

Hodnocení jakosti povrchu biopolymerních dílů nenormativním způsobem

Bc. Hana Vrbová

Diplomová práce
2021

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Hana Vrbová
Osobní číslo:	T19548
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Řízení jakosti
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Hodnocení jakosti povrchu biopolymerních dílů nenormativním způsobem

Zásady pro vypracování

- student má za úkol zjistit jaký je rozdíl mezi vyhodnocením pomocí ISO 4287, ISO 4288 a ISO 25 178.
- provést kontrolu povrchů pomocí mikroskopu
- Dále provede analýzu povrchů na bezkontaktním profiloměru ZIGO
- Následně naměřená data drsnosti povrchu budou vyhodnocena pomocí programů Minitab a Statistika.

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

Seznam doporučené literatury:

1. ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999.
2. ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. 1999.
3. BUMBÁLEK,L.- BUMBÁLEK,B.: Pokrokové trendy v hodnocení textury povrchu, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně.
4. MELOUN, Milan. Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešení úlohy včetně CD. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milena Kubišová, PhD.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **5. ledna 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je vyhodnotit data získaná z replik povrchu jizev před a po použití frakční CO₂ laser-terapie. Jako první je v teoretické části popsán základ anatomie kůže, vrásky, proces hojení ran a z něj vzniklé jizvy. Dále jsou popsány lasery, část je zaměřena na využití laseru v medicíně. Poslední část je věnována povrchům, jejich měření, vyhodnocování a jejich replikaci.

V praktické části je cílem samotná replikace povrchu jizev mezi jednotlivými zásahy laseru v určitých časových odstupech a dále porovnání těchto povrchů pomocí statistických metod srovnávání.

Klíčová slova: jizvy, replikace povrchu, frakční CO₂ laser-terapie, bezkontaktní měření, jakost povrchu

ABSTRACT

The aim of this theses is to analyse data of replication of the surface before and after treatment by fractional CO₂ laser therapy. The first part of the theses is aimed on description of skin anatomy, wrinkles, wound healing process and scars. In the next part are described lasers. This part is focused on use of laser for medical purposes. The last part discusses about surfaces, their measurement, data evaluation and a replication of surfaces.

The aim of practical part is to replicate surface of scars between laser treatments at certain intervals of whole treatment procedure. As follows the comparison of the data by statistical methods.

Keywords: scars, surface replication, fractional CO₂ laser therapy, non-contact measurement, surface quality

Chtěla bych poděkovat paní Ing. Mileně Kubišové PhD. za její odborné vedení a cenné rady při tvorbě této diplomové práce. Děkuji své rodině, která tu byla a celou dobu mě podporovala ve studiu. Děkuji také svým přátelům, kteří mi pomohli udržet si pohodu po celou dobu studia. Největší dík patří mé studijní skupině a kamarádce Martině.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ANATOMIE KŮŽE, VRÁSKY, PORANĚNÍ A HOJENÍ KŮŽE	11
1.1 ANATOMIE KŮŽE – HLAVNÍ VRSTVY	11
1.1.1 <i>Epidermis</i> – pokožka.....	11
1.1.2 <i>Dermis</i> – škára.....	12
1.1.3 <i>Tela subcutanea</i> – podkožní tkáň.....	12
1.1.4 Andexální orgány – kožní andexa.....	12
1.2 VZNIK VRÁSEK VLIVEM STÁRNUTÍ KŮŽE	14
1.2.1 Typy vrásek:.....	14
1.2.2 Stárnutí kůže na tváři	15
1.2.3 Genetika a stres	16
1.3 HISTORIE HOJENÍ RAN	16
1.4 PROCES HOJENÍ RAN	17
1.4.1 Zánětlivá fáze	17
1.4.2 Granulační fáze	18
1.4.3 Epitelizační fáze	18
1.5 WOUND HEALING CONTINUUM.....	18
1.6 JIZVY.....	19
1.6.1 Atrofické jizvy	20
1.6.2 Keloidní jizvy.....	20
1.6.3 Hypertrofické jizvy	21
2 TEORIE LASERU	22
2.1 DRUHY LASERŮ	23
2.2 HISTORIE LASERU V MEDICÍNĚ	23
2.3 POUŽITÍ LASERU V MEDICÍNĚ	24
2.3.1 Laserová estetická chirurgie.....	24
2.3.2 Laser pro resurfacing a ablaci (CO2 laser, Er:YAG laser) a jejich princip	25
2.3.3 Frakční resurfacing.....	26
2.3.4 Komplikace spojené s použitím frakčního CO2 laseru.....	27
3 TEORIE POVRCHŮ, JEJICH MĚŘENÍ, VYHODNOCOVÁNÍ A REPLIKACE	28
3.1 ZÁKLADNÍ POJMY A PARAMETRY PRO 2D MĚŘENÍ POVRCHU	29
3.1.1 Vybrané parametry profilu pro dvourozměrné měření	31
3.2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY PRO 3D MĚŘENÍ POVRCHU	31
3.3 METODY VYHODNOCOVÁNÍ POVRCHŮ.....	32
3.3.1 Typy dat	32

3.3.2	Testování normality dat.....	32
3.3.3	Exploratorní datová analýza (EDA).....	33
3.3.4	Testy outlierů	35
3.3.5	Testy středních hodnot	35
3.4	METODY MĚŘENÍ POVRCHŮ	37
3.4.1	Dotykové metody měření povrchů 2D	37
3.4.2	Bezdotykové (optické) měření povrchů 3D	38
3.5	REPLIKACE POVRCHŮ	39
3.6	MATERIÁLY PRO REPLIKACE A JEJICH DĚLENÍ	40
3.6.1	Sádra.....	40
3.6.2	Agar-agar.....	40
3.6.3	Algináty.....	41
3.6.4	Elastomery.....	41
4	CÍLE PRÁCE	43
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	44
5	REPLIKACE POVRCHU	45
5.1	POUŽITÝ MATERIÁL.....	45
5.2	POSTUP REPLIKACE POVRCHU KŮŽE	45
6	MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ.....	47
6.1	EDA – EXPLORATORNÍ DATOVÁ ANALÝZA.....	48
6.2	SROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ REPLIK (PANÍ JANA).....	51
6.2.1	F- test, test shodnosti rozptylů	51
6.2.2	t-test, test shodnosti průměrů	52
6.2.3	Boxplotové diagramy	54
6.2.4	Dendrogramy.....	55
6.3	SROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ REPLIK (PANÍ ELLA).....	57
6.3.1	F- test, test shodnosti rozptylů	57
6.3.2	t-test, test shodnosti průměrů	58
6.3.3	Boxplotové diagramy	60
6.3.4	Dendrogramy.....	61
	ZÁVĚR	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	64
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	68
	SEZNAM OBRÁZKŮ	70
	SEZNAM TABULEK.....	72

ÚVOD

Ačkoliv by se mohlo zdát spojení estetické plastické chirurgie a metrologie jako pohádka, ve skutečnosti tomu tak není. Lékaři používají neúplné a málo robustní hodnotící škály při hodnocení stavu jizev mezi jednotlivými léčbami laserem, které jsou ovlivněny subjektivitou člověka hodnotícího jizvy. Proto vznikla myšlenka přistupovat k hodnocení povrchu jizev tak, jak přistupuje k měření a hodnocení povrchů technická praxe.

Díky tomuto spojení bude možné pomocí hodnocení dat vzniklých měřeními replik povrchů jizev optimalizace laserových léčebných metod, tudíž dojde k maximálnímu využití léčebného potenciálu laseru.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ANATOMIE KŮŽE, VRÁSKY, PORANĚNÍ A HOJENÍ KŮŽE

Kůže je považována za jeden z největších orgánů lidského těla. Její celková plocha tvoří průměrně 1,8 m². Představuje průměrně 16 % z celkové hmotnosti jedince. Tloušťka závisí na lokalizaci na těle, výživě i věku jedince. I její barva závisí na mnoha aspektech, jako je rozložení a množství melaninu, prokrvení cév, či obsah podkožního tuku. [1]

Na našem těle zastává velmi důležitou úlohu. Slouží jako ochranná bariéra proti vlivům vnějšího světa, které by na naše zdraví mohly mít neblahý dopad. Zastává ještě mnoho dalších funkcí, jako jsou:

- **Funkce smyslové** – V kůži se nachází řada receptorů rozpoznávajících bolest, chlad a teplo.
- **Termoregulační** – Díky cévám a potním žlázám zajišťuje stálou teplotu těla.
- **Funkce vylučovací** – Potními a mazovými žlázami kůže z těla vylučuje nežádoucí látky. [1]

Skládá se ze tří hlavních vrstev:

- **Epidermis** (nejvrchnější vrstva kůže).
- **Dermis** (střední vrstva, tvořena sítí kolagenových a elastinových vláken).
- **Tela subcutanea** (nejspodnější vrstva, tvořena hlavně tukovou a pojivovou tkání).

[14]

1.1 Anatomie kůže – hlavní vrstvy

1.1.1 Epidermis – pokožka

Jedná se o povrchovou část kůže, která je tvořena mnoha vrstvami dlaždicového epitelu, který směrem k povrchu postupně rohovatí. Spodní hranice této vrstvy je zvlněná a tvoří výběžky do *dermis*. Procesem stárnutí jsou tyto výběžky postupně narovnávané. To způsobuje snadnější odloučení a poškození vazby těchto dvou vrstev kůže a proto je náchylnější na poranění. [14]

Buňky epidermis jsou tvořeny v bazální vrstvě a postupují směrem nahoru, zplošťují se, až nakonec zrohovatí. Celý proces zrání a konečného zrohování jedné buňky trvá zhruba 28 dnů. [14]

Epidermis tvoří vrstvy směrem od spodu takto:

- ***Stratum basale*** – Jedna vrstva cylindrických až oválných buněk – keratinocitů. Tyto buňky se neustále dělí a tím vytlačují staré buňky směrem nahoru. Mezi těmito buňkami jsou náhodně rozmístěny melanocyty – buňky schopné vytvářet barvivo melanin, který je předáván buňkám v bazální vrstvě.
- ***Stratum spinosum*** – Tvořena několika vrstvami polygonálních buněk, které jsou směrem k povrchu oploštělé. Prostor mezi nimi je vyplněn tkáňovým mokem a jsou spojeny výběžky.
- ***Stratum granulosum*** – Zrnitá vrstva – zploštělé buňky se zploštělými jádry v několika vrstvách.
- ***Stratum lucidum*** – Dvě až tři vrstvy plochých buněk – v této vrstvě dochází k postupnému odumírání buněk a ztrátám jejich jader.
- ***Stratum corneum*** – Zrohovatělá vrstva buněk s absencí jader. Na povrchu této vrstvy dochází k neustálému odlučování odumřelých buněk. [14]

1.1.2 *Dermis* – škára

Tato vrstva kůže se dělí na dvě části. První z nich je nazývána *pars papillaris* a tvoří ji výběžky zvané papily. Druhá část, *pars reticularis*, zasahuje do hlubších vrstev, kde postupně přechází v tukovou tkáň (podkožní tuk).

Pevnost této vrstvy je zajišťována elastickými a kolagenními vlákny, které jsou uspořádány tak, aby kůže byla co nejpevnější. Hmota mezi buňkami je tvořena z největší části vodou, dále ionty, kyselinou hyaluronovou apod. a jsou zde náhodně rozptýleny další kožní elementy (cévky, kožní andexa, nervy, fibroblasty aj.). [14]

1.1.3 *Tela subcutanea* – podkožní tkáň

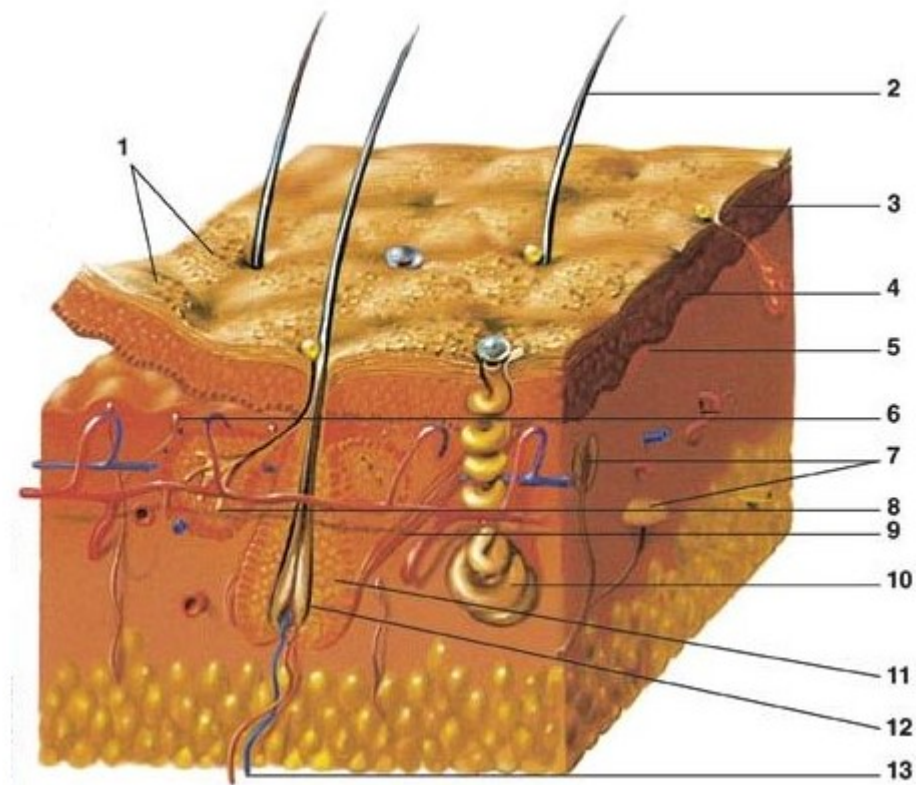
Je tvořena řídkým vazivem a jsou v ní rozmístěny potní žlázy, nervová zakončení, lymfatické a krevní cévy. Díky této vrstvě je možné kůži bez traumatu a zranění posunout vůči spodině. Tloušťka je proměnlivá a záleží na lokalizaci (na očním víčku nejtenčí a na břiše a hýždích nejsilnější). Také závisí na množství tuku ve tkáni. [14]

1.1.4 Andexální orgány – kožní andexa

- **Vlasy** – Kořen vlasu (folikul) se nachází ve škáře. Na povrchu vlasu se nachází kutikula, která ji chrání před vlivy vnějšího prostředí. Každý vlas, či chlup má také

svůj sval zodpovědný za jeho vzpřímení při určitých podnětech. Patří zde veškeré ochlupení na těle – vlasy, fetální chmýří, ochranné chlupy, pubické ochlupení apod.

- **Mazové žlázy** – Rozmístěny v horní polovině škýry, tyto žlázy produkují sekret, který slouží jako ochrana pro naše tělo – mazový film. Za den jsou schopny vytvořit až 2 g sekretu. [14]
- **Potní žlázy** – *Malé:* V kůži se nacházejí v největším počtu hlavně na chodidlech a dlaních; jejich funkcí je vyrovnávat teplotu organismu vůči vnějšímu prostředí. *Velké:* Hlavní funkcí je tvorba pachu charakteristického pro daného jedince, jejich činnost je započata v pubertě a snížena ve stáří. [14]
- **Nehty** – Tvořeny zrohovatělými buňkami. Růst započíná v kořeni nehtu a postupuje přes nehtové lůžko až k jeho volnému okraji. Slouží k usnadnění manipulace a jemné práci a také jako ochrana před zraněním konečků prstů. [14]



Obrázek 1 Stavba lidské kůže [19]

Popis obrázku 1:

1. Odlupující se zrohovatělé buňky
2. Vlasy či chlupy
3. Zrohovatělá vrstva buněk

4. Zárudečná vrstva s papilami
5. Vrstva obsahující melanocyty vytvářející kožní barvivo
6. Receptory bolesti, nervová zakončení
7. Mechanoreceptory, receptory citlivosti kůže
8. Mazové žlázy
9. Sval vzpřimující vlas
10. Potní žlázy
11. Vlasová pochva
12. Vlasová cibulka
13. Cévy [19]

1.2 Vznik vrásek vlivem stárnutí kůže

Vznik vrásek je přirozenou součástí stárnutí kůže. Vznikají, kromě jiných vlivů, vlivem vystavení kůže UV záření, které urychluje proces přirozeného stárnutí kůže. Kvůli UV záření dochází k rozpadu elastinových a kolagenních vláken v *dermis* a tím kůže ztrácí svou elasticitu a dochází ke vzniku vrásek trvalejšího charakteru.

Jak člověk stárne, snižuje se také produkce kožního mazu a tím pádem kůže vysychá. To způsobuje zviditelnění vrásek. Dochází také ke snížení množství tuku, tím ochabují kontury a vrásky jsou viditelnější.

Na proces stárnutí kůže má vliv také životní styl. Je známo, že kouření a nadměrné užívání alkoholických nápojů urychluje proces stárnutí. [24]

1.2.1 Typy vrásek:

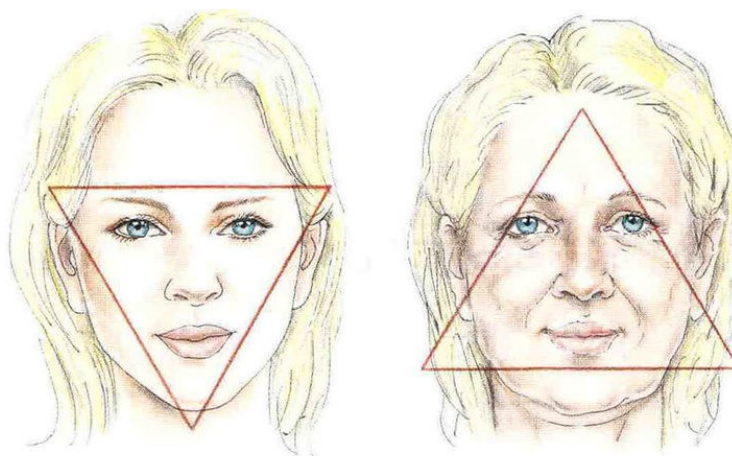
- **Jemné linky** se vyskytují na těle i obličeji. Jsou důsledkem snížené produkce kolagenu a následnou ztrátou elasticity kůže. Mohou vzniknout i předčasně kvůli vlivu kouření a nadměrné konzumace alkoholu na hydrataci pokožky. Vysychání pokožky a následný vznik těchto vrásek může způsobit i nedostatek proteinů a vitamínu C.
- **Elastické záhyby** se vyskytují v dolní oblasti krku a nad horním rtem. Jejich vznik je do jisté míry ovlivněn kouřením a vystavením kůže UV záření.

- **Vrásky vzniklé přirozených procesem stárnutí** se vyskytují nejčastěji na čele a po stranách úst. Jsou způsobeny ztrátou elasticity a pevnosti kůže vlivem ztrát kolagenních a elastických vláken a kyseliny hyaluronové. Kůže je tenčí a ochrana proti vnějším vlivům se snižuje.
- **Mimické vrásky** se vyskytují na obličeji, nejčastěji kolem úst, očí a na čele. Způsobují je pohyby mimických svalů (např.: při zamračení, úsměvu), proto se také nazývají „výrazové linie“. Nejdříve jsou znatelné pouze při těchto pohybech a nejsou důsledkem přirozeného procesu stárnutí, ovšem časem jsou viditelné i při svalovém klidu. [24] [25]

1.2.2 Stárnutí kůže na tváři

Hlavní část celého procesu stárnutí začíná ve škáře. Nejdříve jsou zasaženy fibroblasty, což jsou buňky produkující kolagen. Klesá počet elastických a kolagenních vláken a vzhledem k tomu, že cévy jsou obklopeny elastickými vlákny, která ubývají, stávají se viditelnějšími. Obnova buněk je z původních cca 28 dnů prodloužena na dnů 50. Dochází k pomalejšímu hojení ran a pomalejšímu růstu nehtů.

Tvář se udržuje relativně bez vrásek díky tukovým polštářům ukrytým v podkoží v pojivové tkáni. Vzhledem k tomu, že ve stáří tento tuk ubývá, kůže se smrskává. Do tohoto jevu je ještě zapojeno opotřebenění pojivové tkáně, která tváři dodává jakýsi tvar, dochází vlivem gravitace k poklesu kůže na tváři. Tomuto jevu se přezdívá „otočení trojúhelníku“. [25]



Obrázek 2 Zobrazení trojúhelníku na mladé a stárnoucí tváři [26]

Stárnutí kůže ovlivňují také volné radikály, které poškozují genom v buňkách, bílkovinné struktury, tkáň a molekuly tuky a cukru. Tělo může pomocí enzymů tyto volné radikály

neutralizovat, ovšem vzhledem k dalším vlivům na proces stárnutí, jako je vliv UV záření, kouření či nadměrná konzumace alkoholu, tento „opravný systém“ nestačí. [25]

1.2.3 Genetika a stres

Při tvorbě vrásek hraje významnou roli také genetika. Díky genetickým predispozicím je možné určit, kdy se přibližně začnou tvořit vrásky.

Někteří lidé mohou mít genetickou predispozici pro tvorbu vrásek po dvacátém roce života a jiní zase klidně po padesátém roce života.

Stres může vést k podráždění a následkem toho k nežádoucím výrazům na tváři. Tím se mohou prohlubovat, již výše zmíněné, mimické vrásky. Stres může také způsobovat hormonální nerovnováhu, která ovlivní metabolismus a tím způsobit předčasné stárnutí kůže. Stres můžeme ovlivnit přísunem vitamínu B, pohybem a správným životním stylem. [25]

1.3 Historie hojení ran

Lidstvo se věnuje a zajímá o hojení ran v podstatě už od jeho vzniku. Rány vzniklé při boji či lovu lidé ošetřovali primitivními dostupnými metodami, znali blahodárné účinky bylin a jiných přírodních materiálů. Využívali i přírodní antiseptické prostředky jako jsou cukr, či med.

První pravidla a zásady pro hojení ran položil okolo roku 400 př. n. l. řecký lékař Hippokrates. Věděl, že je důležité zabránit infekci v ráně a dokonce dokázal zajistit hojení bércových vředů kompresivní terapií.

O pár století později, opět řecký lékař, Galén, popsal další pravidla pro úspěšné hojení ran a těmi se lidstvo řídilo až do 15. století.

Až v 19. století se jako antiseptikum začal používat roztok dusičnanu stříbrného a s rozvojem textilního průmyslu přišly krycí a obvazové materiály, zabraňující zanesení rány nečistotami a vzniku infekce.

Nejvýznamnějším milníkem nejen pro hojení ran byl objev penicilinu Alexandrem Flemíngem, který se užíval jako antibiotikum zabraňující zánětům a infekcím. [4]

1.4 Proces hojení ran

Hojení ran je proces, který se neobejde bez důležitých fází.

Bezprostředně po narušení tkáně dochází k nahromadění a agregaci krevních destiček v ráně a tvorbě krevní sraženiny, která zabraňuje dalšímu vytékání krve, či plasmy z rány. [3]

Jakmile dojde k vytvoření krevní sraženiny a zastavení krvácení, je zahájen proces, při kterém dochází k obnově funkce a struktury porušené tkáně. Porušená tkáň prochází reparačním procesem. Poškozené buňky jsou nahrazovány novou vazivovou tkání a tímto vzniká jizva. Průběh tohoto procesu je velice složitý a je ovlivňován řadou faktorů, jako je vliv enzymů na samotný proces, interakce různých typů buněk, růstové faktory aj. [2]

Pokud je to možné, okraje rány se k sobě sešijí, rána je takto ponechána bez dalších zásahů a sleduje se její stav. V optimálním případě se spodina rány začne pokrývat granulační tkání a jizva je po tomto zranění pevná a úzká.

Pakliže nelze okraje rány spojit, je možné přistoupit k zakrytí rány kožním transplantátem. Pokud jsou však vyloučeny obě tyto možnosti, je nutné přistoupit k sekundárnímu hojení. V ráně se může objevit lokální infekce, či přítomnost různých druhů bakterií. Epitelizace v ráně probíhá od okrajů, je postupně vyplňována granulační tkání a po ráně zůstává neestetická znatelná jizva. [14]

Přirozený proces sekundárního hojení je možné rozdělit do tří základních fází, které jsou popsány v následujících řádcích, avšak ty se mohou navzájem prolínat a překrývat a proto je nelze striktně oddělit. [2]

1.4.1 Zánětlivá fáze

Při této fázi jsou z poranění odstraňovány nežádoucí elementy. Migrují zde buňky se schopností fagocytózy (schopnost rozlišit a pohltit nežádoucí částice). V místě poškození tkáně může dojít k odumírání jejích částí (nekróze), která zabraňuje a znesnadňuje proces hojení a proto je nutností ji odstranit. Pro to, aby došlo k úspěšnému zahojení rány je také nutno odstranit vzniklé povlaky a jiné nežádoucí typy tkání, které taktéž mohou vznikat.

Obvyklá doba trvání této fáze se pohybuje okolo tří dnů. [2]

1.4.2 Granulační fáze

V této fázi dochází k obnově cév a postupným vyplněním rány novou granulační tkání, která tvoří podklad pro epitelizační proces. Je důležité udržovat optimální teplotu a vlhkost pro hojení rány. Hojení v této fázi se projevuje výskytem světle červených skelných bodů, jejichž název zní „*granuly*“. Pokud se granuly zvětšují a jejich odstín se mění do lososově červené, jedná se o indikaci pokračujícího hojení. Ovšem pokud granuly ztrácí barvu až šediví, hojení stagnuje. [2]

1.4.3 Epitelizační fáze

Tato fáze je charakteristická epitelizací (růstem nové tkáně) od okrajů, či z epitelizačních ostrůvků v ráně. Je nutné mít podklad rány dostatečně vlhký, aby byla umožněna snadná migrace buněk po spodině. Jedná se o podmínku pro migraci, stejně tak jako dostatečné okysličení a chemické působení na granulační tkáň, díky nimž buňky migrují vhodným směrem. Nová tkáň postupně získává na pevnosti a dochází k její přeměně na jizevnatou. Je velmi náchylná k dalšímu poranění, jelikož její pevnost dosahuje pouze 80 % té původní i po dvou letech od zahojení rány. [2]

1.5 Wound healing continuum

Pro správný postup a identifikaci stádia hojení je používána pomůcka zvaná: *Wound Healing Continuum*, zkráceně: WHC (český překlad: Kontinuum hojení rány). Vývoj hojení rány se dle této pomůcky dá snadno charakterizovat a zjistit, zda se jedná o inhibici hojení, hojivý proces či stagnaci. [2]

Tato pomůcka klasifikuje stádium hojení rány podle převažující barvy. K popisu stádií hojení ran se používají čtyři barvy: **černá, žlutá, červená a růžová**. Nekrotická a poškozená tkáň má černou, někdy však hnědou barvu. Žlutou barvou se vyznačuje tkáň se zánětem a červenou barvu má zdravá granulační tkáň, kde probíhá obnova a růst nového epitelu. Dále pak růžovou barvou popisujeme již zhojenou tkáň. [11]

Černá rána – Ve spodině se vyskytuje nekróza a rány tohoto typu jsou považovány za téměř nezhojitelné. Je nutné odstranit mrtvou tkáň a zhodnotit strukturu a stav tkáně pod ní, ovšem tak, aby nedošlo k dalšímu poškození. Pro tento účel se kromě mechanických metod využívají i různé šetrnější metody (enzymatická, hydrolytická).

Černo-žlutá rána – Jedná se o přechodnou fázi, mezi ránou žlutou a černou. Žlutou tkáň tvoří vláknitá vlhká nekrotická složka či podkožní tuk a je nutné ji odstranit včetně povlaků.

Žlutá rána – Rána s přítomností hnisu se známkami infekce lokální, či šířící se. Povlak tvoří příhodné prostředí pro množení nežádoucích mikroorganismů a musí být pro tento důvod odstraněn.

Žluto-červená rána – Jedná se opět o přechodný typ rány. Červená složka nemusí vždy znamenat přítomnost granulující tkáně, ovšem může být znakem vznikající infekce zapříčiněnou různými druhy bakterií.

Červená rána – Výskyt granulující tkáně v ráně. Probíhá růst epitelu a rána se hojí.

Červeno-růžová rána – Jedná se o fázi, kdy probíhají poslední změny, proces hojení se ukončuje.

Růžová rána – Poškození je zcela překryto novou tkání. Tento nově vzniklý epitel je velmi náchylný pro vznik dalšího poškození. [2]



Obrázek 3 Obrázková pomůcka pro snadnou klasifikaci stádia hojení ran [11]

1.6 Jizvy

Ačkoliv vznik a samotný vzhled jizev je náhodný a nepředvídatelný, stále existuje několik faktorů, které jej do jisté míry mohou ovlivňovat. Hlavním faktorem je rozsah a hloubka poškození tkáně, která ovlivňuje především velikost a charakter jizvy. Ovšem jsou zde i další faktory. Jedná se o věk, rasu, pohlaví, lokalizaci zranění na těle či možnost a úroveň kontaminace rány. V místech, kde je kůže silnější, jsou tendence vzniku větších jizev, než u tenčí kůže. Také je dokázáno, že tvorbu jizev ovlivňuje hormon estrogen, který zapříčiňuje horší vzhled jizev. Tudíž ženy před menopauzou jsou k tomuto jevu více náchylnější, než ženy po menopauze a muži, kteří mají přirozeně nižší hladinu zmíněného hormonu. K jizvám

s horšími estetickými vlastnostmi jsou také náchylnější lidé s tmavou barvou pleti s vyšším obsahem pigmentu. [3]

1.6.1 Atrofické jizvy

Nejčastěji vyskytující se druh jizev. Typickým příkladem vzniku atrofických jizev je akné, ale mohou vzniknout i komplikacemi s hojením různých druhů ran a poškození na pokožce či po odstranění znamének. Atrofická jizva zasahuje do tkáně a je položena níže, než okolní povrch.

Vzhledem k četnosti výskytu a lokalizace tohoto druhů jizev na viditelných částech lidského těla, jsou vyvíjeny četné snahy o jejich odstranění. Chirurgické zákroky, chemický peeling, či dermabraze mohou vzhled jizev často ještě zhoršit, či způsobit změny pigmentace v místě jizvy. [8]



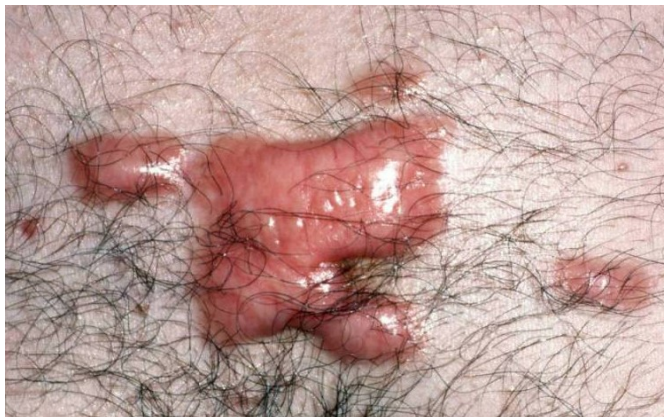
Obrázek 4 Atrofická jizva po akné [8]

1.6.2 Keloidní jizvy

Keloidní jizvy jsou benigní nenakažlivé útvary, které se v místech poranění kůže vyvíjí několik měsíců, či let. Kožní výrůstek přesahuje oblast poranění a má hladký zakulacený povrch. Tento druh jizvy je extrémně citlivý na podráždění. Mohou se projevit i bolesti, pálení a svědění, ale u různých pacientů se tyto projevy mohou lišit.

Jizvy tohoto typu mají často pro ně typická neestetická zbarvení, tvary i velikost. Řadě lidí působí estetické komplikace a nepříjemnosti také vzhledem k tomu, že se objevují

převážně na horní polovině těla (v oblastech postižených akné, ušních lalůčcích po aplikaci náušnic, hrudníku a zádech). [3]



Obrázek 5 Keloidní jizva [12]

1.6.3 Hypertrofické jizvy

Tyto jizvy se vyskytují častěji, než keloidní jizvy a jsou s nimi často zaměňovány. Lokalizace výskytu je stejná jako u keloidních jizev, převážně na horní polovině těla. Tento druh jizev také vystupuje nad okolí rány, ale ne do té míry, jako je tomu u již výše zmíněného druhu jizev. Často se vyskytují na kloubech a omezují tak jejich hybnost, ale nemají tolik uzlíkovitou strukturu.

Vzhled těchto jizev se po roce až dvou často zlepšuje, avšak svědění a omezená hybnost kloubu zůstává. [3]



Obrázek 6 Hypertrofická jizva [9]

2 TEORIE LASERU

První poznatky a teoretické základy o laserovém paprsku položil Albert Einstein již v roce 1917. Realizace prvního laserového paprsku proběhla až v 50. letech a to panem C. H. Townsem a A. L. Shawlowem, kteří jako první navrhli podklady pro výrobu tohoto zařízení. Poté následovaly experimenty s různými druhy aktivních prostředí (důležitou komponentou laseru). Až v roce 1964 přišel jistý pan C. H. Patel s objevem a realizací CO₂ laseru, který se hojně využívá ve všech možných odvětvích. Do současnosti byl zaznamenán obrovský růst a rozvoj této technologie v různých oblastech se širokým spektrem využití.

Tyto oblasti jsou:

- Průmyslové aplikace (řezání, broušení, kalení, obrábění, gravírování, vrtání)
- Přenos a uchování informací (CD, HDD...)
- Měřicí systémy pro metrologii (laserový interferometr, laserové zaměřování)
- Nedestruktivní metody zkoušení
- Lékařství [6]

LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*; v českém překladu: zesílení světla pomocí vybuzené emise záření).

Hlavním principem funkce laseru je uvedení atomů aktivního prostředí do excitovaného stavu absorpcí dodané energie, tudíž do stavu, kdy se elektron atomu aktivního prostředí vlivem přidané energie přesune do vyšší energetické hladiny. Jelikož se atomy v běžných podmínkách nacházejí v základním stavu, na nejnižší energetické hladině, elektron se po krátkém čase přirozeně přesune zpět do nižší energetické hladiny a současně emituje foton.

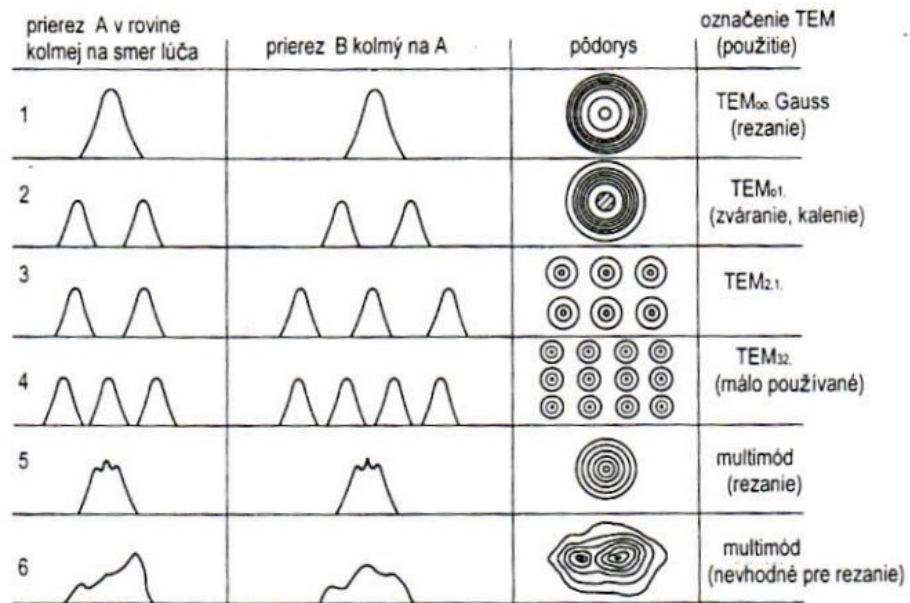
Jinými slovy se dá říct, že se jedná o zesilovač a generátor světelných vln. [5]

Pro tvorbu světelného paprsku je využita **stimulovaná emise záření**.

Světelný paprsek má určité základní vlastnosti:

- Vysoká monochromaticita (téměř stejná vlnová délka v paprsku).
- Koherence (téměř veškeré částice kmitají stejnou fází jak ve směru šíření, tak ve směru na něm kolmém).
- Minimální rozbíhavost (divergence).
- Vysoká výstupní intenzita.

- Módová struktura (v rovině kolmé na směr šíření může mít hustota výstupní energie strukturu). [6]



Obrázek 7 Módová struktura laserů [6]

2.1 Druhy laserů

Aby se usnadnila kategorizace je nutné vzhledem k počtu dostupných druhů laserů dělit dle následujících kritérií:

- Aktivní prostředí (plynové, pevné, kapalinové, polovodičové).
- Vlnová délka (IR, UV, RTG, optozářeni).
- Druh, či režim paprsku (kontinuální, pulzní, Q – switched).
- Výkon (nízkovýkonné, vysokovýkonné).
- Konstrukce samotného laserového zařízení (pevný laser a pohyblivý stůl s obrobkem, pohyblivý laser a pevný stůl s obrobkem, pevný laser s pohybem zajištěným zrcadly a pevný stůl s obrobkem).
- Použití (úběr materiálu, spojování a zpevňování, tepelné opracování, jiné procesy).

[6]

2.2 Historie laseru v medicíně

Leon Goldman jako první zkoumal vlastnosti laseru při použití v klinické praxi a vydal sérii článků popisující účinky laseru na kůži.

Vzhledem k vysokému riziku možných a nepřijatelných komplikací při nepřetržité emisi laserového záření byl tento režim nahrazen režimem pulzním, který tato rizika minimalizoval.

Zpočátku nebyl jasný cíl využití laseru v lékařství, avšak nástupci Leona Goldmana začali laser využívat na léčbu cévních lézí. Vlnové délky použité pro odstraňování cévních lézí se však blížily interakčním vlnovým délkám pro melanin, byly jím absorbovány a to vedlo k nechtěným pigmentovým změnám na kůži.

Kvůli nežádoucím vedlejším účinkům, jako je poškození okolní zdravé tkáně důsledkem dlouhé doby expozice a nežádoucími interakcemi záření s různými složkami kůže, navrhl Parrish a Anderson nový model pro laserovou terapii. Jednalo se o selektivní fototermolýzu, při které správným výběrem vlnové délky bude toto záření interreagovat pouze s určitou složkou ve tkáni a doba expozice bude kratší, než čas potřebný pro tepelnou relaxaci tkáně a tudíž nebude docházet k termickému poškození okolního tkaniva. [13]

2.3 Použití laseru v medicíně

V lékařství lasery pracují v oblastech viditelného světelného a infračerveného záření. Světelný paprsek dopadající na kůži přeměňuje svou energii na teplo a působí tak ve tkáni změny. Lasery s nižším výkonem mají biostimulační účinky, tudíž podporují růst nových epitelů a také zmírňují bolest. Více výkonné lasery se používají pro korekce. Díky tepelné energii dochází k destrukci určitých komponentů obsažených v kůži, jako jsou hemoglobin, pigmenty a tkáně.

Je nutné dbát na bezpečnost a ochranu zraku pacienta, tudíž je laserové zařízení umístěno v prostoru bez lesklých ploch, kde by mohlo snadno dojít k odrazu paprsku a následnému poškození zraku. Pacient i obsluhující lékař musí užít speciálních ochranných brýlí s příslušným filtrem. [7]

2.3.1 Laserová estetická chirurgie

Užívání laserů v estetické chirurgii je považováno za jeden z největších posunů v tomto oboru. Vzhledem k tomu, že je paprsek koherentní a monochromatický umožňuje procházet některými druhy tkání bez interakce a posléze být další tkání absorbován a způsobit v ní změny. Tento jev je nazýván „*selektivní fototermolýza*“. Je proto nutné vždy zvolit správnou vlnovou délku, pro požadovanou interakci s konkrétním druhem tkáně či její složky.

Lasery určené pro medicínské využití jsou děleny dle různých kritérií, nejčastěji ale dle jejich výkonu.

Dělení dle výkonu:

- Ultránízkovýkonný laser (ULLLT) – Léčba bolesti, ochrana před oxidací a stresem.
- Nízkovýkonný stimulační laser (LLLT) – Léčba bolesti a jizev.
- Vysokovýkonný laser (HLLT) – **Ablativní** slouží k resurfacingu a abrazi (frakční laser). **Neablativní** slouží k narušení tkáně a tím je vyvolána tvorba nového a kvalitnějšího kolagenu. [1]

2.3.2 Laser pro resurfacing a ablaci (CO₂ laser, Er:YAG laser) a jejich princip

Tato metoda je navázáním na klasickou mechanickou abrazi a chemický peeling. Ačkoliv jsou tyto metody poměrně staré, stále se ještě dnes používají jako alternativa laserové metody. Příkladem může být chemický peeling kyselinou trichlorovou, který naruší vrstvu kůže a po zhojení je vytvořena nová a kvalitnější vrstva kolagenu. Díky vytvoření této vrstvy dochází k redukci vrásek.

Se vznikem pulzního CO₂ laseru přišel rozvoj laserové abraze pokožky. Dochází u ní k velmi přesnému a kontrolovanému narušení horních vrstev pokožky a díky následné alergické reakci je umožněn vznik nového kolagenního vaziva se známkami lepší kvality (kůže je pružnější) s méně vráskami.

Tento druh laseru je v dermatologii nejpoužívanější vysokovýkonný ablativní laser. [1]

Princip funkce laserové ablace: Laserovým zářením určité vlnové délky se do pokožky dodá velké množství energie. Tato energie je poté absorbována vodou obsaženou v tkáni a způsobí její prudké vysušení. Vysušená kůže poté odumírá a je možné ji lehce sejmout.

Díky možnosti krátkého působení laserového paprsku na určité místo, které je kratší než termální relaxační čas tkáně, je možné zasáhnout a ovlivnit velmi přesně ohraničenou plochu, ale i hloubku, ve které se projeví termální změny. Změnou použité energie času působení tak můžeme hloubku pro termální zásah regulovat v desítkách mikrometrů.

Pro resurfacing se nejčastěji užívá Er:YAG laser a CO₂ laser. Er:YAG laser má reaktivnost s vodou cca 20krát vyšší než CO₂ laser a proto je jeho abraze tkáně povrchová, kdežto u CO₂ laseru se jedná o zasažení hlubších vrstev.

Er: YAG laser – Používá se pro odstranění zcela povrchových nezhoubných výrůstků na kůži, pigmentových skvrnek, pih, jemných vrásek apod. Jeho výhodou je snadné a rychlé hojení bez komplikací, ovšem zasažená plocha může krvácet. Také u něj nedochází ke kolagenové remodelaci.

CO₂ LASER – Termální zásah ve tkáni je hlubší a proto dochází k výraznější kolagenové remodelaci, než u výše zmíněného typu laseru. Jeho výhodou je, že po ošetření plocha téměř nekrvácí s téměř nulovým rizikem infekce, oproti tomu vzhledem ke hloubce a síle zásahu je vždy očekáváno delší hojení. [1]

Pro dodání energie do tkáně pomocí laseru existují dvě formy: Pulzní dodávka energie, kdy energii dodáváme ve velmi krátkých pulzech (0,1 až 0,9 pikosekund s frekvencí pulzů od 1000 do 5000 za sekundu) a kontinuální dodávání energie se skenováním, kdy je paprsek veden po spirále.

2.3.3 Frakční resurfacing

Vzhledem k tomu, že klasické laserové metody resurfacingu často způsobovaly různé pigmentační změny, byla vyvinuta další modalita a to: **frakční resurfacing**. [1]

Jedná se o revoluci v moderním lékařství v oboru léčby a úpravy kůže. Díky zaměření energie laseru do bodů a termálního poškození pouze některých částí kůže se snižuje doba rekonvalescence po zákroku, jelikož zdravé části tkáně v okolí napomáhají správnému hojení. Dále se také snižuje riziko různých komplikací, které bylo u jiných ablativních metod laserové terapie značně vysoké (riziko infekce a pigmentových změn). [9]

Laserový paprsek při této metodě nezasahuje kůži plošně, ale pouze v určitých bodech. Mezi těmito body se nachází plochy neošetřené kůže. Tkáň je iritována a dochází v ní k remodelaci kolagenu. Ačkoliv se jedná o zánětlivé hojení, přesto je jeho doba velmi krátká (4 – 7 dnů), bez komplikací a pigmentových změn. [1]

Tato metoda je velmi vhodná k léčbě hypertrofických a atrofických jizev. [9]



Obrázek 8 Resurfacing jizev po akné CO₂ laserem [1]

2.3.4 Komplikace spojené s použitím frakčního CO₂ laseru

U některých pacientů došlo ke komplikacím po zákroku frakčním CO₂ laserem. Jednalo se o otoky, při kterých vznikaly další jizvy (na očním víčku). Dále o mohutný otok červené barvy v oblasti krku, ze které později vzešla jemná pásovitá jizva. U dalšího pacienta se objevila žlutá sekrece opět v oblasti krku a došlo k infekci zlatým stafylokokem rezistentního na antibiotika běžně používaná proti tomuto druhu. Ačkoliv probíhala léčba této komplikace, tak i přes snahu lékařů se v této oblasti opět objevily jizvy s výrazným zbarvením.

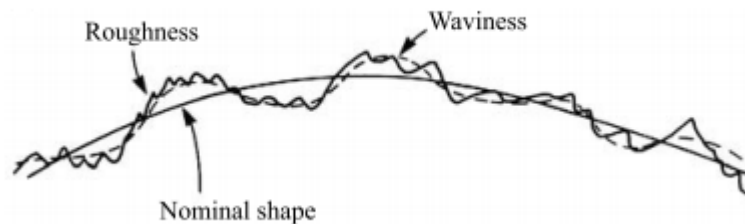
Po zkoumání příčin těchto změn bylo zjištěno, že při léčbě citlivých oblastí s tenkou kůží, jako je hrudník, oční víčka a část krku, je nutné postupovat s co největší opatrností a nízkou hustotou energie na výstupu laserového zařízení. Je také třeba sledovat stav a dobře znát anamnézu pacienta a v případě rozvíjející se infekce včas podat vhodné léčivé přípravky, aby bylo zabráněno zjizvení a poškození tkáně a následné zhoršení stavu pacienta. [10]



Obrázek 9 Komplikace po použití frakčního CO₂ laseru a zhoršení stavu pacienta [10]

3 TEORIE POVRCHŮ, JEJICH MĚŘENÍ, VYHODNOCOVÁNÍ A REPLIKACE

Drsnost povrchu ve strojírenství je soubor nepravidelností, které zapříčinil proces výroby a která je vždy součástí při úběru materiálu, oproti vlnitosti, která může být způsobena chybou v systému stroj-nástroj-obrobek. [15]



Obrázek 10 Drsnost, vlnitost a tvar [16]

Na obrázku výše jsou vyobrazeny základní parametry profilu a to jsou tvar (ang.: *shape*), vlnitost (ang.: *waviness*) a drsnost (ang.: *roughness*). Tyto parametry se dělí dle jejich vlnové délky.

Tyto nerovnosti jsou způsobeny stopami po nástroji, mikrotrhlinami, nahromaděným materiálem na čele nástroje atd. Drsnost se zásadně měří kolmo na směr stopy po nástroji, i když existují výjimky a to například při problémech s těsněním součástí či třením.

Drsnost povrchu má obecně velice širokou škálu. Od těch nejhrubších povrchů tvořených například hoblováním až po ty nejjemnější, dokončované technologií lapování. Samozřejmě je možné dosáhnout ještě jemnějších povrchů, díky nekonvenčním metodám obrábění, kdy se u nerovností na povrchu obrobku dosahuje i atomární úrovně. [15] [17]

Drsnost povrchu i povrchové vlastnosti materiálů jsou měřeny z mnoha důvodů. Mezi ty nejčastější a nejdůležitější patří:

- Monitorování procesu výroby (jsou sledovány vybrané vlastnosti, jako je drsnost, povrchová tvrdost atd.).
- Posouzení vlastností výrobků při následném praktickém použití (drsnost těsnících součástí, součástí vystavených tření a dále měření opotřebení součástí). [18]

3.1 Základní pojmy a parametry pro 2D měření povrchu

Základní pojmy a parametry jsou definovány normou ČSN EN ISO 4287:

- **Aritmetický průměr R_a** – Pro 2D měření, jedná o aritmetický průměr souřadnic omezených rozsahem základní délky.

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (1)$$

- **Průměrná kvadratická úchylka R_q** – Jedná se o kvadratický průměr souřadnic omezených rozsahem základní délky.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^2(x)| dx} \quad (2)$$

- **Šikmost R_{sk}** – Jedná se o míru hustoty pravděpodobnosti a symetrie získaných hodnot.

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^3(x)| dx \right] \quad (3)$$

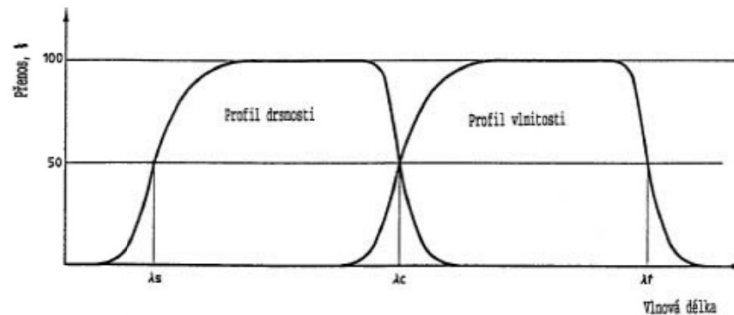
- **Špičatost R_{ku}** – Jedná se o míru špičatosti hustoty pravděpodobnosti získaných hodnot.

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^2} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^4(x)| dx \right] \quad (4)$$

Dále důležité obecné termíny:

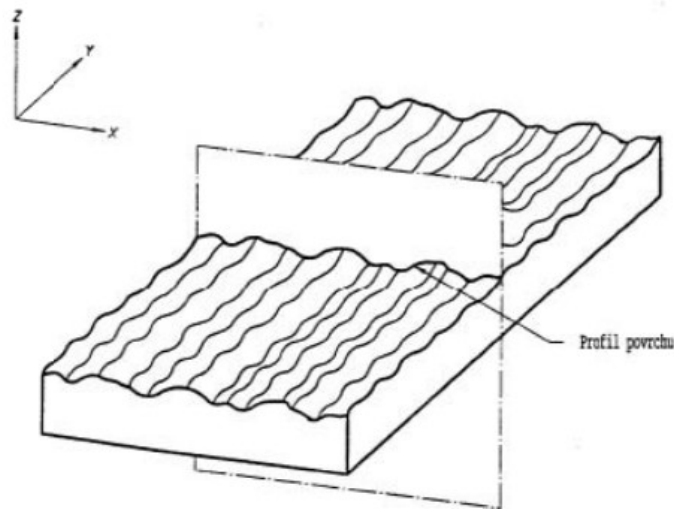
- *Peak* (výstupek): směřuje z povrchu ven
- *Valley* (prohlubeň): směřuje dovnitř
- *Element* (prvek): výstupek a s ním spojená přilehlá prohlubeň
- **Filtr profilu:** filtr rozděluje profil na dlouhovlnné a krátkovlnné složky (ISO 11562)
 - *λ_s filtr profilu:* Filtr definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu.
 - *λ_c filtr profilu:* Filtr definující rozhraní mezi složkami drsnosti a složkami vlnitosti.

- *λf filtr profilu*: Filtr definující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu. [16]



Obrázek 11 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [16]

- **Skutečný povrch**: Povrch omezující těleso a oddělující ho od okolního prostředí.
- **Profil povrchu**: Profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny.



Obrázek 12 Profil povrchu [16]

- **Profil drsnosti**: Profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím λc filtru. Profil je úmyslně pozměněn.
- **Profil vlnitosti**: Profil odvozený postupnou aplikací filtru λf a filtru profilu λc na základní profil, potlačující dlouhovlnné složky filtrem profilu λf a krátkovlnné složky filtrem profilu λc . Profil je úmyslně pozměněn.

3.1.1 Vybrané parametry profilu pro dvourozměrné měření

- P- parametr: Vypočítán ze základního profilu.
- W- parametr: Vypočítán z profilu vlnitosti.
- R- parametr: Vypočítán z profilu drsnosti.
 - Rp – Největší výška *peaku* na základní délce.
 - Rv – Největší hloubka *valley* na základní délce.
 - Rz – Součet největšího *peaku* a *valley*.
 - Ra – Průměrná hodnota všech výšek v profilu na základní délce.

Vyhodnocovací délka (l_n): Délka reálně použitá pro vyhodnocení a posouzení povrchu.

Základní délka drsnosti (l_r): Délka použitá pro posouzení povrchu. [16]

3.2 Základní parametry pro 3D měření povrchu

Základní parametry jsou definovány normou ČSN EN ISO 25178-2:

- **Aritmetický průměr výšky S_a** – Pro plochu. Jedná se o průměr výšky povrchu s omezenou stupnicí.

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |z(x, y)| dx dy \quad (5)$$

- **Základ průměrné výšky S_q** – Pro omezenou stupnici povrchu čtvercem.

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A |z^2(x, y)| dx dy} \quad (6)$$

- **Šikmost S_{sk}**

$$S_{sk} = \frac{1}{S_q^3} \left[\frac{1}{A} \iint_A z^3(x, y) dx dy \right] \quad (7)$$

- **Špičatost S_{ku}**

$$S_{ku} = \frac{1}{S_q^4} \left[\frac{1}{A} \iint_A z^4(x, y) dx dy \right] \quad (8)$$

3.3 Metody vyhodnocování povrchů

V této kapitole jsou popsány typy dat a dále jsou navázány základní metody hodnocení a posouzení dat, díky nimž můžeme zvolit správný způsob pro další vyhodnocování.

3.3.1 Typy dat

Při sběru dat je také nutné určit jejich typ, aby mohl být správně určen způsob jejich dalšího zkoumání a vyhodnocování. Data se dělí na dva základní typy: **kvalitativní a kvantitativní**. Tyto dva typy dat se dále dělí následovně:

Kvalitativní:

- **Binární** – Tato data mohou nabývat pouze dvou hodnot (ano/ne, pozitivní/negativní apod.). Obvykle se kódují a to za pomoci číslic 0 a 1.
- **Nominální** – Tato data se vyznačují obsahem více kategorií, které ale nelze vzájemně seřadit a nemají přirozené pořadí hodnot (krevní skupina, rodinný stav, státy apod.).
- **Ordinální** – Obsahují více kategorií s tím rozdílem, oproti nominálním datům, že je lze seřadit (stavy onemocnění, stupně bolesti apod.).

Kvantitativní:

- **Spojité** – Data nabývají jakýchkoliv hodnot v určitém intervalu (věk, výška či hmotnost člověka, velikost nohy apod.).
- **Diskrétní** – Mohou nabývat mnoha hodnot, ale pouze spočetně. Na reálné ose jsou zobrazována jako izolované body. Jedná se například o počet zvířat v zoologické zahradě, počet nehod apod.). [30]

3.3.2 Testování normality dat

K tomu, aby bylo dále možno hodnotit data, je nutné, aby byl otestován fakt, zda data mají normální rozdělení, či jiné. Nejjednodušším způsobem pro přibližný odhad tohoto faktu je vytvoření histogramu. Hodnoty sledované veličiny jsou nanášeny na vodorovnou osu, přičemž jejich četnost je nanesena na osu svislou. Pokud se jedná o spojitá data, jsou vytvořeny intervaly pro vodorovnou osu. Normalita dat je odhadována pomocí grafické podobnosti tvaru výsledného histogramu s Gaussovou křivkou.

Pro přesný odhad normality se nejčastěji užívá softwaru a testů normalit zde obsažených (např.: Anderson-Darlingův test normality).

Pro parametry drsnosti povrchu Ra a Rz platí podmínka normality, pokud jsou vypočteny z náhodného výběru.

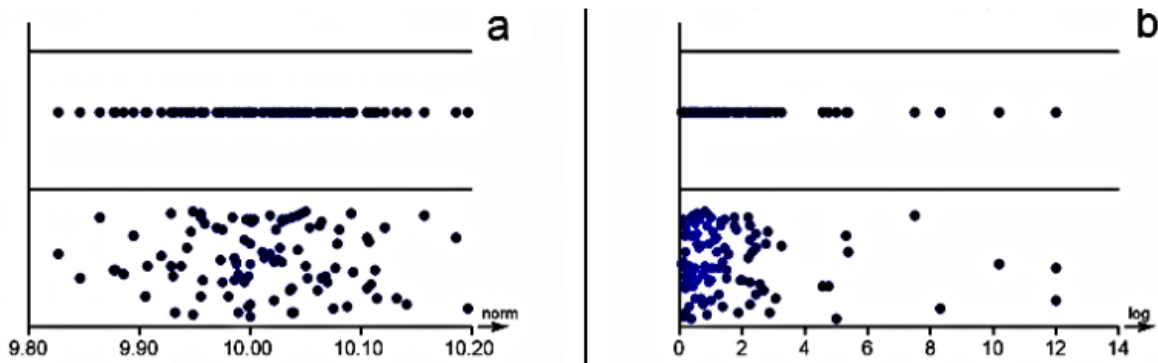
Pro ověření splnění podmínky normality slouží **Centrální limitní teorém**.

Centrální limitní věta zní: Pokud je provedeno mnoho náhodných výběrů, potom se rozdělení jejich výběrových parametrů průměru bude blížit normálnímu rozdělení. Celkový průměr vypočtených průměrů se bude blížit skutečnému průměru celého souboru dat. [23]

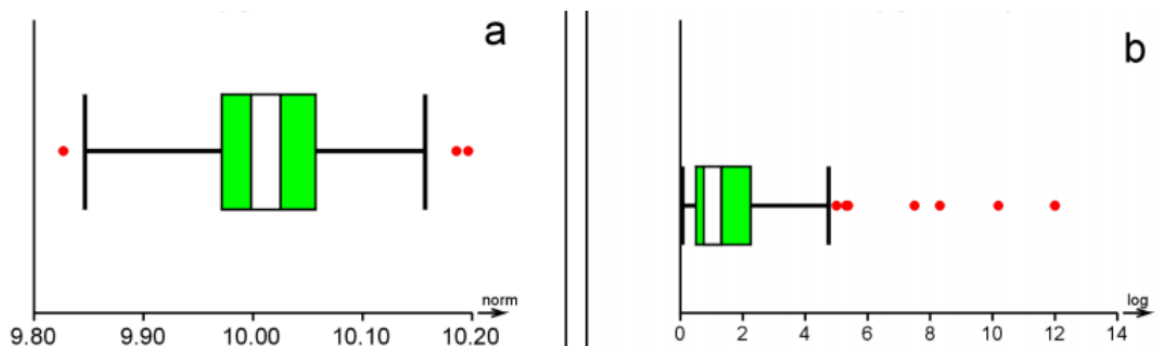
3.3.3 Exploratorní datová analýza (EDA)

Tato datová analýza slouží především k určení typu rozdělení dat, především pak k určení šikmosti a špičatosti rozložení dat a jejich stupně.

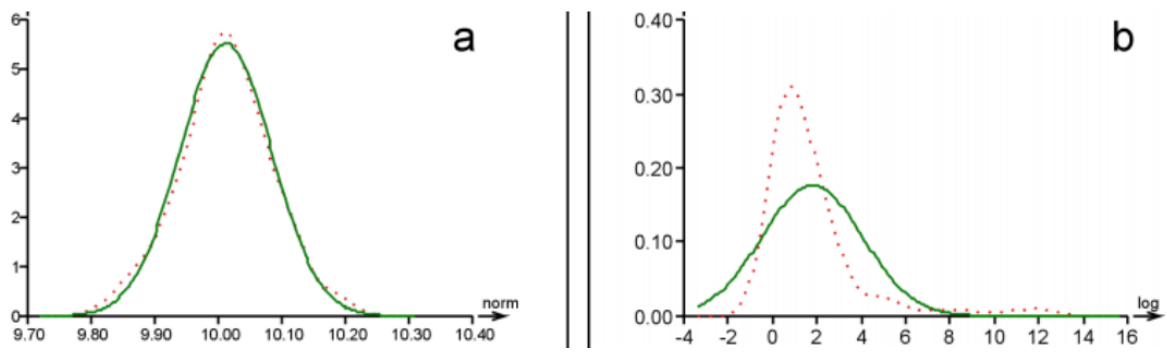
Dále se při této metodě, při posuzování statistických zvláštností, používají různé typy grafů. Grafy používané při této metodě jsou zobrazeny níže. [26]



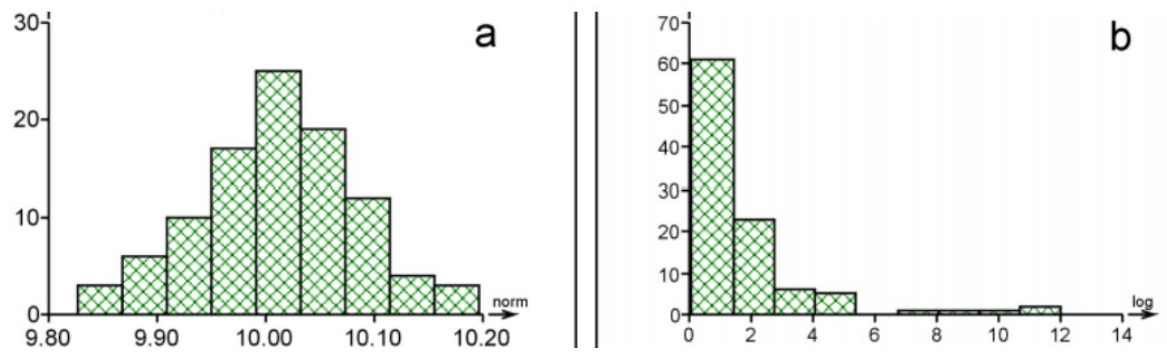
Obrázek 13 **Diagram rozptýlení:** a) symetrický (normální), b) asym. (logaritmicko-norm.) [26]



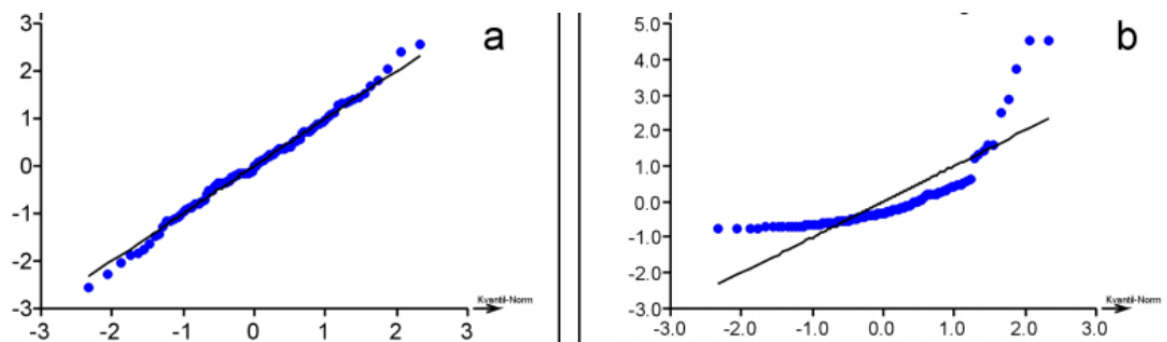
Obrázek 14 **Boxplot:** a) symetrický (normální), b) asymetrický (logaritmicko-normální) [26]



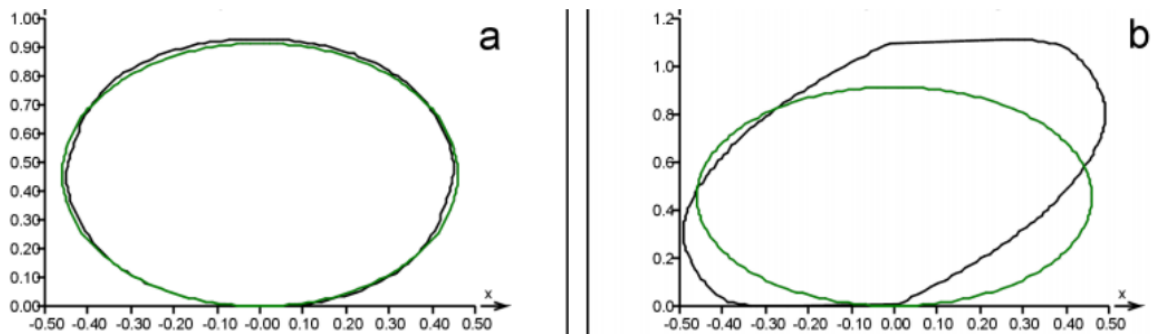
Obrázek 15 **Jádrový odhad pravděpod.** – a) symetrický (normální), b) asym. (logarit.-norm.) [26]



Obrázek 16 **Histogram** – a) symetrický (normální), b) asym. (logaritmicko-normální) [26]



Obrázek 17 **Q-Q graf** - symetrický (normální), b) asym. (logaritmicko-normální) [26]



Obrázek 18 **Kruhový graf** - symetrický (normální), b) asym. (logaritmicko-normální) [26]

3.3.4 Testy outlierů

Outlier je označení pro odlehlou hodnotu, která mohla vzniknout buď jako chyba měření, nebo se jedná pouze o hodnotu odlehlou. Testy outlierů slouží k odhalení těchto hodnot a následně k posouzení, zdali se jedná o hrubou chybu vzniklou při měření, a tu je nutno ze souboru vyloučit, či se jedná o pouhou odlehlou hodnotu, která se v souboru vždy ponechává. [23]

3.3.5 Testy středních hodnot

Testy středních hodnot slouží ke srovnávání skupin dat s jistou variabilitou. V tomto případě porovnávané různými testy střední hodnoty těchto skupin. K tomuto účelu slouží porovnávání pomocí teorie hypotéz.

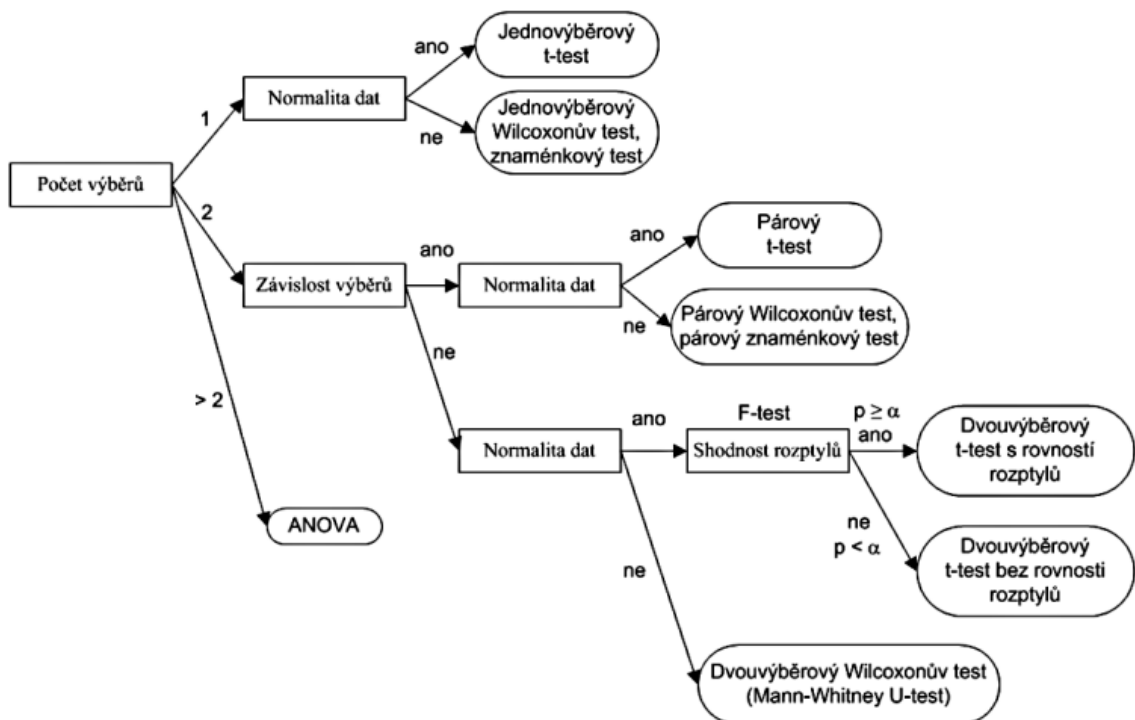
Obecný postup pro srovnávání pomocí hypotéz:

1. Formulace hypotézy „nulové“ H_0 a hypotézy alternativní H_a .
2. Volba α (hladiny významnosti), nejčastěji volena 0,05.
3. Volba správného testu, (viz digram pro správnou volbu testu níže – obr.: 20).
4. Určení kritického oboru / kritické hodnoty (např.: t_{krit}).
5. Vyčíslení zvoleného testu a výpočet kvantilů.
6. Rozhodnutí o zamítnutí či nezamítnutí H_0 na základě kritického oboru. [26] [28]

		Výsledek testu	
		Platí H_0	Platí H_1
Skutečnost	Platí H_0	Správné rozhodnutí, pravděpodobnost $1 - \alpha$ (spolehlivost testu)	Chyba I. druhu, pravděpodobnost α (hladina významnosti)
	Platí H_1	Chyba II. druhu, pravděpodobnost β	Správné rozhodnutí, pravděpodobnost $1 - \beta$ (síla testu)

Obrázek 19 Tabulka správnosti rozhodnutí a omylů [29]

Na následujícím obrázku je vyobrazen diagram, dle kterého dokážeme, na základě počtu výběrů, určit, který test či metoda je nejvhodnější pro srovnání těchto skupin.



Obrázek 20 Diagram pro správný výběr testu [28]

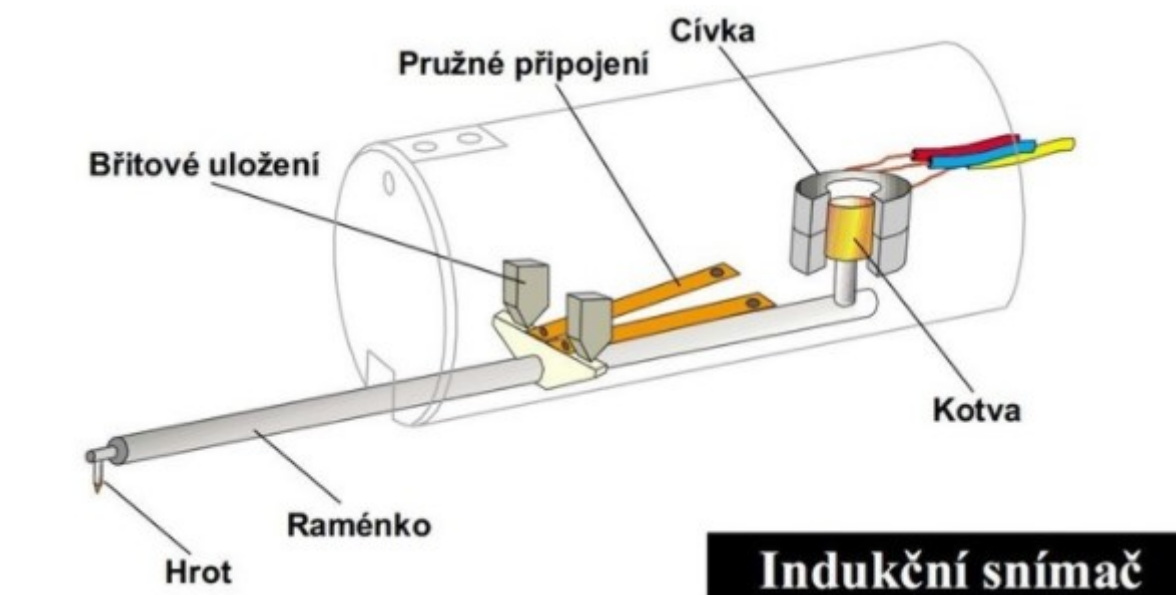
3.4 Metody měření povrchů

Ve strojírenství se setkáváme se dvěma metodami měření drsnosti povrchů. Jedná se o kontaktní a bezkontaktní metody. Každá z těchto metod má své výhody a nevýhody při různých aplikacích. V následujících řádcích jsou jednotlivé z nich popsány a zhodnoceny.

[20]

3.4.1 Dotykové metody měření povrchů 2D

Při této metodě snímání drsnosti povrchu se používá přístroj vybavený speciálně upraveným hrotem, který je veden po povrchu zkoušeného materiálu konstantní rychlostí. Hrot se nachází na rameni. Jeho pohyb je snímán pomocí snímače na druhém konci ramene, který takto naměřené souřadnice, ve kterých se hrot nachází při pohybu, převádí pomocí softwaru na určité parametry drsnosti či na profil povrchu. [21]



Obrázek 21 Schéma dotykového měřicího přístroje s indukčním snímačem [21]

Jedna z největších výhod této metody při uplatnění ve strojírenství je velká tolerance vůči znečištění. Pokud se na měřeném povrchu nachází prach, nečistoty, či vrstva kapaliny, měřicí hrot ji jednoduše odsune a výsledky zůstanou nezkreslené.

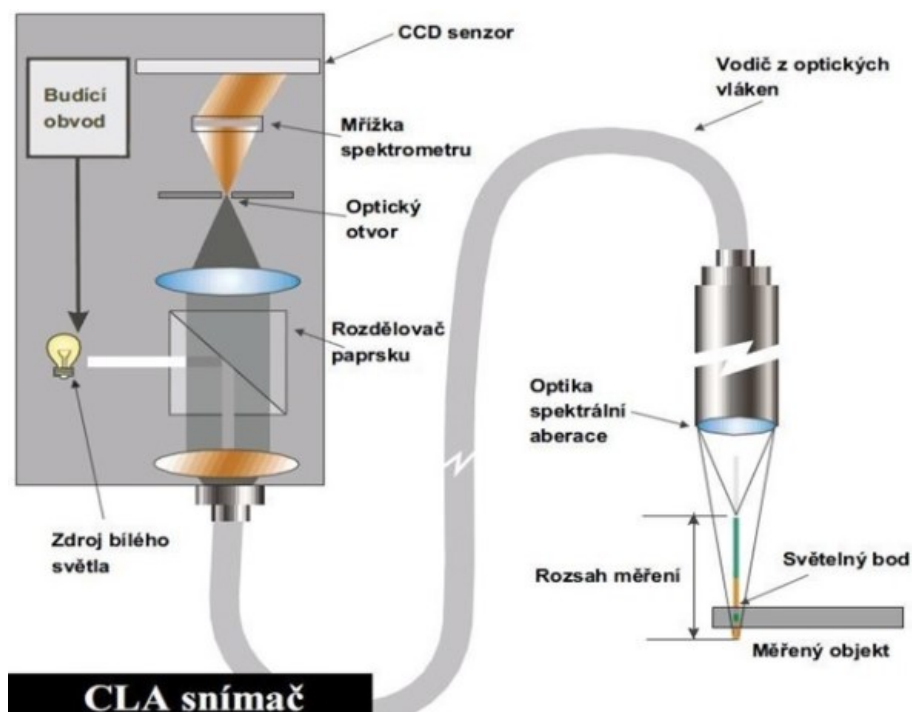
Tato metoda se nejčastěji využívá při kontrolních procesech, kdy je často důležitější rychlost, než absolutní přesnost měření. Při měření tímto způsobem totiž dochází k malým nepřesnostem, kdy rozměr měřicího hrotu přesahuje rozměr prohlubně, tudíž dochází

k přenesení údaje o výšce hrotu pouze z hrany prohlubně a ne ze dna prohlubně, jak by bylo žádoucí. Dochází také k „přeskočení“ z vrcholu výstupku. Tyto nepřesnosti mohou být dále korigovány softwarem, avšak i přes to 2D parametry naměřené touto metodou dostatečně přesně nevypovídají o skutečném profilu povrchu pro vědecká zkoumání. [20]

3.4.2 Bezdotykové (optické) měření povrchů 3D

Měření povrchů tímto způsobem se provádí pomocí optických přístrojů vybavených CLA (*Chromatic Length Aberration*) nebo laserovými snímači. Rozlišitelnost laserového snímače je cca o řád nižší, než je tomu i CLA snímače, přičemž rozlišitelnost CLA snímače se pohybuje v řádech μm .

Princip snímače CLA je založen na rozkladu světla a jeho nasměrování na měřený povrch. Světlo je optikou rozloženo na jednotlivé vlnové délky, přičemž na každou výškovou hladinu povrchu je zaostřena právě jedna z nich. Do přístroje jsou propuštěny pouze zaostřené vlnové délky (vlnové délky nacházející se na povrchu) a dále jsou přesměrovány na senzor, jenž každému bodu přiřadí prostorovou polohu. Tato data jsou následně zpracována softwarem a dále vyhodnocena. [21]



Obrázek 22 Schéma bezdotykového měřicího přístroje s CLA snímačem [21]

Měření touto metodou vyžaduje naprosto čistý povrch bez případného prachu, vrstev kapalin, či jiného znečištění. Je také žádoucí mít povrch takový, aby nedocházelo ke ztrátě dat pohlcením, či odražením měřicího paprsku mimo detektor. Takové ztráty dat mohou být do jisté míry korigovány softwarem za pomoci matematických metod interpolace dat okolo. Tato metoda se kromě zisku komplexnějších informací o měřeném povrchu užívá i pro povrchy, které kontaktní metodou měřit nelze. Jedná se například o součástky paměťových zařízení, či optické mikro-komponenty. [20]

3.5 Replikace povrchů

Pokud okolnosti nedovolují umístění povrchu pod měřicí přístroj, je nutné vytvořit repliku povrchu, která pak bude dále zkoumána a posuzována. Mezi tyto okolnosti patří například vysoká hmotnost vstřikovacích forem a jejich drahý převoz na místo měření, nebo nemožnost změřit přímo povrch kůže nacházející se na lidském těle. Pro tyto účely se používají různé materiály určeně pro snímání otisků povrchu.

Na tyto materiály jsou kladeny určité požadavky, které je nutno splnit a to jsou:

- **Přesnost replikace povrchu** - Na materiály je kladen důraz především pro přesnou replikaci povrchu, která bude ve shodě s replikovaným povrchem a nebude tak docházet ke změnám parametrů drsnosti mezi replikovaným povrchem a samotnou replikou.
- **Objemová stabilita** – Materiál smí vykazovat pouze minimální rozměrové změny v objemu materiálu. Pokud by objemové změny materiálu byly příliš velké, docházelo by ke zkreslení povrchu repliky oproti replikovanému povrchu.
- **Tvarová paměť a elasticita** – Materiál musí mít dostatečnou elasticitu pro snadné vyjímání ze složitých tvarů, ale zároveň vysokou tvarovou paměť, aby při manipulaci nedošlo k plastické deformaci působením vnějších sil a následnému poškození otisku.
- **Vhodná konzistence pro aplikaci** – Je třeba, aby měl materiál takovou konzistenci, která by zabraňovala stékání po replikovaném povrchu, nebo aby nebyl příliš tvrdý a k aplikaci do složitých tvarů bylo zapotřebí příliš velké síly.
- **Zpracovatelnost** – Před samotnou replikací se materiál buď zahřívá, nebo míchá s použitím dvou komponent. Je žádoucí, aby toto zpracování před samotným procesem

bylo snadno proveditelné. Například rozdílnou barvou hmoty a katalyzátoru za účelem vizuální kontroly homogenního promíchání dokonalým smísením barev.

- **Dostatečný čas ke zpracování** – Zpracování před nanesením na replikovaný povrch a následné nanesení vyžaduje určitý čas, za který nesmí dojít ke ztuhnutí materiálu.

[22]

3.6 Materiály pro replikace a jejich dělení

Materiály používané pro replikace se mohou dělit více způsoby. Podle používané normy ISO 4823:2007 se dělí dle konzistencí na čtyři typy (tab.: 1) a opětovné použitelnosti (*reverzibility*) také na čtyři druhy (tab.: 2).

Tabulka 1 Dělení materiálu dle konzistence (ISO 4823-2007)

Typ	Konzistence	Viskozita
0	Velmi tuhá	Velmi vysoká
1	Tuhá	Vysoká
2	Střední	Střední
3	Řídká	Nízká

Tabulka 2 Dělení materiálu dle reverzibility

Reverzibilita	Materiál
Ireverzibilní	Sádra, umělé hmoty
Reverzibilní	Otiskovací guttaperča, kompoziční hmoty
Reverzibilní elastické	Agar-agar
Ireverzibilní elastické	Algináty, elastomery

3.6.1 Sádra

Sádra má pro replikace povrchu (např.: v lékařství) už jen historický význam. Pro rychlejší tuhnutí se k ní přidával síran vápenatý. Dnes se tento druh materiálu pro repliky nepoužívá, jelikož je vyvinuta celá řada materiálů s výhodnějšími vlastnostmi pro replikace povrchů.

3.6.2 Agar-agar

Hlavní složkou této hmoty je polysacharid získaný z mořských řas. Materiál je reverzibilní a k proměně do plastického stavu je zapotřebí tepelná energie. Po zahřátí na 100 °C materiál přejde do plastického stavu a je možné jej nanést na replikovaný povrch, kde následně

ochlazením na teplotu 40 °C tuhne. Vzhledem k tomu, že při procesu dochází k relativně velkým teplotním změnám, dochází vlivem této skutečnosti ke značnému smrštění, proto je nevhodný na snímání otisků, kde je vyžadována stálá rozměrová stabilita a vysoká přesnost.

Tato hmota se nevyznačuje ani příliš dobrou skladovatelností, jelikož se z ní při skladování na vzduchu odpařuje voda a replika se smrští. Pokud bychom takovou repliku skladovali ve vodě, dojde ke vstřebávání vody materiálem a k opětovnému narušení rozměrové stability.

3.6.3 Algináty

Tento materiál je dodáván v podobě prášku, který se následně mísí s vodou. Mísí se v přesném poměru daném výrobcem a je nutné jeho dodržení. I teplota vody má vliv na rychlost tuhnutí. Čím teplejší je voda, tím směs tuhne rychleji.

Z repliky se následně odpařuje voda a následkem toho se samotná replika smršťuje, uchovává se proto ve vodě.

Přesnost repliky závisí na velikosti částic plniva a délce makromolekul, čím větší tyto částice jsou, tím horší je schopnost přesné replikace povrchu.

Tento typ materiálu se používá právě pro jeho snadné zpracování před vlastní replikací a je vhodný spíše pro studijní účely nežli pro využití v praxi.

3.6.4 Elastomery

Jedná se o ireverzibilní elastické materiály používané pro přesné replikace povrchu. Pod tuto skupinu spadají tři zástupci a to jsou **polyétery, silikony a polysulfidy**.

Tyto materiály jsou pro replikace povrchů nejvhodnější, jelikož skvěle reprodukují jednotlivé detaily povrchu, dobře se skladují a mají skvělou rozměrovou stálost.

Polyétery mají vysokou pevnost v tahu, tudíž je těžší je vyjmát ze složitých tvarů, ale zároveň jsou velmi odolné proti porušení při manipulaci s replikou. Při aplikaci na složité tvary dále bývá problém se špatnou zatékavostí této hmoty. Objemová stálost je také velmi dobrá, uvádí se kolem 1 %. Tento materiál je velmi lepkavý a nehodí se proto ke snímání otisků například z epoxidových povrchů.

Silikony se dělí na:

- **Kondenzační** – Po smíchání s katalyzátorem se po chemické reakci z této hmoty uvolňuje alkohol a tím dochází k objemovým změnám. Objemové změny jsou menší, čím je ve hmotě větší obsah plniva a čím více hmota obsahuje plniva, tím se také

zvyšuje její viskozita. U viskóznějších hmot s vyšším podílem obsahu plniva je smrštění uváděno okolo 0,2 %.

- **Adiční** – U toho materiálu se žádné vedlejší produkty při tuhnutí nevyskytují a proto má skvělou přesnost při replikaci povrchu i objemovou stálost.

Polysulfidy jsou materiály míchané ze základní pasty a katalyzátoru, ve kterém je obsažen oxid olovnatý. Oxid olovnatý je lehce toxický a tudíž by nemělo docházet ke kontaktu s kůží.

[22]

4 CÍLE PRÁCE

Cílem této práce je replikace povrchu jizev před, během a po léčbě frakčním CO₂ laserem, nasnímání dat z replik a následné vyhodnocení.

Pro získání dále zkoumaných parametrů je povrch nejdříve kontrolován na mikroskopu Leica (odhalení narušení struktur) a dále snímán bezkontaktním profilometrem Zygo. Poté jsou takto získaná data vyhodnocována statistickými metodami. Naměřená data z jednotlivých fází léčby jsou mezi sebou porovnávána a je zjišťována jejich odlišnost. Konečná fáze práce s daty je závěrečné zhodnocení změny stavu a aplikace statistického vyhodnocení na praxi.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 REPLIKACE POVRCHU

Za účelem přesné replikace povrchu jizev byla v této diplomové práci použita hmota STOMAFLEX[®]. Vzhledem k jejímu primárnímu použití ve stomatologii vykazuje perfektní stabilitu i ve vlhkém prostředí, tudíž je vhodná i pro aplikaci na kůži.

5.1 Použitý materiál

Ke snímání otisků jizev byl použit materiál STOMAFLEX[®] Light. Jedná se o C-silikonovou hmotu s tixotropními vlastnostmi a vysokou přesností reprodukce detailu. Díky tixotropním vlastnostem je umožněna snadná manipulace v kombinaci stability materiálu, tudíž nám hmota po aplikaci nesteče.

Při míchání byl použit gelový katalyzátor a díky jeho kontrastní barvě, byla zajištěna homogenita hmoty po smíchání.

Tato hmota se primárně užívá při kontrole dosazení můstků a korunek, kde je vyžadována vysoká přesnost. [31]

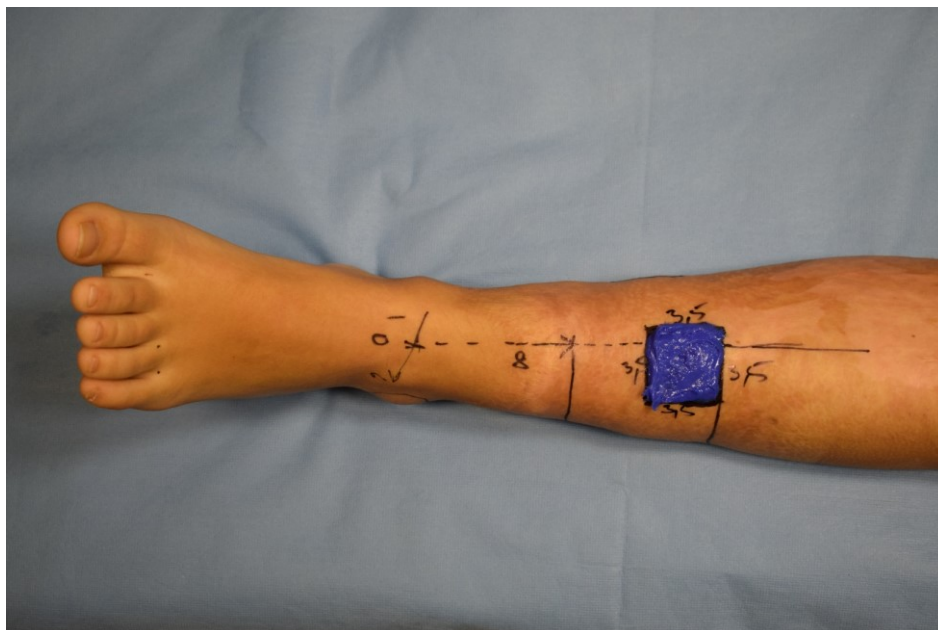
5.2 Postup replikace povrchu kůže

Povrch části pokožky, na který bude nanесena hmota, byl očištěn a odmaštěn. Na speciální míchací kartičce byla dokonale smíchána hmota s gelovým katalyzátorem. Po vymíchání byla tato směs nanесena špachtlí na konkrétní místo na zjizvené tkáni. Jakmile hmota dokonale zatuhla, byl otisk opatrně sňat a označen tak, aby bylo možné zjistit orientaci a umístění na těle.

Doba mísení byla optimalizována na 30 s. Celková doba zpracovatelnosti 100 s. Doba tuhnutí materiálu se pohybovala okolo 5 minut.



Obrázek 23 Otiskovací hmota nanесená na zjizvené tkáni (paní Jana)



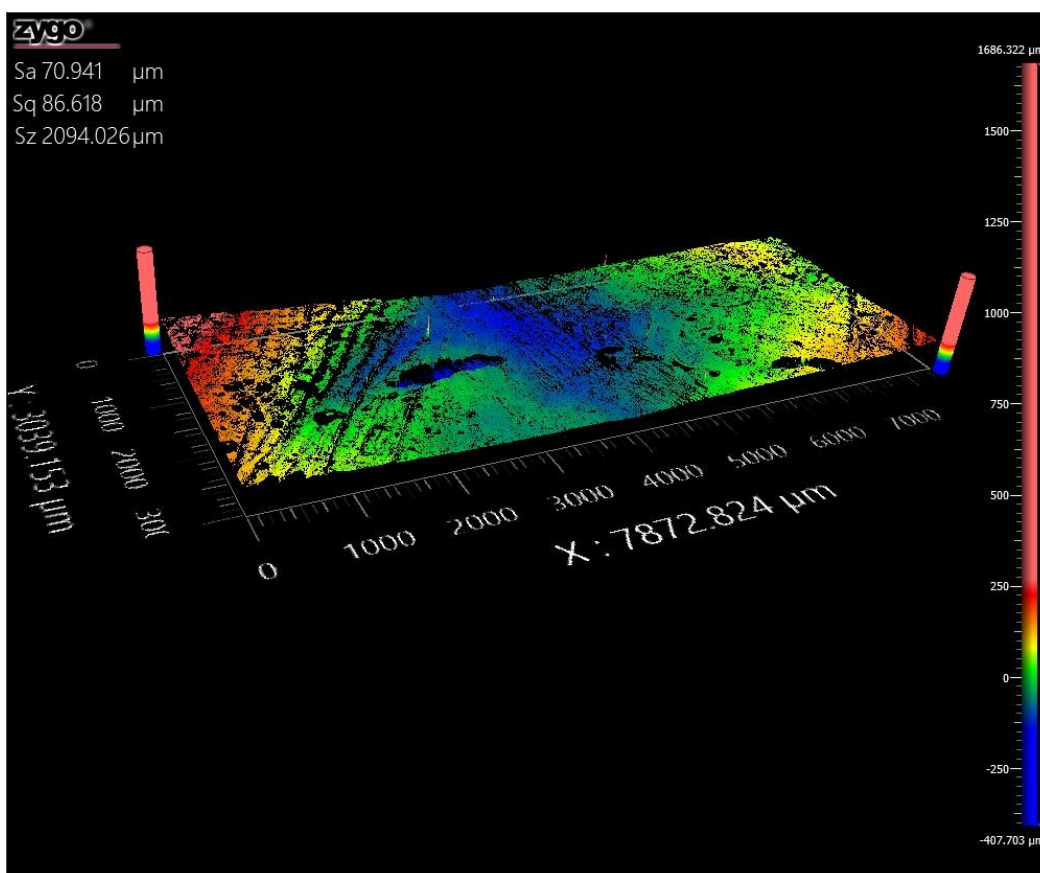
Obrázek 24 Otiskovací hmota nanesená na zjizvené tkáni (paní Ella)

6 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ

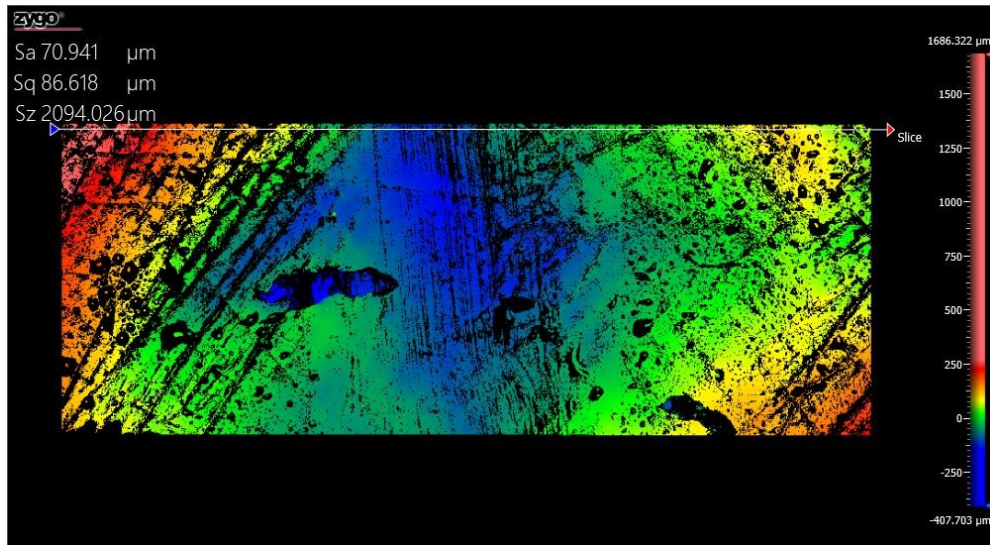
Povrch replik byl snímán na bezkontaktním profilometru Zygo NewView 9000. Nejdříve proběhla kontrola povrchu na mikroskopu Leica, aby se odhalila místa, kde není možné snímat povrch repliky kvůli narušení její struktury při tvorbě samotné repliky. Dále se repliky očistily od prachu a odmastily, aby mohl být povrch změřen přesně a bez tzv.: slepých míst.

Po nasnímání povrchu bylo z každého snímku vytvořeno čtyřicet řezů a byly vyjmuty následující parametry:

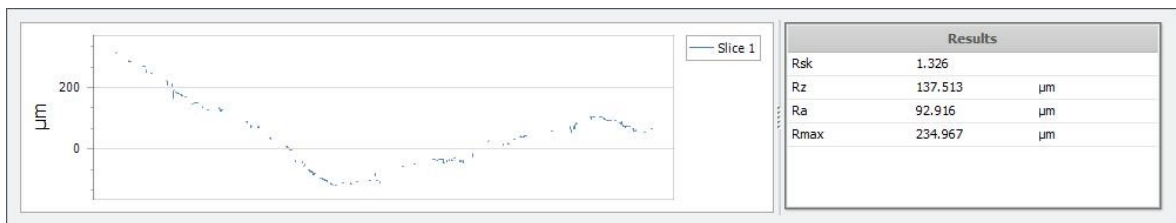
- Rsk – šikmost profilu
- Rz – největší výška profilu
- Ra – průměrná aritmetická odchylka profilu
- Rmax – největší jednotlivá hloubka drsnosti uvnitř celkové měřicí dráhy



Obrázek 25 3D-scan povrchu repliky (paní Jana 7. 1.)



Obrázek 26 Ukázka řezu označeného šipkou po nasnímání (paní Jana 7. 1.)

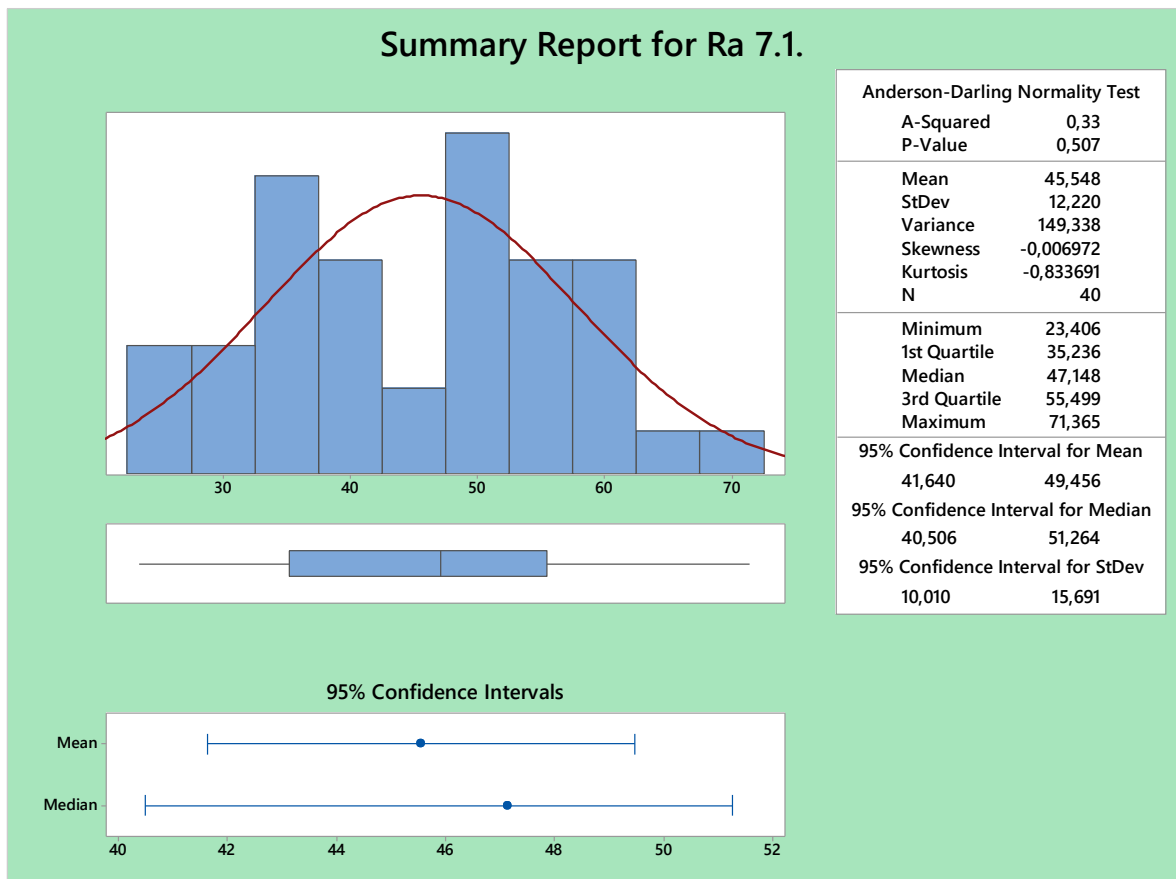


Obrázek 27 Parametry vyjmuté z řezu (paní Jana 7. 1.)

6.1 EDA – exploratorní datová analýza

Nejdříve byla provedena exploratorní analýza dat. Bylo zjišťováno, zdali data mají normální rozdělení či nikoliv. Pokud se v datech nacházejí outlaiery, je nutností je vyšetřit a rozhodnout, zdali se jedná pouze o odlehlou hodnotu, kterou v souboru ponecháme, či hrubou chybu, kterou je nutno ze souboru vyloučit. Veškerá analýza byla provedena v programu Minitab.

Pro vyhodnocení dat byly vybrány parametry Ra a Rz. Na těchto datech byla provedena kontrola metodikou EDA v programu Minitab.



Obrázek 28 Sumarizace dat pro parametry Ra 7. 1. (paní Ella)

Tato kontrola byla provedena na všech skupinách dat a na základě Anderson-Darlingova testu normality a hodnoty „p“ vyšší, než 0,05 je možno konstatovat, že všechny naměřené skupiny dat pochází ze souborů s normálním rozdělením a zároveň nezamítáme hypotézu o tom, že tato data pochází ze souboru s normálním rozdělením. To vše s pravděpodobností $\alpha = 0,05$.

Tabulka 3 Hodnoty „p“ Anderson-Darlingova testu pro jednotlivé skupiny měření

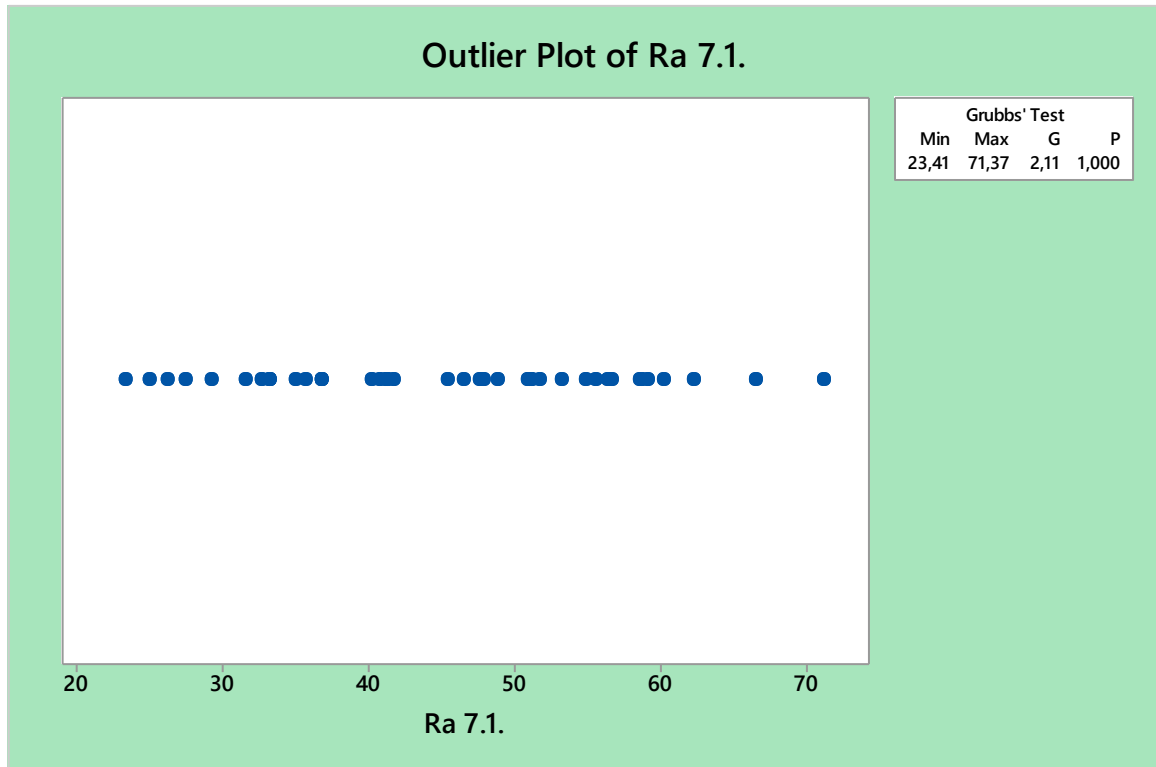
paní Ella			paní Jana		
n=40	"p" pro Ra	"p" pro Rz	n=40	"p" pro Ra	"p" pro Rz
7. 1.	0,507	0,155	7. 1.	0,508	0,277
20. 5.	0,642	0,228	13. 2.	0,838	0,289
20. 6.	0,263	0,616	22. 5.	0,248	0,262

Dále byl proveden Grubbsův test odlehlých hodnot k posouzení faktu, zdali se v souboru odlehlé hodnoty nacházejí a zda se dále jedná o hrubou chybu či nikoliv. Byla použita teorie hypotéz sestavená následovně:

$H_0: Ra_{i \max, \min} = \text{extrém}$

$H_a: Ra_{i \max, \min} = \text{hrubá chyba}$

$1-\alpha = 95$



Obrázek 29 Grubbsův test odlehlých hodnot na datech ze 7. 1. (paní Ella)

Na základě výsledků Grubbsova testu odlehlých hodnot pro všechny naměřené soubory dat (a hodnotě „p“ vyšší než 0,05) nezamítáme H_0 a tvrdíme, že v žádném souboru dat se nenachází hrubé chyby. To vše s pravděpodobností $\alpha = 0,05$.

Tabulka 4 Hodnoty „p“ Grubbsova testu pro jednotlivé skupiny měření

paní Ella			paní Jana		
n=40	"p" pro Ra	"p" pro Rz	n=40	"p" pro Ra	"p" pro Rz
7. 1.	1	0,08	7. 1.	0,369	0,882
20. 5.	0,281	0,882	13. 2.	0,638	0,392
20. 6.	1	1	22. 5.	1	0,063

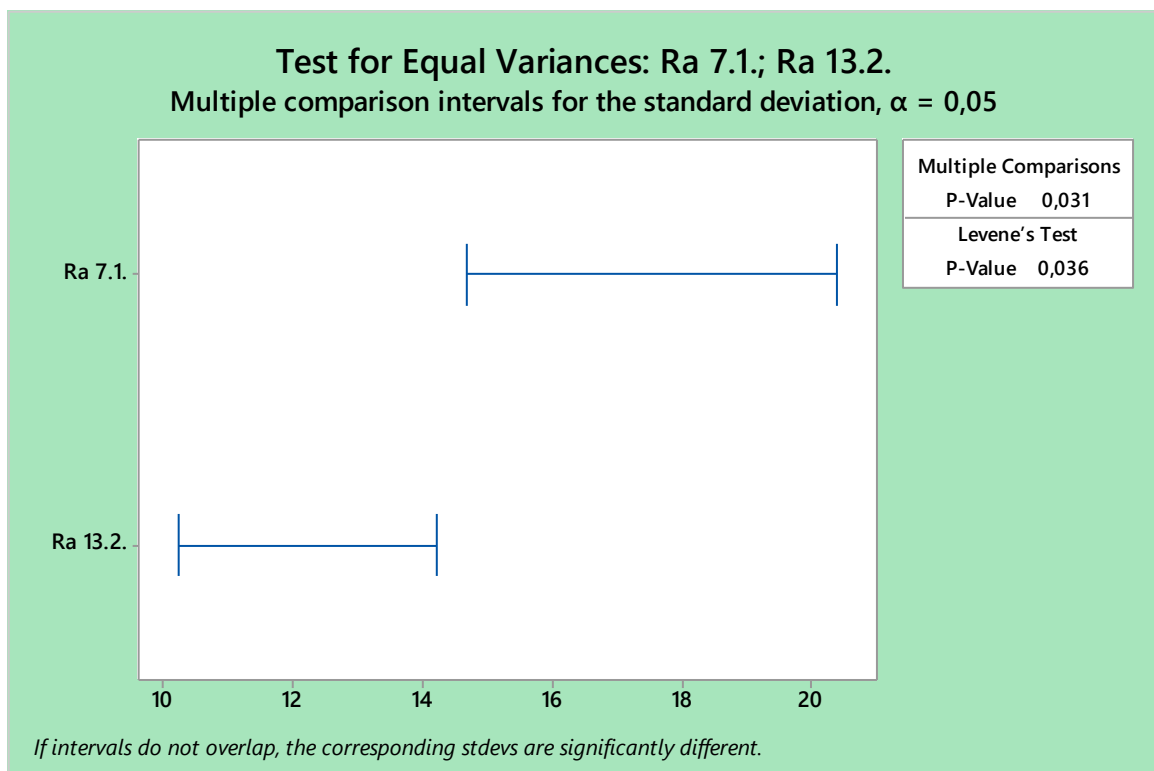
6.2 Srovnání a vyhodnocení replik (paní Jana)

Následně byly skupiny dat porovnávány mezi sebou. Vzhledem k potvrzené normalitě dat byly použity standardní parametrické metody srovnávání.

Dne 7. 1. byl paní Janě sejmuto otisk léčeného místa na tváři ještě před započítím léčby, tudíž jsou tato data považována za „výchozí stav“. Dne 13. 2. byl sejmuto otisk po první léčbě paprskem laseru a dne 22. 5. po druhé léčbě. Tyto skupiny dat jsou dále srovnávány.

6.2.1 F- test, test shodnosti rozptylů

Pro test shodnosti rozptylů byl použit parametrický Levensův test v programu Minitab.



Obrázek 30 Graf shodnosti rozptylů Lavenesova testu mezi výchozím stavem a po první léčbě (paní Jana)

Na základě výsledků Lavenesova testu shodnosti rozptylu hodnot (a hodnotě „p“ nižší než 0,05) je možno konstatovat, že se rozptyly těchto dvou konkrétních skupin liší statisticky významně. Tímto zamítáme H_0 , vyvracíme shodnost rozptylů a to s pravděpodobností $\alpha = 0,05$.

V tabulce níže jsou uvedeny výsledky testů shodnosti rozptylu parametrů Ra a Rz a jejich závěr mezi jednotlivými stavy během léčby laserem.

Pro zjednodušení čtení níže uvedených tabulek byly datumy léčby substituovány číslem, které vyjadřuje počet jednotlivých zásahů laserem, následovně:

- **Stav 0:** Výchozí stav – 7. 1. (před započítáním léčby)
- **Stav 1:** Stav po první léčbě – 13. 2.
- **Stav 2:** Stav po druhé léčbě – 22. 5.

Tabulka 5 Srovnání rozptylů hodnot Ra (paní Jana)

Ra		
Mezi stavy	"p" hodnota	Závěr
0 – 1	0,036	Snížení
1 – 2	0	Snížení
0 – 2	0	Snížení

Tabulka 6 Srovnání rozptylů hodnot Rz (paní Jana)

Rz		
Mezi stavy	"p" hodnota	Závěr
0 – 1	0,003	Snížení
1 – 2	0,057	Shodné
0 – 2	0,418	Shodné

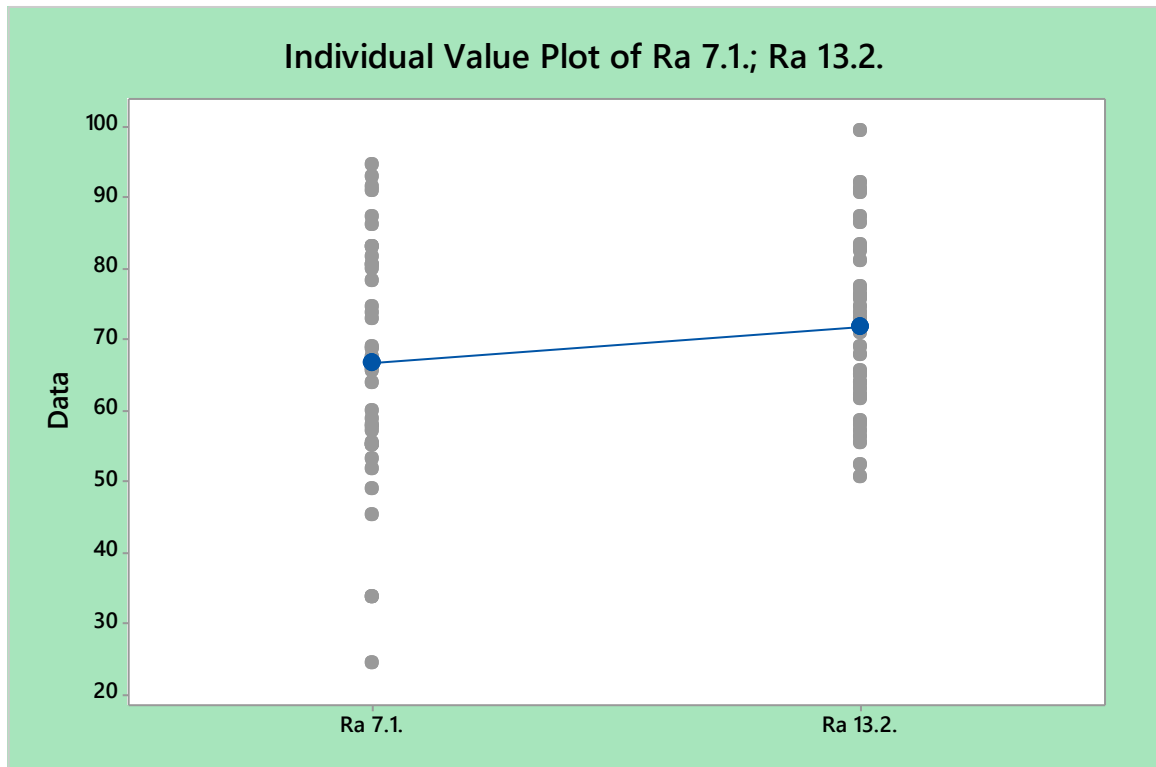
Závěr: Na základě Lavenesova testu shodnosti rozptylů lze konstatovat, že u rozptylů parametru Ra mezi započítáním léčby a po druhé dávce ozáření laserovým paprskem, došlo k jejich statisticky významnému snížení.

Ohledně parametru Rz lze konstatovat, že se jeho rozptyl po léčbě statisticky významně neliší od rozptylu ve stavu před započítáním léčby. Z níže uvedeného boxplotového diagramu je patrný nárůst rozptylů dat u posledního měření, ale ten je v porovnání s výchozím stavem statisticky nevýznamný.

To vše tvrdíme s pravděpodobností $1-\alpha = 95$.

6.2.2 t-test, test shodnosti průměrů

Pro test shodnosti průměrů byl použit klasický oboustranný t-test v programu Minitab.



Obrázek 31 Graf shodnosti průměrů mezi výchozím stavem a po první léčbě (paní Jana)

Výsledek oboustranného t-testu:

Difference = μ (Ra7.1.) - μ (Ra13.2.)
 Estimate for difference: -5,14
 95% CI for difference: (-11,63; 1,35)
 T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -1,58 P-Value = 0,119 DF = 69

Na základě oboustranného t-testu a „p“ hodnoty vyšší než 0,05 je možno konstatovat, že uvedené průměry se od sebe liší statisticky nevýznamně. Tímto není zamítnuta H_0 a lze tvrdit, že průměry jsou shodné.

V tabulce níže jsou uvedeny výsledky testů shodnosti průměrů parametrů Ra a Rz a jejich závěry mezi jednotlivými stavy během léčby laserem.

Tabulka 7 Srovnání průměrů hodnot Ra (paní Jana)

Ra		
Mezi stavy	"p" hodnota	Závěr
0 – 1	0,119	Shodné
1 – 2	0	Snížení
0 – 2	0	Snížení

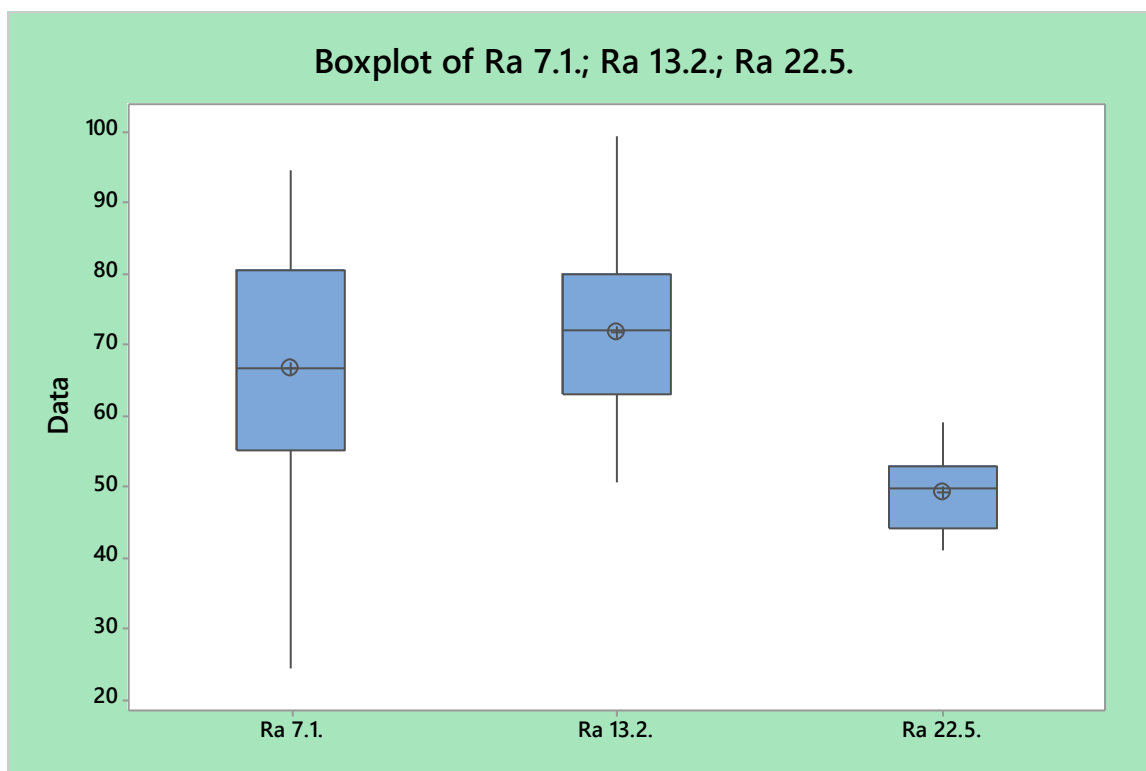
Tabulka 8 Srovnání průměrů hodnot Rz (paní Jana)

Rz		
Mezi stavy	"p" hodnota	Závěr
0 – 1	0,037	Zvýšení
1 – 2	0	Snížení
0 – 2	0	Snížení

Závěr: Z výsledků párového t-testu je patrné, že došlo ke statisticky významnému snížení průměrů obou parametrů Ra a Rz. To vše tvrdíme s pravděpodobností $\alpha = 0,05$.

6.2.3 Boxplotové diagramy

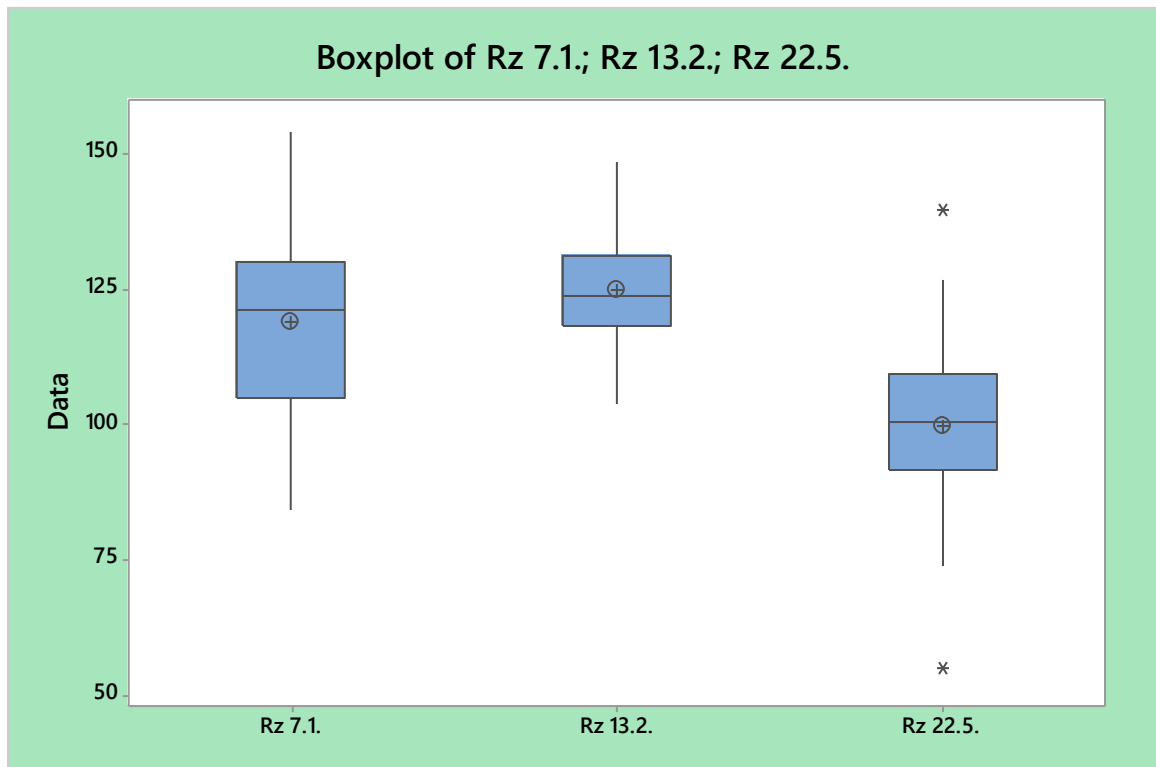
Dále byly vytvořeny boxplotové diagramy v programu Minitab.



Obrázek 32 Boxplotový diagram pro parametry Ra (paní Jana)

Z boxplotového diagramu je patrné, že dochází k postupnému snižování rozptýlů, což potvrzuje i test o shodnosti rozptýlů, který doplnil informaci o jejich statisticky významné odlišnosti.

Aritmetický průměr po první léčbě mírně stoupl, ovšem dle testu středních hodnot statisticky nevýznamně, ale po druhé léčbě, ve srovnání s výchozím stavem, klesl statisticky významně. Medián se nám téměř překrývá se značkou aritmetického průměru, což nasvědčuje normalitě dat, stejně tak jako symetričnost těchto diagramů.



Obrázek 33 Boxplotový diagram pro parametry Rz (paní Jana)

Na tomto boxplotovém diagramu je patrné, že rozptyly nebudou mít větší odlišnost, což opět potvrzuje test o shodnosti rozptylů, který uvádí, že ačkoliv po první léčbě došlo ke statisticky významnému snížení rozptylů, tak mezi výchozím stavem a stavem po poslední léčbě je tento rozdíl statisticky nevýznamný.

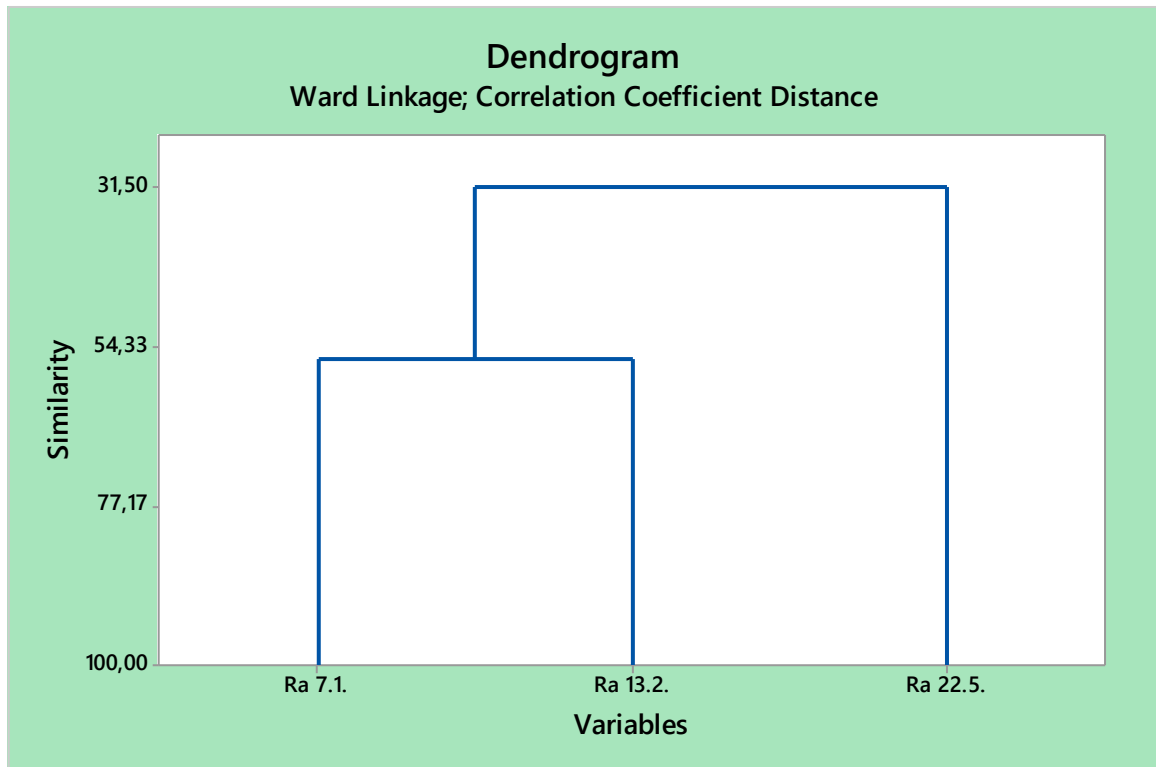
U aritmetického průměru lze po první léčbě zaznamenat jeho zvýšení, dle testu středních hodnot významné, ovšem po druhé léčbě došlo k jeho statisticky významnému snížení.

Na posledním grafu lze vidět dvě odlehlé hodnoty označené hvězdičkou. Grubbsův test vyvrátil, že by šlo o hrubé chyby a tudíž byly v souboru ponechány.

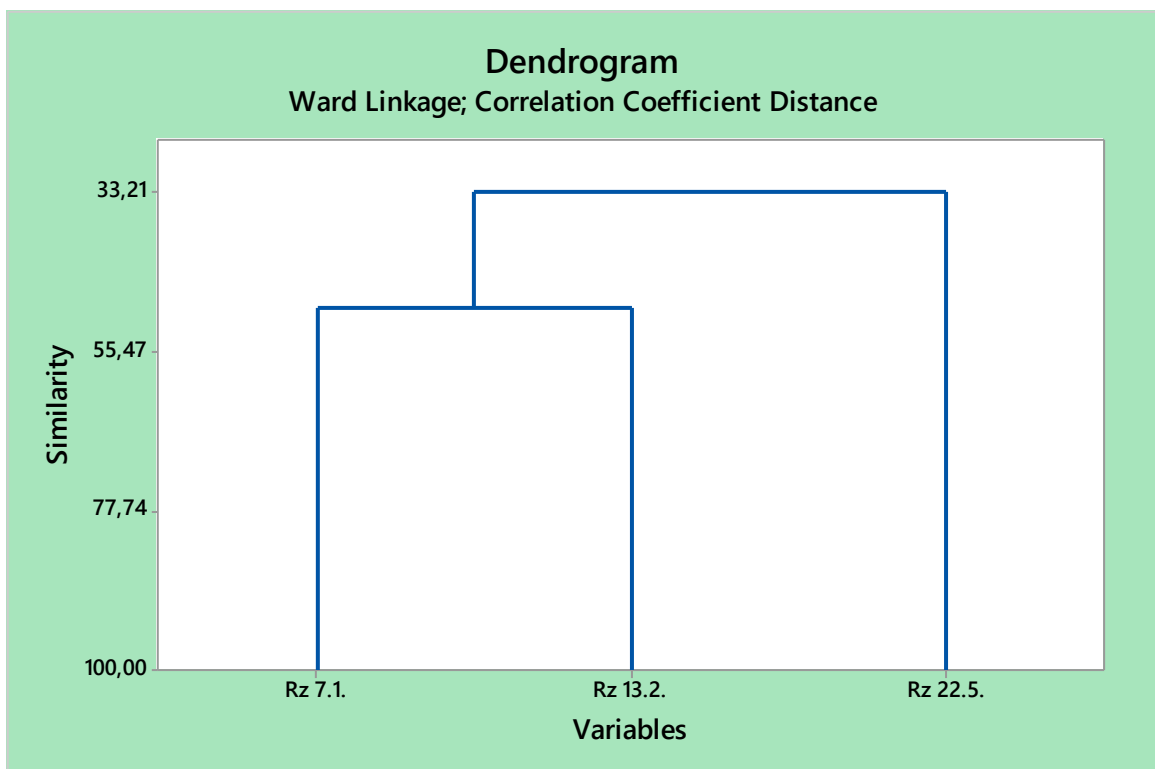
6.2.4 Dendrogramy

Dále byly vytvořeny dendrogramy.

Dendrogramy udávají podobnost mezi jednotlivými skupinami měření.



Obrázek 34 Dendrogram pro parametry Ra (paní Jana)



Obrázek 35 Dendrogram pro parametry Rz (paní Jana)

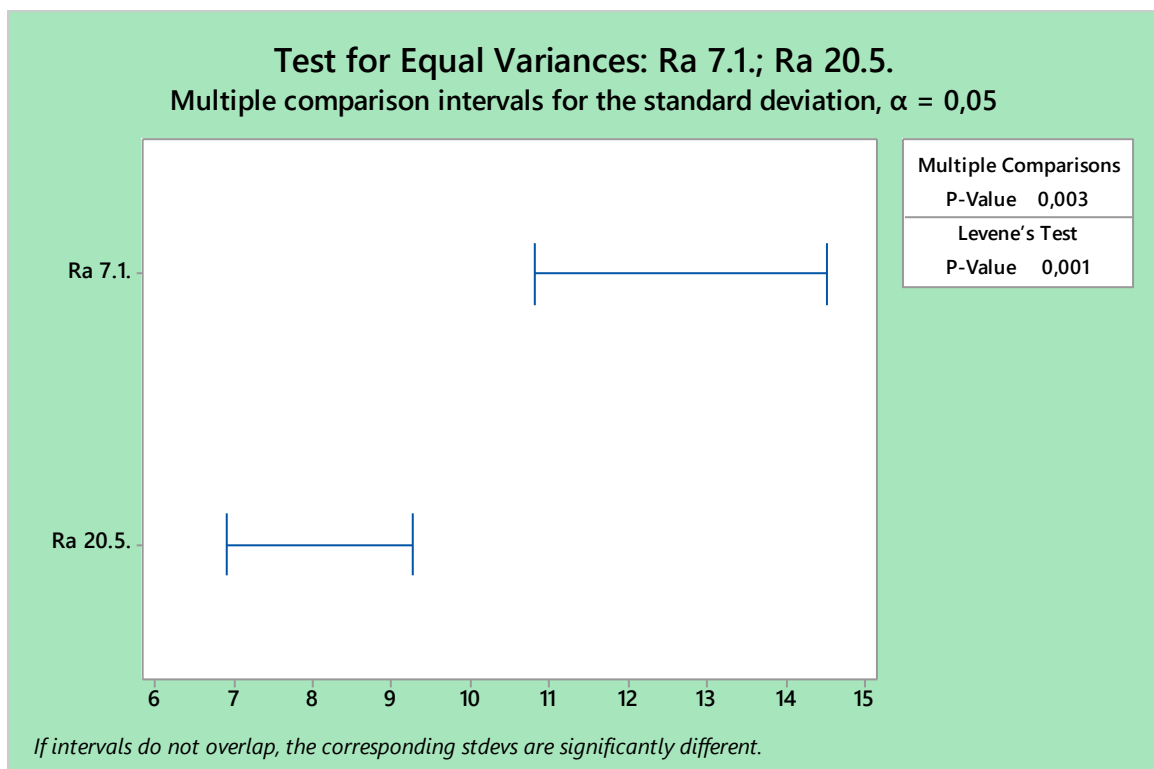
6.3 Srovnání a vyhodnocení replik (paní Ella)

Ke srovnání replik paní Elly byl použit stejný postup, jako u paní Jany. Vzhledem k potvrzené normalitě byly jednotlivé skupiny dat mezi sebou srovnávány pomocí parametrických metod.

Dne 7. 1. byl paní Elle sejmuto otisk léčeného místa na noze ještě před samotným započítáním léčby, tato data jsou považována za „výchozí stav.“ Dne 20. 5. byl sejmuto otisk po první léčbě a 20. 6. po druhé léčbě paprskem laseru.

6.3.1 F- test, test shodnosti rozptylů

Pro testování shodnosti rozptylů byl použit Lavenesův test.



Obrázek 36 Graf shodnosti rozptylů Lavenesova testu mezi výchozím stavem a po první léčbě (paní Ella)

Na základě Lavenesova testu shodnosti rozptylů a hodnotě „p“ nižší než 0,05 je možno konstatovat, že tato data mají navzájem statisticky významně rozdílné rozptyly a tím zamítáme H_0 o shodnosti rozptylů. To vše s pravděpodobností $\alpha = 0,05$.

V tabulce níže jsou uvedeny výsledky testů shodnosti rozptylu parametrů Ra a Rz pro paní Ellu a jejich závěr mezi jednotlivými stavy během léčby laserem.

Pro zjednodušení čtení tabulek byla opět použita substituce datumu číslem stavu a to následovně:

- **Stav 0:** Výchozí stav – 7. 1. (před započítáním léčby)
- **Stav 1:** Stav po první léčbě – 20. 5.
- **Stav 2:** Stav po druhé léčbě – 20. 6.

Tabulka 9 Srovnání rozptylů hodnot Ra (paní Ella)

Ra		
Mezi stavy	"p" hodnota	Závěr
0 – 1	0,001	Snížení
1 – 2	0,041	Zvýšení
0 – 2	0,367	Shodné

Tabulka 10 Srovnání rozptylů hodnot Rz (paní Ella)

Rz		
Mezi stavy	"p" hodnota	Závěr
0 – 1	0	Snížení
1 – 2	0,23	Shodné
0 – 2	0	Snížení

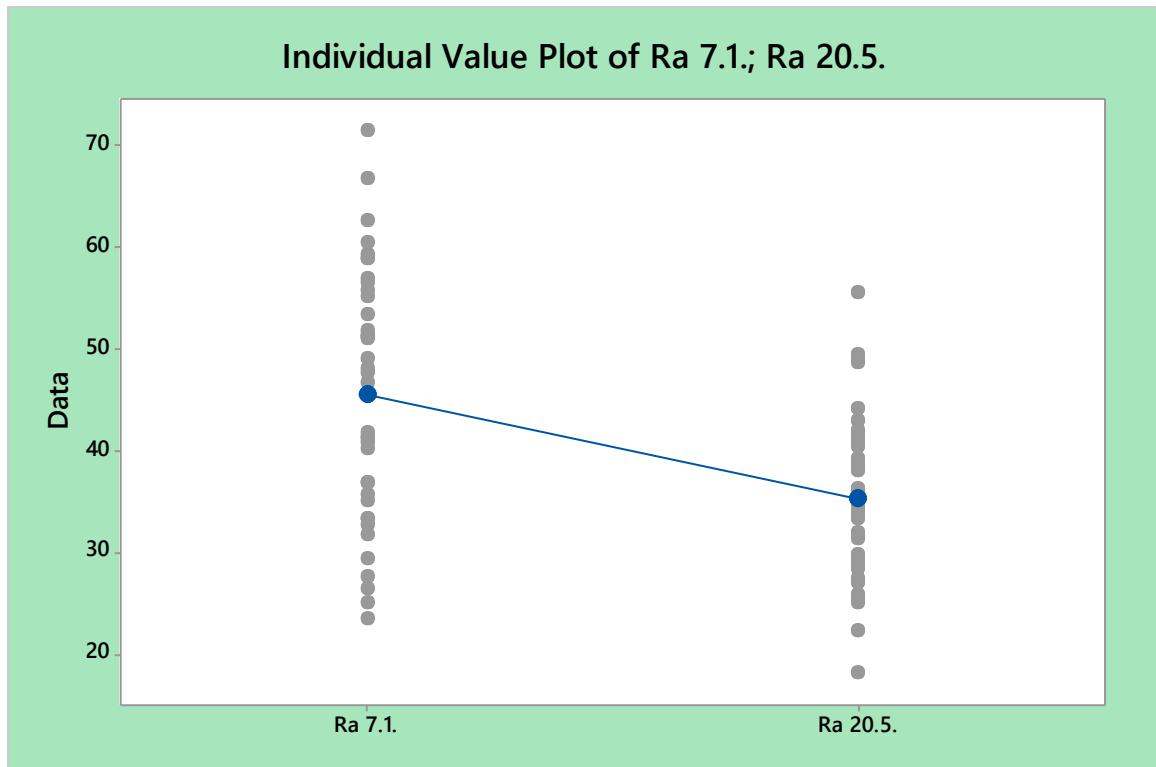
Závěr: Na základě Lavenesova testu shodnosti rozptylů je možno konstatovat, že rozptyly zkoumaných parametrů Ra se před započítáním léčby a po léčbě od sebe liší statisticky nevýznamně.

Ohledně rozptylů zkoumaného parametru Rz lze konstatovat, že došlo k jejich statisticky významnému snížení.

To vše s pravděpodobností $\alpha = 0,05$.

6.3.2 t-test, test shodnosti průměrů

Dále byl proveden klasický oboustranný t-test pro posouzení shodnosti průměrů.



Obrázek 37 Graf shodnosti průměrů mezi výchozím stavem a po první léčbě (paní Ella)

Výsledek oboustranného t-testu:

```
Difference =  $\mu$  (Ra7.1.) -  $\mu$  (Ra20.5.)
Estimate for difference: 10,29
95% CI for difference: (5,71; 14,87)
T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = 4,49 P-Value = 0,000 DF = 66
```

Na základě vyhodnocení oboustranného t-testu a hodnotě „p“ nižší než 0,05 je možno konstatovat, že průměry těchto skupin dat se liší vzájemně statisticky významně. Zamítáme H_0 o shodnosti průměrů a to vše s pravděpodobností $\alpha = 0,05$.

Níže jsou uvedeny tabulky výsledků testů shodnosti průměrů parametrů Ra a Rz a jejich závěr mezi jednotlivými léčbami laserem.

Tabulka 11 Srovnání průměrů hodnot Ra (paní Ella)

Ra		
Mezi stavy	"p" hodnota	Závěr
0 – 1	0	Snížení
1 – 2	0	Zvýšení
0 – 2	0,027	Zvýšení

Tabulka 12 Srovnání průměrů hodnot Rz (paní Ella)

Rz		
Mezi stavy	"p" hodnota	Závěr
0 – 1	0	Snížení
1 – 2	0	Zvýšení
0 – 2	0	Snížení

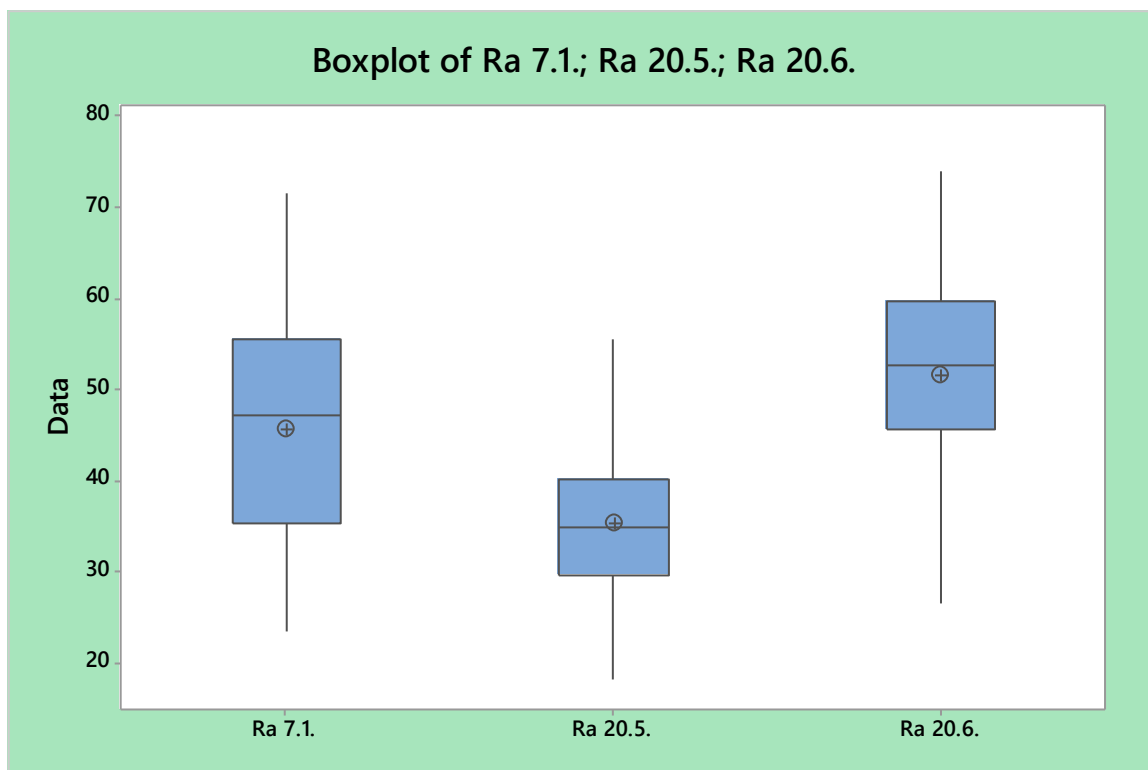
Závěr: Na základě testu shodnosti průměrů lze konstatovat, že průměry parametru Ra před započítáním léčby a po ní se liší statisticky významně. U zkoumaného parametru tedy došlo ke statisticky významnému nárůstu jeho aritmetického průměru.

Ohledně zkoumaného parametru Rz lze konstatovat, že u jeho průměru došlo ke statisticky významnému snížení.

To vše s pravděpodobností $\alpha = 0,05$.

6.3.3 Boxplotové diagramy

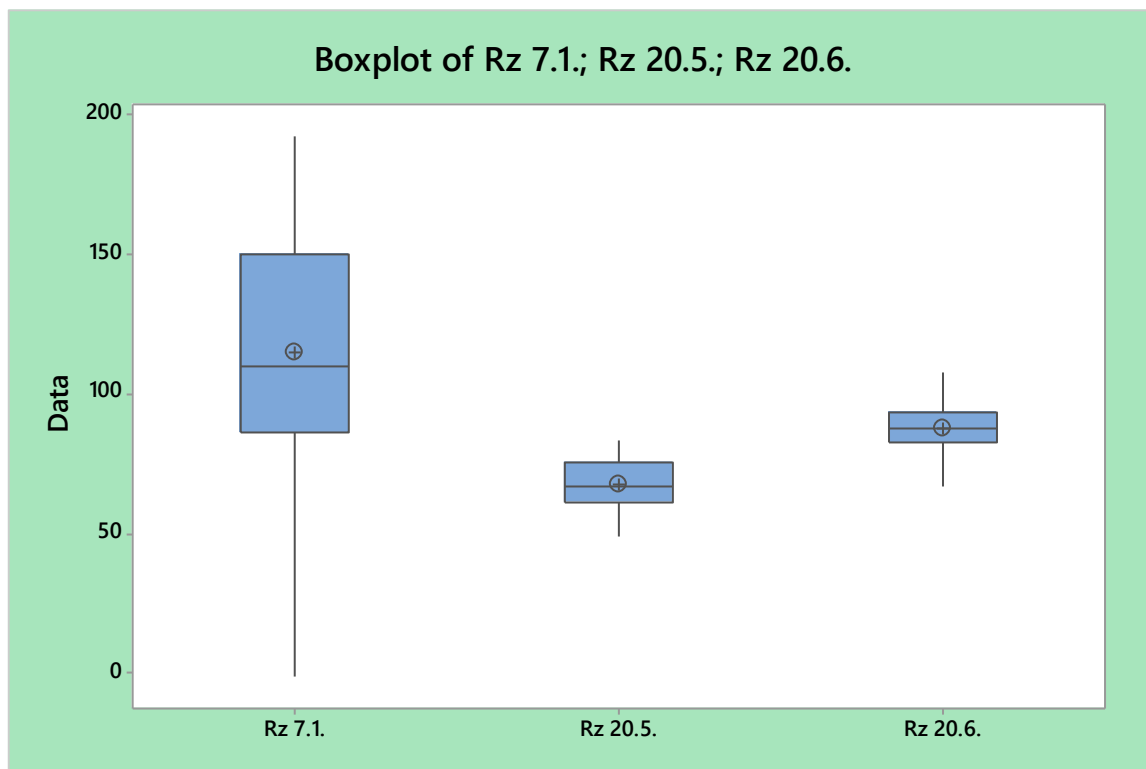
Dále byly vytvořeny boxplotové diagramy.



Obrázek 38 Boxplotový diagram pro parametry Ra (paní Ella)

Z boxplotového diagramu je patrné mírné snížení a následné zvýšení rozptylů parametru Ra. Na základě testů shodnosti rozptylů je možné konstatovat, že se rozptyly mezi výchozím stavem a stavem po druhé léčbě liší statisticky nevýznamně.

Ohledně aritmetických průměrů je z grafu patrné jeho snížení a následné navýšení. Odlišnost mezi výchozím stavem a stavem po druhé léčbě je statisticky významná a tvrdíme, že došlo ke statisticky významnému nárůstu parametru Ra.



Obrázek 39 Boxplotový diagram pro parametry Rz (paní Ella)

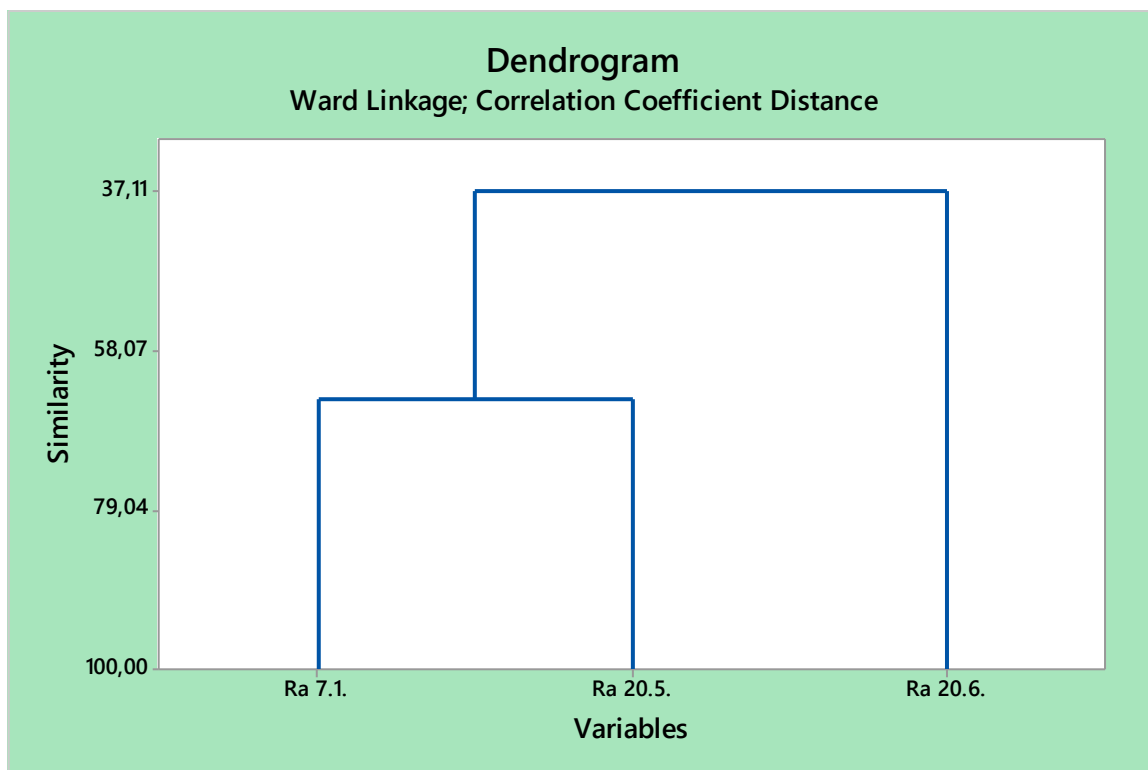
U parametru Rz lze z boxplotového diagramu vyčíst rapidní snížení jeho rozptylů hned po první léčbě, což bylo potvrzeno i testem o shodnosti rozptylů, díky kterému lze tvrdit, že rozdíl mezi rozptyly mezi výchozím stavem a stavem po druhé léčbě je statisticky významný.

Dále lze z grafu vyčíst, že se aritmetický průměr parametru Ra po první léčbě snížil a po druhé léčbě zvýšil. Ovšem mezi výchozím stavem a stavem po druhé léčbě došlo k jeho snížení a to statisticky významnému.

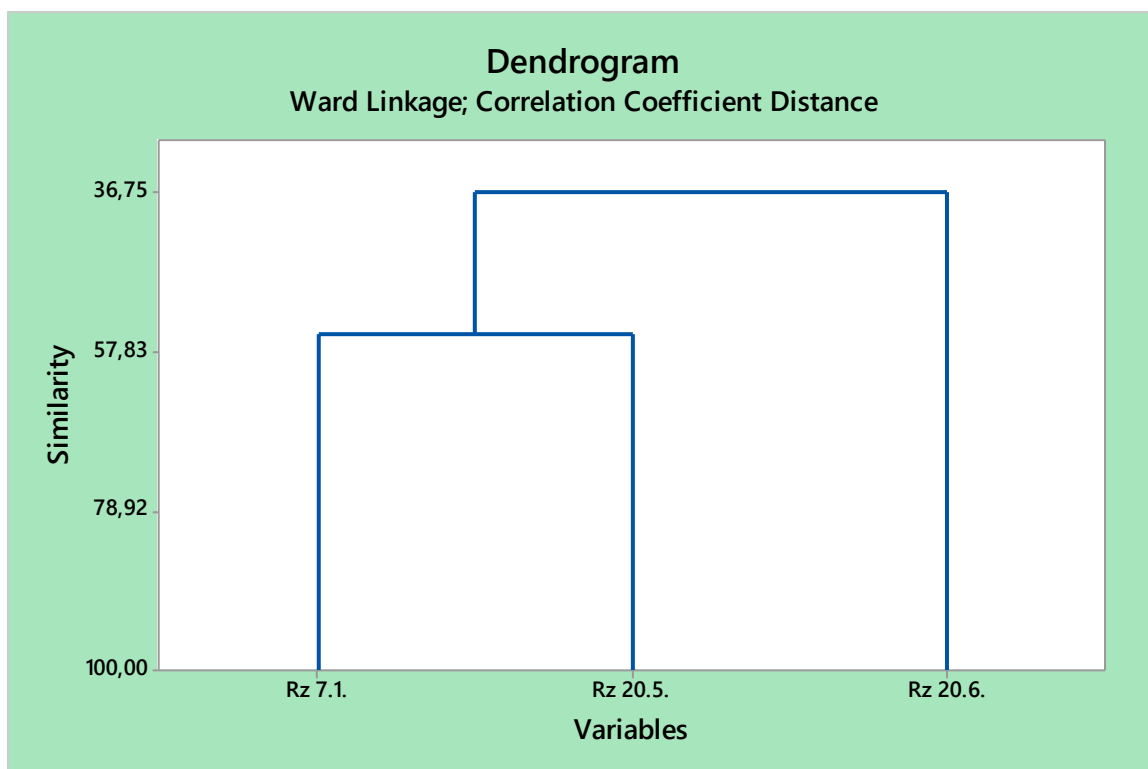
6.3.4 Dendrogramy

Dále byly vytvořeny dendrogramy.

Díky dendrogramům je možné zjistit míru podobnosti mezi jednotlivými skupinami.



Obrázek 40 Dendrogram pro parametry Ra (paní Ella)



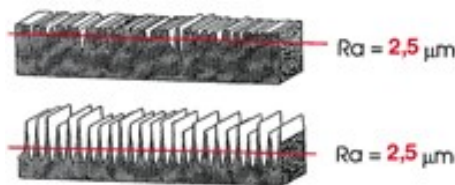
Obrázek 41 Dendrogram pro parametry Rz (paní Ella)

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byla replikace povrchů jizev vzniklých za odlišných okolností, jejich nasnímání a následné vyhodnocení získaných dat. Hlavním cílem bylo přistoupit k posuzování jizev tak, jako běžná technická praxe přistupuje k hodnocení povrchů a dokázat, že je možná tato aplikace i na jiná odvětví, v našem případě ta lékařská. Díky těmto zjištěním bude po aplikaci technických a statistických metod pro hodnocení povrchu posléze možné optimalizovat laserové léčebné přístroje tak, aby došlo k maximálnímu využití jejich potenciálu.

Na základě zkoumání lze konstatovat, že léčebná kúra laserovým paprskem zapříčinila u paní Jany snížení obou zkoumaných parametrů drsnosti Ra a Rz. V praxi to znamená, že došlo k vyhlazení kůže a eliminaci hlubokých i povrchových vrásek na povrchu jizvy.

U paní Elly nastal případ, kdy ze statistického hlediska lze konstatovat, že došlo ke statisticky významnému zvýšení parametru Ra a zároveň ke statisticky významnému snížení parametru Rz. V praxi to znamená, že došlo k eliminaci záhybů v jizvě zasahujících do hloubky s nárůstem jemného zvrásnění po povrchu jizvy, tudíž i zvýšení množství *elementů* a zmenšení *peaků* a *valleys* (vrcholů a prohlubní). Snížení parametru Rz představuje eliminaci zvrásnění zasahujícího do hloubky a nárůst drobného povrchového zvrásnění jizvy zase představuje zvýšení hodnoty parametru Ra. Pro lepší představu je připojen obrázek níže. Na horní pozici je povrch s nižším Rz, ale stejným parametrem Ra, než je tomu u povrchu níže, který má parametr Ra shodný, ale vyšší Rz.



Obrázek 42 Srovnání povrchů se stejným parametrem Ra a odlišným parametrem Rz [32]

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Brychta, P., Stanek, J., Estetická plastická chirurgie a korektivní dermatologie, 2014, ISBN 978-80-247-9314-6
- [2] Pokorná, A., Mrázová, R., Kompendium hojení ran pro sestry, 2012, ISBN 987-80-247-7961-4
- [3] Nauta, A., Larson, B., Michael T. Longaker, H. Peter Lorenz, Principles of Regenerative Medicine, Chapter 6 - Scarless Wound Healing, 2011, ISBN 9780123814227, Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123814227100069> [cit.: 3. 12. 2020]
- [4] Hojení ran odborné informace pro laickou i profesionální veřejnost, Dostupné také z: <http://www.hojeniran.cz/teorie/historie.aspx> [cit.: 4. 12. 2020]
- [5] STOKLÁSEK, Pavel. Vliv technologie dělení materiálů na jejich povrchové vlastnosti. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 120 s. ISBN 978-80-7454-851-2. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/45786>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství.
- [6] MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie: Advanced methods of material Removal, 2000, Košice: Viena, ISBN 80-7099-430-4
- [7] ŠTORK, Jiří. Dermatovenerologie, 2013, ISBN: 9788072628988
- [8] Alster, Tina S., Tanzi, Elizabeth L. Lazarus, Melissa, The use of fractional laser photothermolysis for the treatment of atrophic scars, 2007, ISSN 1076-0512, Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1524-4725.2007.33059.x> [cit.: 5. 12. 2020]
- [9] Wat, Heidi, Wu, Douglas C., Chan, Henry Hin Lee, Fractional resurfacing in the Asian patient: Current state of the art, 2017, ISSN 0196-8092, Dostupné také z: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/lsm.22579?saml_referrer [cit.: 5. 12. 2020]
- [10] Fife, Douglas J., Fitzpatrick, Richard E., Zachary, Christopher B., Complications of Fractional CO2 Laser Resurfacing: Four Cases, 2009, ISSN 0169-8092, Dostupné také z: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/lsm.20753?saml_referrer [cit.: 5. 12. 2020]

- [11] Wan-Lin Liu, Yun-Lan Jiang, Yan-Qiao Wang, Ying-Xin Li, Yi-Xian Liu, Combined debridement in chronic wounds: A literature review, 2017, ISSN 2095-7718, Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095771817300063> [cit.: 5. 12. 2020]
- [12] Primary care dermatology society; Scars – hypertrophic and keloid, Dostupné také z: <http://www.pcids.org.uk/clinical-guidance/scars> [cit.: 5. 12. 2020]
- [13] Juliano Borges, Mônica Manela-Azulay, Tullia Cuzzi, Photoaging and the clinical utility of fractional laser, 2016, ISSN 1178-7015, Dostupné také z: <https://www.dovepress.com/photoaging-and-the-clinical-utility-of-fractional-laser-peer-reviewed-fulltext-article-CCID> [cit.: 5. 12. 2020]
- [14] STRYJA, Jan, Petr KRAWCZYL, Michal HÁJEK a František JALUVKA. Repetitorium hojení ran 2. Vydání 2. Semily: Geum, 2016, 377 s. ISBN 9788087969182.
- [15] BUMBÁLEK, Bohumil, Vladimír ODVODY a Bohuslav OŠŤÁDAL. Drsnost povrchu. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989, 338 s.
- [16] ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [17] WHITEHOUSE, D. J. Handbook of surface and nanometrology. Second edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2011], xxiii, 975 s. ISBN 9781420082012.
- [18] DAPKUNAS, S. J. Surface Engineering Measurement Standards for Inorganic Materials, [2005], 252 s, ISBN: 9781422302576
- [19] Základy anatomie, Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity, Dostupné také z: https://is.muni.cz/do/fsps/e-learning/zaklady_anatomie/zakl_anatomieIII/pages/kuze.html [cit.: 20. 12. 2020]
- [20] Dotykové, nebo bezdotykové měření struktury povrchu?. MM Průmyslové spektrum [online]. Dostupné také z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/dotykové-nebo-bezdotykové-mereni-struktury-povrchu.html> [cit.: 5. 3. 2021]
- [21] Metody měření drsnosti povrchu – ELUC. Dostupné také z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1103> [cit.: 5. 3. 2021]

- [22] STRUB, Jörg Rudolf, Matthias KERN, Christoph Jens TÜRPE, Siegbert WITKOWSKI, Guido HEYEDECKE, Stefan WOLFART. Protetika II. 4., přepracované a rozšířené vydání. Praha: Grada publishing, 2016, xxviii, strana 333-687, ISBN: 978-80-247-5261-7
- [23] KUBIŠOVÁ, Milena. Hodnocení jakosti povrchu polymerních dílů nenormativním způsobem. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 32 s. ISBN 978-80-7454-739-3. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/41626>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Pata, Vladimír.
- [24] Vrasky – MEDAPREX. Dostupné také z: <https://www.medaprex.cz/slovník-pojmu/vrasky-a2016> [cit.: 8. 3. 2021]
- [25] ADLER, Yael. Kůže zblízka. Kůže zblízka: vše o našem největším orgánu. Vydání první. Praha: Euromedia, 2018. 298 s., ISBN 978-80-7549-532-7
- [26] The triangle of youth to your face. Dostupné také z: <https://espoirbeauty.com/en/the-triangle-of-youth-to-your-face-do-this-and-you-will-look-20-years-younger/> [cit.: 9. 3. 2021]
- [27] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. Kompendium statistického zpracování dat. Praha: Karolinum, 2012, 982 s. ISBN 9788024621968.
- [28] Univerzita Karlova, Testy středních hodnot. Dostupné také z: https://fu.ff.cuni.cz/STAT/16_testy_strednich_hodnot.html [cit.: 10. 3. 2021]
- [29] Testování hypotéz, VŠB. Dostupné také z: http://homel.vsb.cz/~dor028/Aplikace_7.pdf [cit.: 10. 3. 2021]
- [30] Portál matematické biologie, Typy dat. Dostupné také z : <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=aplikovana-analyza-klinickyh-a-biologickyh-dat--analyza-a-management-dat-pro-zdravotnicke-obory--data-jejich-popis-a-vizualizace--typy-dat> [cit.: 10. 3. 2021]
- [31] Schafferová, silikonové otiskovací hmoty C. Dostupné také z: https://www.schafferova.cz/stomaflex-set-l-light-putty-gel-katalyst-blocky--detail-PY70000101.aspx?gclid=CjwKCAjw07qDBhBxEiwA6pPbHr3nYowTP6k7pcBzLO7rru5kxqjTWbcDXRs3c0OA1F4uDAVYIh5SixoCPI0QAuD_BwE&fbclid=IwAR1KUVrnXEKtjgqUZQ9x8Fuik16kXP55JPhQ0FCTd1K6XsofWwvd7-gGeds [cit.: 14. 3. 2021]
- [32] Plant Services, Optimize shaft surface finish for maximum seal performance. Dostupné také z: <https://www.plantservices.com/articles/2002/423/> [cit.: 15. 3. 2021]

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvourozměrný prostor
3D	Třírozměrný prostor
CD	Kompaktní disk
CO ₂	Oxid uhličitý
ČSN	Česká státní norma
EDA	Exploratorní datová analýza
EN	Evropská norma
H ₀	Nulová hypotéza
H _a	Alternativní hypotéza
HDD	Pevný disk
HLLT	Vysokovýkonový laser
IR	Infračervená
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
LLLT	Nízkovýkonový laser
ln	Vyhodnocovací délka pro profil drsnosti
lr	Základní délka pro profil drsnosti
n	Celkový počet naměřených dat
p	Hladina významnosti
Ra	Průměrná aritmetická odchylka profilu
Rku	Špičatost profilu
Rq	Průměrná kvadratická úchylka profilu
Rsk	Šikmost profilu
RTG	Rentgenové záření
Rz	Největší výška posuzovaného profilu
ULLLT	Ultranízkovýkonový laser

UV	Ultrafialová
WHC	Kontinuum hojení ran
$1-\alpha$	Konfidenční úroveň
α	Chyba I. druhu
λ_c	Filtr pro definici rozhraní mezi vlnitostí a drsností
λ_f	Filtr pro definici rozhraní mezi vlnitostí a dalšími složkami
λ_s	Filtr pro definici rozhraní mezi krátkovlnnými složkami a drsností

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Stavba lidské kůže [19]	13
Obrázek 2 Zobrazení trojúhelníku na mladé a stárnoucí tváři [26]	15
Obrázek 3 Obrázková pomůcka pro snadnou klasifikaci stádia hojení ran [11]	19
Obrázek 4 Atrofická jizva po akné [8].....	20
Obrázek 5 Keloidní jizva [12]	21
Obrázek 6 Hypertrofická jizva [9].....	21
Obrázek 7 Módová struktura laserů [6]	23
Obrázek 8 Resurfacing jizev po akné CO ₂ laserem [1]	27
Obrázek 9 Komplikace po použití frakčního CO ₂ laseru a zhoršení stavu pacienta [10]....	27
Obrázek 10 Drsnost, vlnitost a tvar [16].....	28
Obrázek 11 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [16].....	30
Obrázek 12 Profil povrchu [16]	30
Obrázek 13 Diagram rozptýlení: a) symetrický (normální), b) asym. (logaritmicko-norm.) [26].....	33
Obrázek 14 Boxplot: a) symetrický (normální), b) asymetrický (logaritmicko-normální) [26]	33
Obrázek 15 Jádrový odhad pravděpod. – a) symetrický (normální), b) asym.[26]	34
Obrázek 16 Histogram – a) symetrický (normální), b) asym. (logaritmicko-normální) [26]	34
Obrázek 17 Q-Q graf - symetrický (normální), b) asym. (logaritmicko-normální) [26]....	34
Obrázek 18 Kruhový graf - symetrický (normální), b) asym. (logaritmicko-normální) [26]	35
Obrázek 19 Tabulka správnosti rozhodnutí a omylů [29]	36
Obrázek 20 Diagram pro správný výběr testu [28].....	36
Obrázek 21 Schéma dotykového měřicího přístroje s indukčním snímačem [21]	37
Obrázek 22 Schéma bezdotykového měřicího přístroje s CLA snímačem [21].....	38
Obrázek 23 Otiskovací hmota nanosená na zjizvené tkáni (paní Jana)	45
Obrázek 24 Otiskovací hmota nanosená na zjizvené tkáni (paní Ella).....	46
Obrázek 25 3D-scan povrchu repliky (paní Jana 7. 1.)	47
Obrázek 26 Ukázka řezu označeného šipkou po nasnímání (paní Jana 7. 1.)	48
Obrázek 27 Parametry vyjmuté z řezu (paní Jana 7. 1.).....	48
Obrázek 28 Sumarizace dat pro parametry Ra 7. 1. (paní Ella)	49
Obrázek 29 Grubbsův test odlehlých hodnot na datech ze 7. 1. (paní Ella).....	50
Obrázek 30 Graf shodnosti rozptylů Lavenesova testu mezi výchozím stavem a po první léčbě (paní Jana)	51

Obrázek 31 Graf shodnosti průměrů mezi výchozím stavem a po první léčbě (paní Jana)	53
Obrázek 32 Boxplotový diagram pro parametry Ra (paní Jana)	54
Obrázek 33 Boxplotový diagram pro parametry Rz (paní Jana)	55
Obrázek 34 Dendrogram pro parametry Ra (paní Jana)	56
Obrázek 35 Dendrogram pro parametry Rz (paní Jana)	56
Obrázek 36 Graf shodnosti rozptylů Lavenesova testu mezi výchozím stavem a po první léčbě (paní Ella)	57
Obrázek 37 Graf shodnosti průměrů mezi výchozím stavem a po první léčbě (paní Ella)	59
Obrázek 38 Boxplotový diagram pro parametry Ra (paní Ella)	60
Obrázek 39 Boxplotový diagram pro parametry Rz (paní Ella)	61
Obrázek 40 Dendrogram pro parametry Ra (paní Ella)	62
Obrázek 41 Dendrogram pro parametry Rz (paní Ella)	62
Obrázek 42 Srovnání povrchů se stejným parametrem Ra a odlišným parametrem Rz [32]	63

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Dělení materiálu dle konzistence (ISO 4823-2007)	40
Tabulka 2 Dělení materiálu dle reverzibility	40
Tabulka 3 Hodnoty „p“ Anderson-Darlingova testu pro jednotlivé skupiny měření	49
Tabulka 4 Hodnoty „p“ Grubbsova testu pro jednotlivé skupiny měření.....	50
Tabulka 5 Srovnání rozptylů hodnot Ra (paní Jana)	52
Tabulka 6 Srovnání rozptylů hodnot Rz (paní Jana)	52
Tabulka 7 Srovnání průměrů hodnot Ra (paní Jana)	53
Tabulka 8 Srovnání průměrů hodnot Rz (paní Jana)	54
Tabulka 9 Srovnání rozptylů hodnot Ra (paní Ella)	58
Tabulka 10 Srovnání rozptylů hodnot Rz (paní Ella)	58
Tabulka 11 Srovnání průměrů hodnot Ra (paní Ella).....	59
Tabulka 12 Srovnání průměrů hodnot Rz (paní Ella).....	60

