

LAS, OSTANI ZDRAV

FIZIKA IN ASTRONOMIJA

RAZISKOVALNA NALOGA

AVTOR: Olivija Perše, 9. razred

MENTOR: Marisol LANGO KASTELIC

SOMENTOR: Primož TRČEK

2020

Osnovna šola dr. Vita Kraigherja

KAZALO

1	UVOD	5
1.1	OPIS PROBLEMA – MOTIVACIJA	5
1.2	HIPOTEZE	5
2	TEORETIČNI DEL	6
2.1	ZGRADBA LAS	6
2.2	FIZIKALNE LASTNOSTI	7
2.2.2	VLAŽNOST LAS IN NJIHOVO RAZTEZANJE	9
2.3	BARVA LAS	9
2.4	POBARVANI LASJE	10
2.5	ZGODOVINA BARVANJA LAS:	11
2.6	ZANIMIVA DEJSTVA O LASEH	12
3	RAZISKOVALNI DEL	13
3.1	METODE DELA	13
3.1.1	DOLOČITEV MEHANSKIH LASTNOSTI LAS	13
3.2	OPIS NAPRAV ZA IZVEDBO EKSPERIMENTOV	14
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	17
4.1	DEBELINA LAS	17
4.2	OPTIČNE LASTNOSTI LAS	19
4.2.1	MIKROSTRUKTURA LAS	19
4.2.2	LAS PO PRETRGU	20
4.3	MEHANSKE LASTNOSTI LAS	21
5	ZAKLJUČKI	30
6	LITERATURA	31
7	VIRI SLIK	32

KAZALO SLIK

Slika 1: Zgradba las (slika vir [1])	7
Slika 2: Obnašanje las pod vplivom natezne obremenitve	8
Slika 3: Fotografija sivih las (vir [2])	10
Slika 4: Poškodovani lasje (vir [3])	11
Slika 5: Določitev elastičnega modula E lasu s pomočjo odvisnosti napetosti od raztezka oz. deformacije	14
Slika 6: Optični mikroskop Novex Holland	15
Slika 7: Rotacijski reometer Haake MARS II, Thermoscientific	15
Slika 8: Shematska predstavitev delovanja "SER tool" sistema	16
Slika 9: Določevanje debeline las s pomočjo optičnega mikroskopa	17
Slika 10 : Struktura las vzorcev dvojčic (Vzorec A in Vzorec F) ter sestrice (Vzorec O), določene s pomočjo optičnega mikroskopa	19
Slika 11: Mikroskopske slike las po pretrgu	21
Slika 12: Fotografija merjenja mehanskih lastnosti las z uporabo dveh nasproti rotirajočih valjev (senzorski sistem SER-tool)	22
Slika 13: Krivulje odvisnosti napetosti od deformacije za vzorec F	23
Slika 14: Krivulje odvisnosti napetosti od deformacije za vzorec A	24
Slika 15: Krivulje odvisnosti napetosti od deformacije za vzorec L	25
Slika 16: Krivulje odvisnosti napetosti od deformacije za vzorec O.....	26
Slika 17: Krivulje odvisnosti napetosti od deformacije za vzorec T (črni lasje)	27
Slika 18: Krivulje odvisnosti napetosti od deformacije za vzorec T-sivi.....	28
Slika 19: Odvisnost maksimalne napetosti od debeline lasu.....	29

KAZALO TABEL

Tabela 1: Vrednosti premerov posameznega lasu za vse vzorce las	18
Tabela 2: Povprečne vrednosti premera, elastičnega modula, deformacije (najvišjega raztezka) in maksimalne napetosti (napetosti ob poružitvi) za posamezne vzorce las	29

POVZETEK

Vedno me je zanimalo, ali so moji lasje močnejši od las mojih sestric. Moji lasje so namreč ravni, lasje od sestric pa so močno skodrani. Zanimalo me je tudi, ali se zdrav mlad las bolj raztegne od starejšega sivega lasu, kakšno škodo povzročajo barve za lase in ali se lastnosti moškega lasu razlikujejo od lastnosti ženskega lasu, če sta moški in ženska enako stara. Na vse to sem si poskušala odgovoriti v raziskovalni nalogi, ki sem jo pripravila s sodelovanjem s Fakulteto za strojništvo Univerze v Ljubljani.

V raziskovalni nalogi smo članom moje družine izmerili fizikalne in optične lastnosti las. Fizikalne lastnosti so bile izmerjene z napravo Haake Mars, s posebnim senzorskim sistemom SER Tool, s katerim smo določili, pri kateri napetosti se posamezen las strga. Optične lastnosti las so bile pomerjene z optičnim mikroskopom, ki je omogočil določitev debeline in strukture posameznega lasu. Na podlagi dobljenih rezultatov sem primerjala lastnosti sivih las z navadnimi, moške in ženske lase enako starih oseb in lastnosti različno starih oseb, ki so med seboj v tesnem sorodu (sestre).

Rezultati so bili zelo presenetljivi, nekatere pa smo vnaprej pričakovali. Na podlagi teh rezultatov bi lahko naredili nadaljnje raziskave. V njih bi lahko na primer raziskovali, kako se razlikujejo fizikalne lastnosti las plavolascev, rjavolascev, rdečelascev in črnolascev. Zanimivo bi bilo proučiti tudi, ali balzami, šamponi in maske za lase res delujejo in izboljšajo fizikalne lastnosti las. Preverjali bi lahko tudi, če se struktura las spremeni po barvanju in če se s tem spremenijo tudi fizikalne lastnosti las.

KLJUČNE BESEDE

lasje, razteznost, optične lastnosti, struktura las

ZAHVALA

Za sodelovanje bi se rada zahvalila sodelavcem Laboratorija za eksperimentalno mehaniko, Fakultete za strojništvo, Univerze v Ljubljani. Še posebej bi se rada zahvalila Elzbieti Krol in Alenu Oseliju, ki sta mi predstavila vse naprave in postopke naših raziskav in mi pomagala pri izvedbi eksperimentov.

Posebna zahvala gre tudi mentorici Marisol Lango Kastelic in somentorju Primožu Trčku. Oba sta mi stala ob strani, mi kazala pravo pot ter me ves čas nesebično vzpodbujala in me usmerjala.

1 UVOD

1.1 OPIS PROBLEMA – MOTIVACIJA

Izhajam iz družine, ki jo predstavljajo oče, mama in tri hčere. Sama sem najstarejša, mlajši sestri pa sta dvojčici. Vse predstavnice ženskega spola imamo dolge lase, ki so na videz precej različni. Kljub temu, da sestrici nista enojajčni dvojčici, imata zelo podobne skodrane lase. Nihče v družini nima takih las kot oni dve, zato se pogosto zgodi, da nas sprašujejo, po čigavih genih imata takšne lase. Zaenkrat točnega odgovora na to vprašanje še nismo dobili. Moja mami in jaz imava zelo podobne lase. Močne, goste in v glavnem ravne. Mamini lasje so se včasih nekoliko kodrali, vendar nikoli tako kot pri sestricah. Tudi oče ima goste lase, vendar si jih striže na kratko, v skladu z njegovimi leti pa postajajo lasje tudi nekoliko sivi. Tudi mami ima precej sivih las, zato si jih že nekaj časa barva.

Glede na zgoraj zapisano me že nekaj časa zanima, zakaj imamo v družini tako različne lase oziroma zakaj se nekateri lasje kodrajo, drugi ne. To je bil eden od motivov, da sem se odločila področje lastnosti las nekoliko podrobneje raziskati. Pri tem me je najbolj zanimalo, kako se razlikujejo lastnosti las pri (i) dvojčicah, (ii) sestrah, ki niso dvojčice, (iii) ženski in moškemu, ki sta enako stara in (iv) obarvanem in sivem lasu iste osebe. Vse te vzorce sem lahko dobila pri članih moje družine.

1.2 HIPOTEZE

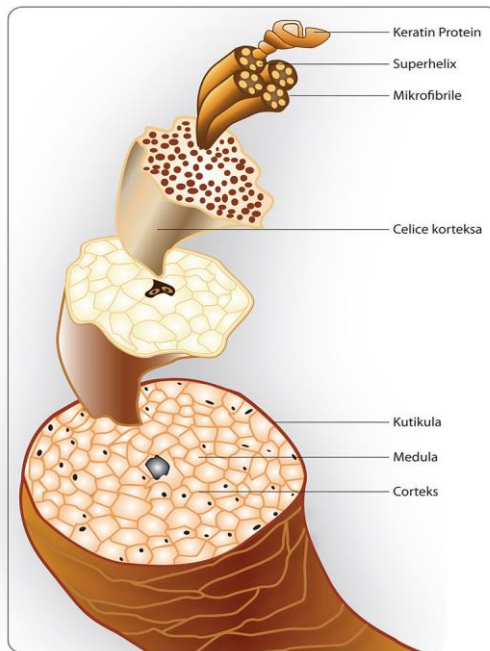
- Dvojčki imajo enake fizikalne lastnosti las.
- Ravni lasje so močnejši od skodranih, zato bodo zdržali večje napetosti.
- Sivolasci imajo manjšo razteznost las kot osebe brez sivih las.
- Pobarvani lasje so poškodovani, zato se bodo hitreje strgali kot nepobarvani.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 ZGRADBA LAS

Posamezen las oziroma lasni mešiček je sestavljen iz treh plasti (slika 1): *kutikule* ali povrhnjice, *korteksa* ali osrednjega dela lasnega mešička in *medule* ali sredice. Korteks predstavlja največji del lasnega stebela, rečemo pa mu tudi osrednji del, saj obsega kar 70 do 90 % celotnega lasu. Vlakna so v tem delu porazdeljena v treh stopnjah: *protofibrili* sestavljajo *mikrofibrile*, le-te pa v snopih tvorijo *makrofibrile*. Vlakna so med seboj povezana s kit substanco, ki je odgovorna tudi za elastičnost lasu. Korteks je odgovoren tudi za barvo las, saj se prav v tem delu nahajajo naravni pigmenti (rjavočrni in rdeči), ki dajejo lasem naravno barvo. Razmerje porazdelitve pigmentov je zapisano v dedni zasnovi. Medula ali sredica lasu predstavlja najbolj notranji del lasu in je skoraj nevidna. Ta del vsebuje zrna maščobe in zračne mehurčke [1–3].

Na zunanji strani lasu je povrhnjica, ki daje zaščito notranjosti lasu. Povrhnjica je sestavljena iz 5 do 10 plasti polkrožnih upognjenih lusk, ki se med seboj prekrivajo in obdajajo lasno deblo. Luske kutikule so pri zdravih laseh tesno ena ob drugi, kar daje lasem gladkost in lesk, lasje pa se lažje češejo. Kadar so lasje izpostavljeni delovanju različnih zunanjih dejavnikov, kot so barvanje (beljenje), oblikovanje pričeske z vročim zrakom (sušenje, trajna, likanje, ...), sončni žarki (UV-sevanje) in podobno, se pogosto poškodujejo. Poškodovani lasje nimajo več kit substance oziroma ta nima več svoje vezne sposobnosti. Luske posledično niso več povezane med seboj, zato se zlahka odluščijo. Taki lasje postanejo lomljivi, grobi, hrapavi, nimajo leska, se težko češejo in niso več odporni na škodljive vplive [1, 2].



Slika 1: Zgradba las (slika vir [1])

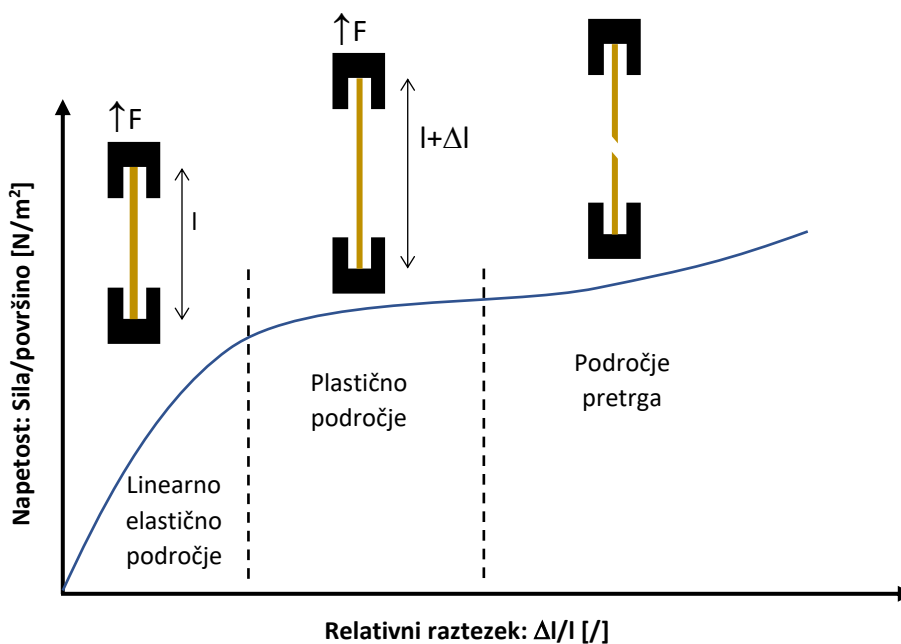
Ko se las raztegne, se njegova struktura spremeni na prav poseben način. Korteks fibrile v laseh so sestavljene iz več tisoč kolobarnih spiralnih verig, molekul, ki se imenujejo tudi alfa heliks verige. Te lahko na sliki 1 dobro vidimo kot začetke spiral (superheliks). Ko se lasje deformirajo, se alfa heliks verige odvijajo in se izravnavajo. Ta strukturna sprememba omogoča lasem, da prenesejo zelo velike obremenitve preden se strgajo [3].

2.2 FIZIKALNE LASTNOSTI

2.2.1 RAZTEZNOST LAS

Poleg optičnih in kemijskih lastnosti lahko lasem določimo tudi njihove fizikalne in mehanske lastnosti, kot so na primer gostota, trdota, hrapavost, razteznost, vpojnost in druge. Znano je, da lahko zdrav las raztegnemo za 30 odstotkov njegove prvotne dolžine, ne da bi se ob tem pretrgal [4]. Še več, po prenehanju raztegovanja las skoraj v celoti dobi prejšnjo obliko. Če lahko las zelo raztegnemo, ne da bi se pri tem pretrgal, govorimo o visoki razteznosti lasu. Taki lasje so zdravi in običajno vsebujejo dovolj vlage. V primeru majhne

razteznosti se lasje hitro lomijo; takrat pravimo, da potrebujejo vlago. Lase oziroma lasni keratin lahko torej raztezamo, vendar se bo las slej kot prej pretrgal. Kadar je obremenitev oziroma sila raztegovanja lasu dovolj majhna, se las po raztezanju povrne v svojo prvotno obliko, torej se skrči na svojo prvotno dolžino. V tem primeru govorimo o elastični razteznosti oziroma če narišemo graf napetosti v odvisnosti od raztezka (deformacije) govorimo o območju elastičnega odziva lasu (slika 2). V tem področju je razteznost povratna oziroma reverzibilna. Kakšna bo razteznost lasu, je odvisno od zgradbe vlaknate plasti iz peptidnih spiral. Pri večjih obremenitvah, torej ko las raztezamo izven elastičnega območja, se las ne povrne več v prvotno dolžino. V tem primeru je raztezanje nepovratno ali ireverzibilno, las pa se v tem območju še ne pretrga. Pri nadaljnjem raztezanju las obremenitve ne prenese več, zato se končno pretrga (slika 2).



Slika 2: Obnašanje las pod vplivom natezne obremenitve

2.2.2 VLAŽNOST LAS IN NJIHOVO RAZTEZANJE

Sposobnost raztezanja je odvisna od strukture las in tudi od vlažnosti las. Ko so lasje mokri, se lasem poveča prostornina, zato se spremeni tudi njihova sposobnost raztezanja. Lasje lahko sprejemajo vlago v različnih odstotkih, odvisno od njihove strukture in kemijskih lastnosti. Na primer: zdrav las lahko vsrka do 50 % vlage glede na svojo maso. Pri tem se seveda spremeni prostornina lasu, in sicer se poveča premer lasu do 20 % [2].

Ekipa znanstvenikov je izvedla tudi raztezne teste na laseh pri različnih stopnjah vlažnosti in različnih temperaturah [3]. Pri večji vlažnosti lahko lasje prenesejo od 70 do 80 % večje deformacije, preden se strgajo (suhi lasje prenesejo le do 50 % deformacije). Voda pravzaprav "mehča" lase tako, da vstopi v matriko in razbije žveplove vezi, ki povezujejo filamente znotraj sklopa las. Raziskovalci so tudi ugotovili, da se lasje trajno poškodujejo pri 60 °C. Nad to temperaturo se lasje zlomijo hitreje in pri manjši sili. Raziskovalci so ugotovili še, da je obnašanje las odvisno tudi od tega, kako hitro ali počasi jih raztegujemo. Hitreje kot se las raztegne, močnejši je [3].

2.3 BARVA LAS

Barva las se določa na podlagi barvnih pigmentov v laseh, ki jih proizvajajo posebne pigmentne celice. Iz celic potujejo pigmenti skozi tanke kanale v keratinske in roževinaste celice las, s čimer podelijo lasem določeno barvo. Ljudje s svetlejšimi odtenki imajo v laseh manj pigmenta kot ljudje s temnejšimi odtenki las.

V keratinskih vlaknih las se pojavi tudi kožni pigment melanin, ki s svojo količino določa temnejšo ali svetlejšo barvo las. V starosti nastajanje melanina upade, zato ljudje dobimo sive oziroma bele lase, ki niso sivi, temveč so brezbarvni. Sivi lasje so lahko tudi pigmentirani lasje, ki izgledajo sivo (slika 3). Beli lasje nastanejo, če pigmentne celice zavirajo proizvodnjo melanina. Pri nekaterih ljudeh se ta proces začne že zelo zgodaj, pri nekaterih šele v starosti.

Začetek tega procesa je odvisen od posameznika oziroma od njegovega genetskega zapisa.



Slika 3: Fotografija sivih las (vir [2])

Obstajata dva različna tipa kožnega pigmenta:

- črno-rjavi pigment eumelanin in
- rdeče-rumeni pigment feumelanin.

Vse barve las, ki jih poznamo, so sestavljene iz različnih kombinacij teh dveh tipov pigmenta.

2.4 POBARVANI LASJE

Ženske si že vrsto let barvajo lase, pri čemer pa si jih pogosto tudi zelo poškodujejo (slika 4). Najbolj pogoste poškodbe las so nedvomno razcepljene konice, vendar pa se lahko pri zelo poškodovanih laseh ustvarijo razpoke tudi po celotni zunanji plasti lasu (kutikula) in ne samo na konicah. V primeru poškodovane kutikule se le-ta odpre, las pa postane bolj izpostavljen in je zato v veliki nevarnosti, da se poškoduje in sčasoma odpade. Poškodovani lasje izgubijo polnost in zdrav videz, hkrati pa so manj prožni in manj raztezni [5].



Slika 4: Poškodovani lasje (vir [3])

2.5 ZGODOVINA BARVANJA LAS:

Že v antični Grčiji in Rimu so si ljudje barvali lase:

- v kultne namene,
- da bi obdržali mladostni videz in skrili osivele lase in
- zaradi modnih zahtev.

Lase so si barvali z različnimi barvili, kot so bila na primer: **sredstva za posvetlitev las**. Da bi dobili svetlejšje lase, so tako uporabljali alkalna oziroma kislina sredstva, npr. pepeliko ali apneno vodo, ki so razgrajevala naravne pigmente v laseh. Rimljani so vlažili lase z morsko vodo in zvarke iz kamilic in nato pustili, da so se lasje na soncu posvetlili. Šele leta 1918 so odkrili vodikov peroksid, ki ga v veliki meri uporabljamo še danes. Druga barvila, s katerimi so si v starem veku barvali lase, so bila **rastlinska barvila**. Najbolj so bili v uporabi listi kane in indigovca. Kana daje rdečo do rdečeoranžno barvo, indigo in modro. Če jih zmešamo, dobimo veliko različnih odtenkov, od rdečerjave do črne. Poleg rastlinskih barvil poznamo še **kovinska barvila**. Tudi ta sredstva so bila uporabljena v starem veku, in sicer v obliki raztopin kovinskih soli. Ko neka kovina reagira z določenimi kisljinami, nastane kovinska sol. Če recimo vzamemo svinec, ki reagira z očetno kislino, nastane svinčeva sol. Ta daje lasem črne odtenke. Podobne učinke dosežemo z bakrovimi, železovimi ali srebrovimi solmi. Vendar pa take barve dajejo nenavaden in nenaraven kovinski lesk, zato so danes vedno manj v uporabi [6].

2.6 ZANIMIVA DEJSTVA O LASEH

Po količini imajo največ las plavolasci, nato sledijo rjavolasci, črnolasci, najmanj las pa imajo rdečelasci [7]. Ko pa smo ravno pri barvah las ...

Obstaja veliko mitov o laseh in verjetno najbolj razširjen je tisti, ki pravi, da so blondinke manj inteligentne. To je najbolj trdovraten predsodek, ki kar ne izgine. Pri tem pa je zanimivo, da je več kot tretjina vseh članov in članic v klubu visoko inteligentnih ljudi Mensa, svetlolasih [7]. Ampak kljub temu, da je za lase najbolj zdravo, da si jih ne barvamo, si vsaka tretja ženska redno barva lase in tudi deset odstotkov vseh moških redno spreminja svojo barvo las. Zanimivi so tudi rezultati umivanja las. 56 % moških, starih od 24 do 34 let, si lase umiva vsakodnevno, pri ženskah v isti starostni skupini pa si vsak dan lase umiva le 30 % žensk.

Lasje imajo kratko življenjsko dobo. Povprečni las raste približno dve do pet let. Ko konča z rastjo, preide v fazo, v kateri miruje, in čez nekaj mesecev izpade. Na dan izpade od 50 do 100 las, kar je normalno, saj se tako naredi prostor za nove lase in se sklene življenjski krog lasu.

Za mnoge ljudi so lasje izredno pomembni. Mnogi moški, pa tudi ženske, se močno obremenjujejo, ko jim s starostjo lasje začnejo siveti in še posebej, kadar se jim začnejo tanjšati oziroma redčiti. Taki ljudje bi dali zelo veliko denarja, da bi imeli močne in goste lase. Pričakovali bi, da imajo lasje, sploh močni in gosti, veliko vrednost in da jih lahko drago prodamo. Vendar pa lasje nimajo prav posebne cene. Tudi pri slavnih zvezdnikih ne, vsaj dokler so le-ti živi. Po njihovi smrti pa se lahko tudi cena njihovih las presenetljivo dvigne. Tako je na primer oboževalec iz Hongkonga na dražbi v Geroni leta 2004 za en sam las umorjenega pevca slavne zasedbe The Beatles, Johna Lennona, odštél kar 3460 € [7].

Zanimiv je še Guinnessov rekord v vlečenju težkih bremen z lastnimi lasmi. Najtežje vozilo, ki ga je nekdo potegnil s svojimi lasmi, je imelo maso 10.380 kilogramov. Ta poskus je decembra 2017 izvedel Mahmood Shamshun iz Združenih arabskih emiratov [8].

3 RAZISKOVALNI DEL

3.1 METODE DELA

Za namen raziskave smo uporabili lase oseb ene družine. Uporabili smo lase očeta (vzorec T), mame (vzorec L), starejše sestre (vzorec O) in sestic dvojčic (vzorec A in vzorec F). Pri očetu smo primerjali tudi njegove črne (vzorec T (črn) in popolnoma sive lase (vzorec T (siv)). Da bi ovrgli ali potrdili hipoteze, ki smo si jih zastavili v uvodu, bomo vsem lasem zmerili optične in mehanske lastnosti. Optične značilnosti bomo določili s pomočjo optičnega mikroskopa. Kot rezultat bomo dobili povečano sliko posameznega lasu, s pomočjo katere bomo lahko natančno določili debelino in mikrostrukturo lasu. Mehanske lastnosti bomo določili s pomočjo reometra. To je naprava, ki omogoča spremljanje odziva snovi pod vplivom zunanje obremenitve, na primer sile. Kot rezultat bomo dobili vrednosti napetosti, ki jo posamezen las prenese, preden se strga in vrednosti deformacije oziroma spremembe dolžine, ki pri tem nastane.

3.1.1 DOLOČITEV MEHANSKIH LASTNOSTI LAS

Mehanske lastnosti so tiste lastnosti materiala, ki povedo, kako se material odzove na zunanjo obremenitev. Med mehanske lastnosti nekega materiala štejemo lastnosti, kot so trdota, natezna trdnost, elastičnost in podobne.

Za trdna telesa v določenem območju sil velja Hookov zakon, v katerem je E prožnostni modul definiran kot razmerje med napetostjo (sila na ploskovno enoto) in deformacijo:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$

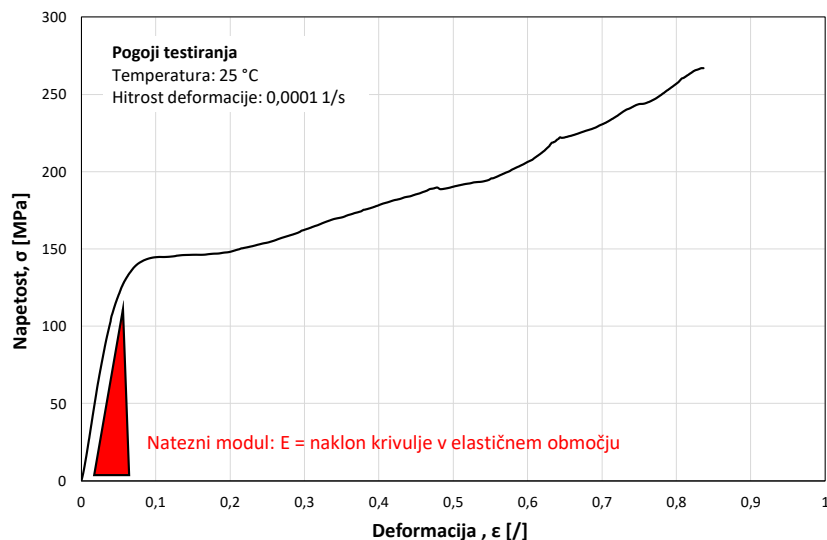
Elastični modul izražamo v enotah Pascal (Pa). V primeru določevanja mehanskih lastnosti – natezne napetosti v odvisnosti od deformacije (raztezka) lahko za posamezen material, na primer las, določimo njegov elastičen modul v območju linearnega elastičnega območja (slika 2). Primer določitve nateznega modula pri enem lasu je prikazan na sliki 5.

Relativni raztezek oziroma deformacija lasu je definirana kot:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad (2)$$

pri čemer je Δl razlika med začetno in končno dolžino lasu, l_0 pa je začetna dolžina lasu. Relativni raztezek je brez enot.

Iz meritev mehanskih lastnosti lahko določimo tudi raztezek, pri katerem pride do porušitve oziroma zloma lasu. Temu raztezku lahko rečemo tudi raztezek porušenja in ga zapišemo kot ε (porušenja). Največjo napetost, ki jo las še zdrži, pa imenujemo maksimalna napetost in jo zapišemo kot σ_{maks} .



Slika 5: Določitev elastičnega modula E lasu s pomočjo odvisnosti napetosti od raztezka oz. deformacije

3.2 OPIS NAPRAV ZA IZVEDBO EKSPERIMENTOV

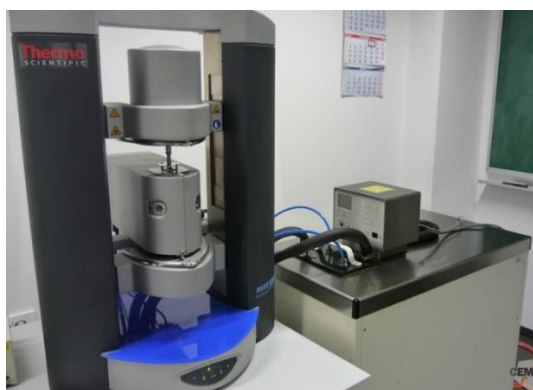
Pred izvedbo eksperimentov določevanja mehanskih lastnosti bomo vsak las posebej pogledali pod optičnim mikroskopom Novex Holland (slika 6). Tak mikroskop smo spoznali že v šoli, le da ima tisti, ki smo ga uporabljali pri tej raziskavi, možnost večjih povečav. Ko smo vzorec merili, smo ga najprej dali na steklo in ga ob straneh zalepili z lepilnim trakom, da je las ostal na mestu.

Večkrat smo morali zaradi njegove okrogle oblike na vzorec položiti še eno steklo, da se je las pod mikroskopom lepše in boljše videl.



Slika 6: Optični mikroskop Novex Holland

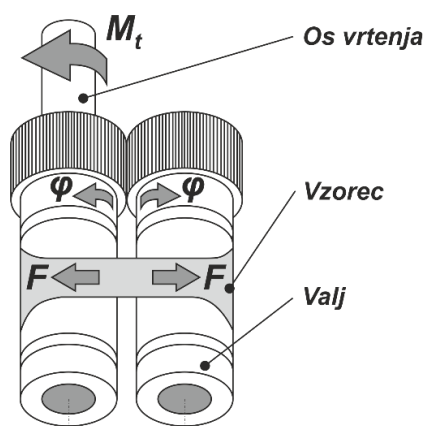
Eksperimentalne meritve mehanskih lastnosti las se lahko določajo s pomočjo posebnega inštrumenta, ki se imenuje rotacijski reometer, v našem primeru smo uporabili reometer Haake MARS II, Thermoscientific. Inštrument omogoča določitev napetosti in deformacij, ki jih v materialu povzročimo z delovanjem sile.



Slika 7: Rotacijski reometer Haake MARS II, Thermoscientific

Za merjenje tankih folij, filmov ali vlaken, kar so tudi lasje, se za merjenje omenjenih lastnosti uporablja poseben senzorski sistem, ki se imenuje SER-

tool ("Sentmanat Extensional Rheometer"). Senzorski sistem omogoča določitev razteznih mehanskih lastnosti s pomočjo dveh valjev, ki se vrtita v nasprotnih smereh in sta prikazana na sliki 8. S tem senzorskim sistemom silo na las vnašamo preko vrtenja valjev, las pa se pri tem razteguje. S pomočjo uporabljenega reometra in senzorskega sistema bomo določili maksimalno napetost, ki jo las še prenese, preden se strga. To napetost imenujemo maksimalna natezna napetost. Določili bomo tudi deformacijo lasu oziroma spremembo dolžine, ki smo jo s tem procesom povzročili na lasu. V območju linearnega elastičnega odziva bomo določili tudi natezni modul E.

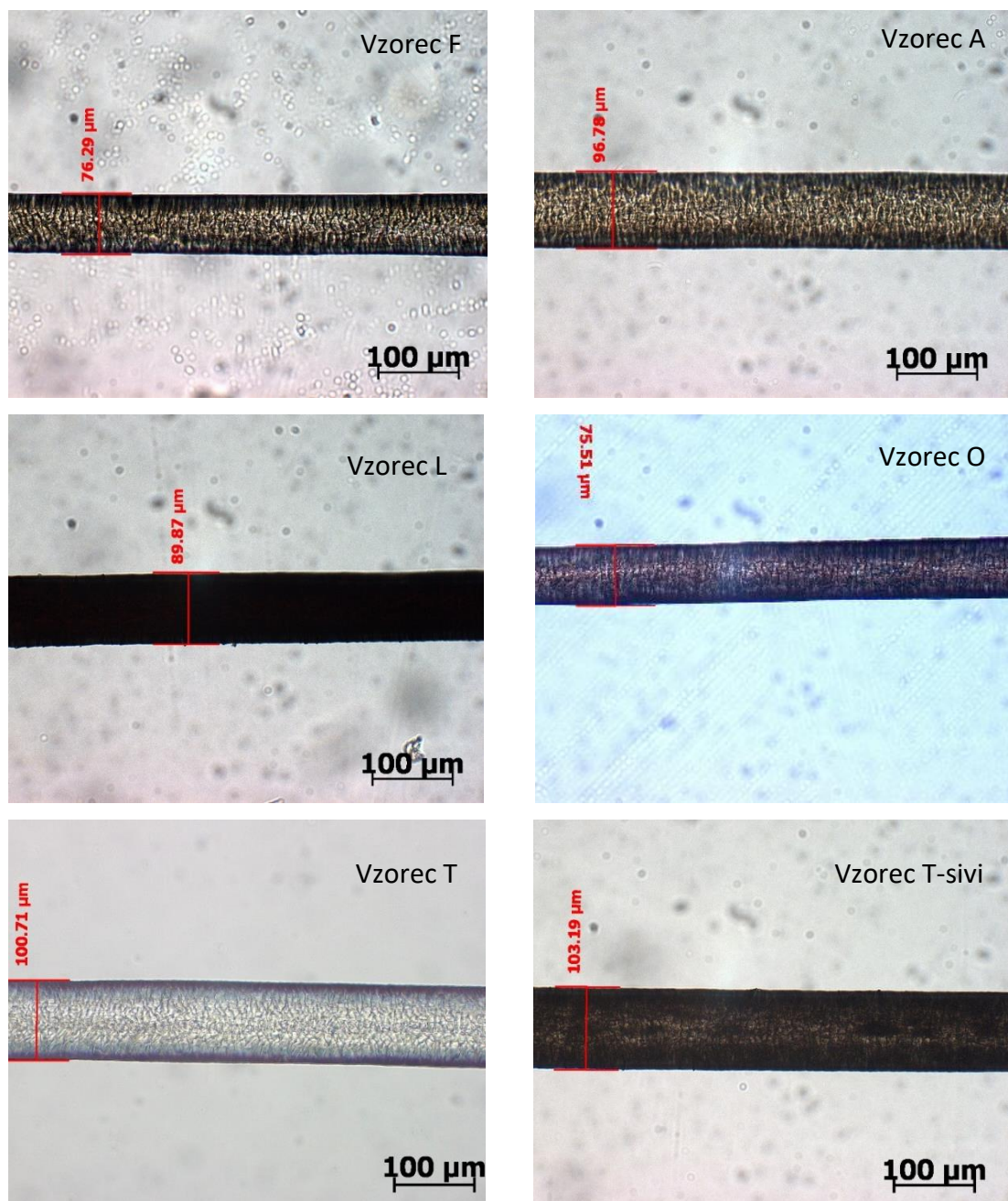


Slika 8: Shematska predstavitel delovanja "SER tool" sistema

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 DEBELINA LAS

Debelino las smo vzorcem izmerili s pomočjo optičnega mikroskopa, ki je prikazan na sliki 6, primer določanja debeline na enem lasu vsake izbrane osebe pa je prikazan na sliki 9.



Slika 9: Določevanje debeline las s pomočjo optičnega mikroskopa

Določevanje debelin s pomočjo mikroskopa je potekalo tako, da smo vsak las namestili na stekelce, ga položili pod povečevalni objektiv in izostrili sliko s pomočjo računalniškega programa. Vse meritve debelin smo nato opravili s pomočjo računalnika. Na vsakem posameznem vzorcu smo na vsaki strani lasu postavili črte (slika 9), računalniški program pa je izmeril razdaljo med nastavljenimi črtami, ki je predstavljala debelino lasu.

Pri vsaki osebi smo izbrali 4 ali 5 vzorcev, na katerih smo določili debeline, nato pa še mehanske lastnosti. Meritve debelin s pomočjo optičnega mikroskopa so za vse meritve na laseh vseh oseb prikazane v tabeli 1. V tabeli so prikazane še povprečne vrednosti debelin, ki so bile izračunane na podlagi vseh merjenih vzorcev.

Tabela 1: Vrednosti premerov posameznega lasu za vse vzorce las

Debelina (μm)	Vzorec F	Vzorec A	Vzorec L	Vzorec O	Vzorec T (črn)	Vzorec T (siv)
	70,84	84,57	114,15	58,26	104,29	88,08
	73,50	74,61	104,52	68,29	111,80	95,16
	80,66	89,24	81,00	64,44	100,69	79,85
	76,65	87,25	90,88	67,28	109,39	117,28
	60,19	86,74	100,45			91,54
povprečna vrednost (μm):	72,37	84,48	98,20	64,57	106,54	88,66

Iz tabele 1 lahko razvidimo, da sta pri vzorcih osebe A in osebe F, ki sta dvojčici, povprečni debelini različni in se razlikujeta za nekaj več kot 10 μm . Najmanjše povprečne vrednosti so bile določene za vzorce osebe O, pri kateri so bili vsi proučevani lasje približno enake debeline.

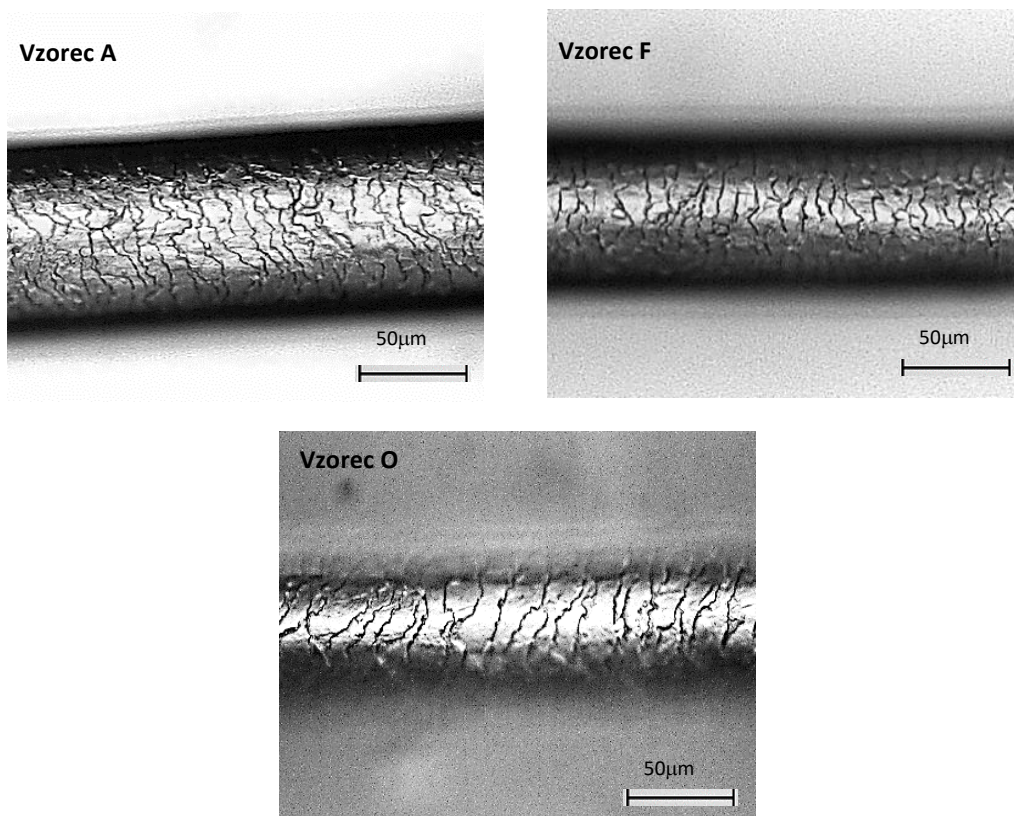
Še večje razlike opazimo pri vzorcu črnih las in sivih las iste osebe (vzorec T (črn) in vzorec T (siv)). Kot smo pričakovali, je bila povprečna vrednost debeline sivih las opazno manjša od povprečne vrednosti debeline črnih las. Vendar pa lahko vidimo, da je bil en siv las precej debelejši od katerega koli črnega lasu, ki smo ga uporabili pri raziskavi. Sklepamo, da je do takih razlik prišlo zato, ker so bili nekateri vzorci starejši od drugih, pri čemer so nekateri lasje še rasli, ko smo jih izpulili, medtem ko so bili drugi (debelejši) že v fazi mirovanja.

Kaj pa razlike med lasmi moškega in ženske, ki sta enako stara? Med vzorci L in T opazimo, da sta debelini las približno enaki, če upoštevamo samo črne lase vzorca T.

4.2 OPTIČNE LASTNOSTI LAS

4.2.1 MIKROSTRUKTURA LAS

Tudi mikrostrukturo posameznega lasu smo določili s pomočjo optičnega mikroskopa (slika 6). Primerjali smo predvsem mikrostrukturo vzorcev sestric, torej vzorcev O, A in F, ki so prikazane na sliki 10. Lasje so bili povečani pod optičnim mikroskopom, kar nam je omogočilo dober pogled na mikrostrukturo vzorcev.



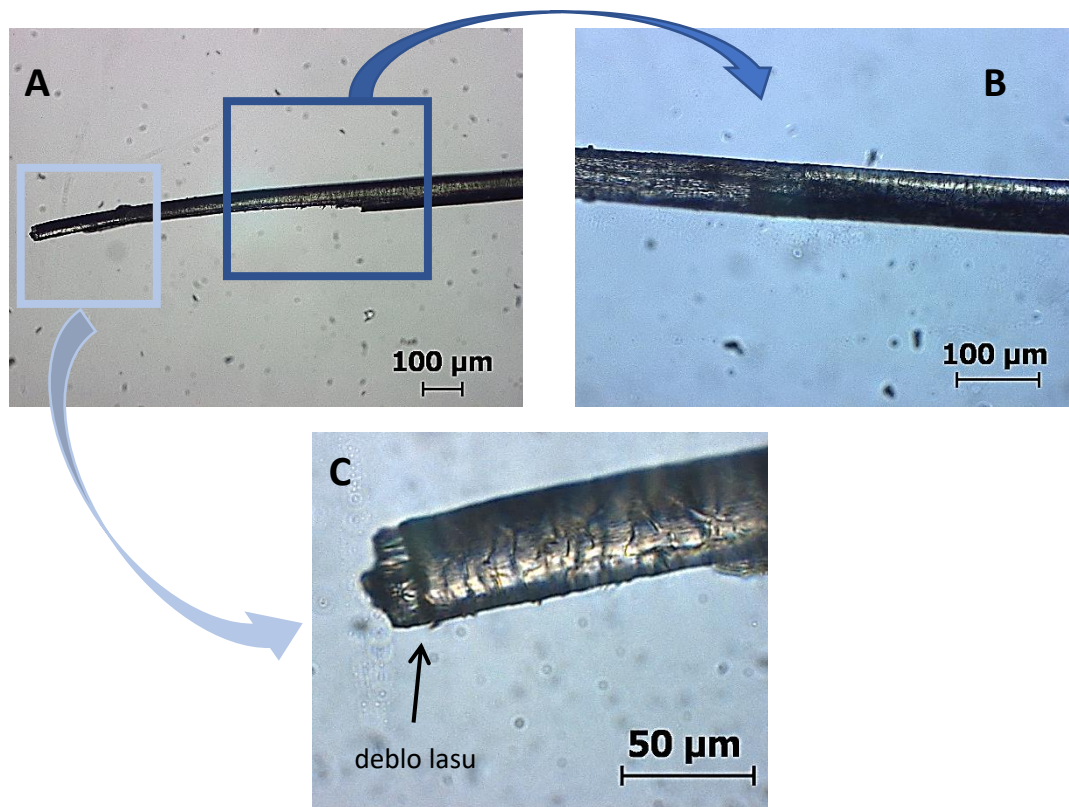
Slika 10 : Struktura las vzorcev dvojčic (Vzorec A in Vzorec F) ter sestrice (Vzorec O), določene s pomočjo optičnega mikroskopa

Na sliki 10 lahko opazimo, da so strukture las sestric zelo različne. Če primerjamo vzorca A in F (dvojčici), lahko opazimo, da so luske, ki las

prekrivajo, ena na drugi precej skupaj. Predvidevamo, da lasje dvojčic niso tako gladki, kot lahko to opazimo pri lasu osebe O. Če opazimo, da so luske narazen in da se luske obračajo navzgor, bi lahko to pomenilo, da je las poškodovan [4]. Pri vzorcu O pa so luske trdno druga ob drugi in se ne obračajo navzven. To pomeni, da je tak las bolj gladek od na primer vzorcev A in F, pri katerih so luske precej skupaj in tvorijo na pogled zelo hrapavo površino. To lahko potrdimo tudi iz lastnih izkušenj, saj imata sestrici zelo suhe lase, ki jih je zelo težko česati, saj se ves čas prepletajo, zapletajo in kodrajo. Po drugi strani pa so lasje osebe O zelo gladki, ravni, se lepo češejo in niso poškodovani.

4.2.2 LAS PO PRETRGU

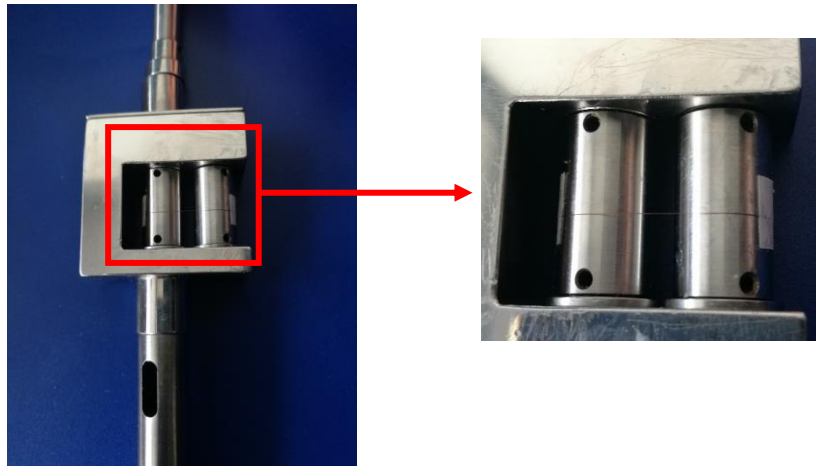
Pri opazovanju mikrostrukture s pomočjo mikroskopa se nam je porodilo vprašanje, kako izgleda las potem, ko se že pretrga. Las, ki smo mu pomerili mehanske lastnosti s pomočjo reometra, smo zato odstranili iz senzorskega sistema in ga pogledali pod mikroskopom. Za primer je na sliki 11 prikazan pretrgan las vzorca T_{sivi} . Iz slike 11 je razvidno, da se las pretrga po dolžini (slika 11 A). Če pogledamo pretrgano površino bolj od blizu (slika 11 B), vidimo, da je struktura pretrganega lasu drugačna od lasu, ki smo ga pomerili pred določevanjem mehanskih lastnosti. Zelo dobro lahko vidimo, da so se luske zaradi natezne napetosti, ki jim je bil las izpostavljen pri določevanju mehanskih lastnosti, raztegnile v smeri raztegovanja. Želeli smo pogledati tudi, kako izgleda konica pretrganega lasu. Iz slike 11 C lahko vidimo, da je las najmočnejši v deblu in se zato tam najkasneje pretrga.



Slika 11: Mikroskopske slike las po pretrgu

4.3 MEHANSKE LASTNOSTI LAS

Vsem vzorcem, ki smo jim pomerili debelino, smo določili mehanske lastnosti s pomočjo reometra in senzorskega sistema dveh valjev (SER-tool, slika 12). Mehanske lastnosti smo določili pri nateznem obremenjevanju las, ki smo ga dosegli tako, da smo valja vrteli vsakega v svojo smer (slika 8, slika 12).

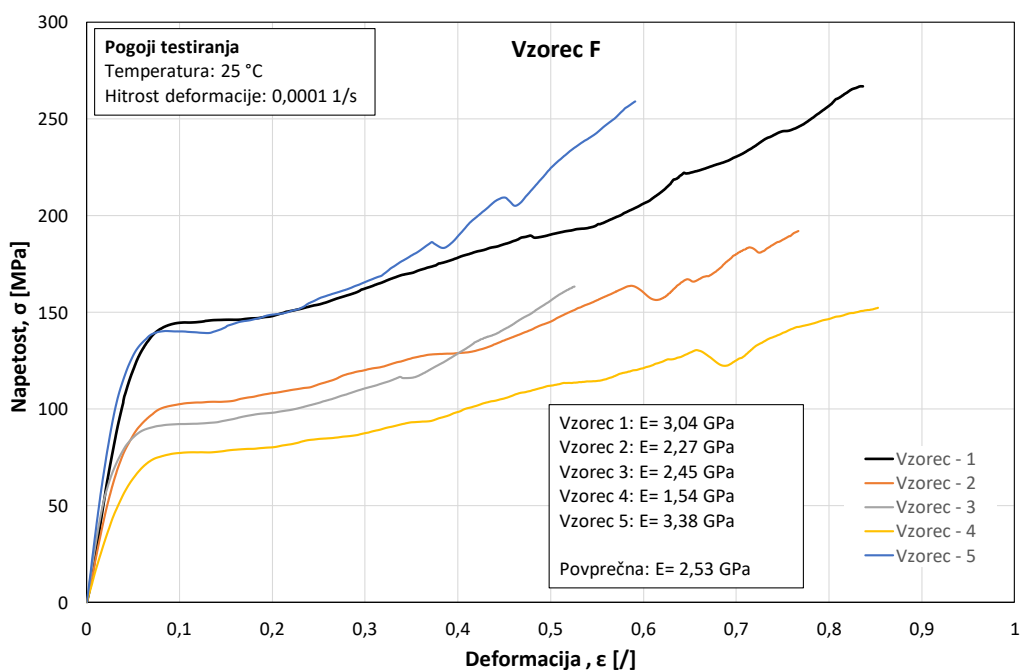


Slika 12: Fotografija merjenja mehanskih lastnosti las z uporabo dveh nasproti rotirajočih valjev (senzorski sistem SER-tool)

Pri vseh meritvah smo uporabili enake pogoje obremenjevanja. Hitrost deformacije je znašala 0.0001 s^{-1} , meritve pa so potekale pri konstantni temperaturi $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri teh pogojih smo določili odvisnost natezne napetosti od deformacije (raztezka) za vsak vzorec pri posamezni osebi. Rezultati izvedenih meritev so prikazani na slikah 13–18. Iz krivulj je razvidno, da lasje prestanejo velike deformacije, ne prenašajo pa zelo velikih napetosti. Iz slik je razvidno različno obnašanje las pri enakih pogojih obremenjevanja. V prvem delu krivulje lahko pri vseh vzorcih vidimo, da napetost linearno narašča z deformacijo, kar pomeni, da se v tem delu las elastično deformira. Pri vseh vzorcih smo tako opazili linearno elastično območje (slika 2), v katerem smo določili natezni modul E . Če v tem območju napetost odstranimo, se bo las povrnil v prvotno stanje brez trajne deformacije. Natezni modul E nam pove, kakšna je trdota oziroma elastičnost materiala, v našem primeru lasu. Večji kot je modul, bolj je las trd in manj prožen oziroma elastičen. Ko presežemo območje linearne odziva, se prične las plastično deformirati, kar pomeni, da ostaja delno spremenjen (slika 3). V tem območju so se pod vplivom nadaljnjega obremenjevanja lasje plastično raztegovali, dokler se niso pretrgali. Večje kot je bilo plastično področje, večje deformacije je las lahko prenesel. To pomeni, da se je pred zlomom las lahko zelo raztegnil.

Pa si pogledjmo, kakšne mehanske lastnosti so imeli vzorci las pri posamezni osebi. Iz slike 13, ki prikazuje napetost v odvisnosti od deformacije za vzorce

las osebe F, lahko razberemo, da so se lasje pri tej osebi lahko raztegnili za skoraj svojo celotno dolžino, saj so nekateri vzorci dosegali deformacije, tudi večje od 0.8. Na sliki 13 lahko opazimo tudi, da so pri vzorcih prisotna odstopanja in tako so nekateri vzorci zdržali večje napetosti kot drugi, nekateri so se bolj raztegnili kot drugi, prav tako so bila območja linearne elastičnosti različna. Opazimo lahko dve skupini. Dva vzorca ene skupine sta imela večje elastične module in sta tako zdržala večje napetosti, medtem ko so trije vzorci druge skupine imeli manjše elastične module in so tako zdržali manjše napetosti. Za vsak vzorec smo iz krivulje v območju linearne elastičnosti določili natezni modul. Iz vrednosti modulov vseh 5 vzorcev smo nato določili še povprečno vrednost modula, ki je za osebo F znašal 2,53 GPa.

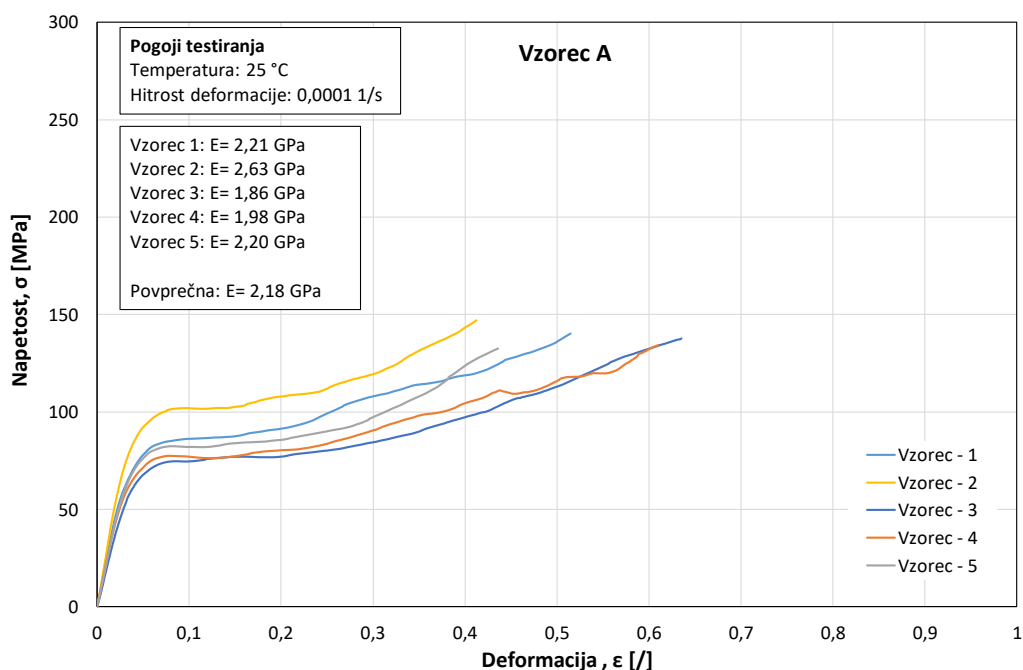


Slika 13: Krivulje odvisnosti napetosti od deformacije za vzorec F

Rezultati testov za osebo A so prikazani na sliki 14. Iz slike lahko vidimo, da so vzorci osebe A zdržali precej manjše napetosti kot vzorci osebe F (slika 13). poleg tega lahko opazimo, da so imeli vzorci osebe A precej bolj enakomerne lastnosti kot vzorci osebe F. Vsi vzorci so izkazovali podobne vrednosti maksimalnih deformacij in maksimalnih napetosti. Tik preden so se lasje strgali, so se podaljšali za približno svojo polovično dolžino, kar je precej manj

kot lasje pri osebi F. Povprečni modul za te vzorce je znašal 2,18 GPa, kar je nekoliko manj kot pri osebi F.

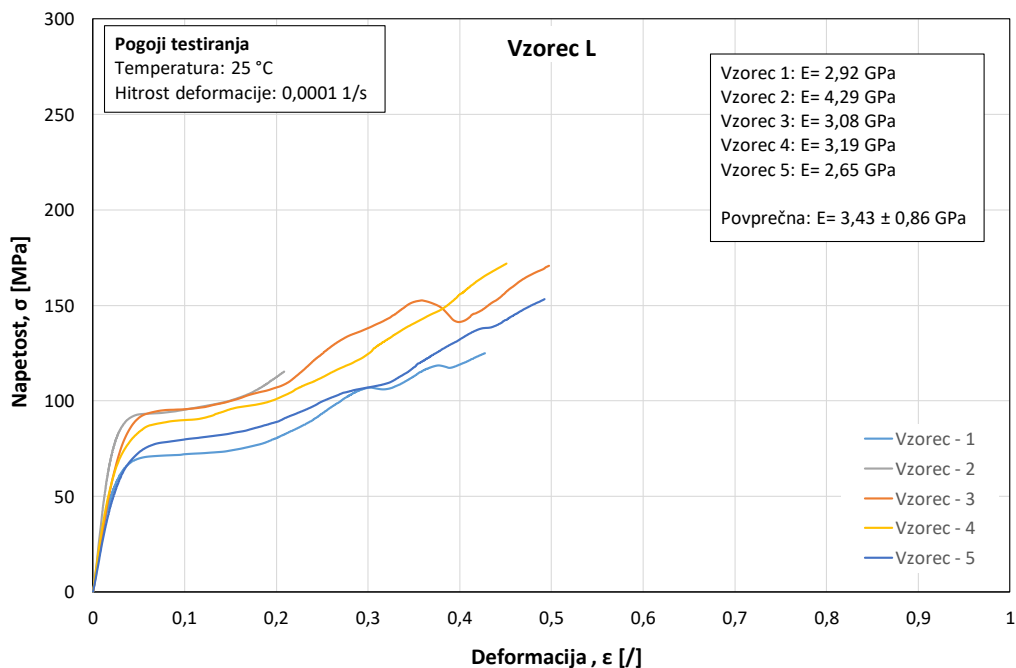
Osebi iz slik 13 in 14 (vzorec A in F) sta dvojčici, zato smo pričakovali, da bodo grafi približno enaki. Naša pričakovanja se niso uresničila in vidimo lahko, da so razlike v mehanskih lastnostih kar velike. Na podlagi tega lahko ugotovimo, da tudi če imata osebi skoraj enak DNA, lasje pa so po izgledu popolnoma enaki, to še ne pomeni, da so tudi mehanske lastnosti las teh oseb enake, in da bodo lasje vzdržali enake napetosti in se raztegnili do enakih vrednosti.



Slika 14: Krivulje odvisnosti napetosti od deformacije za vzorec A

Na sliki 15 so prikazani rezultati meritev mehanskih lastnosti za vzorce osebe L. Iz rezultatov lahko vidimo, da so ti vzorci zdržali napetosti, ki so primerljive z napetosti vzorcev A, pri čemer pa je bil povprečni modul precej večji. Povprečna vrednost modula vseh vzorcev je bila približno 3,43 GPa. Če primerjamo natezne module vzorcev vseh oseb, lahko opazimo, da so bile vrednosti modulov pri osebi L najvišje, saj smo samo pri tej osebi določili vrednosti, precej višje od 3 GPa). Po drugi strani pa so se lasje osebe L pretrgali pri precej nižjih vrednostih raztezka ($\epsilon < 0,5$). Oseba L si že dalj časa barva lase, zato bi lahko manjše raztezke pripisali posledici barvanja las in s

tem uničevanja lasne strukture. Pri vzorcih osebe L ni opaziti vidnega velikega nihanja oziroma sipanja rezultatov med posameznimi vzorci, kot ga je bilo na primer opaziti pri osebi F.

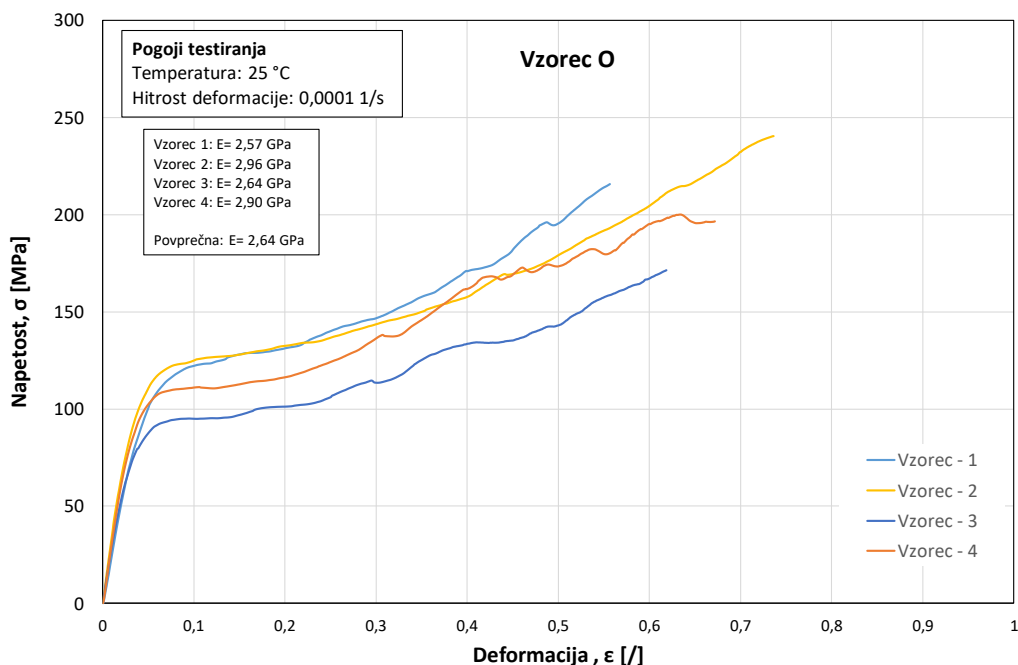


Slika 15: Krivulje odvisnosti napetosti od deformacije za vzorec L

Pri vzorcih osebe O je iz rezultatov razvidno, da so zdržali zelo visoke napetosti (slika 16). Lasje so se tudi precej raztegnili, tik preden so se strgali, so se raztegnili za skoraj svojo celotno dolžino. Povprečni natezni modul vzorcev je znašal 2,64 GPa, pri čemer je bilo odstopanje med vzorci zelo majhno. Vzorci so izkazovali približno enako linearno elastično območje, kar pomeni, da so se vsi začeli trajno raztegovati pri približno enakih vrednostih. Pri eksperimentih smo ugotovili, da je bil običajen čas od začetka meritve do trenutka, ko se je las začel trajno raztegovati, približno 400 do 500 sekund, medtem ko je celotna meritev trajala okoli 20 minut.

Če primerjamo rezultate vzorcev na sliko 16 z rezultati na slikah 13 in 14, torej vzorec O z vzorci A in F (starejša sestra in sestri dvojčici), lahko ugotovimo, da so bili najbolj podobni vzorci oseb F in O. Ti vzorci so imeli približno enake povprečne vrednosti nateznih modulov, dosegali pa so tudi približno enake maksimalne napetosti. Tudi tukaj lahko vidimo, da niso bile najbolj podobne

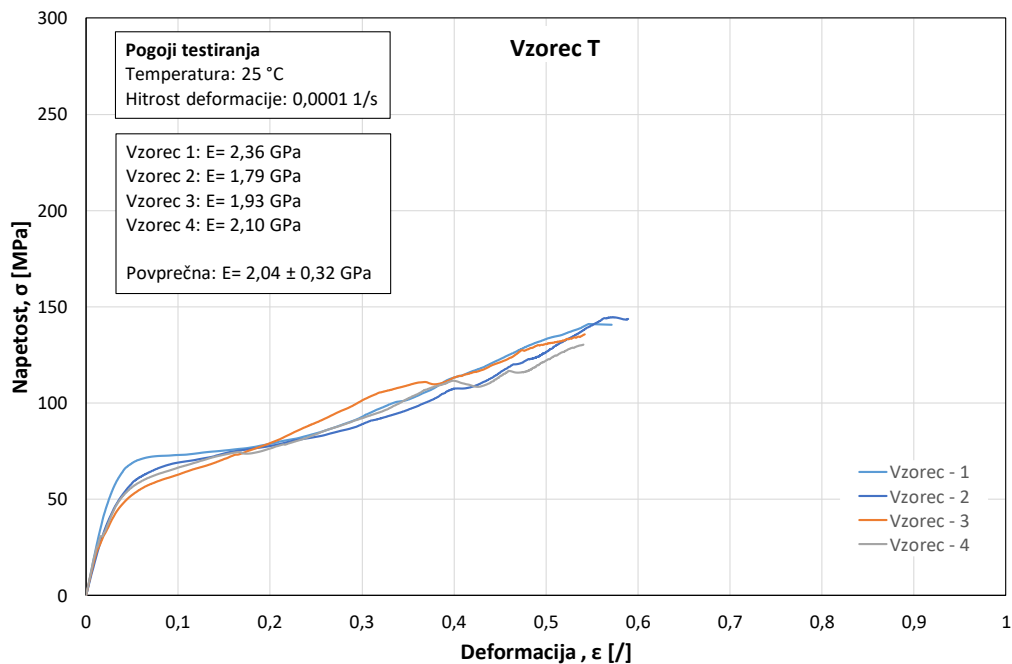
lastnosti dvojčic, ampak so bile lastnosti las starejše sestre primerljive z lastnostmi las ene od dvojčic. Ponovno lahko zaključimo, da tudi, če sta osebi dvojčici in imata skoraj enak DNA, to še ne pomeni, da bodo imeli lasje enake fizikalne lastnosti.



Slika 16: Krivulje odvisnosti napetosti od deformacije za vzorec O

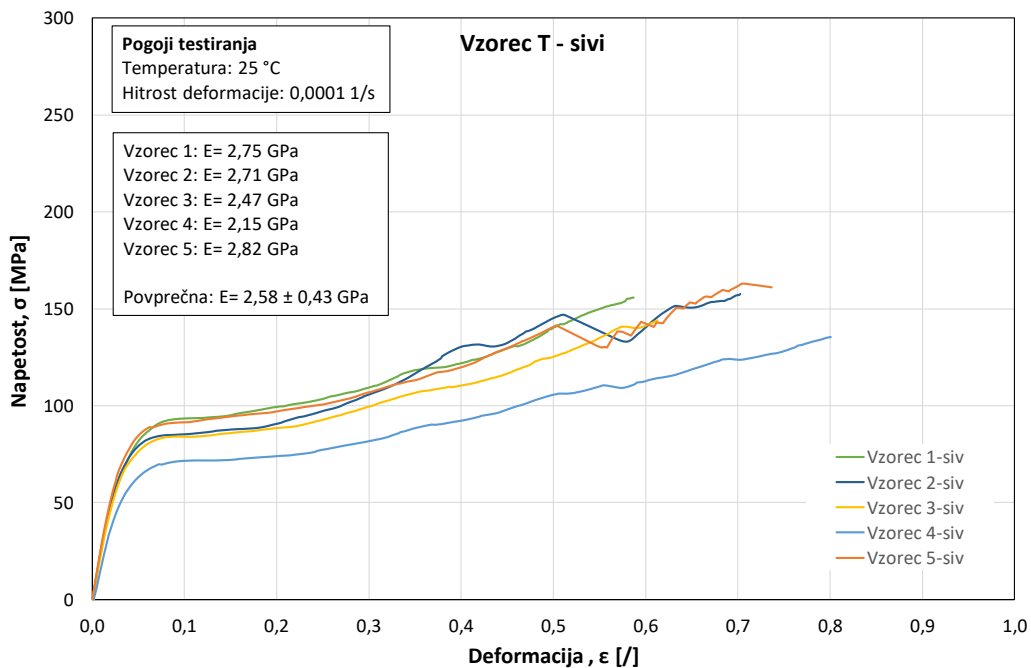
Sliki 17 in 18 prikazujeta napetost v odvisnosti od deformacije za vzorce črnih oziroma sivih las osebe T. Iz slike 17 je vidno, da skoraj ni bilo odstopanj od rezultatov različnih vzorcev črnih las. Povprečni modul črnih las je bil približno 2,04 GPa, medtem ko so se črni lasje tik pred prelomom lasu raztegnili za skoraj polovico svoje prvotne dolžne.

Če primerjamo sliko 17 s sliko 15, torej primerjamo lastnosti las oseb iste starosti, a različnega spola, lahko ugotovimo, da so v obeh primerih vzorci dosegali približno enake maksimalne napetosti, čeprav sta bila povprečna natezna modula obeh oseb zelo različna (3,43 GPa pri osebi L in 2,04 GPa pri osebi T (črni)). Linearno elastično območje pa je bilo pri obeh osebah približno enako široko.



Slika 17: Krivulje odvisnosti napetosti od deformacije za vzorec T (črni lasje)

Iz slike 18 je razvidno, da pri dveh vzorcih krivulja napetosti v odvisnosti od deformacije pri določeni vrednosti deformacije nekoliko pade. To se zgodi zaradi premikov vzorca na napravi, do katerih je prišlo zato, ker lepilo ni dovolj dobro držalo las na senzorskem sistemu. Pri teh vzorcih končnih raztezkov nismo mogli upoštevati, lahko pa smo določili natezne module v linearnem elastičnem območju, v katerem je bil vzorec brezhibno nalepljen na senzorju. Iz rezultatov lahko razberemo, da so se vzorci tik pred pretrgom raztegnili za skoraj svojo celotno dolžino. Povprečni elastični modul za vzorce sivih las je bil v primerjavi s črnimi lasmi iste osebe višji in je znašal 2,58 GPa. Vzorci sivih las so imeli večja nihanja kot pa vzorci črnih las. Tudi raztezek tik pred pretrgom je bil pri sivih laseh večji kot pri vzorcih črnih las. Tako so se sivi lasje raztegnili za skoraj svojo celotno dolžino, medtem ko so se črni lasje raztegnili samo za polovico svoje prvotne dolžine. Iz tega bi lahko sklepali, da so sivi lasje močnejši in bolj prožni, čeprav je bila debelina sivih las manjša od debeline črnih las.



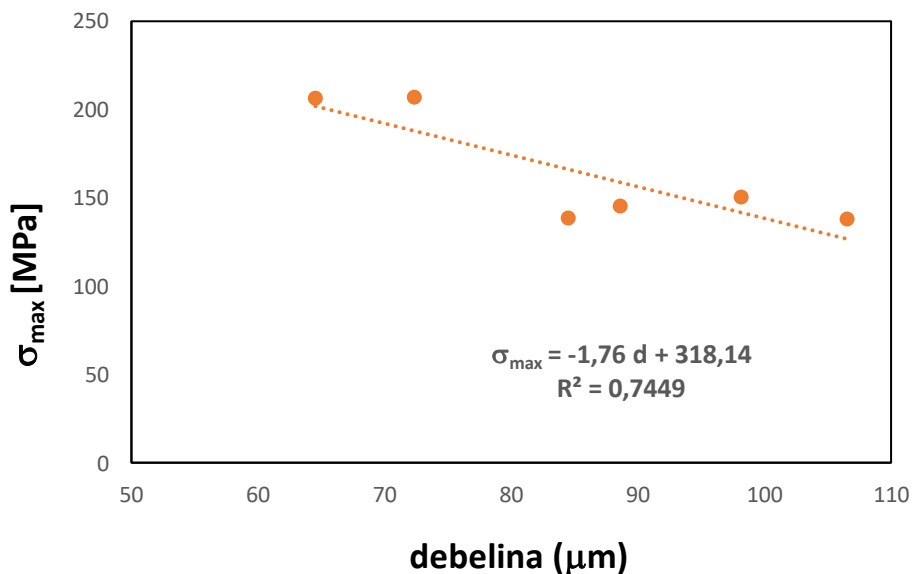
Slika 18: Krivulje odvisnosti napetosti od deformacije za vzorec T-sivi

Vse parametre, ki smo jih določili s pomočjo merjenja mehanskih lastnosti, smo zbrali v tabeli 2. Iz zbranih rezultatov lahko razberemo, da so bili najdebelejši vzorci črnih las osebe T, najtanjši pa so bili lasje osebe O. rezultati povprečnih nateznih modulov kažejo, da je bil najmočnejši las osebe L, najmanjši modul pa so imeli vzorci črnih las osebe T. V tretjem stolpcu je prikazan povprečni relativni raztezek las (za koliko so se lasje raztegnili tik pred pretrgom). Za skoraj celotno svojo dolžino so se v povprečju raztegnili vzorci osebe F, za najmanj pa so se raztegnili vzorci osebe L (pobarvani lasje). V zadnjem stolpcu lahko razberemo maksimalno napetost, ki jo je las vzdržal, preden se je strgal. Največjo napetost so vzdržali vzorci osebe F in O, najmanjšo napetost pa so vzdržali črni lasje osebe T.

Tabela 2: Povprečne vrednosti premera, elastičnega modula, deformacije (najvišjega raztezka) in maksimalne napetosti (napetosti ob porušitvi) za posamezne vzorce las

	d [μm]	E [GPa]	ε [/]	σ_{max} [MPa]
F	72,37	2,79	0,71	206,79
A	84,48	2,37	0,52	138,37
L	98,20	3,22	0,43	150,11
O	64,57	2,70	0,65	206,04
T	106,54	2,04	0,56	137,53
T-sivi	88,66	2,58	0,69	150,80

Povprečne vrednosti maksimalne napetosti, ki so jo lasje zdržali pred pretrgom smo prikazali v odvisnosti od debeline las (slika 19). Rezultati prikazujejo, da je maksimalna napetost obratno sorazmerna z debelino. To pomeni, debelejši kot bo las, manjše maksimalne napetosti bo zdržal in tanjši kot je las, večje napetosti bo zdržal.



Slika 19: Odvisnost maksimalne napetosti od debeline lasu

5 ZAKLJUČKI

V svoji raziskovalni nalogi sem se posvetila predvsem določanju optičnih in mehanskih lastnosti las oseb ene družine. Kot sem že omenila v uvodu, izhajam iz družine, kjer imata moji dve sestrici skodrane lase, jaz pa popolnoma ravne. Ena izmed mojih hipotez je bila, da imajo dvojčki enake dedne zasnove in zato tudi enake fizikalne lastnosti las. Sprva smo predvidevali, da imata dvojčici zaradi skoraj enakega DNK enak izgled las (obe imata skodrane lase) in posledično smo predvidevali, da bosta imeli tudi enake fizikalne lastnosti. Rezultati meritev so pokazali, da smo se zmotili. Že iz slik, ki prikazujejo napetost v odvisnosti od deformacije je razvidno, da so se vzorci ene dvojčice strgali prej kot vzorci druge dvojčice. To hipotezo smo zato morali ovreči.

Ena izmed mojih hipotez je bila tudi, da so ravni lasje močnejši od skodranih, kar pomeni, da morajo taki lasje vzdržati večje maksimalne napetosti kot skodrani lasje. Tudi to hipotezo smo morali ovreči, saj je bila maksimalna napetost odvisna od debeline, ki pa je bila odvisna od posameznega vzorca. V povprečju bi lahko rekli, da so bili v naših raziskavah skodrani lasje močnejši od ravnih, kar pa ni potrdilo naših pričakovanj.

Kaj pa sivi lasje? Že iz izkušenj vemo, da so sivi lasje, mogoče zaradi starosti ali katerega drugega razloga, manj trdni in se tako hitreje strgajo. Naša pričakovanja so potrdile raziskave, ki so dokazale, da sivi lasje vzdržijo manjše napetosti kot ostali lasje, predvsem črni lasje iste osebe.

Ali so pobarvani lasje tako poškodovani, da ne bodo mogli vzdržati velikih napetosti? Da, pobarvani lasje so se hitreje strgali kot nepobarvani lasje. To se je verjetno zgodilo zaradi kemikalij, ki poškodujejo lasno strukturo.

V predstavljeni nalogi sem si odgovorila na precej vprašanj, vendar pa je kar nekaj vprašanj ostalo še vedno odprtih. Za nadaljnje raziskave bi bilo zanimivo, če bi lahko preverili, ali balzami in šamponi za lase res delujejo in izboljšajo mehanske lastnosti las. Zanimivo bi bilo tudi, če bi lahko primerjali fizikalne lastnosti las plavolascev, rjavolascev, rdečelascev in črnolascev.

6 LITERATURA

- [1] Prolab, Zgradba lasu. (citirano 07. 10. 2019) Dostopno na: <http://www.prolab.si/lasje-in-tezave-z-lasmi/zgradba-las.html>.
- [2] Zgradba las. (citirano 12. 10. 2019) Dostopno na: <https://www.ezdravje.com/zdravje-in-dobro-pocutje/nega-las/zgradba-las/>.
- [3] Y. Yu, W. Yang, B. Wang, M. A. Meyers. Structure and mechanical behavior of human hair. *Materials Science and Engineering: C*, Volume 73, 2017, 152–163.
- [4] Pavelič, E. (online). Fizikalne lastnosti las. Frizerstvo na Slovenskem. (citirano 20. 10. 2019) Dostopno na: <https://www.pavicevic.si/fizikalne-lastnosti-las/>.
- [5] How to repair damaged hair. (citirano 02. 11. 2019) Dostopno na: <https://www.healthline.com/health/beauty-skin-care/how-to-repair-damaged-hair>.
- [6] Zgodovina barvnih sprememb las. (citirano 25. 11. 2019) Dostopno na: <https://www.pavicevic.si/zgodovina-barvnih-sprememb-las/>.
- [7] Zanimiva dejstva o laseh. (citirano 10. 11. 2019) Dostopno na: <https://www.schwarzkopf.si/sl/oblikovanje-las/nasvetiintriki/zanimiva-dejstva-o-laseh.html>.
- [8] Guinness World records. (citirano 10. 11. 2019) Dostopno na: <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/heaviest-vehicle-pulled-by-hair>.

7 VIRI SLIK

[1] Prolab, Zgradba lasu. (citirano 07. 10. 2019) Dostopno na URL: <http://www.prolab.si/Images/ZgradbaLas.jpg>.

[2] Leksikon za lase – pomembna dejstva o laseh. (citirano 19. 10. 2019) Dostopno na: <https://www.schwarzkopf.si/sl/oblikovanje-las/nasvetiintriki/leksikon-za-lase.html>.

[3] Serum-za-suhe-in-poškodovane-lase.jpg (citirano 02. 11. 2019) Dostopno na: <https://nakupujem.si/wp-content/uploads/2019/02/Serum-za-suhe-in-poskodovane-lase.jpg>