 7522(3), p. 21.

SROVNÁNÍ KVALITY VLASŮ U GRAVIDNÍCH A NEGRAVIDNÍCH ŽEN

MARIE SKŘONTOVÁ, LUCIE ŠIMKOVÁ, KAREL JELEN

SOUHRN

Článek se zabývá hledáním materiálových parametrů, které by byly vhodné pro specifikaci viskoelastických vlastností lidských vlasů. Tyto parametry současně vyhovovaly jednoznačné diferencii u gravidních žen proti ženám negravidním. U vlasů byla mikroskopicky stanovována jejich tloušťka a na deformačním trhacím zařízení pak během několika testů studovány jak trhací tak relaxační křivky. Z nich byly určeny Youngovy moduly, relaxační časy, meze skluzu, meze pevnosti, maximální prodloužení. Měření proběhlo na 90 vzorcích ženských nebarvených vlasů odebraných z oblasti týlního hrbolu. Tato práce ukazuje, že minimální parametry hranice skluzu, průměr a druhý relaxační čas jsou těhotenstvím signifikantně ovlivněny.

Klíčová slova: lidské vlasy, viskoelastický model vlasů, Youngův modul, relaxační čas

Marie Skřontová
Skrontova.M@seznam.cz

Lucie Šimková
LucikSimik@seznam.cz

125

CHARLES UNIVERSITY IN PRAGUE,
FACULTY OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORT,
DEPARTMENT OF ANATOMY AND BIOMECHANICS

THE STRUCTURE OF HAIR THICKNESS DISTRIBUTION OVER WOMEN'S HEADS SURFACE

LUCIE ŠIMKOVÁ, MARIE SKŘONTOVÁ, KAREL JELEN, JOSEF ZEMAN

SUMMARY

The article encompasses a possible concept of description of the structure of hair thickness distribution over women's heads. It is based on real data realized in Caucasian population and results in the necessity of introduction of several type groups of women's heads coverage. With an example included, it eliminates the possibility of the distribution to be random and that there are all of the possibilities of the distribution realized in the population, as well as that it could be reasonable to average these distinct type groups and look for the mean distribution in the population. The distribution structure is most likely contingent on genetics and is entrenched in some part of the DNA; it is not yet clear however, what intra-species advantages particular structure types could yield, while the correlation of the particular distributions with types of humans is subject to current research.

Key words: human hair, diameter, capillitium

INTRODUCTION

There exists quite a number of works dealing with human hair diameters in dependence on the ethnic group or the age of the individuals. Only few of these works take into account the individuals' sex and, with a few exceptions, they don't mention from which part of the head surface the hair had been taken. Just in several works the authors refer to the sample taking place and they try to keep it constant for the whole set under investigation. Nevertheless, a work dealing consistently with the types of hair growth on the human heads at least as to the hair diameters is still missing. The only exceptions are the works on the men's baldness types. For our work, we have picked only women's samples, to avoid excessive spread of the values due to men's baldness in some areas of the head surface. The original intent had been to find a single map of hair thickness on the women's head surface. As it turned out, it has been necessary to introduce several such maps, for to the results to give consistent evidence.

Hair

Human hair is a fibre, whose physical appearance and mechanical strength is influenced by a number of factors, including ethnic origin, hygiene, chemical treatment or environment (Zhenxing et al., 2009). Despite of large number of studies, however, its structure is not fully identified. The middle part of the hair (i.e. the hair shaft) consists of three concentric layers: the cuticle, the cortex and the medulla. Each of these components has different structure and function. The cuticle protects the inner parts from the outer environment and from derogation caused by daily treatment. The cortex (90 % of the hair) determines mechanical properties of the hair, and the medulla can sometimes be completely absent (Benzarti et al., 2011).

Differences among hair

Most common interest in hair is focused on hair growth, hair types and hair care, but hair can also be looked at as an important biomaterial, that can vary depending on the ethnic ancestry or the age (Benzarti et al., 2011). The character of the hair is constantly changing from prenatal development up to the old age and one and the same follicle produces successively different types of hair, even in physiological conditions. In some children at the age of two to three years the hair type and colour change can be remarkably rapid (Bartošová et al., 1982). Children's hair is finer on the average, round and often less medullated and more light-coloured than the adults' hair. The cuticle vs. cortex ratio is less dependent on the age, but the information about the chemical and physical properties is missing. Limited experimental data show that children's hair is more transparent with tendency to higher clearness (Bogaty, 1969). In teen-agers at the beginning of puberty, the change of the hair character and distribution is most prominent. Terminal hair, that occurs in various localisations at that time and replaces the intermediate type of capillitium or the fine vellus on the body surface, is relatively long, well pigmented and contain medulla either fragmented or in the whole stem length. The coarse capillitium hair of adolescent boys is more medullated than the finer girls' hair in most cases (Bartošová et al., 1982).

The work (Hay et al., 2011) addresses the differences between pigmented and non-pigmented (grey) hair. It states that grey hair is more firm, wire-like. Kaplan et al. (2011) states in his work that the differences between pigmented and non-pigmented hair need not hold in general, what applies for one person that its hair is significantly thicker, need not apply for another person. Decrease of the hair volume on the head surface, and also drop of the hair diameter, is not only reflection of aging, but also reflection of some internal change in the hair itself (Mamada et al., 2007).

OBJECTIVE

The aim of this work has been to map the hair diameters in preselected areas of women's heads.

Some foreign studies address this point, but the authors fail to mention the exact place of the hair taking. That's why we specified the given taking places, where the particular hair diameters could differ

METHODS

We have been taking by five samples from five different areas of the head surface. These areas have been denoted by letters of alphabet: A – left temple, B – the place above the forehead centre, C – right temple, D – vertex, E – occiput. Each woman had filled a questionnaire before the taking containing 16 questions. The questions recorded basic anthropological data as body mass, height, age, eye and hair colour. Further they involved the lifestyle of the woman (e.g. vegetarianism, veganism ...), hair dyeing, smoking, use of pharmaceuticals, contraception, substances containing caffeine or theine. We have also asked about place of residence and employment field.

The hair has been cut with sharp scissors close to the head and immediately put in a labelled polythene bag with zip fastener. This way they have been stored and later processed.

Each hair has been put in an optical microscope equipped with a camera connected to a computer (fig. 1). Using the TSVIEW program, the diameters have been measured (fig. 2) in four distinct places along its length with fivefold repetition. From the diameters obtained this way, one average diameter for a particular hair has been calculated. For each sample taking place three hairs have been measured this way.

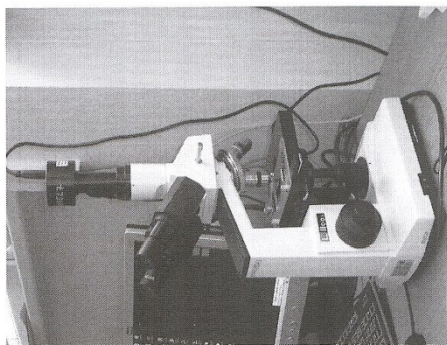


Figure 1. Optical microscope with a camera connected to the computer.

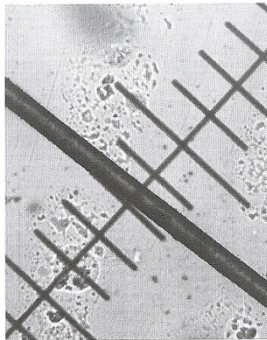


Figure 2. Picture of the hair taken with the optical microscope connected to the computer.

RESULTS

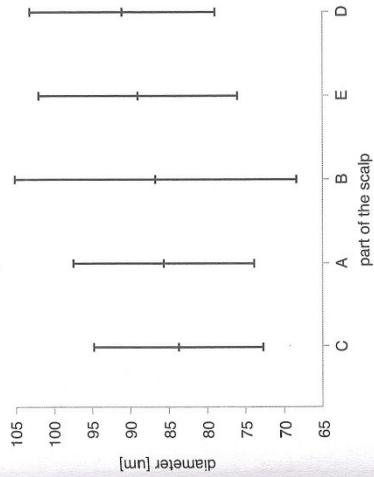


Diagram 1. Particular head surface areas sorted by mean hair diameters on all researched heads. With the mean values standard deviations of the measured hair sets are also marked.

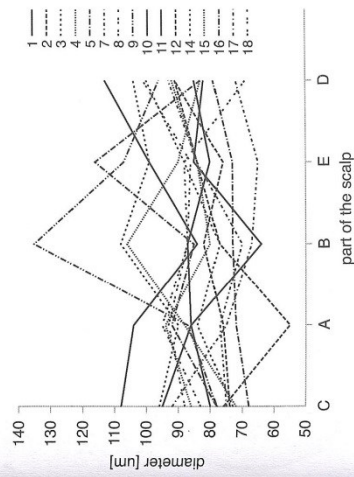


Diagram 2. An example of the hair diameter mean values of randomly selected 16 women.

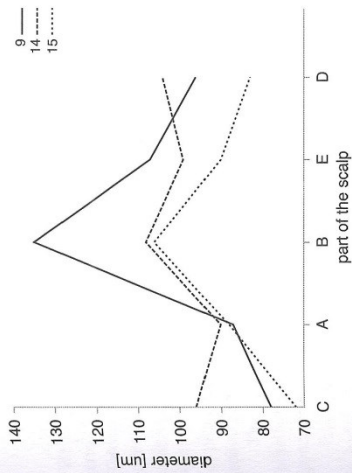


Diagram 3a. First selected group of women with similar hair thickness distribution.

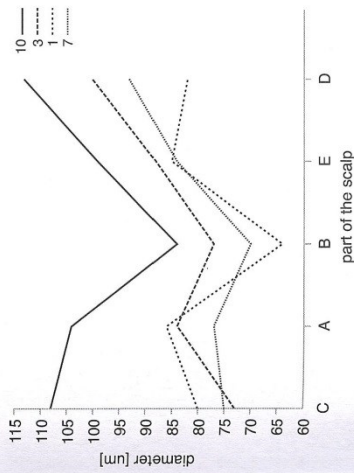


Diagram 3b. Second type group of women with similar hair thickness distribution on their heads.

Table 1. The particular areas of the head sorted by mean hair diameters. So the DBCFA code means e.g. that the woman No. 8 had the most thin hair in the D area and the most thick in the area labelled A.

Number of women	Code structures
12	ACBED
14	ACEDB
7	BCAED
1	BCDEA
10	BEACD
4	BECDA
9	CADEB
2	CAEBD
16	CAEBD
3	CBAED
15	CDAEB
5	CDBAE
18	CEBAD
8	DBCEA
17	EBDAC
11	EDABC

A – left temple, B – the place above the forehead centre, C – right temple, D – vertex, E – occiput

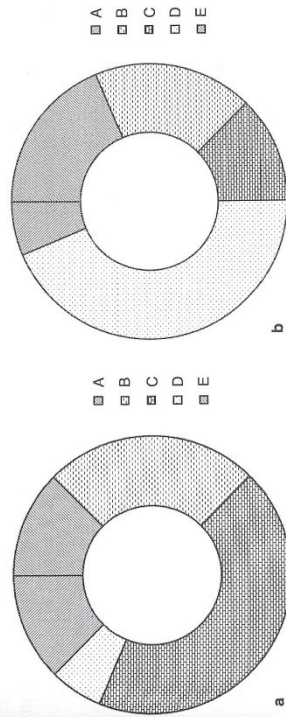


Diagram 4a, b. Diagram a records the number of frequent occurrence of the most thin hair within the frame of the head surface in particular investigated areas. Diagram b – the area with the thickest hair. While the area with thin hair is often represented by the C area, among the typical areas with the highest hair diameter most often falls the D area. By contrast, the thinnest hair on the head seldom occurs in the D area, and the thickest in the E area.

DISCUSSION AND CONCLUSION

First thing to come to our mind when attempting to find a distribution scheme is to sort the investigated areas e.g. in ascending order and calculate standard deviations in particular areas. The result can be seen in Diagram 1. When we display the mean values for some randomly selected women (Diagram 2) we can suspect a break-up into several groups, as the curve shape remains similar for whole groups of the women researched, see Diagrams 3a, b.

When we sort the particular areas by increasing mean diameters, we get five-letter codes for particular women, example of which is in Table 1. As can be seen, the code structures arising in the example are far from random ones. They do not e.g. tend at all to realizing all permutation alternatives and not by a long sight evenly. In Diagram 4a, b, we can see per cent representation of particular head areas, both with the thinnest hair and by contrast the areas where the hair has maximum diameter. The C area occurs in the whole of 69% cases in the first two places of the code (so it contains either the thinnest hairs, or the second most thin), while in case of random distribution the probability would be only 40%. Areas A and C often occur side by side, in 50% women (when random would give 25%). There is an interesting phenomenon when the thinnest hairs are contained in the E group. This area is often in some way reciprocal to the most frequent distribution and always! ends with the C area, that, as we have said, mostly starts the sequence.

Detailed investigation of hair thicknesses in the particular areas of women's heads has shown, that there doesn't exist a single structure of distribution of these diameters, but it is necessary to introduce several of these structures right away. Between these structures there are most likely no smooth transitions, hence their genetic conditionality seems to be probable. We consider proven the existence of groups CXXXD, a small but rigid group with at most one permutation EBDAC and the BXXX group where Y means the A or D area, and X the remaining ones. The affinity of the curve shapes as in Diagram 3a, b gives the CXXXB group and confirms the BXXX one. After obtaining more data, we are planning to perform cluster analysis of the diameters and to evaluate the frequency of all permutation groups.

ACKNOWLEDGEMENTS

This project is supported by IGA TF CZU no. 31120/1312/3101, SVV 2013-267603.

REFERENCES

- BARTOŠOVÁ, L., JORDA, V., ŠTÁVA, Z. (1982). *Choroby vlasů a ovlasené kůže*. Avicenum, zdravotnické nakladatelství, 1st edition.
- BENZARTI, M., TKAYA, M. B., MATTEI, C. P., ZAHOUANI, H. (2011). Hair Mechanical Properties Depending on Age and Origin. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 74, pp. 471-477.
- BOGATY, H. (1969). Differences Between Adult and Children's Hair. *Journal of the Society Cosmetic Chemistry*, 20(4), pp. 159-171.
- HAY, J., WALL, C. (2011). *Mechanical Characterization of Brown and Grey Hair*. Agilent Technologies, Inc.

- KAPLAN, P. D. et al. (2011). Grey hair: clinical investigation into changes in hair fibers with loss of pigmentation in a photoprotected population. *Journal of Cosmetic Science*, 33, pp. 171-182.
- MAMADA, A., NAKAMURA, K. (2007). A study of the volume and bounce decrease in hair with aging using bending elasticity measurements. *Journal of Cosmetic Science*, 58(9/10), pp. 485-494.
- ZHENXING, H., GAOSHENG, L. (2009). Measurement of Young's modulus and Poisson's ratio of Human Hair using Optical techniques. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering*, 7522(3), p. 21.

STRUKTURA ROZLOŽENÍ TLOUŠTĚK VLASŮ NA POVRCHU ŽENSKÉ HLAVY

LUCIE ŠIMKOVÁ, MARIE SKRŤONTOVÁ, KAREL JELEN, JOSEF ZEMAN
SOUHRN

Článek obsahuje návrh možnosti, jak popisovat strukturu rozložení tlouštěk vlasů na ženské hlavě. Vychází z reálných dat zjištěných u bělošské populace a dočází k nutnosti zavedení několika typových skupin pokrytí ženských hlav. Na příkladu vylučuje možnost, že je rozdělení náhodné a že jsou v populaci realizovány všechny možnosti rozložení, stejně tak, že by mělo smysl tyto celkové typové rozlišení skupiny vzájemně průměrovat a hledat střední populační rozložení. Struktura rozložení je nejspíše podmíněna genetikou a je pevně zakotvena v nějaké části DNA, jaké však jednotlivé typy struktur poskytují vnitrodruhové výhody, není zatím známo, zatímco s jakými typy lidí jednotlivá rozložení koreluji, je předmětem současného výzkumu.

Klíčová slova: lidské vlasy, průměr, kapiliciem

Šimková Lucie
Lucie.Simik@seznam.cz

Skrťonová Marie
Skrtonova.M@seznam.cz

8.9 Changes in the mechanical parameters of hair in a group of women in reproductive age (Neuroendocrinology Letters 2014, vol. 35 (6): 101 – 109)

Neuroendocrinology Letters Volume 35 No. 6 2014

Changes in the mechanical parameters of hair in a group of women in reproductive age

Karel JELEN¹, Marie SKŘONTOVÁ¹, Lucie ŠIMKOVÁ¹, Josef ZEMAN²,
Eva TLAPÁKOVÁ¹, Ondřej FANTA¹

¹ Department of Anatomy and Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport, Charles University in Prague, Czech Republic

² Department of Physics, Faculty of Engineering, Czech Agricultural University in Prague, Czech Republic

Correspondence to: Karel Jelen
Faculty of Physical Education and Sport, Charles University in Prague
José Martího 31, 162 52 Praha 6 – Věslavín, Czech Republic.
TEL: +420 603526656; E-MAIL: jelen@ftvs.cuni.cz

Submitted: 2014-03-15 Accepted: 2014-06-05 Published online: 2014-00-00

Key words: human hair; mechanical properties; Young's modulus

Neuroendocrinol Lett 2014;35(6):101-109 PMID: ----- NEL350614AXX ©2014 Neuroendocrinology Letters • www.nel.edu

Abstract

OBJECTIVE: Hair quality and scalp characteristics are considered to be a significant marker of health. This marker is reflected in mechanical properties of hair. To investigate these properties, hair samples have been collected among women of different age and then analyzed. The thickness, Young's modulus of elasticity and ultimate strength limit were the main observed parameters.

METHODS: The diameter of each hair has been measured using an optical microscope equipped with a digital camera. The hair was then clipped into the uniaxial tensile testing device. Each sample has been stretched to failure at a speed of 2 mm/min and force vs. elongation was recorded. The mechanical results were converted with respect to the diameter and Stress-Strain curve was obtained for each sample. In addition, all the analyzed samples were divided into two groups in dependence on the age, namely samples from women younger than 35 and over 35 years of age. All the measured parameters were statistically evaluated.

RESULTS: Young's modulus, yield and elongation parameters showed no significant difference among samples. On the other hand there was a significant difference among the samples in ultimate strength values. Findings from group analysis showed that women under 35 years show about 5 times greater variability in hair strength than that of women above that age.

CONCLUSION: The results of our study indicate that hair tendency to grow persists up to 30 years of age, then slowly decreases and then achieves a steady state around 60 years of age.

INTRODUCTION

Hair is a complex fibrous heterogeneous material. It is highly influenced by many factors such as ethnicity, hygiene, chemical treatment or the environment (Zhenxing & Gaosheng, 2009). Its main component is keratin. It contains about 95%

of this protein Keratin amino acids create bundles that are assembled into chain filaments. Hair can be thought of as the amount of twisted thin fibers that are chained together with each other.

Human hair has two basic functions. The first one is mainly the protection against sunburn, abrasion and thermal losses. The second one is primar-

To cite this article: Neuroendocrinol Lett 2014;35(6):101-109

ORIGINAL ARTICLE

ily cosmetic (Robbins, 2002). The hair is of great social importance for a man. In the Middle Ages only kings and nobles had long hair. Hair is an important biological material, which varies depending on ethnic origin or age (Benzarti *et al.* 2011). The character of hair is constantly changing from prenatal development to old age and the same follicle produces even under physiological conditions gradually different types of hair. Children's hair is in average softer, rounder, less modulated (with less marrow) and lighter than adults' (Bogaty, 1969). The fact that hair varies among individuals play a significant role in the forensic biomechanics. Nowadays it is used for gathering the DNA information and thus helps to reconstruct the crime scene of car, pedestrian or bicycle accidents, for example to establish a contact place for the pedestrian throw formulas (Fanta, 2013).

There exists a methodology in a Polish laboratory (Biomolmed, www.biomol.pl), which deals with human metabolism research and argues that many pathological states of the organism is closely associated with changes in concentrations of trace elements in tissues. It has been proven that the best method for finding values of trace elements in the body is their determination in hair and nails. Hair and nails are located on the skin surface and are excluded from metabolic processes. Nails are

less suitable material than hair due to difficult exclusion of exogenous contamination. In contrast, hair is permanent neutral tissue, which is not subject to biological changes. Outer keratin container completely prevents loss of internal components, but also the penetration of external contaminants inside, which ensures stability of the chemical composition. Hair samples are collected in a non-invasive way. Hair can be kept with unchanged chemical composition (www.biomol.pl).

Both hair health and appearance is also affected by several hormones. One of the hormones that is involved in the process of hair growth is prolactin. The process of intensive production of the hormone and its receptor correlates with the period of hair growth. The exact role of prolactin in hair growth still remains unknown. It has been proved that abnormally high level of prolactin (this state is called hyperprolactinemia) causes hair loss, as is the case with higher levels of androgens (male hormones) (Foitzik *et al.* 2006). Testosterone, which plays significant role by the hair loss in men, can play this role in women also, especially after menopause. Another frequent cause of hair loss is thyroid disorder.

It is obvious that the most common cause of hair loss is the effect of male hormones on the scalp, both for men and women (Price, 1999).

Anatomy

Hair, whose average thickness ranges from 60 to 80 μm , consists of three layers: the marrow, cortex and cuticle (Bartošová *et al.* 1982). Each part has a different structure and function.

Hair marrow – medulla – is located in the middle of the hair (Figure 1) (Benzarti *et al.* 2011) and is formed along the entire length only in thick terminal hair (relatively long, well pigmented hair). In fine hair it may be fragmented or is present only in certain segments (Figure 2) of hair shaft, or missing completely (Figure 3). Hair marrow is composed of large, usually pigmented cells with large intracellular vacuoles. Connections between cells are free, cells are divided by distinct intercellular spaces, which probably affect the

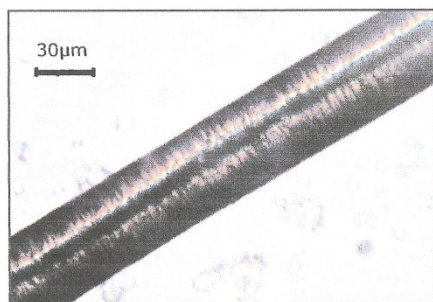


Fig. 1. Location of marrow in the middle of hair.

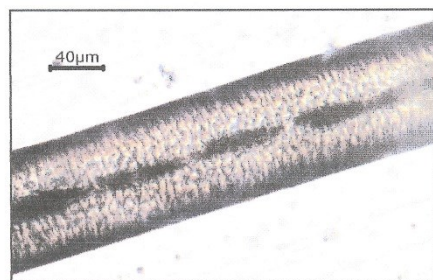


Fig. 2. Segmented hair marrow.

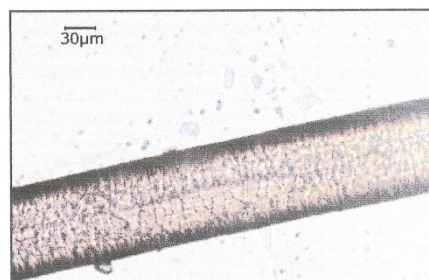


Fig. 3. Missing marrow in hair.

refraction of light, and thus the tone of the hair. The medulla cells are keratinized. Medulla is often found in animal hairs and is used to regulate body temperature. Among humans, this need has become secondary (Benzarti *et al.* 2011).

Hair cortex is the most powerful part of the hair. It comprises a mass of mutually bound cornified cells that contain longitudinally arranged melanin granules in pigmented hair. Various numbers of fine tubes were found among the cell cortex, filled with fluid in follicular segment of hair and with air in loose segment of hair shaft. It takes up to 90% of weight of the hair. It consists of a complex of fibrous system affecting the mechanical properties of hair (Benzarti *et al.* 2011).

Hair cuticle is formed by one row of translucent cells without pigment, showing signs of keratinization (cornification), when an originally soft cellulose protein material prekeratin changes into a solid mass keratin. Free edges of the hair cuticle cells are variously shaped and are facing up to the free ends of the hair. Cuticle protects the inside of the hair against external environment and the damage caused by daily treatment. Cuticle has a thickness of 3–5 μm and takes up 10% of the hair weight (Benzarti *et al.* 2011).

Macroscopic hair variations

Hair is very variable in color, length, shape and growth rate. Morphological evaluation criteria in addition to these characters notice also the distribution of different types of hair, depending on the age and sex of the individual. The hair character is constantly changing from prenatal development to old age and the same follicle produces gradually different types of hair even under physiological conditions.

Hair can be basically divided into the prenatal lanugo and postnatal vellus, intermedia and terminal hair. This division respects shape variations, as well as the time factor in hair growth in humans.

Lanugo – the first generation hair, created in utero, are soft, shiny, without pigment and marrow. In postnatal life, the lanugo appears only under pathological circumstances.

Postnatal vellus – constitutes the bulk of hair of infants and young children, when during the last months of pregnancy lanugo falls out and is replaced by vellus, the second generation hair. That is fine and thin, but often already pigmented and grows to a maximum length of 2 cm.

Intermedia hair – replaces the fine vellus. It is stronger, deeply pigmented and forms a relatively greater density scalp (haired part of the skin) in older children. Among some children aged two to three years may be a change in the type and color of hair remarkably fast. For adolescents in early puberty, the changes in the distribution and character of hair is most noticeable.

Terminal hair – appears at that time in different locations and replaces the intermediate type scalp or fine vellus on the body, is relatively long, well pigmented

and contain medulla fragmentally or across whole length of the shaft. Coarse hair of teenage boys scalp is usually more modulated than subtle girls scalp. The first terminal hairs, fully formed before puberty, are the eyelashes (cilia) and eyebrows (supercilii), which gradually thicken from childhood and do not change much in adulthood.

Change of intermediate scalp into the terminal can be gradual, subtle or very striking if both the color and the shape of the hair changes. Mostly also the physical properties of hair change, their flexibility, ductility and toughness increases. However, the arrangement of hair in multimember groups does not change as well as their growth in rows or strands. In addition, the direction of hair growth, founded in embryo, does not change and remains characteristic for each individual in certain locations. The thickness of scalp hair rises rapidly and continuously during the third to fourth year of life, less until the tenth year and by the twelfth year remains almost entirely constant. The terminal scalp hair is affected by regressive changes during lifetime before other hair. For men, earlier than among women, the growth capacity of some follicles is reduced and on the forehead and scalp grows still long, but thinner hair often without pigment. At the same time, a conversion may occur of terminal follicles into shorter and less productive, which generate fine vellus type hair. All consecutive generations of all types of hair have therefore an upward growth curve in the beginning and downward later during the lifetime, although there are significant individual differences in the extent of morphological variations (Bartošová *et al.* 1982).

Hair growth phases

Each hair has three main stages of growth. The first phase is the growth (anagen) phase, which lasts two to seven years. Approximately 85% of the hair on the head is at this stage. In the anagen phase of hair growth hair comes from the matrix at the bottom of the hair follicle.

The second phase is the katagen phase, sometimes called the transitional phase. It takes about two weeks and about 1% of the hair is at this stage. In this phase of hair growth the papilla gradually dies, which has been involved in the development and supply of hair.

Third (telogen) phase lasts three to four months and about 10–15% of the hair is in this stage. During this stage the hair is released from the papilla and slowly moves up the sebaceous glands, where it remains until it falls out.

The growth of human hair does not take place in waves, i.e. synchronously. Replacing the hair scalp and other body hair is asynchronous, mosaic-like. This means that while one hair grows and is in the anagen, the other in the same location in the telogen is ready to fall out. In the course of life six to seven generations of hair replace each other in the same follicle.

Following the intrauterine and postnatal hair replacement two cycles are coming in childhood and

pubertal age. Under physiologic conditions, the second decade of human life represents a peak period in terms of intensity of growth and pigmentation of hair. In adulthood is the hair changing less noticeably and the anagen in the scalp follicles is reduced with increasing age.

Given that the cycle of hair growth in adult age takes at least 1000 days, under physiological conditions fall out around 100 hairs every day. However, there are too many individual differences. The number of anagenic and telogenic follicles always varies by age and area of the body. For example, 615 active scalp follicles per 1 cm² were found on persons from twenty to thirty years of age, about 485 active follicles between 30–50 years of age and an average of 435 active follicles per 1 cm² of scalp among 80–90 years old people. Although the replacement of hair is continuous between the 30th and 50th year, a replacement often begins of thick terminal hair for thinner hair without pigment at this time (Bartošová *et al.* 1982). Grey hair is stiff, more wiry and unruly (Hay & Wall, 2011). The work of Hollfelder *et al.* (1995) confirms this fact and adds that unpigmented hair is more sensitive to the sunshine. In the sixth decade of life the anagen period is shortened from three years average to 17–94 weeks. That accelerates hair replacement at the expense of its quality.

Mechanical properties of hair

The mechanical properties of hair shaft can be changed primarily by various internal factors, such as genetic, nutritional, metabolic, or secondary external factors (Bartošová *et al.* 1982). From nutritional perspective the amino acids methionine, cysteine, and cystine are essential for normal hair growth because of their oxidoredox potential. Nutritional status of these amino acids can be strongly influenced by diet or modified by creatine supplementation (Petr *et al.* 2011).

Mechanical properties of hair – strength, ductility and flexibility – are conditional on hair structure and molecular arrangement of the hair keratin. They are mainly dependent on the ultrastructure of the hair cortex, which due to its composition belongs to mechanically anisotropic materials, because it consists of elastic prolongable fibers and hygroscopic and relatively rigid matrix. Adding these different properties of the two components of keratin enhances its strength and flexibility. In a humid environment, hair becomes more flexible, because of disruption of less stable hydrogen bonds in the matrix and swells due to matrix hydration. Ultimate strength values of a wet hair are smaller than of a dry hair. To achieve the desired strength of keratin fibers a special structure is created by peptide bonds between amino acids. This causes limited mobility, so it turns into a spiral. That is why the hair is longer when wet and after drying returns to its original length.

The hair strength is measured by the maximum load which the hair can bear before it breaks. The hair ductility is a length, by which the hair length increases

at maximum load. Flexibility is the most important mechanical property, it is the ability to extend under tension and deform by rotation and return to its original length and assume its original shape after the application of force. Both types of flexibility are measured in the hair: elasticity in tension is evaluated by Young's modulus and elasticity in torsion is measured by torsion module (Bartošová *et al.* 1982). Further assessed parameters are fracture strain, ultimate strength, yield strength and the Poisson ratio (Zhenxing & Gaosheng, 2009) which is giving context to the longitudinal stretching and transverse constriction caused by it.

OBJECTIVES

- I. Pursuant a newly proposed method, set the basic viscoelastic hair parameters.
- II. Find the viscoelastic hair parameters dependence on the of women's age.

METHODOLOGY

Mechanical properties of hair are also dependent, beside the length and thickness, on the penetration of water in molecules of keratin, thus the relative humidity and temperature in which the hair samples are examined (Benzarti *et al.* 2011).

Samples of hair were obtained from 37 women of different ages and exactly one hair was measured from each of them. The hair was always cut from the same place (the nape area) using sharp scissors close to the head.

First, an optical microscope (W. Watson & Sons) equipped with a digital camera (MI-DCT1300 color CMOS) was adopted to measure a shaft diameter of each hair. The measurement has been repeated in 15 regions within the first 3 cm of each hair. One measurement in every 2 mm length of hair, in other words a transverse dimension of the hair was determined under the microscope, then the sample was shifted by 2 mm and the following transverse dimension was determined in the center of the visual field of the microscope again.

Second, the hair was placed into the tensile testing device Deform type 2 (made by Pemas spol. s r.o.) (see Figure 4), which is suitable for the measurement of small forces under low speeds in biological materials. With a strain gauge of 20 N maximum load and special grips for fixing fibers the measuring machine allows to perform determination of conventional deformation curve and measurement of relaxation or cyclic load of a sample. The stroke of the tensile testing device at its grips is 215 mm at maximum, so we use hair samples up to the length of 5 cm. The device is controlled via its Ethernet interface by a multi-platform homebuilt software Trhey!. The sensitivity is 1 mN.

Individual hair samples had been tested at a speed of 2 mm/min until failure. From the converted deformation curves (Figure 5), i.e. dependency of the true stress

on the relative deformation (true strain), mechanical properties (yield strength, ultimate strength and fracture strain) of individual hairs have been determined.

A load curve is divided into three parts (see Figure 5):

- First part – elastic (1a) – the part where the deformation is fully reversible and the sample is able to return to its original shape and dimension when external forces cease. In this region of the curve a Hook area is located where the tension is directly proportional to the deformation and therefore the slope of the line determines a Young's module. The second part is non-linear (1b) and ends by yield strength (A), by which the maximum elastic deformation is defined. Deformations beyond this point on the curve are already plastic and after the application of external forces the sample remains permanently deformed. At this point the breaking curve passes in the plastic area of deformation.

The moment of the beginning of deformation is determined from the equation of the line interpolating breaking curve in the Hook area. The constant in this equation determines the intersection of the line with the axis of deformation. By this value we move all the deformation data observed on the deformation curve afterwards.

- The second part (2) in which irreversible changes already take place in the sample and where even application of a constant force may lead to increasing deformation, simply put the area beyond yield strength, which is characterized by viscoplastic deformation. The shape of the curve in this area is greatly influenced by the deformation speed and at higher speeds (from 10%/min up for hair) may be the start of that second phase characterized by a negative slope.

- Third part (3) is the area of reinforcement before rupture where the slope of the breaking curve increases again (B). Steady increase in tension leads to rupture of the sample (Benzarti *et al.* 2011).

Dawber & Messenger (1997) reported that in the area of 30–70% irreversible changes occur and prolongation by 80% causes rupture of the hair. Our experience, however, shift the onset of irreversible changes before area (2) beyond 6–7% of relative deformation. The fracture strain, i.e. a position of point B on the axis of deformation, is according to our measurements for most nations around 48–52% and around 40% for the Czechs.

Young's modulus (E) we find from the Hook (linear) area of a load curve approximated by a linear function. Yield strength is determined by the coordinates of the intersection of the linear approximation of the load curve in a Hook area and a beginning of a plastic zone. Ultimate strength is the maximum tension before a rupture of a hair, which we determine together with the fracture strain as the coordinates of the end point of the load curve, when the coordinate on the axis of independent variables is the fracture strain [%] and the coordinate on the axis of the dependent variables gives ultimate strength [MPa].

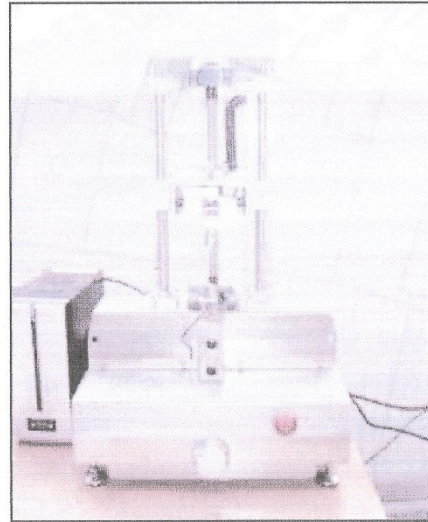


Fig. 4. Deform Type 2 shredder.

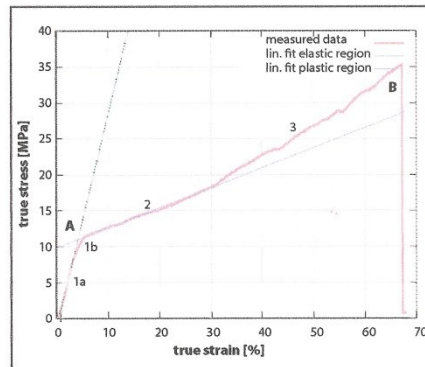


Fig. 5. Load curve obtained from the tensile test of a hair

RESULTS

The resulting data was processed and subsequently interpreted in graphical form. We evaluated various mechanical parameters depending on the age of probands.

Dependence of the individual quantities on time was approximated by an irrational function ($\alpha, \beta \in \mathbb{R}$, in the case of a rational function $\alpha, \beta \in \mathbb{N}$) of the form

$$g(t) = \frac{a \times t^\alpha - b}{c \times t^\beta + d} + e \quad (1)$$

Irrational function arises from a rational in a way that we look for non-integer coefficients α and β , while in the case of rational function they would be solely positive (Mošna, 2010). Equation 1 – non-diverging function by which the detected process can be described in its entirety. The function g has the dimensions of the approximated function, thus for example for ultimate strength in MPa, in case of approximation the constants a, b, e have the same dimension MPa, constants c, d are dimensionless, t is the relative dimensionless time. We will further perform normalization of time when the timeline is expressed in multiples of years, it is dimensionless, the constants α and β are dimensionless. We will further deal with the case when $\alpha < \beta$. In this case, the constant e indicates the value to which approaches the approximation function for a late period of life. The value for a low age is lowered in comparison with the age of the value of b/d . The ratio a/c determines the significance of the increase in value of the approximated function in middle age. The values of these parameters found by fitting for each variable are displayed in Table 1.

Concordance between measured and calculated values is expressed by two statistical criteria, i.e. the coefficient of determination and coefficient of variation (Nash & Sutcliffe, 1970).

$$CD = 1 - \frac{\sum(Q_m - Q_v)^2}{\sum(Q_m - \bar{Q}_m)^2} \quad (2)$$

$$CV = \sqrt{\frac{\sum(Q_m - Q_v)^2}{n \bar{Q}_m}} \quad (3)$$

Description of equations 2 and 3: CD – coefficient of determination; CV – coefficient of variation; Q_m – measured values (unit is given by the approximated variable); Q_v – calculated values (unit is given by the approximated variable); \bar{Q}_m – mean value of the measured data (unit is given by the approximated variable); n – number of measurements

If all the measured and approximated values are on an approximation curve, the coefficient of determination CD is equal to 1 and the coefficient of variation CV is 0 (Chow *et al.* 1988).

Furthermore, we performed a group analysis as follows. After exclusion of one outlier, we divided the rest of the measured data by the age of the probands into two groups: under 35 years of age and over 35 years of age. In both groups, we assumed a normal (Gaussian) distribution for all six of the mechanical parameters (diameter of the hair shaft, Young's modulus, yield strength in % and in MPa, fracture strain, ultimate strength) of hair and using them we performed the basic statistical tests on the parameters of the normal distribution. The test results that came out positive at the 5% level of significance are shown in Table 2.

In the Table 3 is the statistical evaluation of group analysis for mechanical parameters, namely Young's modulus [GPa] and the fracture strain [%]. Assessed data are not statistically conclusive at a significance level of 5%.

Figures 6–9 show that the material parameters of hair – yield strength, ultimate strength, fracture strain and Young's modulus in tension exhibit the same character of dependence on the age of a woman. The function describing these parameters is generally monotonically increasing to around the age of 35 years and monotonically decreasing with decreasing slope above the age of 35 years. This dependence is most conclusive for the maximum hair elongation, with a determination coefficient of 0.23 and variation coefficient of 0.15. For other variables is this dependence more weak or inconclusive (Table 3).

DISCUSSION

Hair exchange is a dynamic, continuous process that begins during embryonic development and with advancing age, especially during senescence, the physiological tendency is a decrease of hair growth curve.

This whole study is based on an important assumption – that all generations of women examined grew up under the same external conditions and there are no developmental changes, thus it may be assumed that

Tab. 1. Calculated values of the coefficients.

	CD	CV	a [1]	b [1]	c.10 ⁶ [1]	d [1]	e [1]	α [1]	β [1]
RMS v RP [1]	0.10	0.35	3.25	42.4	7485.38	1.99	2.03	1.0	2.0
RMS v T [1]	0.13	0.34	1.47	1.0	27.3	0.97	4.09	1.25	2.89
RMP v RP [1]	0.23	0.15	3.28	-4.3	47.5	2.06	44.2	1.25	2.89
RMP v T [1]	0.14	0.35	1.3	1.42	5.71	0.19	3.3	1.25	2.89
E [GPa]	0.012	0.27	5.58	81.67	0.46	14.74	1.17	1.0	2.0

CD – coefficient of determination; CV – coefficient of variation; RMS in RP – relative yield strength in relative elongation; RMS in T – relative yield strength in pressure; RMP in RP – relative ultimate strength in relative elongation; RMP in T – relative ultimate strength in pressure; E – Young's modulus in tension; a, b, c, d, e, α , β – constants (see above)

Tab. 2. Statistical evaluation of group analyzes.

	Yield strength [MPa]			Ultimate strength [MPa]	
	below 35 years	older		below 35 years	older
mean	65.69	55.61	mean	268.09	231.20
std. deviation	18.30	13.04	std. deviation	74.05	37.13
observations	22	14	observations	22	14
t stat	1.79		t stat	1.98	
p ($T \leq t$)	0.04		p ($T \leq t$)	0.03	
t crit	1.69		t crit	1.69	

mean – the mean value of the examined group; std. deviation – standard deviation from the average; observations – number of examined persons; t stat – calculated character value; p – level of significance; t crit – critical value of a character determined from tabulated values

Tab. 3. Statistical evaluation of group analysis.

	Young's modulus [GPa]			Maximal elongation [%]	
	below 35 years	older		below 35 years	older
mean	1.36	1.32	mean	113.11	112.90
std. deviation	0.11	0.35	std. deviation	232.21	16.77
observations	22	14	observations	22	14
t stat	0.38		t stat	0.04	
p ($T \leq t$)	0.35		p ($T \leq t$)	0.48	
t crit	1.69		t crit	1.69	

mean – the mean value of the examined group; std. deviation – standard deviation from the average; observations – number of examined persons; t stat – calculated character value; p – level of significance; t crit – critical value of a character determined from tabulated values

women now 30-year-old will have similar mechanical properties in 30 years as women now 60-year-old. In line with the work of Benzarti *et al.* (2011) who states that a statistical difference in stiffness of hair between individuals of different ages is meaningless, our study concludes that there is no dependence for selected sample of women between hair stiffness (Young's modulus) and age of women. In other material parameters of hair which Benzarti *et al.* (2011) did not attend to, we have observed a certain dependence with age. In particular the linear dependence of the hair diameter and extremal dependencies between yield strength, ultimate strength and fracture strain have been found.

All successive generations of all types of hair during the life have in the beginning an upward growth curve and later downward growth curve (Bartošová *et al.* 1982). The results of our study show that the upward trend of hair growth curve persists until about 30 years, then slowly declines and around 60 years of age levels off at an approximately constant level.

CONCLUSION

Hair in certain areas differs in not only the length, texture and color, but also in the diameter (which fluctuates along the hair) and shape. Number and distribution of

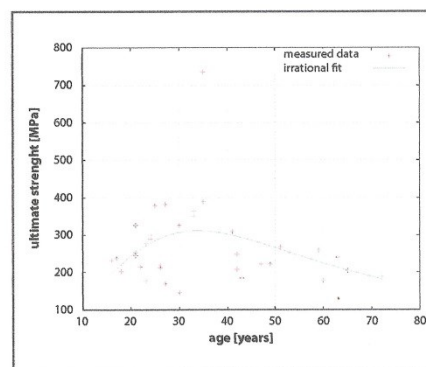


Fig. 6. Dependence of ultimate strength [MPa] on a woman's age – approximation by a rational function. The coefficients of approximation equation No. 1 are in Table 1.

follicles established during embryonic development are about the same for all the people, but genetic factors determine a wide range of variations (Bartošová *et al.* 1982).

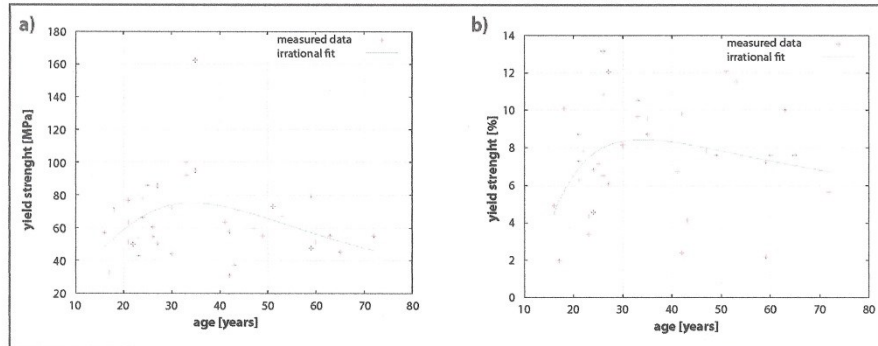


Fig. 7. a) Dependence of yield strength [MPa] on a woman's age – approximation by a rational function. The coefficients of approximation equation No. 1 are in Table 1. b) Dependence of yield strength (in percentage of elongation of hair) on a woman's age – approximation by a rational function. The coefficients of approximation equation No. 1 are in Table 1.

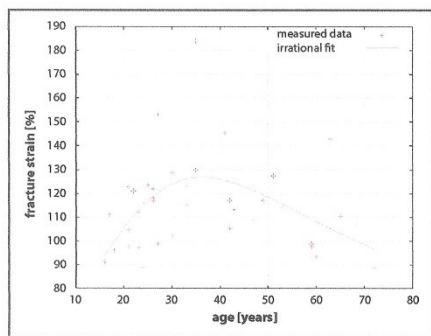


Fig. 8. Dependence of fracture strain [%] on a woman's age – approximation by a rational function. The coefficients of approximation equation No. 1 are in Table 1.

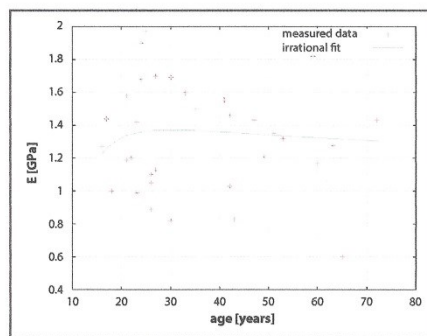


Fig. 9. Dependence of Young's modulus in tension [GPa] on a woman's age – approximation by a rational function. The coefficients of approximation equation No. 1 are in Table 1.

Table 2 shows that at the 5% significance level, we can say that the hair of women older than 35 years has lower yield strength compared to that of women younger than 35 years. Likewise, from the data at the 5% level of significance we can say that the hair ultimate strength for women older than 35 years is lower than the one for those younger than this age. The findings of the group analysis revealed the fact that women under 35 years show about 5 times greater variability in the strength of hair than women over 35 years. Young people, i.e. under 35 years of age have both strong and weak hair, while the old people i.e. over 35 year have only weak hair.

Appearance of the first gray hair is associated with reduced production of melanin. Melanocytes, which are responsible for hair and skin color produce melanin (dark pigment). Hair turns gray because over time

melanocytes cease to work and are replaced in the hair bulbs with air bubbles (Majerová, 2010). On average, the first gray hair appears on women around 34 years of age (www.trichologie.cz). All these effects do cause changes of the mechanical parameters that we have dealt with in this paper. Bartošová *et al.* (1982) reported that a greater tendency for thinning hair above the forehead and scalp and for hair graying occurs in caucasian men earlier than in men of Japanese ethnicity. Excessive stress or traumatic experience can greatly speed up the graying, but not overnight, as is sometimes claimed.

ACKNOWLEDGEMENTS

This project was co-financed by the grant GAUK 884214, GACR 407/10/1624, PRVOUK 38.

REFERENCES

- 1 Bartošová L, Jorda V, Štáva Z (1982). *Choroby vlasů a ovlášené kůže*. Avicenum, zdravotnické nakladatelství Praha (1. vydání). 256.
- 2 Benzarti M, Tkaya MB, Mattei CP, Zahouani H (2011). Hair Mechanical Properties Depending on Age and Origin. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. **7**(4): 471–477.
- 3 Biomol-Med Sp. z o.o. (2013). *Analýza makro- a mikroelementů ve vlasech*. Cited from: <http://www.biomol.pl/cze/laboratorium/metodyka>.
- 4 Bogaty H (1969). Differences Between Adult and Children's Hair. *Journal of the Society Cosmetic Chemistry*. **20**(4): 159–171.
- 5 Dawber RPR & Messenger AG (1997). Hair follicle structure, keratinization and the physical properties of hair. In: R. Dawber (ed). *Diseases of the Hair and Scalp*. 3rd edn. Oxford: Blackwell science: 23–50.
- 6 Fanta O, Bouček J, Hadraba D, Jelen K (2013). Influence of the front part of the vehicle and cyclist's sitting position on the severity of head injury in side collision. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*. **15**(1): 105–112.
- 7 Foltzik K, Krause K, Conrad F, Nakamura M, Funk W, Paus R (2006). Human Scalp Hair Follicles Are Both a Target and a Source of Prolactin, which Serves as an Autocrine and/or Paracrine Promoter of Apoptosis-Driven Hair Follicle Regression. *American Journal of Pathology*. **168**(3): 748–756.
- 8 Hay J & Wall C (2011). *Mechanical Characterization of Brown and Grey Hair*. Agilent Technologies, Inc. 2011. 5990–8681EN.
- 9 Hollfelder B, Blankenburg G, Wolfram LJ, Höcker H (1995). Chemical and physical properties of pigmented and non-pigmented hair (grey hair). *International Journal of Cosmetic Science*. **17**: 87–89.
- 10 Chow VT, Maidment DR, Mays LW (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, Civil Engineering Series.
- 11 Majerová J (2010). Šedivění vlasů: Proč, kdy, kdo a co s tím. Cited from: <http://www.forexample.cz/view.php?navezclanku=sediveni-vlasu-proc-kdy-kdo-a-co-s-tim&cislocclanku=2010030021>.
- 12 Mošna F (2010). The sum of one series. *International Journal of Mathematical Science Education*. **3**(1): 8–12. ISSN 0974-3340.
- 13 Nash JE & Sutcliffe JV (1970). River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. **10**(3): 282–290.
- 14 Petr M, Navrátil T, Heyrovský M, Kohlíková E (2011). The role of supplemented creatine in human metabolism. *Current Organic Chemistry*. **15**(17): 3029–3042.
- 15 Price VH (1999). Treatment of hair loss. *The New England Journal of Medicine*. **341**: 964–973.
- 16 Robbins RC (2002). *Chemical and Physical Behavior of Human Hair*, 4th ed. ISBN 0-387-95094-X.
- 17 *Trichologie.cz – nejen o padání vlasů* (2013). Příčiny šedivění vlasů. Cited from: <http://www.trichologie.cz/priciny-sediveni-vlasu/>.
- 18 Zhenxing H & Gaosheng L (2009). Measurement of Young's modulus and Poisson's ratio of Human Hair using Optical techniques. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering*. **7522**(3): 21.

8.10 Viskoelastické parametry vlasů (Scientia Movents, 27. Března 2012, Praha, ČR)

VISKOELASTICKÉ PARAMETRY VLASŮ

MARIE SKRONTOVÁ, LUCIE ŠIMKOVÁ

Fakulta tělesné výchovy a sportu, Univerzita Karlova v Praze, Katedra anatomie a biomechaniky

Souhrn

Cílem práce je porovnání metodik ke stanovení viskoelastických parametrů lidských vlasů s přihlédnutím jejich použitelnosti k opakovatelnosti a přesnosti určení těchto parametrů. Zabývá se výhradně kvantitativními metodami a shrnuje zkušenosti autorek s těmito metodami určujícími jak Youngův modul v tahu i ve smyku, viskozitu, mez skluzu a mez pevnosti. Obeznámuje čtenáře, jak s náročnostmi těchto metod co se týče doby zpracování vzorků tak i odhadem jeho chyb a vhodnosti pro dosažení daných cílů.

Clíčová slova: lidský vlas, keratin, Youngův modul, mez skluzu, mez pevnosti

Úvod

Hodnocení kvality vlasů se využívá jak v kosmetickém průmyslu, tak v poslední době i ve zdravotnictví. Ukazuje se totiž, že stav vlasů je v úzké spojitosti s dlouhodobým celkovým zdravotním stavem pacienta a např. minerální složení vlasů nám dává velmi dobrou představu o mineralizaci celého těla a schopnosti organismu s těmito minerálními látkami hospodářit [www.biomol.pl].

Samotný vlas se skládá ze tří vrstev, a to kutikuly, kortexu a meduly. Šupinovitá vrstva, kutikula, se skládá z šupinovitých destiček a vzniká při růstu vlasu. Bunky kutikuly se ze 4/5 překrývají jako šindele. Slouží jako tvrdý ochranný val, který chrání vnitřní vláknité bunky kortexu. Další vrstvou je kbra (kortex), což je největší část vlasu (cca 80 %). V jednom průřezu je 100 - 200 dlouhých, zrohovatělých kortexových buněk orientovaných souběžně s osou vlasu. Propůjčují vlasu pevnost a pružnost. Poslední částí vlasu je dřev (medulla) ta přispívá k lesku vlasů a slouží, jako zásobník pigmentu. Je přítomna pouze u silnějších vlasů, jemné vlasy dřev neobsahují [www.studioamadeus.cz].

Mechanické vlastnosti vlasu (pevnost, pružnost, tažnost) jsou podmíněny strukturou vlasu a molekulárním uspořádáním vlasového keratinu. Jsou závislé především na ultrastruktuře kůry vlasu, která patří svým složením k mechanicky anizotropním materiálům. Ostatní vrstvy vlasu, medulla a kutikula, jsou pro mechanické vlastnosti vlasu méně důležité. Mechanické vlastnosti vlasového svolu mohou být změněny primárně různými vnitřními vlivy: genetickými, nutričními, metabolickými. Sekundárně jsou ovlivněny zevními faktory: agresivními chemikáliemi (např. koncentrované peroxidy, čpávky).

190

Negativní vlivy těchto látek mohou mít za následek snížení odolnosti na mechanickou zátěž, která může způsobit zlomení nebo přetržení vlasu [Bartošová et al., 1982]. Pevnost a elasticita vlasů, které byly barveny, nebo jinak poskozeny se výrazně snižuje oproti vlasům, které nebyly nijak chemicky ošetřeny [Guohua et al., 2005].

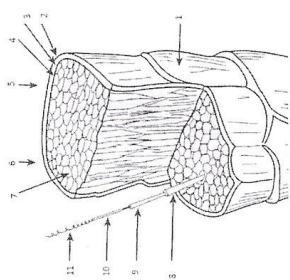
Jen v některých případech nalézáme snahu určovat u vlasů takové mechanické parametry, které jsou za prvé měřitelné, vyjádřitelné číslem a za druhé mají jednoznačně objektivní fyzikálně vyjádřitelnou interpretaci. My jsme se však rozhodly vyzkoušet pouze metody, jdoucí tímto směrem.

Pevnost vlasu se měří maximální hmotností zátěže, kterou vlas unese, než se přetrhne. Tažnost vlasu je délka, o kterou se vlas při maximální zátěži prodlouží. Pružnost je nejdůležitější vlastností. Je to schopnost prodlužovat se tahem a deformovat se rotací a po ukončení působení těchto sil se vracet do původní délky a nabývat původního tvaru. U vlasů se měří oba druhy pružnosti: elasticitost na tah je hodnocena Youngovým modulem a pružnost na deformaci po rotaci je měřena modulem torze [Bartošová et al., 1982].

K provádění klasických trihačích experimentů používáme trihačku Deform typ 2. Na trihače provádíme i relaxační experimenty a to v podobě elastické i plastické trihačích křivky. S úspěchem stanovujeme dva relaxační časy charakterizující dva relaxační procesy na stávajícím protahovaném vlasu. Na přístroji vlastní konstrukce pak metodou vlastních kmitů stanovujeme Youngův modul ve smyku a viskozitu vlasů.

Většina prací se zabývá hodnocením vlasu jako celku nám se však jeví jako univerzálnější a použitelnější způsob rozdělit vlas a určovat mechanické parametry kutikuly a kortexu zvlášť (obr. č. 1).

191

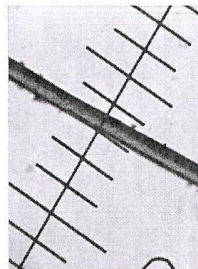


Obrázek č. 1.: Struktura vlasu

Popis obrázku: 1 - epitelové buňky kutikuly tvořící šupinky, 2 - epikutikula, 3 - exokutikula, 4 - endokutikula, 5 - paracortex, 6 - orthocortex, 7 - buňky cortexu, 8 - polymer vlasu, 9 - protofibrila, 10 - mikrofibrila, 11 - makrofibrila vymezena s buňky cortexu.

Metodika

Pro vlastní experiment jsou sbírány ženské vlasy a to tak, že jsou odstříženy těsně u hlavy v oblasti týlního hrbole. U každého vlasu je před vlastním měřením zjištěn průměr a to pomocí optického mikroskopu připojeným digitální kamerou k počítači (obr. č. 2). Průměr vlasů je pro větší objektivnost měřen v několika místech.

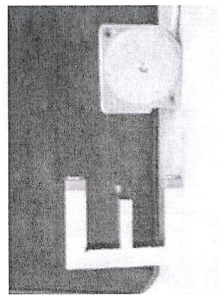


Obrázek č. 2: Fotografie vlasu v mikroskopu

Třhací zkoušky provádíme na trhačce Deform typ 2, do jejichž čelisti vlas upínáme v kousku papíru. A to proto, aby se zabránilo jeho vyklouznutí případně rozdrčení či přestápnutí konců vlasů ocelovými čelistmi. Po upnutí vlasu je přes příslušný program (TRHEY!) zadána rychlost pro provedení dané trhací zkoušky. Trhání provádíme při různých rychlostech. Z takto získané trhací křivky určujeme Youngův modul v tahu, mez skłuzu, mez

pevnosti a maximální prodloužení. Dalším typem pokusu prováděných na trhačce je měření relaxace vlasu, které probíhá napnutím rychlostí 10 mm/s do požadované deformace. Dále je udržována konstantní vzdálenost čelistí a je měřena postupně se snižující reakční síla materiálu, vlasu (graf č. 2). Počáteční rychlé napínání provádíme do hodnoty reakční síly vlasu, která se nachází v naší momentální zájmové oblasti. Tedy buď elastické nebo plastické části deformací křivky.

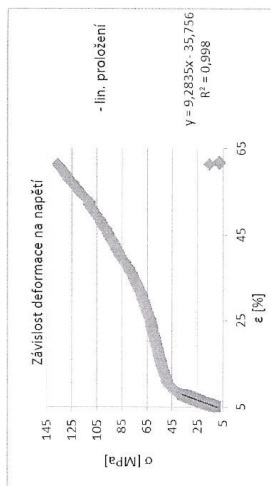
Torzni kmitů jsou měřeny na přístroji vlastní konstrukce (obr. č. 3), kde se vlas upíná do části zařízení ve tvaru písmene E. Doprospěřed napnutého vlasu je připevněn neodrymový magnetek, po jehož rozkmitání se na jeho lesklé ploše odráží infračervené záření vysílané druhou částí torzního zařízení. Kmity se zaznamenávají jako zvuková stopa na diktafon a po té jsou vyhodnocovány v příslušném počítačovém programu. U těchto kmitů určujeme jednak periodu kmitu a dále maximální úhlovou rychlost. Z těchto parametrů pak vyhodnocujeme Youngův modul ve smyku a viskozitu měřenoého vlasu [Zimola et al., 1981].



Obrázek č. 3: Torzní kyvadlo vlastní konstrukce

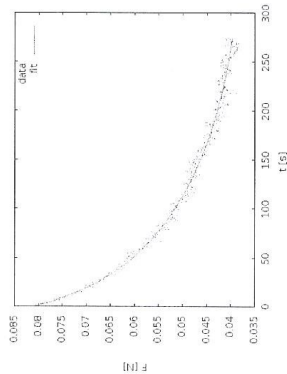
Výsledky

Pomocí trhačky jsme naměřily deformaci vlasu (graf č. 1) a to při rychlosti 2 mm/min. Dále byla měřena relaxační křivka (graf č. 2) při nastavení rychlosti na 10 mm/min.



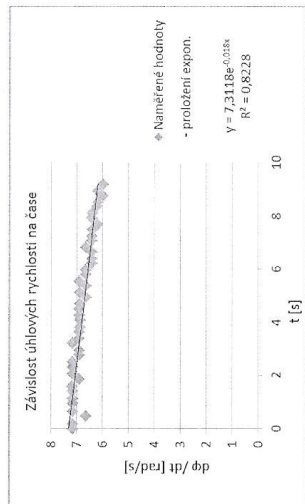
Graf č. 1: Závislost deformace na napětí

Z tohoto grafu lze určit mez skluzu (29,26 MPa, 7 %), mez pevnosti (132,8 MPa), max. prodloužení (60,18 %), Youngův modul v tahu (0,411 GPa).



Graf č. 2: Relaxační křivka

Z grafu relaxační křivky odečítáme dva relaxační časy (50,5 s a 249 s). Pomocí přístroje na měření torzních kmitů byly zjištěny hodnoty, které byly použity pro sestavení grafu č. 3.



Graf č. 3: Závislost maximálních úhlových rychlostí na čase

Tento graf znázorňuje míru závislosti úhlových rychlostí na prodlužujícím se čase. Zde lze určit velikost útlumu ($0,018 \text{ s}^{-1}$) a Youngův modul ve smyku ($3,17 \cdot 10^8 \text{ Pa}$).

Diskuze

Tato práce se zabývá zkoumáním viskoelastických vlastností lidských vlasů. Kdy jsou používány pouze vlasy žen, které jsou nebarveny a ustříženy těsně u hlavy. Námí naměřené průměry se pohybují v rozmezí 50 – 100 μm . Práce [Ginohua et al., 2005] uvádí, že u Asiatických vlasů v průměru 100 μm , u afrických domorodých obyvatel je průměr 80 μm a u Evropanů měří průměr vlasu 50 μm . Optické stanovení příčných rozměrů vlasů následně považujeme za jediné možné neboť kontaktní měření za pomoci mikrometru či posuvného měřítka vlas vždy deformuje a často i poškodí.

Při provádění klasických trhačích zkoušek používáme trhačku Deform typ 2. Kde jak ukazují grafy č. 1 a 2 stanovujeme Youngův modul v tahu (0,411 GPa), mez skluzu (29,26 MPa, 7 %), mez pevnosti (132,8 MPa) a max. prodloužení (60,18 %). K tomu, opět pomocí trhačky, provádíme i relaxační experimenty a z relaxační křivky stanovujeme dva relaxační časy (50,5 s, 249 s). Tímto způsobem jsme ověřili, že tento postup měření je pro určování minejých parametrů použitelný, nelze jej však efektivně použít pro stanovení viskozitního členu v rámci Kelvinova modelu látky; neboť rozpětí maximální a minimální deformační rychlosti je k tomuto účelu příliš malé. Toto platí zejména pro horní rychlostní limit trhačky, neboť aby bylo dosaženo potřebné citlivosti stroje je maximální vzorkovací rychlost 3 smps. Z tohoto důvodu se tato měření nehodí k určování relaxačních časů pod 1 s.

Na přístroji vlastní konstrukce pak metodou torzních kmitů stanovujeme Youngův modul ve smyku ($3,17 \cdot 10^8$ Pa) a viskozitu ($3,66 \cdot 10^5$ Pas) vlasů. Oproti našemu očekávání nelze efektivně torzního kyvadla použít pro široký frekvenční rozsah kmitů. Neboť při velkých ramenech vahadla dochází k velkému tření vahadla o okolní vzduch a nejsou tak určeny ani tak viskoelastické parametry vlasů jako spíše atmosférické podmínky v laboratoři. Vzhledem k tomu považujeme za efektivní používat pouze jedno zvolené vahadlo se zrcátkem, které má minimální rozměry a je vnějšíně zaobleno, aby se tření o vzduch projevilo až v rámci druhé viskozity. Přichytávání magnetkem je praktické z hlediska obsluhovatelnosti úlohy, méně však praktické vzhledem k citlivosti úlohy na vnější magnetická pole. Bylo by třeba zkonstruovat miniaturní pólový nástavec, který by pole kovového magnetu uzavíral.

Závěr

Námi sledované parametry, kterými jsou průměr vlasu, Youngův modul v tahu a ve smyku, mez skluzu, mez pevnosti, max. prodloužení, relaxační čas a viskozita pravděpodobně dostatečně vystihnou viskoelastické vlastnosti vlasů. Pro dané experimenty jsou používány pouze nebarvené, uštířené vlasy žen. Podarilo se nám prakticky vyzkoušet několik experimentálních metod pro stanovení mechanických parametrů vlasů, a pro tyto metody určit vhodnost použitelnosti určování těch kterých reologických a mechanických parametrů vlasů.

Výzkum byl podpořen z prostředků výzkumného záměru GAČR P407/10/1624 a SVV2011-263601.

Přehled bibliografických citací

- BARTOŠOVÁ L., JORDA V., ŠTÁVA Z. (1982). Choroby vlasů a ovlášené kůže. Avicenum zdravotnické nakladatelství, 1. vydání, 256 str.
- GUOHUA W., BHUSHAN B., TORGERSON P. M. (2005): Nnomechanical characterization of human hair using nanoindentation and SEM. *Ultramicroscopy*, 105, 1-4, pp. 248-266.
- ZIMOLA B., HAVRÁNEK A. (1981): Torzní kyvadlo s číslcovou indikací měřených veličin. *Plasty a Kautčuk*, 18, č. 11, 337 – 341.
- Analýza makro- a mikroelementů ve vlasech (online). Poslední revize (cit. 23. 11. 2011). Dostupné z: <http://www.biomol.pl/index.php/cze/o_analize_pierwiastkowej/analiza_makro_i_mikro_elementow_we_wlosach>

Co byste měli vědět o vlasech (online). Poslední revize (cit. 24. 10. 2010). Dostupné z: <<http://www.studioamideus.cz/o-vlasech#heading1>>

Summary

The purposes work is contrast methodist to determination viscoelastic parameters human hair with consideration their usability reproducibility and accuracy determination these parameters. Deal with pure quantitative methods and summarises experience authors with these methods determinant how Young's modulus in traction and in skid, viscosity Yield strength and limit strength. The identification reader, how with severity these methods as for time sample treatment so and by estimation his mistakes and propriety for fruition existent to point.

Key words: human hair, ceratin, Young's modulus, Yield strength, limit strength

8.11 Změny mechanických parametrů vlasů u žen v reprodukčním věku (Stárnutí 2012, 26. – 27. Října 2012, Praha, ČR)

ZMĚNY MECHANICKÝCH PARAMETRŮ VLASŮ U ŽEN V REPRODUKČNÍM VĚKU

Skřontová M., Šimková L., Zeman J., Jelen K.

1) Katedra anatomie a biomechaniky, Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy v Praze;

2) Katedra fyziky, Technická fakulta České zemědělské univerzity v Praze

Prezentující autor: Skřontová Marie; Skrontova.M@seznam.cz

Téma: Lékařské vědy

PŘEDBĚŽNÉ SDĚLENÍ

Východiska / Cíle

V rámci určování vlivu gravidity na mechanické parametry vlasů byly vybrány vzorky z temene hlav žen před otěhotněním. Práce se zabývá porovnáním tloušťek, Youngových modulů elasticity v tahu a mezi pevností v závislosti na věku probandek.

Metody

Odstřížené vlasy u kterých byl za pomoci digitálního mikroskopu určený průměr byly umístěny do čelistí trhačky Defrom typ 2. Při dvou různých rychlostech posunu čelistí byly jednotlivé vzorky napínány až k přetržení. Z přepočítaných deformačních křivek tj. závislosti true stress a true strain byly stanoveny mechanické parametry jednotlivých vlasů a z porovnání jejich hodnot při dvou různých rychlostech deformace na víc stanovena jejich viskozita.

Výsledky / Diskuze

Ze všech sledovaných charakteristik tj. Youngův modul, viskozita, mez elasticity a pevnosti se signifikantně v dané skupině žen projevila pouze elasticita a mez pevnosti. Původně předpokládána změna viskozity se u zkoumaných 30-ti vzorků neprojevilo.

Hair material parameters' determination by free oscillations method

Marie Skřotová¹, Lucie Šimková¹, Karel Jelen¹, Josef Zeman²

¹Charles University in Prague, Faculty of Physical Education and Sport, Josefa Maršálho 31, 1602 52 Praha 6, Czech Republic

²Department of Physics, Faculty of Engineering, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýčská 129, 165 21 Praha 6 - Suchbátol, Czech Republic

Abstract Summary

This paper deals with the possibility of human hair shear modulus of elasticity and viscosity determination with the help of torsion pendulum. Measurement is carried out by means of digitization of a series of frames of a laser beam spot, taken by a digital camera. The laser beam is reflected by a small mirror that is attached to the fly. The paper comes to the limits of this design and introduces a doubt about the type of the damping in the hair material.

Purpose

A method for determination of the shear modulus of elasticity and the viscosity of women's hair has been developed and examined within the frame of a work comparing various material parameters of human hair. Various works are concerned with the construction of apparatuses allowing to measure e.g. deflection or stretchability of the hair, however the method for determination by torsion stress has been missing so far. While looking for sensitive, yet reproducible parameters, we have therefore been testing these well physically defined parameters also.

Methods

Scheme of the measurement can be seen in Fig. 1. Beam position on the screen is taken by Camera C. Laser beam is deflected by reflection on the mirror M. When the hair H is twisted by the bar, the beam spot moves on the screen horizontally, i.e. in the plane containing the axis that matches the beam when there's zero deflection.

The video taken by the camera is then split into individual frames, and the position of the spot edge position (in pixels) in the frames is determined. Using a calibration constant, position in millimeters is calculated from the pixels. From the geometry and from the known distances the angle φ is then determined. The frame frequency was 30 fps. The fly had been made of a wooden (spruce) bar with 3 mm diameter and 70 mm length, and it's mass was 250 mg. Mirror's dimensions were 3x12x12mm and the mass was 1.12 g. The hair with 0.065 mm diameter has always been preloaded with a force of 120 mN. Total moment of inertia of the fly is $J=0.115 \mu\text{m}^2\text{kg}$.

$$f(t) = Ae^{-t/\tau} \sin(2\pi kt + \varphi) \quad (1)$$

where A is starting angle, τ is relaxation time, k is frequency, φ is starting phase shift.

Typical values of the fitted equation parameters can be found in Table 1.

Measurement No.	A (rad)	τ (s)	k (Hz)
1	0.300513	3.08072	1.95911
2	0.333938	3.22502	1.93984
3	0.372749	2.27504	1.94241
4	0.259856	3.22533	1.96684

It is worth mentioning that typical standard deviation amplitude of the angular frequency makes about 0.05%, while the one of the relaxation time goes about 2%. These deviations are roughly half

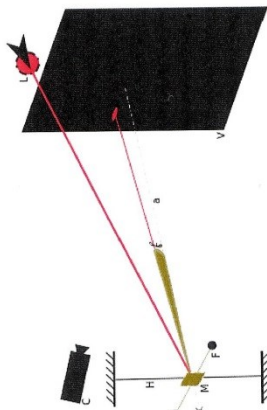


Figure 1. Scheme of the measuring device. H - human hair, M - mirror, F - bar, f - measured angle, a - zero axis, V - screen, L - laser, C - camera.

size compared to the detection of the oscillations by optical gates located in the vicinity of the idle axis, which method is well described e.g. in the article B. Zinnola, A. Havránek, Plasty a kaučuk, 18, 1981, No. 11 Torsion pendulum with digital indication of measured quantities. With respect to the moderate damping logarithmic decrement Λ , it is possible to use relations

$$G = J\omega^2/b[1 + (\Lambda/(2\pi))^2] \quad (2)$$

$$\eta/\omega = J\omega^2/(\pi b)\Lambda \quad (3)$$

where $\omega=2\pi k$, $[s^{-1}]$ J is moment of inertia $[\text{kgm}^2]$ η is dynamic viscosity $[\text{Pa}]$ G is shear modulus of elasticity $[\text{Pa}]$ b is geometric factor of the hair cross-section, we take it over from Chi-Teh Wang: Applied Elasticity. Publisher: McGraw Hill, New York 1953 (ISBN 10: 0070681252 / ISBN 13: 9780070681255) or F. Mašáň, Příklady z biomechaniky 36 formula 36.7, that are derived on somewhat different assumptions though.

$$b = \pi R^4/(2l) = \pi(6510^{-6})^4/(20,025) = 1.1210^{-15} \text{m}^3 \quad (4)$$

$$\eta/\omega = 0.115 \cdot 10^{-6} \cdot 12.33/1.12 \cdot 10^{-15} = 12.3^2/1.12 \cdot 10^{-15} (1 + (0.0239/(2\pi))^2) = 15.5 \text{GPa s} \quad (5)$$

$$\Lambda = e^{-1/(k\tau)} = 0.00239$$

where R is radius of hair and l is its length

Results

It turns out that the modulus of elasticity and the viscosity of a given hair in the state given can be determined by this method. The thing is that the character of the oscillations correspond relatively well to the oscillations of a damped pendulum. A deviation from the mathematical pendulum can be observed in that small oscillations are faster than large ones. The stiffness of the hair is therefore higher at small swings than at large ones. Much like for all other animal materials, for the elasticity holds that

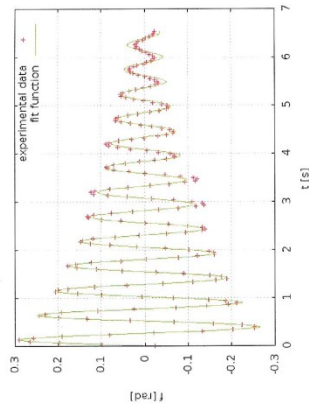


Figure 2: Scheme of the measuring device. H - human hair, M - mirror, F - bar, f - measured angle, a - zero axis, V - screen, L - laser, C - camera.

76

where F is the force induced by the sample, x is sample deformation and κ is a constant close to one from below, here for the hair 0.985. This is a bit more than for the skin, vascular walls or intervertebral discs, see J. Zeman ISBN: 954-9526-11-6; Acad. G. Bondchev, bl. 8; proceedings of the 12th European conference on clinical hematology; Bulgarian academy of sciences; Sophia 2003; pp. 90-93; which plays up to the idea that the factor depends on the water amount in the tissue.

There certainly remains the question how to determine the hair density, how to experimentally define its humidity and what is the impact of the fly-to-air friction, thus what is the influence of the air pressure on the measurement. It appears unfortunately that without the fly with a substantially different main moment of inertia, the oscillations are very badly defined and it comes to superposition of different oscillation types. Measurement in vacuum is also not advisable for biological samples, for their native water contents. As for the effect of the temperature, we intend to deal with it by a thermal chamber in the next work. Derivation of more proper relations for determining material parameters does not match the experimental character of our work, that is why approximate formulas from the literature will be used. Despite the fact that the fitting of the measured data with a curve corresponding to viscid damping is rather satisfactory, we can obtain a by 10% better sum of squares when we assume that some part of the damping corresponds to solid friction and the energy is lost proportionally to the travelled distance. This behaviour of the sample does not meet our expectation and we can't explain it in a satisfactory way.

Conclusion

Oscillation quality and their character have been checked and it has been confirmed, that the measurement with the use of optical gates is worth for the measurement of human hair also. Measured values correspond approximately to the values found for creatine. A non-linearity has been found that is of similar character as in other animal tissues.

8.13 Časové rozložení denních teplot na povrchu lidské hlavy při fyzických aktivitách (Věda v pohybu pohyb ve vědě)

Časové rozložení denních teplot na povrchu lidské hlavy při fyzických aktivitách

Temporal distribution of daily temperature on the surface of the human head during physical activities

Skřontová M.¹, Šimková L.¹, Zeman J.² & Jelen K.¹

¹ Katedra anatomie a biomechaniky, Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy v Praze

² Katedra fyziky, Technická fakulta České zemědělské univerzity v Praze
skrontova.m@seznam.cz

Abstrakt

Tato studie se zabývá popisem experimentu a jeho výsledky, jenž má za cíl monitorovat kontinuálně teplotu povrchu hlavy. Měření probíhalo po dobu 48 hodin a sledovala tuto veličinu (teplotu) při různých denních i nočních aktivitách zkoumaných osob. Teplota byla snímána s periodou deseti sekund kontaktně na temeni ženské hlavy a v digitální podobě zaznamenávána do paměti připojeného minipočítače neovlivňujícího pohyb zkoumaných osob. Výsledkem práce je histogram výskytu jednotlivých teplot a rychlosti jejich změn, dále pak důkladnější analýza částí tepelného vývoje v obdobích zvýšené fyzické aktivity. V rámci této případové studie byl získán základní přehled o chování této veličiny v průběhu dne. Tato data budou využita například pro získání přehledu o tepelném namáhání složité struktury lidských vlasů.

Klíčová slova

Lidský vlas, nativní rozmezí teplot, viskoelastická vlasu, keratin, hygroskopický biopolymer

Abstract

This study describes the experiment and its results, which aims to continuously monitor the temperature of the surface of the head. Measurements were carried out for 48 hours and watched this value (temperature) at different daytime and nighttime activities surveyed individuals. The temperature was scanned with a period of ten seconds through contact on top of the woman's head and digitally recorded memory will not affect the minicomputer connected movement of persons surveyed. Result of this work is the histogram of temperature and speed of their changes, as well as a more thorough analysis of the heat evolution during periods of increased physical activity. In this case study was obtained basic knowledge about the behavior of this quantity during the day. This data will be used for example, to obtain an overview of thermal stress complex structure of human hair.

Key words

Human hair, native range of temperatures, viscoelastic of hair, keratin, hygroscopic biopolymer

Úvod

Vlas, převážně tvořený keratinem, je silně hydrofilní biopolymer, který přirozeně významně mění viskoelastické vlastnosti s teplotou. Lze předpokládat, že změna například Youngova modulu bude v rámci 10 °C téměř řádová alespoň v oblasti zesílení. Je proto účelné

maximálně zúžit oblast zájmu jen na nativní. Úlohou měření v této práci bylo vymezit tuto oblast.

V pokojových podmínkách si keratin zachovává volnou vodu, která je nedílnou součástí keratinové struktury.

Teplotní změny v keratinu silně ovlivňují volnou vodu. V teplotách okolo 100 °C dochází k odstranění volně vázané vody. Uvolnění silně vázané vody je pozorováno při teplotách okolo 140 °C (Humphries, Miller & Wildnauer, 1972). Při teplotách 210 – 250 °C dochází k denaturaci keratinu a k narušení jeho helikálních (spirálovitých) vazeb (Milczarek, Zielinski & Garcia, 1992).

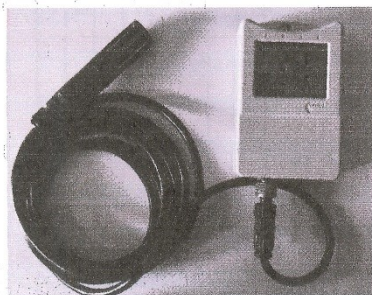
Rebenfeld, Weigmann & Dansizer (1966) sledovali závislost Youngova modulu v tahu na teplotě u lidského vlasu a ovčího vlákna. Tento modul se snižuje s rostoucí teplotou pro oba typy zkoumaných vláken. Youngův modul ovčího vlákna je při stejné teplotě nižší než u lidského vlasu.

Cíl

Cílem bylo zjištění teplotního rozsahu na povrchu ovlášené části hlavy v oblasti týlu během běžného dne. Tyto poznatky budou později využity k tomu, aby laboratorní podmínky, v nichž jsou vlasy zkoumány, byly podobné přirozeným podmínkám, které jsou na hlavě, a aby nedocházelo k ovlivňování mechanických parametrů vlasů vlivem okolní teploty.

Metody

Data byla získána komerčně vyráběným dataloggerem S2131 (obr. 1) k měření teploty, relativní vlhkosti a rosného bodu. Přístroj měří v rozsahu -30 až 105 °C a 0 – 100 % RH. Datalogger se skládá z měřicí sondy a minipočítače. Měřicí sonda byla připevněna v oblasti týlu přímo na pokožku hlavy (obr. 2) a to po celou dobu měření, tj. po dobu 48 hodin. Zkoumaná osoba zaznamenávala svou momentální činnost do formuláře pro pozdější rozklíčování naměřených dat. Teplota byla snímána s periodou deseti sekund a v digitální podobě ukládána do paměti připojeného minipočítače. Získaná data byla zobrazena ve formě tabulky a v grafickém znázornění. K výpočtu základních statistik a ověření hypotéz o normalitě rozdělení byl použitý statistický systém R.



Obrázek č. 1: Datalogger Comet S2131.



Obrázek č. 2: Detail připevnění snímače na zátylku.

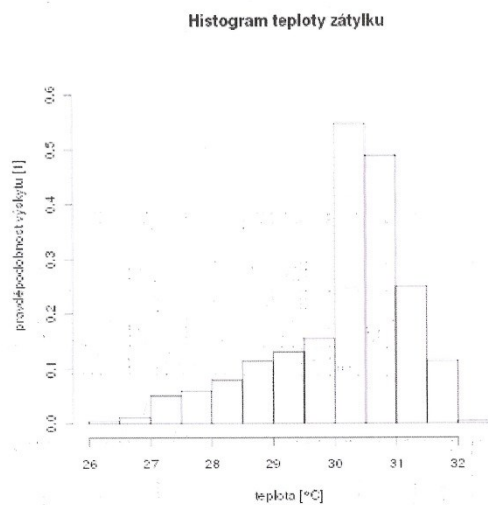
Výsledky



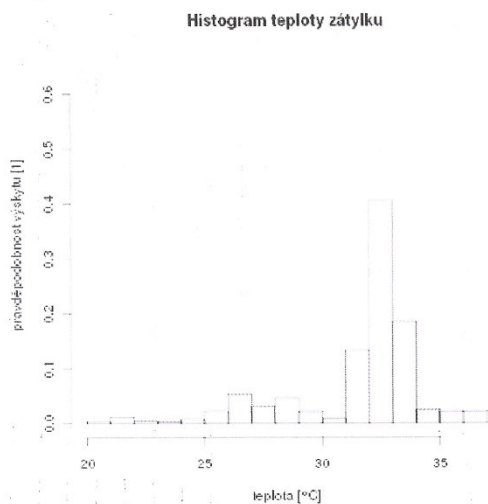
Graf č. 1: Ukázka naměřeného průběhu teplot zátylku

	Proband 1	Proband 2
t [°C]	$31,04 \pm 2,59$	$30,19 \pm 1,09$
t_{\min} [°C]	20,7	26,3
t_{\max} [°C]	36,5	32,2

Tabulka č. 1: Ukázka základních statistik naměřených souborů teplot na hlavách probandek.



Graf č. 2: Vyhodnocení teplotního rozmezí u probanda č. 1.



Graf č. 3: Vyhodnocení teplotního rozmezí u probanda č. 2.

Diskuze

Histogramy i časový průběh ukazují na rozdílnou teplotu ženského zátylku v období denních činností a v průběhu spánku. Tato teplota se liší o několik stupňů Celsia a je poměrně konstantní. Výsledný histogram přes celé dny je dán součtem dvou nezávislých Gaussových

křivek normálních rozdělání. Toto může být způsobeno například rozdílnou intenzitou prokrvení cerebra v různých režimech organismu.

Závěr

Podářilo se nám zúžit teplotní oblast, ve které se nalézají vlasy na zátylku ženských hlav v průběhu běžných dnů a nocí. Tato informace, totiž že se stačí soustředit na teploty od 25 - 35 °C, nám velmi usnadní další experimenty určující viskoelastické vlastnosti ženských vlasů v nativních podmínkách při našich in vitro měřeních.

Poděkování

Tento projekt byl spolufinancován z grantu GACR 407/10/1624, PRVOUK 38.

Literatura

Humphries W. T., Miller D. L. & Wildnauer R. H. (1972). The Termomechanical Analysis of Natural and Chemically Modified Human Hair. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists* 23, 359 - 370.

Milczarek P., Zielinski M. & Garcia M. L (1992). The toughening transition in hair keratin. *Colloid polymer Science* 270:1106, 802 - 804.

Rebenfeld L., Weigmann H. D. & Dansizer C. (1966). Temperature Dependence of the Mechanical Properties of Human Hair in Relation to Structure. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists* 17, 525 - 538.

8.14 Determination of viscoelastic properties of human hair by damped torsion oscillation method (XXIV. Congress of the International Society of Biomechanics, 4. – 9. August 2013, Natal, Brazil)

PS1-23M

DETERMINATION OF VISCOELASTIC PROPERTIES OF HUMAN HAIR BY DAMPED TORSION OSCILLATION METHOD

Marie Skřontová¹, Lucie Šimková², Antonín Havránek^{1,2}, Milan Kveton³, Karel Jelen¹, Bohumil Chalupa⁴ and Josef Zeman⁴

¹FPE, Charles University in Prague, email: skrontova.m@seznam.cz

²FMP, Charles University in Prague

³FNSPE, Czech Technical University in Prague

⁴FE, Czech University of Life Sciences Prague

By means of torsion pendulum oscillation measurement, one can establish the shear elasticity modulus and the viscosity of human hair, and enrich the number of material parameters determined for this material that way. While from the tensile curve the tensile elasticity modulus of the hair is commonly determined and the Poisson ratio can be evaluated by optical methods while tearing, by measuring of the self-sustained oscillations one can effectively determine also their shear elasticity modulus and solid-state dynamic viscosity. This all, in accordance with other authors, assuming homogeneity and isotropy of the hair fibre. Although, from the dependence of the elasticity modulus on the hair diameter, reasonable estimate about the cortex thickness can be done and unravel the knowledge of its modulus and the one of the cuticula. It's necessary though to measure sufficient number of hairs from one head for that purpose. The measurement of damped torsion oscillations takes place in a linear arrangement hair-detector-laser. The hair is placed in a pair of fixed jaws and pre-strained with a weight. In its centre, the hair carries a special mirror; its inertial mass acts as the fly. A laser beam is directed onto the mirror. Its reflection is scanned by a photodetector. Output signal is recorded as .wav by a digital recorder. Two positions near the zero deflection of the mirror are scanned. From the period and from the changing velocity of passing the equilibrium position, shear elasticity modulus and the viscosity are determined.

Keywords: shear elasticity modulus of hair, hair viscosity, torsion pendulum

8.15 The dependence of viscoelastic parameters of hair on its structure (Human Biomechanics, 15. – 16. September 2014, Pilsen, CZ)



properties. Acknowledgement: This research was supported by Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS13/176/OHK2/3T/12.

The dependence of viscoelastic parameters of hair on its structure

M. Skřontová, L. Šimková, J. Zeman, K. Jelen

Charles University, Prague, Czech Technical University in Prague, Czech Republic

skrontova.m@seznam.cz

Hair is a polymer with a composite structure; that's why its dependence of the total viscoelastic properties on its physical sizes is not surprising. Cross dependencies of the viscoelastic parameters, especially their dependence on the diameter of the hair, allows construction of a viscoelastic model of the hair structure and identify its elements with the anatomical structural parts of the hair, then find the characteristic viscoelastic parameters for these parts. We measured parameters such as activation energy, the work necessary to break the hair, relaxation times, the Young's modulus, the ultimate strength and elasticity. 600 samples of Caucasian women's hair have been measured. The demonstration of dependence between these parameters is itself a valuable finding of this pilot study.

8.16 Viscoelastic parameters of mammalian hair (21st Congress of the European Society of Biomechanics, 5. – 8. July 2015, Prague, CZ)

VISCOELASTIC PARAMETERS OF MAMMALIAN HAIR

M. Skrontova¹, L. Simkova¹, J. Zeman², B. Chalupa², K. Jelen¹

¹Faculty of Physical Education and Sports, Charles University, Department of Anatomy and Biomechanics, Prague, Czech Republic

²Faculty of Engineering, Czech University of Life Sciences, Department of Physics, Prague, Czech Republic

INTRODUCTION

The article deals with comparison of mechanical and viscoelastic parameters of various mammalian hair. Authors studying various elastic properties of hair include Robbins (2002). Our team investigates viscous parameters in addition to those above.

METHODS

Hair diameter D was measured optically with 15 repetitions along each fibre. Young's module E , yield strength σ_{yield} , ultimate strength σ_{max} , maximum elongation ϵ_{max} and elasticity limit ϵ_{yield} were determined from deformation curve. Transformation took place at 20 %/min. Viscous properties i.e. relaxation times τ_1 and τ_2 and

their relevances F_1 and F_2 were determined from relaxation curve. Hair samples were cut from withers close to the skin. All measurements were taken at temperature 27 °C and 30 % humidity.

DISCUSSION

These results suggest that various types of molecular bonds are represented differently in different species, resulting in different strength of relaxation effect. We can see in the table that the share of long-term relaxation in rabbit and ferret are very small. The highest share of long-term relaxation is exhibited by domestic pig. It is interesting to note that humans and cats relax the most from all the species of mammals listed above.

RESULTS

VALUE	D [μm]	σ_{yield} [%]	σ_{yield} [MPa]	ϵ_{max} [%]	σ_{max} [MPa]	E [GPa]
human	88 ± 15	7 ± 4	69 ± 29	97 ± 19	224 ± 39	12 ± 2
cat	63 ± 3	4,6 ± 0,2	76 ± 9	23 ± 14	113 ± 22	19 ± 3
dog	88 ± 27	6 ± 0	102 ± 22	75 ± 11	256 ± 66	18 ± 4
guinea pig	74 ± 18	3 ± 1	57 ± 31	29 ± 12	138 ± 79	3 ± 1
rabbit	44 ± 8	1,2 ± 0,9	14 ± 12	14 ± 3	41 ± 19	12 ± 2
sheep	75 ± 6	5,9 ± 0,4	95 ± 14	59 ± 9	228 ± 33	19 ± 3
goat	180 ± 26	7 ± 1	83 ± 24	55 ± 29	206 ± 37	14 ± 2
cow	84 ± 4	6 ± 1	104 ± 14	64 ± 17	221 ± 6	19 ± 5
ferret	86 ± 8	2,9 ± 0,3	28 ± 9	25 ± 1	64 ± 17	10 ± 3
pig	290 ± 32	1,55 ± 0,02	94 ± 27	8 ± 3	125 ± 55	65 ± 17
zebra	39 ± 4	2,9 ± 0,2	1627 ± 165	29 ± 3	3157 ± 453	608 ± 84
lemur	47 ± 2	1,7 ± 0,5	88 ± 16	12 ± 8	155 ± 53	57 ± 4
dromedary	63 ± 4	4 ± 2	38 ± 9	53 ± 7	80 ± 15	1,1 ± 0,1

VALUE	D [μm]	F0 [%]	F1 [%]	F2 [%]	τ_1 [s]	τ_2 [s]
human	89 ± 15	53,21	5,92	7,08	13,22	135,97
cat	64 ± 3	73,15	11,95	11,58	7,02	104,51
dog	88 ± 27	82,97	7,18	11,96	9,39	107,50
guinea pig	74 ± 18	73,62	13,47	10,95	14,20	247,25
rabbit	44 ± 8	88,45	9,36	0	2,50	127,29
sheep	75 ± 6	83,67	6,84	8,04	10,82	99,00
goat	180 ± 26	83,90	8,10	16,51	10,65	158,19
cow	84 ± 4	78,74	6,60	15,92	14,78	338,14
ferret	86 ± 8	82,94	12,47	1,64	18,79	317,49
pig	290 ± 32	78,38	2,60	12,23	28,89	423,22
zebra	39 ± 4	74,81	6,19	10,75	14,32	176,63

ACKNOWLEDGEMENTS

This project was co-financed by the grant GAUK 884214.

REFERENCES

- Robbins, R. C. (2002). *Chemical and Physical Behavior of Human Hair*, 4th ed. ISBN 0-387-95094-X.

8.17 Effect of mechanical parameters hair Caucasian pregnancy women (XXV. Congress of the International Society of Biomechanics, 12. – 16. July 2015, Glasgow, UK)



Biodynamics

PO-0022

EFFECT OF MECHANICAL PARAMETERS HAIR CAUCASIAN PREGNANCY WOMEN

Marie Skřontová¹, Lucie Šimková¹, Josef Zeman², Karel Jelen¹, Bohumil Chalupa²

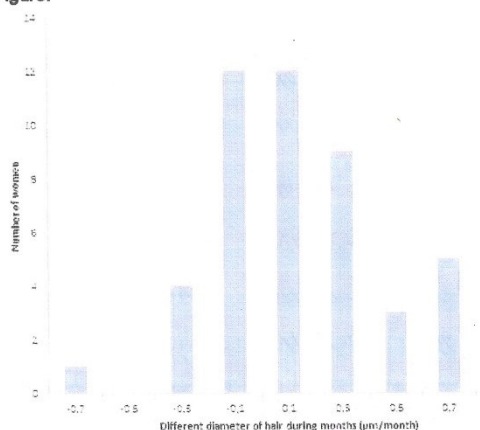
¹Department of Anatomy and Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport, Charles University Prague, Czech Republic, ²Department of Physics, Faculty of Engineering, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic, Prague, Czech Republic

Introduction and Objectives: The objective of this report is to show the changes of mechanical parameters of hairs found that come up during gravidity. The hair shaft consists of three concentric layers: the cuticle, the cortex and the medulla. Each of these components has different structure and function. The cuticle protects the inner parts from the outer environment and from derogation caused by daily treatment. The cortex (90 % of the hair) determines mechanical properties of the hair, and the medulla can sometimes be completely absent [1].

Methods: Samples of hairs have been taken from 50 Caucasian women's scruff each month of their pregnancy. The age of the women ranged from 23 to 43 years. Other samples have been taken after confinement end. Four hairs have been analysed from each taking; 3 samples have been subjected to tensile test and the last one to a relaxation test. Following mechanical parameters have been determined from the measured data: Diameter, modulus of elasticity, elastic limit, yield limit, relaxation times τ_1 and τ_2 and the total percentage of relaxation in the elastic region.

Results: Detectable trend that the gravid women have embodied in mean value has been found for some of these parameters. Although by far not all women display the trend that is valid for mean population, the trend is significant in the whole set e.g. for the hair diameter. It turns out that the hair diameter increases during gravidity, with a rate of $0.4 \mu\text{m}$ per month, the mean diameter being $84 \pm 16 \mu\text{m}$.

Figure:





Conclusion: The distribution of the hair diameter change during gravity can be seen in fig. 1. No dependence between the diameter, standard deviation and the women's age has been found in the age range given.

References: [1] Benzarti et al., World Academy of Science, Engineering and Technology, 74: 471 – 477, 2011.

Disclosure of Interest: None Declared

8.18 Vliv gravitady na tvar a tloušťku vlasu (III. Ročník Experimentální a výpočtové metody v inženýrství, 2. – 3. Června 2016, Ústí nad Labem, ČR)



Vliv gravitady na tvar a tloušťku vlasu

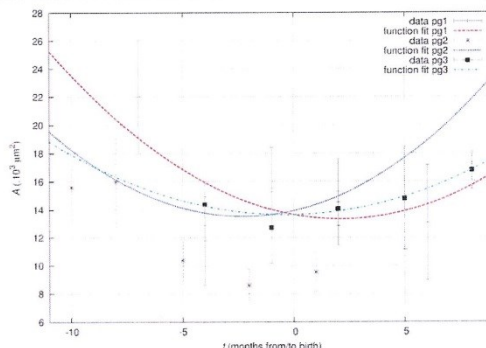
Marie Skřontová¹, Josef Zeman², Lucie Šimková¹, Karel Jelen¹

¹Fakulta tělesné výchovy a sportu, Univerzita Karlova v Praze, 162 52 Praha 6 – Veleslavin. Česká republika. E-mail: skrontova.m@seznam.cz, luciksimik@seznam.cz, jelen@ftvs.cuni.cz

²Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze, 165 21 Praha 6 – Suchdol. Česká republika. E-mail: zeman@dzeta.cz

Klíčová slova: poloosy elipsy, těhotenství, změna tvaru, řez vlasem

Daný příspěvek prezentuje výsledky výzkumu, který je řešen v rámci studentského grantového projektu GAUK 884214 „Závislost reologických parametrů vlasů na exogenních faktorech a zdravotním stavu“, SVV 2016-260346. Lidský vlas se skládá ze tří soustředných částí: kutikuly, kůry a dřene. Každá část má odlišnou strukturu a funkci. Vhodným způsobem, jak studovat změny v organismu, je sledovat ženy v období těhotenství a v období kojení. Během těhotenství dochází v těle matky k mnoha změnám, které mohou mít vliv i na strukturu vlasů. V rámci tohoto projektu byly vytvořeny dvě skupiny vzájemně si odpovídajících žen, kdy jednu z nich tvořily ženy, které v uplynulém roce porodily dítě. Všechny byly Středoevropanky ve věku 23 – 32 let, s rozsahem BMI 23 - 28 kg/m², žijící celý dosavadní život ve městě. Vzorky vlasů byly odstříženy všem ženám ze zátylku. Vlasy, 15 cm dlouhé, byly po třech centimetrech opatřeny voskovými trojhrany. Střední část mezi trojhrany byla fotografována digitálním mikroskopem. Před každým ze třech snímků došlo k pootočení vzorku kolem osy o 120°. V tomto místě pak byl ze snímku stanoven průměr. Takto bylo z každého vlasu pořízeno pět trojic snímků. Z těchto trojic hodnot lze vypočítat excentricitu vlasu v daném místě za předpokladu, že vlas považujeme v řezu za přibližně eliptický. V závěru je prezentován velmi zajímavý výsledek, a to vyhodnocení průřezu vlasů zobrazené v závislosti na čase od porodu (graf č. 1). Trendy průběhů jsou zde proloženy kvadratickou funkcí. Pozoruhodné je, že pro všechny ženy je tento průběh konkávní, neboli, kvadratický člen aproximační rovnice je ve všech případech kladný. Další pozoruhodnou skutečností je blízkost minim kvadratických funkcí na časové ose. Všechny leží v blízkosti porodu, což přesně souhlasí s pozorováním námi zjištěných výsledků z předešlých měření, ale současně je tento výsledek v rozporu s nám dostupnou literaturou, která publikuje nárůst průměrů vlasů v období těhotenství.



Graf 1: Ukazuje závislost průřezu (A) vlasů na čase (t) odpovídajícímu době před a po porodu pro ženy PG 1 – 3, tedy ty kterým se v krátké minulosti narodilo dítě.

Graph 1: This graph shows the dependence of hair cross sections (A) on time (t) corresponding to the period before and after the childbirth for women PG 1-3, i.e. those who gave birth to a baby a short time ago.

Literatura

- [1] Benzarti, M., Tkaya, M. B., Mattei, C. P., Zahouani, H.: *Hair Mechanical Properties Depending on Age and Origin*. World Academy of Science, Engineering and Technology. (2011), no. 74, p. 471 – 477.
- [2] Skřontová, M., Šimková, L., Zeman, J., Chalupa, B., Jelen, K.: *Effect of mechanical parameters hair Caucasian pregnancy women*. In: XXV. Congress of the International Society of Biomechanics ISB 2015, „International Society of Biomechanics, Glasgow 2015, UK“, p. 1402 – 1403.

8.19 Relationship between the medulla and the diameter of ferret hairs (6th International Conference on Trends in Agricultural Engineering, 7. – 9. September 2016, Prague, CZ)



6th International Conference on Trends in Agricultural Engineering
7 - 9 September 2016, Prague, Czech Republic

RELATIONSHIP BETWEEN THE MEDULLA AND THE DIAMETER OF FERRET HAIRS

M. Skřontová¹, L. Šimková², K. Jelen²

¹Department of Anatomy and Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport, Charles University in Prague, Czech Republic

²Department of Anatomy and Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport, Charles University in Prague, Czech Republic

Abstract

The content of this article is a possible explanation of the hair anisotropy, causing the dependence of modulus of elasticity on a hair diameter, which was described in earlier works. The diameter of the medulla part was histologically observed using 27 hairs of 9 different ferrets (*Putorius putorius furo*). The tearing curve was determined for the hairs measured in this way and used to determine material parameters. A linear dependence of medulla thickness on hair diameter was found out, which means a quadratic decrease in the effective cross section of the hair diameter because the modulus of elasticity of the medulla part is lower by two orders than the modulus of elasticity of the cortex. This relationship explains to a considerable extent also the conclusions for the guinea pig (*Cavia porcellus*) hair and the human hairs expressed earlier. At the same time, it is the medulla part what is responsible for the thermal insulation properties of the hair and its description can thus be used when constructing models of materials made of these fibres for their possible industrial applications.

Key words: modulus of elasticity, cross section, guinea pig.

INTRODUCTION

The work focuses on more detailed research on the mechanical properties of animal hairs, especially from the coats of ferrets.

The coat, which is a characteristic of mammals, provides thermal insulation, allows sensory perception, and acts as protection against chemical, physical or microbial damage to the skin (MILLER ET AL., 2012). In the case of animals we can find three types of hairs which produce hair follicles. The primary hair consists of long guard hairs which create the top coat. Each guard hair always grows from its own follicle, but in some cases more hairs can grow from one follicle. The muscles attached to the root of each long hair enable to straighten the hairs. There is also a secondary hair cluster in each guard hair follicle. These secondary hairs include the undercoat. The undercoat function is to provide warmth and protection. Tactile whiskers and eyelashes are the third type of hairs. This type is adjusted to serve as a tactile sensor (ELDREDGE ET AL., 2007).

The hair is embedded in a hair bulb, which is on a fibrous papilla with nourishing blood vessels. The root of the hair is placed in a hair follicle. The hair bulb is connected to a small smooth muscle, which acts as a righting muscle. The hair can be divided into two parts – root and loose hair. The hair root is the part of the hair that is located in the hair follicle under the skin. The loose hair protrudes from the skin (MARTÍNEK, VACEK, 2009).

The hair follicle is composed of five main parts, namely a dermal papilla, which is a group of cells forming a structure right below the follicle, a matrix located around the papilla, which consists of a group of epithelial cells, in which pigment, a hair, and inner and outer cases can be found. The hair itself can be divided into three parts – medulla, cortex and cuticle. The pith (medulla) is the inner part, which consists of longitudinal rows of rectangular cells (PATERSON, 2008). The cortex is the main component of the hair and consists of keratinized cells which are spindle-shaped and flat in shape (MARTÍNEK, VACEK, 2009). Cells containing pigment, melanin, are located here (PATERSON, 2008). Air filled cavities are created in the cells with age and cause the grey to white colour of the hair (MARTÍNEK, VACEK, 2009). The cuticle is the outer layer of the flattened and keratinized cells (PATERSON, 2008). The cells are different in shape and arrangement. They are completely transparent and colourless (have no pigment). They are imbricate and their free edges are oriented to the tip of the hair (MARTÍNEK, VACEK, 2009). The basic motive of this work is to explain why it appears to be decreasing modulus of elasticity with a diameter of hair. An estimate based on the average thickness of the medulla is to be determined dependence of modulus of elasticity on the diameter of the hair.



MATERIALS AND METHODS

In addition to the hair length and thickness, the mechanical properties of hairs are also dependent on the environment, especially on the temperature and relative humidity, in which the samples are examined.

The samples of hairs were taken from 9 ferrets with different lengths of the hair. The most commonly bred ferrets include ferrets with a standard hair length (i.e. shorthaired), followed by angora ferrets (i.e. long-haired). The third type of hair length, polangora, is created by crossbreeding these two types. Samples were cut by a sharp pair of scissors close to the skin surface in the same area, i.e. on the withers.

The diameter (Fig. 1) of each sample was determined using an optical microscope equipped with a digital camera. The diameter was measured 15 times on the first 3 cm of the sample. Always three hairs taken from each animal examined were measured. The overall diameter for a sample concerned was calculated using the values measured in this way. In the case of most samples, it was possible to measure the internal diameter, i.e. the portion of medulla to the overall hair diameter. We obtained two types of diameter in this way and used them for calculations using the software for processing load curve data obtained from the deformation machine because after the diameters were measured, all hairs examined were clamped in the jaws of a Deform type 2 tearing machine and tight-

ened at a speed of 2 mm/min until the breakage itself of the sample. The Deform type 2 tearing machine used by us is suitable for measuring small and slow changes in biological materials. With the tensometer range of up to 20 N and special jaws for measuring fibres, it enables both to determine a classic tearing curve and to measure relaxation or cyclic loading.

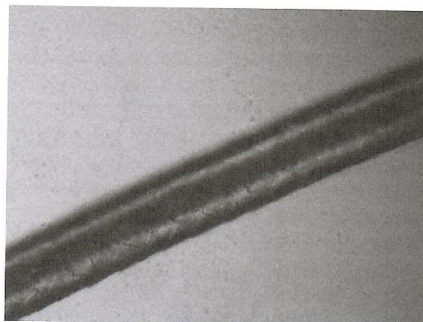


Fig. 1. – A photograph of a hair where its lightness, i.e. the portion of the medulla to the overall diameter of the hair, is clearly visible

The making photography for the purpose of comparability analyzes DEEDRICK AND KOCH (2004), SKŘONTOVÁ ET AL. (2016).

RESULTS AND DISCUSSION

The measurement results are clearly arranged in the form of the table and the graphs below.

Tab. 1 gives the average values of the mechanical and material parameters determined using the tearing curves of the ferret hairs. Each of the means or stan-

dard deviations was determined using 14 measurements. The table gives both the values calculated classically, with the measured full diameter of the samples, and the values with the reduced diameter, i.e. after deducting the cross section of the medulla part.

Tab. 1. – The average values of the mechanical parameters of the ferret hairs determined by us

	D [μm]	E [MPa]	$\sigma_{0.05}$ [MPa]	$\sigma_{0.2}$ [MPa]	σ_f [MPa]	σ_f' [MPa]	ε_f []	ε_f' []	W [mJ]	W_A [MJ/m ³]	w_e [MJ/m ³]
\bar{x}	349	64	1.00	0.91	2.25	2.76	0.22	0.20	0.47	0.37	0.012
\bar{s}_x	67	23	0.57	0.57	0.72	0.90	0.10	0.08	0.21	0.20	0.014
\bar{x}^*	284	92	1.58	1.45	3.27	3.97	0.21	0.19	0.46	0.51	0.020
\bar{s}_x^*	43	35	1.11	1.10	1.01	1.23	0.10	0.08	0.20	0.26	0.022

Glossary to Tab. 1: \bar{x} – arithmetic average of not reduced quantities; \bar{s}_x – average standard deviation of the not reduced quantities; \bar{x}^* – arithmetical average of the reduced quantities; \bar{s}_x^* – average standard deviation of the reduced quantities; E [MPa] – actual modulus of elasticity; $\sigma_{0.05}$ [MPa] – limit of linearity, or so-called limit of elasticity; $\sigma_{0.2}$ [MPa] – yield point; σ_f [MPa] – fracture stress; σ_f' [MPa] – actual fracture stress; ε_f [] – elongation; ε_f' [] – actual relative ultimate elongation; W [mJ] – total mechanical work required for breaking the material; W_A [MJ/m³] – tensile toughness, the amount of energy required for breaking the material related to the initial tensile volume; w_e [MJ/m³] – resilience, the amount of energy in a unit of volume of the material concerned loaded with tensile $\sigma_{0.05}$.



Only not reduced values can be found in literature, e.g. ŠIMKOVÁ ET AL. (2013) or SKŘONTOVÁ ET AL. (2015), and if the material parameters are stated in the works, they generally correspond with the data given here. Some parameters such as resilience or elongation, total mechanical work, or tensile toughness are published newly here. Also reduced parameters determined for the hairs of the ferrets with deducted medulla part cannot be found in literature.

Fig. 2 shows the dependence of the modulus of elasticity of the hairs with no correction. The full diameter is therefore used for calculations here as if the entire profile of the hair is exclusively cortex. As a matter of interest, also the power parameter was released when searching for the function; however, it turned out that the experimentally determined dependence is almost perfectly hyperbolic and the power parameter is very close to minus one.

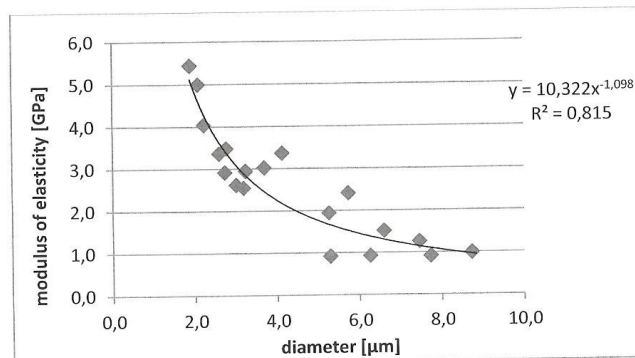


Fig. 2. – Dependence of modulus of elasticity on the diameter of individual hairs

As we can see in Fig. 3, a linear equation can be successfully put on the dependence of medulla diameter on hair diameter. Therefore, we can write the formula $m = 0.7 D - 21$, where m – diameter of the medulla and D – diameter of the hair. This relation enables us to conclude that hairs less than 20 μm thick will not

have medulla at all. This result is new and we have not yet succeeded in finding any similar result in literature. However size of medulla depending on age is observed among black people (ABOAGYE ET AL., 2014; LONGIA, 1966).

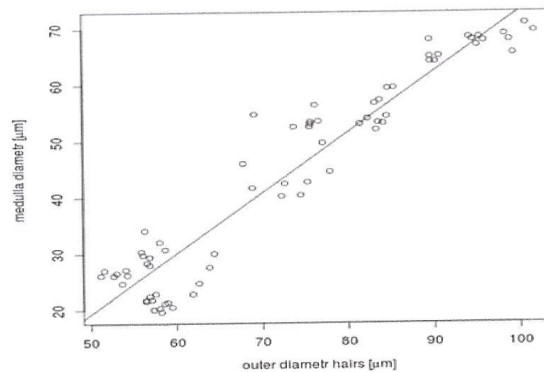


Fig. 3. – The graph shows that the dependence of the diameter of the medulla part is approximately proportional to the overall diameter of the medulla ferret hair



The portion of cortex to medulla can be seen in Fig. 4. According to this graph, it is clear that the most frequent values are found in the range of 0.7 to 0.75. This parameter is very specific for various animal species and can be used to identify an animal by hair. This range for ferrets corresponds with HICKS (1977) and LUNGU ET AL. (2007).

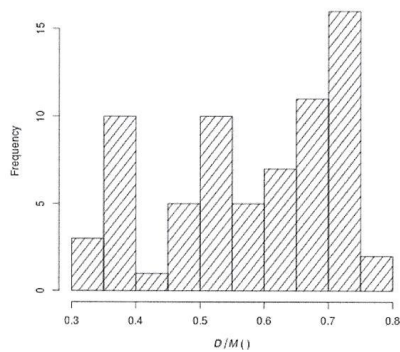


Fig. 4. – Histogram with the ratios of the diameters of ferret hairs and the diameters of their medulla parts shows the greatest occurrence in the 65-75 % region, i.e. the medulla diameter is most frequently 65-75 % or 42-56 % of the cross section of the ferret hair.

CONCLUSIONS

Making the current measurement of the medulla part of a hair and determining the tearing curve for the same hairs, we largely succeeded in explaining the previously published dependence of the modulus of elasticity on the cross section of the hair. We succeeded in showing that the dependence of medulla thickness on hair thickness is linear. At the same time, this means that the dependence of the medulla part of the cross section of the hair on the diameter of the hair

Fig. 5 shows the dependence of the determined modulus of elasticity calculated in the usual way, where a hair is regarded as isotropic material despite its great anisotropy, and at the same time the values of the same hairs calculated for the cross section of the cortex only, which is the main support part of the hair. We can see that only a small part of the dependence of module on hair diameter remains unexplained.

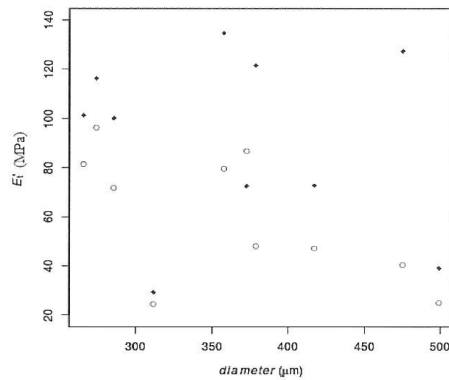


Fig. 5. - Dependence of modulus of elasticity (E_t') on hair diameter.

ACKNOWLEDGEMENTS.

This project has been co-financed from the GAUK 884214, SVV 2016-260346.

REFERENCES

1. ABOAGYE, B., AHENKORAH, J., HOTTOR, B., ADDAI, F.: Comparative Characteristics Of Black And Grey Chest And Selected Facial Hairs In Negroid Males. The Internet Journal of Biological Anthropology, 2014; vol. 7, no. 1.
2. DEEDRICK, D. W., KOCH, S. L.: Microscopy of Hair Part II: A Practical Guide and Manual for Animal Hairs. Forensic Science Communications (online), 2004; vol. 6, no. 3.
3. ELDRIDGE, D. M., CARLSON, L. D., CARLSON, D. G., GIFFIN, J. M.: Dog Owner's Home Veterinary handbook. Wiley, New Jersey, 2007.
4. HICKS, J. W.: Microscopy of hairs, A Practical Guide and Manual, 1977.
5. LONGIA, H. S.: Increase in medullary index of human hair with passage of time. J. Crim. L. Criminology and Police Sci., vol. 57, 1966; p. 221 – 222.



6th International Conference on Trends in Agricultural Engineering
7 - 9 September 2016, Prague, Czech Republic

6. LUNGU, A., RECORDATI, C., FERRAZZI, V., GALLAZZI, D.: Image analysis of animal hair: Morphological features useful in forensic veterinary medicine. *Lucrări Științifice Medicină Veterinară*, vol. XL, Timișoara, 2007: 439 – 446.
7. MARTÍNEK, J., VACEK, Z.: *Histological atlas*. Grada Publishing, Prague, 2009 (in Czech).
8. MILLER, W. H., GRIFFIN, C. E., CAMPBELL, K. L.: *Muller and Kirk's Small Animal Dermatology*, 7th edition, Saunders-Elsevier, St. Louis, 2012.
9. PATERSON, S.: *Manual of Skin Diseases of the Dog and Cat*. Blackwell Publishing, Chichester – West Sussex, 2008.
10. SKŘONTOVÁ, M., ŠIMKOVÁ, L., JELEN, K., CHALUPA, B., ZEMAN, J.: Viscoelastic Parameters of Mammalian Hair. In: 21st Congress of the European Society of Biomechanics ESB 2015, Published by Czech Technical University in Prague, 5 – 8 July 2015, Prague, Czech Republic, p. 503.
11. SKŘONTOVÁ, M., ZEMAN, J., ŠIMKOVÁ, L., JELEN, K.: Influence of pregnancy on the shape and thickness of a hair. In: *Experimental and Computational Methods in engineering EVM 2016*, Published by Department of Machinery and Mechanics, Faculty of Production Technology and Management, University Jana Evangelisty Purkyně Ústí nad Labem, 2 – 3 June 2016, Ústí nad Labem, Czech Republic, (in Czech).
12. ŠIMKOVÁ, L., SKŘONTOVÁ, M., JELEN, K., CHALUPA, B.: Determination of different animal species hair viscoelastic. In: 5th International Conference Trends in Agricultural Engineering TAE 2013, Published by Czech University of Life Sciences Prague, 3 – 6 September 2013, Prague, Czech Republic, p. 590 – 594.

Corresponding author:

Marie Škrontová, Department of Anatomy and Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport, Charles University in Prague, José Martího 269/31, 162 52 - Praha 6 – Veveřslavín, phone: +420-736605076, e-mail: skrontova.m@seznam.cz

9 SEZNAM LITERATURY

Anzuino, G. (1968): Private communication in Robbins C. R. (2002). *Chemical a Physical Behavior of Human Hair*. 4th ed., ISBN 0-387-95094-X.

Araújo, R., Fernandes, M., Cavaco-Paulo, A., Gomes, A. (2010): Biology of human hair: know your hair to control it. In: *Biofunctionalization of Polymers and their Applications* (Nyanhongo, G. S., Steiner, W., Gübitz, G., eds.) Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, pp. 121 – 143.

Barba, C., Martí, M., Manich, A., Carila, J., Parra, J., Coderch, L. (2010): Water absorption/desorption of human hair and nails. *Thermochim. Acta*, vol. 503 – 504, pp. 33 – 39.

Barman, J. M., Astore, I., Pecoraro, V. (1965): The normal trichogram of the adult. *J. Invest. Dermatol.*, vol. 44, pp. 233.

Barnard, W., White H. (1954): *Textile Res. J.*, vol. 24, pp. 695.

Barnett, G. (1952): *The Swelling of Hair in Aqueous Solutions and Mixed Solvents*, MS Thesis. Polytechnic Institute of Brooklyn, Brooklyn, NY.

Barnett, R. J., Seligman, A. M. (1952): Histochemical demonstration of protein bound sulfhydryl groups. *Science*, vol. 116, pp. 323 – 327.

Bartels, N. G., Stieler, K., Richter, H., Patzelt, A., Ladermann, J., Blume-Peytavi, U. (2011): Optical coherent tomography: promising in vivo measurement of hair shaft cross section. *Journal of Biometrical Optics*, vol. 16(9). 096003. doi:10.1117/1.3626210.

Bartošová, L., Jorda, V., Šťáva, Z. (1982): *Choroby vlasů a ovlášené kůže*. Avicenum, zdravotnické nakladatelství Praha, 1. vydání, pp. 256.

Benzarti, M., Tkaya, M. B., Mattei, C. P., Zahouani, H. (2011): Hair Mechanical Properties Depending on Age and Origin. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 74, pp. 471 – 477.

Bhushan, B. (2008): Nanoscale characterization of human hair. *Elsevier Science*, vol. 53 (4), pp. 585 – 710.

Bhushan, B. (2010): *Biophysics of Human Hair: Biological and Medical Physics*, Biomedical Engineering. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.

Bisbing, R. E. (2000): Hair, Comparison: Microscopic. In: Siegel, Jay A., Saukko, Pekka J., Knupfer, Geoffrey C., ed., *Encyclopedia of Forensic Sciences*. Academic press, A Harcourt Science and Economic Company, pp. 1002 – 1016.

Blackmore-Prince, Ch., Hatlow, S. D., Gargiullo, P., Lee, M. A., Savitz, D. A. (1999): Chemical Hair Treatments and Adverse Pregnancy Outcome among Black Women in Central North Carolina, *American Journal of Epidemiology*, vol. 149 (8), pp. 712 – 716.

- Blume-Peytavi, U., Tosti, A., Whiting, D. A., Trüeb, R. M. (2008): Hair Growth and Disorders. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bogaty, H. (1969): Differences Between Adult and Children's Hair. *J. Soc. Cosmetic Chemistry*, vol. 20, pp. 159 – 171.
- Bolduc, Ch., Shapiro, J. (2001): Hair Care Products: Waving, Straightening, Conditioning, and Coloring. Elsevier Science, vol. 19 (4), pp. 431 – 436.
- Bouillon, C., Wilkinson, J. (2005): The Science of Hair Care.
- Brancik, J., Datyner, A. (1977): *Textile Res. J.*, vol. 47, pp. 662.
- Braun-Falco, O. (2000): Dermatology and venerology. Springer-Verlag. Berlin, pp. 1118 – 1134.
- Busch, P. (1984): 3d Int. Hair Science Symp., Syburg, W. Germany.
- Cade, P. (1995): Chemical hair straighteners, waves and treatment products. Edison: Croda, pp. 1 – 21.
- Cibulka, J., Fučíková, A., Härtlová, H., Jílek, F., Lánská, V., Sedmíková, M. (2004): Základy fyziologie hospodářských zvířat. Česká zemědělská univerzita, Praha. ISBN 80-213-1247-5.
- Černá, R. (2004): Kniha o těhotenství a porodu. Anthea Praha. ISBN 80-239-3973-4.
- Čihák, R. (2004): Anatomie 3. Praha: Grada Publishing, pp. 692. ISBN 978-80-247-1132-4.
- Danilatos, G., Feughelman, M. (1979): Dynamic mechanical properties of α -keratin fiber during extension. *J. Macrol. Sci. – phys.*, vol. B16 (4), pp. 581 – 602.
- Dart, S., Peterson, L. (1949): *Textile Res. J.*, vol. 19, pp. 89.
- Dawber, R. P. R., Messenger, A. G. (1997): Hair follicle structure, keratinization and the physical properties of hair. In: R. Dawber (ed). *Diseases of the Hair and Scalp*. 3rd edn. Oxford: Blackwell science, pp. 23 – 50.
- Dekio, S., Jidoi, J. (1988): Hair low-sulphur protein composition does not differ electrophoretically among different races. *J. Dermatol.*, vol. 15, pp. 393 – 396.
- Dekio, S., Jidoi, J. (1990): Amounts of fibrous and matrix substances in hairs of different races. *J. Dermatol.*, vol. 17, pp. 62 – 64.
- Dias, T. C. S. (2004): Análise da ação condicionadora de substâncias cosméticas adicionadas em alisante capilar à base de tioglicolato de amônio. São Paulo, pp. 106. (Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Universidade de São Paulo).
- Dias, T. C. S., Baby, A. R., Kaneko, T. M., Velasco, M. V. R. (2007): Relaxing/straightening of Afro-ethnic hair: historical overview. *J. Cosmet. Dermatol.*, Oxford, vol. 6 (1), pp. 2 – 5.

- Dostál, J. (2007): Genetika a šlechtění plemen psů. ISBN 978-80-7322-104-1
- Douglas W. Deedrick, Sandra L. Koch, (2004): Microscopy of Hair Part 1: A Practical Guide and Manual for Human Hairs, Forensic Science Communications, January, vol. 6, pp. 12 – 30.
- Draelos, Z. D. (2010): Cosmetic dermatology products and procedures. Singapore: John Willey & Sons, pp. 532. 9781405186353.
- Downes, J. G., McMahon, G. B. (1961): The Use of Unheated Air in the Drying of Wool. Textile Research Journal, vol. 31, pp. 66.
- Eckstrom, M. (1951): J. Soc. Cosmet. Chem., vol. 2, pp. 244.
- Ehrhardt, H. Private communication. In: Robbins 2002, Chemical and Physical Behavior of Human Hair, 4th ed. ISBN 0-387-95094-X.
- Feřtek, O. (1987): Kosmetická problematika v dermatologické praxi. Praha: Avicenum, pp. 276.
- Fetter, V. et al. (1963): Antropologie a somatologie pro posluchače biologie na přírodovědeckých fakultách. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, pp. 318.
- Feughelman, M. (1994): A Model for the mechanical properties of the alpha-keratin cortex. Text. Res. J., vol. 64 (1194), pp. 238.
- Fortier, P., Suei, S., Kreplak, L. (2012): Nanoscale Strain-Hardening of Keratin Fibers. Plos One, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0041814>
- Franbourg, A., Hallegot, P., Balteenneck, F., Toutain, C., Lerroy, F. (2003): Current research on ethnic hair. J. Am. Acad. Dermatol., pp. 115 – 119.
- Franca-Stefoni, S. A., Dario, M. F., Sa-Dias, T. C., Bedin, V., de Almeida, A. J., Baby, A. R., Velasco, M. V. R. (2015): Protein loss in human hair from combination straightening and coloring treatments. Journal of cosmetic dermatology, vol. 14, pp. 204 – 208.
- Gaudette, B. D. (2000): Hair, Identification of Human and Animal Hair. In: Siegel, Jay A., Saukko, Pekka J., Knupfer, Geoffrey C. ed., Encyclopedia of Forensic Sciences. Academic press, A Harcourt Science and Economic Company, pp. 1034 – 1041.
- Gawalowski, K. (1955): Obecná dermatologie pro lékaře a mediky. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství, pp. 778.
- Guohua, W., Bhushan, B., Torgerson, P. M. (2005): Nanomechanical characterization of human hair using nanoindentation and SEM. Ultramicroscopy, vol. 105 (1 – 4), pp. 248 – 266.
- Harkey, M. R. (1993): Anatomy and physiology of hair. Forensic Science International, vol. 63, pp. 9 – 18.
- Hartigan, J. A. (1975): Clustering algorithms. John Wiley and sons Inc.

Hay, J., Wall, C. (2011): Mechanical Characterization of Brown and Grey Hair. Agilent Technologies.

Havránek, A. (2003): Klasická mechanika II. Kontinuum. Karolinum, Praha. ISBN 80-246-0627-5.

Havránek, A. (2007): Úvod do bioreologie. Karolinum, Praha. ISBN 978-80-246-1445-8.

Havránek, A. (2013): ústní sdělení.

Hearle, J., Morton, W. (2008): Physical Properties of Textile Fibers. 4th edition, Woodhead Publishing.

Heid, H. W., Werner, E., Franke, W. W. (1986): The complement of native alphakeratin polypeptides of hair-forming cells: a subset of eight polypeptides that differ from epithelial cytokeratins. *Differentiation*, vol. 32, pp. 101 – 119.

Hellmeyer, L., Hahn, B., Fischer, C., Hars, O., Boekhoff, J., Maier, J., Hadji, P. (2014): Quantitative ultrasonometry during pregnancy and lactation: a longitudinal study. *Osteoporosis international*, vol. 26 (3), pp. 1147 – 1154.

Hendl, J. (2016): ústní sdělení.

Hollfelder, B., Blankenburg, G., Wolfram, L. J., Höcker, H. (1995): Chemical and physical properties of pigmented and non-pigmented hair ('grey hair'). *International Journal of Cosmetic Science*, vol. 17, pp. 87 – 89.

Holt, H. B., Medbak, S., Kirk, D., Guirgis, R., Hughes, I., Cummings, M. H., Meeking, D. R. (2005): Recurrent severe hyperandrogenism during pregnancy: a case report. *J. Clin. Pathol.*, vol. 58, pp. 439 – 442.

Huck, P., Baddiel, C. (1971): The mechanical properties of virgin and treated human hair fibers; a study by means of the oscillating beam method. *J. Soc. Cosmet. Chem. G. B.* 410, pp. 401 – 410.

Humphries, W. T., Miller, D. L., Wildnauer, R. H. (1972): The Termomechanical Analysis of Natural and Chemically Modified Human Hair. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, vol. 23, pp. 359 – 370.

Chamberlain, N. H., Speakman Leeds, J. B. I. (1931): Über Hysteresiserscheinungen in der Wasseraufnahme des Menschenhaares. *Z. Elektrochem. Angew. Phys. Chem.*, vol. 37 (7), pp. 374 – 377.

Itami, S. (2004): Pathomechanism of androgenetics alopecia and new treatment. *Nippon Ronen Igakkai Zasshi*, vol. 41 (6), pp. 598 – 600.

Jamart, J., Djaghoul, M., Bergheau, J. M., Zahouani, H. (2015): Effect of water desorption on the rheology and dynamic response of human hair a non-contact impact. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, vol. 46, pp. 176 – 183.

Jelen, K., Skřontová, M., Šimková, L., Zeman, J., Tlapáková, E., Fanta, O. (2014): Changes in the mechanical parameters of hair in a group of women in reproductive age. *Neuroendocrinology Letters*, vol. 35 (6), pp. 101 – 109.

Jolles, P., Zahn, H. (1995): *Hair: Biology and Structure*. Berlin: Springer-Verlag.

Juez, J. L., Gimier, L. (1983): *Ciencia cosmética*. 2.ed. Madrid: Soc. Espanhola de Quim. Cosmet., pp. 98 – 119.

Junqueira, L. C, Carneiro, J., Kelly, R. O. (1989): *Basic histology*. 6th ed. Prentice-Hall International, Inc. Appleton and Lange. San Mateo, CA.

Kamath, Y. K., Hornby, S. B., Weigmann, H. D. (1984): Mechanical and fractographic behavior of negroid hair. *J. Soc. Cosmet. Chem.*, vol. 35, pp. 21 – 43.

Kaplin, I. J., Schwan, A., Zahn, H. (1982): Effects of cosmetic treatments on the ultrastructure of hair. *Cosmet. Toiletries*, Carol Stream, vol. 97 (8), pp. 22 – 25.

Karlsson, M. K., Ahlborg, H. G., Karlsson, C. (2005): Maternity and bone mineral density. *Acta orthopaedica*, 76 (1), pp. 2 – 13.

Kassenbeck, P. (1981): Morphology nad fine structure of hair. In: *Hair research*, edited by Orfanos, C., Montagna, W., Stuttgen, G. Eds., Springer-Verlag Berlin and Heidelberg, pp. 52 – 64.

Kaswell, E. R. (1953): *Water Repellency and Water Resistance in Textile Fibers, Yarns and Fabrics*. Reinhold, New York, pp. 236 – 255.

Kelly, Raymond et al. (2000): Hair analysis for drugs of abuse. Hair color and race differentials or systematic differences in drug preferences? *Forensic Science International*, vol. 107, pp. 63 – 86.

Kharin, A., Varghese, B., Verhagen, R., Uzunbajakava, N. (2009): Optical properties of the medulla and the cortex of human scalp hair. *J. Biomed. Opt.*, vol. 14, pp. 1 – 7.

Klika, E., Vacek, Z., Dvořák, M., Kapeller, K. (1985): *Histologie*. Avicenum, Praha.

Klír, P. (1999): Identifikace stop biologického původu. In: Vorel, F. jr. ed. a kol., *Soudní lékařství*, Praha: Grada Publishing, pp. 425 – 456.

Knobloch, E. (1955): *Soudní lékařství a soudní kriminalistika*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.

Kojima, T., Yamada, H., Saito, Y., Nawa, T., Isobe, M., Yamamoto, T., Aoki, D., Matsushita, Y., Fukushima, K. (2015): Investigation of dyeing behaviour of oxidative dye in fine structures of the human hair cuticle by nanoscale secondary ion mass spektrometry. *Skin research and technology*, vol. 21, pp. 295 – 301.

Konrádová, V., Uhlík, J., Vajner, L. (2000): *Funkční histologie*. Jinočany: H&H, pp. 289.

Kreplak, L., Franbourg, A., Briki, F., Leroy, F. (2002): A new deformation model of hard α -keratin fibers at the nanometer scale: implications for hard α -keratin intermediate filament mechanical. *Biophys. J.*, vol. 82.

Kshirsagar, S. V., Singh, B., Fulari, S. P. (2009): Comparative Study of Human and Animal Hair in Relation with Diameter and Medullary Index. *Indian Journal of Forensic Medicine and Pathology*. July-Sept 2009, vol. 2 (3), pp. 105 – 108.

Lai-Cheong, J. E., McGrath, J. A. (2009): Structure and function of skin, hair and nails. *Medicine*, vol. 37, pp. 223 – 226.

Langbein, L., Rogers, M. A., Winter, H., Praetzel, S., Beckhaus, U., Rackwitz, H. - R., Schweizer, J. (1999): The catalog of human hair keratins. *J. Biol. Chem.*, vol. 274, pp. 19874 – 19884.

Longo, V. M., Monteiro, V. F., Pinheiro, A. S., Terci, D., Vasconcelos, J. S., Paskocimas, C. A., Leite, E. R., Longo, E., Varela, J. A. (2006): Charge density alterations in human hair fibers: an investigation using electrostatic force microscopy. *Int. J. Cosmet. Sci., Oxford*, vol. 28 (2), pp. 95 – 101.

Mamada, A., Nakamura, K. (2007): A study of the volume and bounce decrease in hair with aging usin bending elasticity measurements. *J. Cosmet. Sci.*, vol. 58, pp. 485 – 494.

Marieb, E. N. a Mallatt, J. (2005): *Anatomie lidského těla*. 1. vyd. Brno: CP Books, pp. 880, 80-251-0066-9.

Marschner, S. R., Jensen, H. W., Cammarano, M., Worley, S., Hanrahan, P. (2003): Light Scattering from Human Hair Fibers. *ACM Transactions on Graphics, Proceedings of ACM Siggraph*, vol. 22 (3), pp. 780 – 791.

Maršík, F. (2016): ústní sdělení.

Marvan, F., Hampl, A., Hložánková, E., Kresan, J., Massanyi, L., Vernerová, E., Jelínek, K. (1992): *Morfologie hospodářských zvířat*. Brázda, Praha. ISBN 80-209-0319-4.

Marvan, F. et al. (2007): *Morfologie hospodářských zvířat*. Praha: Česká zemědělská universita v Praze, ISBN 8020903194.

McManus, I. C. (1983): Biomodality of blood pressure levels. *Statistics in medicine*, vol. 2, pp. 253 – 258.

Menkart, J., Wolfram, L. J., Mao, I. (1996): Caucasian hair, Negro hair and wool: similarities and differences. *J. Soc. Cosmet. Chem.*, vol. 17, pp. 769 – 787.

Mercer, E. H. (1953): The heterogeneity of the keratin fibers. *Text. Res. J.*, vol. 23, pp. 388 – 397.

- Michalíková, H. (2002): Struktura vlasu a vlasový cyklus. In: Arenberger, Petr a kol., *Klinická trichologie*. Praha: Maxdorf.
- Milczarek, P., Zielinski, M., Garcia, M. L. (1992): The toughening transition in hair keratin. *Colloid polymer Science*, vol. 270 (1106), pp. 802 – 804.
- Miranda-Vilela, A. L., Botelho, A. J., Muehlmann L. A. (2013): An overview of chemical straightening of human hair: technical aspects, potential risks to hair fibre and health and legal issues. *International Journal of Cosmetic Science*, pp. 1 – 10.
- Montagna, W., Carlisle, K. S. (1981): Considerations on hair research and hair growth. In: *Hair research*, edited by Orfanos, C. E., Montagna, W., Stuttgart, G. (Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag), pp. 3 – 11.
- Monteiro, V. F., Maciel, A. P., Longo, E. (2005): Thermal analysis of caucasian human hair. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 79, pp. 289 – 293.
- Montgomery, D., Milloway, W. (1952): *Textile Res. J.*, vol. 22, pp. 79.
- Mowat, I., Parmar, R. N., Speakman, P. T., Woodhouse, J. M. (1982): Crimp, amino-acid composition, and the proportion of orthocortical, pamacortical and mesocortical cells in wools from different breeds of sheep. *Journal of the Textile Institute*, vol. 73, pp. 246 – 248.
- Nappe, C., Kermici, M. (1989): Electrophoretic analysis of alkylated proteins of human hair from various ethnic groups. *J. Soc. Cosmet. Chem.*, vol. 40, pp. 91 – 99.
- Nikiforidis, G., Tsambaos, D., Balas, C., Bezerianos, A. (1993): A Method for the Determination of Viscoelastic Parameters of Human Hair in relation to its structure. *Skin Pharmacol*, vol. 6, pp. 32 – 37.
- Nissimov, J., Elchalal, U. (2003): Scalp hair diameter increases during pregnancy. *Clinical and experimental dermatology*, vol. 28, pp. 525 – 530.
- Pařízek, A. (2009): *Kniha o těhotenství a dítěti – Český průvodce těhotenstvím, porodem, šestinedělím – až do dvou let dítěte (4. vydání)*. Galén Praha. ISBN 9788072626533.
- Peterka, E. (1976): *Materiály pro I. a II. ročník SOU, učební obor kadeřník, kadeřnice*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, pp. 128.
- Peterka, E., Kocourek, F., Podzimek, M. (2004): *Materiály pro učební obor Kadeřník*. Praha: Informatorium. ISBN 8073330202.
- Pichon, E. (1989): *Etude des propriétés mécaniques du cheveu. Essais de traction et de relaxation. Modélisation. Rôle de divers facteurs expérimentaux*. Thèse Sciences 1989 – 18 – N d'ordre: 104.
- Pinkus, H. (1981): Alterations of the hair follicle in hair diseases. In: *Hair research*, edited by Orfanos, C. E., Montagna, W., Stuttgart, G. (Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag), pp. 237 – 243.

- Popescu, C., Höcker, H. (2007): Hair the most sophisticated biological composite material. *Chem. Soc. Rev.*, vol. 36 (8), pp. 1282 – 1291.
- Porter, C. P., Dixon, F., Khine, Ch-Ch., Pistorio, B., Bryant, H., De La Mettrie, R. (2009): The behavior of hair from different countries. *Journal of Cosmetics Scientists*, vol. 60, pp. 97 – 109.
- Randall, V. A., Ebling, F. J. G. (1991): Seasonal changes in human hair growth. *Br. J. Dermatol.*, vol. 124, pp. 146 – 151.
- Randbrook, R. J. (1964): Neue erkenntnisse über den morphologischen aufbau des menschlichen haares. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, vol. 15, pp. 691 – 706.
- Rebenfeld, L., Weigmann, H. D., Dansizer, C. (1966): Temperature Dependence of the Mechanical Properties of Human hair in Relation to Structure. *J. Soc. Cosmetic Chemists*, vol. 17, pp. 525 – 538.
- Reece, W. O. (1998): *Fyziologie domácích zvířat*. Grada Publishing. Praha. pp. 456. ISBN 80-7169- 547-5.
- Rees, J. L. (2003): Genetics of Hair and Skin Color. *Annual Reviews of Genetics*, 37, pp. 67 – 90.
- Reeves, J. R. T., Maibach, H. I. (1977): Drug and chemical induced hair loss. In: Marzulli, F. N., Maibach, H. I. (eds) *Advances in modern toxicology*. Vol. 4. Hemisphere Publishing Corp. Washington, DC/London, pp. 487 – 500.
- Rieger, M. M. (2000): *Harry's Cosmetology*. 8th edition, Chemical Publishing Co Inc, New York.
- Robinson, M. S., Rigby, B. J. (1985): *Textile Res. J.* vol. 55, pp. 597.
- Robbins, C. R. (1988): *The physical properties and cosmetic behavior of hair*. New York: Springer-Verlag, pp. 268.
- Robbins, C. R., Crawford, R. J. (1991): Cuticle damage and the tensile properties of human hair. *J. Soc. Cosmet. Chem.*, New York, vol. 42 (1), pp. 59 – 67.
- Robbins, C.R. (1994): *Chemical and physical behavior of human hair*. 3.ed. New York: Springer. pp. 391.
- Robbins, R. C. (2002): *Chemical and Physical Behavior of Human Hair*, 4th ed. ISBN 0-387-95094-X.
- Robbins, C. R. (2012): *Chemical and physical behavior of human hair*. 5th ed. New York: Springer.
- Robertson, J. (2002): *Forensic Examination of Hair*. Taylor & Francis.

Říhová, V. (1951): Vady a choroby vlasů: Trichologie. Zdravotnické nakladatelství, Praha, pp. 235.

Saitoh, M., Uzuka, M., Sakamoto, M. (1970): Human hair cycle. *Journal of Investigative Dermatology*, vol. 54 (1), pp. 65 – 81.

Sedláček, J., Roubík, V. (2007): Fyzika v příkladech. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, pp. 147. ISBN 978-80-213-1711-6.

Shekar, S. N., Duffy, D. L., Frudakis, T., Sturm, R. A., Zhao, Z. Z., Montgomery, G. W., Martin, N. G. (2008): Linkage and Association Analysis of Spectrophotometrically Quantified Hair Color in Australian Adolescents: the Effect of OCA2 and HERC2. *Journal of Investigative Dermatology*, 128, pp. 2807 – 2814.

Shimazaki, H., Shinomoto, S. (2010): Kernel bandwidth optimization in spike rate estimation. *Journal of Computational Neuroscience*, vol. 29 (1), pp. 171 – 182.

Sioka, C., Fotopoulos, A., Papakonstantinou, S., Georgiou, A., Pelidou, S-H., Kyritsis, A. P., Kalef-Ezra, J. A. (2015): The effect of menarche age, parity and lactation on bone mineral density in premenopausal ambulatory multiple sclerosis patients. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*. 4 (4), pp. 287 – 290.

Skřontová, M., Šimková, L., Jelen, K. (2011): Hair quality in gravid versus non-gravid women. *Acta Universitatis Carolinae, Kinanthropologica*, vol. 47 (2), pp. 117 – 125.

Skřontová, M., Šimková, L., Zeman, J., Jelen, K. (2012): Změny mechanických parametrů vlasů u žen v reprodukčním věku. In: *Stárnutí 2012*, 3. lékařská fakulta Univerzity Karlovy v Praze, 26 – 27. října 2012, Praha, Česká republika, pp. 31.

Skřontová, M., Šimková, L., Zeman, J., Jelen, K. (2014): The dependence of viscoelastic parameters of hair on its structure. *Human Biomechanics 2014*, University of West Bohemia, Pilsen, Czech Republic, pp. 22.

Skřontová, M., Šimková, L., Zeman, J., Chalupa, B., Jelen, K. (2015 a): Effect of mechanical parameters hair Caucasian pregnancy women. XXV. Congress of the International Society of Biomechanics ISB 2015, International Society of Biomechanics, Glasgow, UK, pp. 1402 – 1403.

Skřontová, M., Šimková, L., Jelen, K., Chalupa, B., Zeman, J. (2015 b): Viscoelastic Parameters of Mammalian Hair, In: *21st Congress of the European Society of Biomechanics 2015*, Published by Czech Technical Univerzity in Prague, 5 – 8 July 2015, Prague, Czech Republic, pp. 503.

Skřontová, M., Šimková, L., Jelen, K. (2016 a): Relationship between the medulla and the diameter of ferret hairs. In: *6th International Conference Trends in Agricultural Engineering TAE 2016*, Published by Czech University of Life Sciences Prague, 7 – 9 September 2016, Prague, Czech Republic, pp. 597 – 601.

Skřontová, M., Zeman, J., Šimková, L., Jelen, K. (2016 b): Vliv gravidity na tvar a tloušťku vlasu. In: Experimentální a výpočtové metody v inženýrství EVM 2016, vydavatel Katedra strojů a mechaniky, Fakulta výrobních technologií a managementu, Universita Jana Evangelisty Purkyně Ústí nad Labem, 2 – 3 června 2016, Ústí nad Labem, Česká republika.

Stalder, T., Kirschbaum, C. (2012): Analysis of cortisol in hair-state of the art and future directions. *Brain Behav Immun*, vol. 26, pp. 1019 – 1029.

Stanic, V., Bettini, J., Montoro, F. E., Stein, A., Evans-Lutterodt, K. (2015): Local structure of human hair spatially resolved by sub-micron X-ray beam. *Scientific reports*. 5. 17347. doi:10.1038/srep17347.

Stenn, K. S., Paus, R. (2001): Controls of Hair Follicle Cycling. *Physiological Reviews*, vol. 81 (1), pp. 450 – 494.

Stroud, J. P. (1987): Diagnosis and management of the hair loss patient. *Cutis* 40, pp. 272 – 276.

Strunecká, A., Patočka, J. (2011): Doba jedová. 1. vyd. Praha; Kroměříž: Triton, pp. 295. ISBN 978-80-7387-469-8.

Syed, A., Kuhajda, A., Ayoub, H., Ahmad, K., Frank, E. M. (1995): African-American hair: its physical properties and differences relative to Caucasian hair. *Cosmet. Toil.* vol. 110, pp. 39 – 48.

Šimková, L., Skřontová, M., Jelen, K., Chalupa, B. (2013): Determination of different animal species hair viscoelastic. In: 5th International Conference Trends in Agricultural Engineering TAE 2013, Published by Czech University of Life Sciences Prague, 3 – 6 September 2013, Prague, Czech Republic, pp. 590 – 594.

Tajima, M., Hamada, Ch., Arai, T., Miyazawa, M., Shibata, R., Ishino, A. (2007): Characteristic features of Japanese women's hair with aging and with progressing hair loss. *Journal of Dermatological Science*, vol. 45 (2), pp. 93 – 103.

Takahashi, T., Hayashi, R., Okamoto, M., Inoue, S. (2006): Morphology and properties of Asian and Caucasian hair. *Journal of Cosmetic Science*, vol. 57, pp. 327 – 338.

Takizawa, Takami et al. (1998): Ultrastructure of Human Scalp Hair Shafts as Revealed by Freeze-Substitution Fixation. *The anatomical record*, vol. 251, pp. 406 – 413.

Titlbachová, S. (1961): Lidské vlasy a zvířecí chlupy. In: Prokopec, M., Suchý, J., Titlbachová, S. *Anthropologické praktikum*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, pp. 90 – 93.

Thibaut, S., deBecker, E., Bernard, B. A., Huart, M., Fiat, F., Baghdadli, N., Luengo, G. S., Leroy, F., Angevin, P., Kermaol, aM., Muller, S., Peron, M., Provot, G., Kravtchenko, S., Saint-Léger, D., Desbois, G., Gauchet, L., Nowbuth, K., Galliano, A., Kempf, J. Y.,

Silberzan, I. (2010). Chronological ageing of human hair keratin fibers. *Int. J. Cosmet. Sci.*, pp. 422 – 434.

Valko, E., Barnett, G. (1952): *J. Soc. Cosmet. Chem.*, vol. 3, pp. 108.

Van Scott, E.J. (1964): The hirsute female. In: *Physiology of hair growth. Clin Obstet Gynecol.*, vol. 7, pp. 1062 – 1074.

Velasco, M.V.R., de Sá Dias, T.C., de Freitas, A.Z., Júnior, N.D.V., de Oliveira Pinto, C.A.S., Kaneko, T.M., Baby, A.R. (2009): Hair fiber characteristics and methods to evaluate hair physical and mechanical properties. *Brazilian journal of pharmaceutical sciences*, vol. 45 (1), pp. 153 – 162.

Wagner, R. C. C., Joekes, I. (2007): Hair protein removal by sodium dodecyl sulfate. *Colloids Surf. B Biointerfaces, Amsterdam*, vol. 41 (1), pp. 7 – 14.

Wei, G., Bhushan, B., Torgerson, P. M. (2005): Nanomechanical characterization of human hair using nanindentation and SEM. *Ultramicroscopy*, vol. 105 (1 – 4), pp. 248 – 266.

White, H., Stam, P. (1949): *Textile Res. J.*, vol. 19, pp. 136.

Wilkinson, J. B., Moore, R. J. (1990): *Cosmetologia de Harry*. Madrid: Diaz de Santos, pp. 1039.

Wolfram, L. J. (2003): Human hair: a unique physicochemical composite. *J. Am. Acad. Dermatol.* vol. 48, pp. 106 – 114.

Yelva L., Lynfield, M. D. (1960): Effect of pregnancy on the human hair cycle. Twenty-first Annual Meeting of The Society for Investigative Dermatology, Inc., Miami Beach, Florida.

Yu, J., Yu, D.W., Checkla, D.M., Freedberg, I.M., Bertolino, A.P. (1993): Human hair keratins. *J. Invest. Dermatol.*, vol. 101, pp. 56 – 59.

Zhang, Y., Alsop, R.J., Soomro, A., Yang, F.-Ch., Rheinstädter, M.C. (2015): Effect of shampoo, conditioner and permanent waving on the molecular structure of human hair. *PeerJ*. doi:10.7717/peerj.1296.

Zhenxing, H., Gaosheng, L. (2009): Measurement of Young's modulus and Poisson's ratio of Human Hair using Optical techniques. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering*, vol. 7522 (3), pp. 21.

Zuidema, P., Govaert L. E., Baaijens, F. P. T., Ackermans, P. A. J., Asvadi, S. (2003): The influence of humidity on the viscoelastic behaviour of human hair. *Biorheology*, vol. 40, pp. 431 – 439.

Zviak, C. (1988): *Science des Traitements Capillaires*.

Internetové zdroje:

Babycenter (1997 – 2016). Hair and nail changes during the pregnancy. Citováno dne: 5. Července 2016. Dostupné z: <http://www.babycenter.com/0_hair-and-nail-changes-during-pregnancy_1456563.bc>.

Druhy vlasů. Citováno dne: 30. Července 2016. Dostupné z: <<http://www.vlasy.cz/druhy-vlasu/>>.

Funai, E. F., Gillen-Goldstein, J., Roque, H., Abdel-Razeq, S. S. (2013): Respiratory tract changes during pregnancy. Citováno dne: 31. srpna 2013. Dostupné z: <<http://www.uptodate.com/contents/changes-in-the-respiratory-tract-during-pregnancy>>

Furskin Identification. Citováno dne: 25. srpna 2016. Dostupné z: <<http://www.furskin.cz/reference.htm>>.

Hair and Fiber Analysis. Citováno dne: 29. srpna 2016. Dostupné z: <<https://docs.google.com/presentation/d/1I3oH2qjERmQeresrGwokoZrvBfoXYef-DorKtyfMaPc/edit?hl=en#slide=id.p63>>.

Hair Analysis. Citováno dne: 15. prosince 2016. Dostupné z: <http://www2.oakwood.k12.oh.us/~wargacki_melinda/Site/CSI_powerpoints_files/Hair%20Analysis.pdf>.

Hamplová, L. (2016): Jak být krásná v těhotenství? Pleť i vlasy vyžadují šetrnou péči. Citováno dne: 6. září 2013. Dostupné z: <http://relax.lidovky.cz/jak-byt-krasna-v-tehotenstvi-plet-i-vlasy-vyzaduji-setrnou-peci-pw9-/zdravi.aspx?c=A101027_115935_ln-zdravi_glu>.

Chlupy a vlasy. Citováno den 6. října 2016. Dostupné z: <<http://www.galenus.cz/clanky/zdravi/kuze-vlasy-chlupy>>.

Keratin 31; KRT31 (database on the Internet). Citováno dne: 14. července 2016. Dostupné z: <<http://omim.org/entry/601077>>.

March of dimes (2016): Hair changes. Citováno dne: 19. července 2016. Dostupné z: <<http://www.marchofdimes.org/pregnancy/hair-changes.aspx>>.

Maršík, F. (2005): Biotermodynamika – příklady. Citováno dne: 4. října 2016. Dostupné z: <<http://www.it.cas.cz/files/u1868/Biotermodynamika-priklady.pdf>>.

Materiály 2.: Vlasy. Citováno dne: 29. srpna 2016. Dostupné z: <<http://www.modnipeklo.cz/2011/07/materialy-2-vlasy/>>.

McElwee, Kevin J. (2001): Keratin.com. Citováno dne: 10. dubna 2010. Dostupné z: <<http://www.keratin.com>>.

McElwee, Kevin J. (1996 – 2003): Keratin.com. Citováno dne: 23. června 2004. Dostupné z: <<http://www.keratin.com>>.

Murtagh, F., Legendre, P. (2011): Ward's Hierarchical Clustering Method: Clustering Criterion and Agglomerative Algorithm. Citováno dne: 15. Prosince 2016. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/7c16/8b8262acf2ec40a971604f273462136f4835.pdf>

Porodnice.cz (2002 – 2016). Těhotenství - fyziologické. Citováno dne: 22. Července 2016. Dostupné z: <http://lekari.porodnice.cz/tehotenstvi-fyziologicke>.

Trhačka DEFORM 02 - přenosné zkušební deformační zařízení. Citováno dne 20. Července 2016. Dostupné z: <http://trhacka.cz/>.

Velemínský, M. (2015): Jste těhotná? Vaše tělo čeká spousta změn. Citováno dne: 22. Července 2016. Dostupné z: <http://www.babyweb.cz/jste-tehotna-vase-telo-ceka-spousta-zmen>.

Vlasy – typ a charakter. Citováno dne: 30. Července 2016. Dostupné z: <http://www.vlasy.cz/charakter-a-typ-vlasu/>.

Wet and dry tensile tests in pre-post design or until breakage. Citováno dne: 20. Srpna 2016. Dostupné z: <http://www.proderm.de/en/proderm-cosmetic/markets/hair-care/tensile-test.html>.

Zunová, A. (2011): Za šedivé vlasy může genetika i stres. Citováno dne: 23. Května 2016. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/zena/styl/227550-za-sedive-vlasy-muze-genetika-i-stres.html>.