



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
MEDICINSKI FAKULTET  
DOKTORSKE STUDIJE KLINIČKE MEDICINE

# REOLOŠKA SVOJSTVA ENDODONTSKIH SILERA

DOKTORSKA DISERTACIJA

**Mentori:**

Prof. dr Ljubomir Petrović  
Viši naučni saradnik dr Dušan Zorica

**Kandidat:**

Dr Milica Premović

Novi Sad, 2016.



**UNIVERZITET U NOVOM SADU  
MEDICINSKI FAKULTET**

**KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora: AU	Milica Premović
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	Prof. dr Ljubomir Petrović, redovni profesor, Katedra za stomatologiju (Bolesti zuba i endodoncija), Medicinski fakultet, Univerzitet u Novom Sadu; Dr Dušan Zorica, viši naučni saradnik, Matematički institut, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd.
Naslov rada: NR	Reološka svojstva endodontskih silera
Jezik publikacije: JP	Srpski (latinica)
Jezik izvoda: JI	srp. / eng.
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	Novi Sad, AP Vojvodina
Godina: GO	2016.god.
Izdavač: IZ	Autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Medicinski fakultet, Novi Sad, Hajduk Veljkova 3

Fizički opis rada: FO	8 poglavlja / 111 stranica / 16 slika / 49 tabela, 13 grafikona / 203 referenci
Naučna oblast: NO	Medicina
Naučna disciplina: ND	Stomatologija, Endodoncija
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	materijali za punjenje kanala korena; lečenje kanala korena; reologija; dentin; opturacija kanala korena; viskozitet; skening elektronski mikroskop
UDK	616.314.16-089.818.1-74
Čuva se: ČU	Biblioteka Medicinskog fakulteta, Hajduk Veljkova 3, Novi Sad
Važna napomena: VN	/
Izvod: IZ	<p><b>Uvod:</b> Sistem kanala korena je složena celina koja pored glavnog korenskog kanala sadrži brojne lateralne, sekundarne, akcesorne kanale, apikalne istmuse i delte, kao i razgranatu mrežu dentinskih tubula. Kako korensko kanalni sistem ne može biti u potpunosti očišćen i dezinfikovani postojećim tehnikama instrumentacije, irigacije i intrakanalne medikacije, uloga kanalnog punjenja se ogleda u postizanju trodimenzionalne opturacije kanalnog prostora, "pečaćenju" preostalih bakterija i onemogućavanju njihovog prodora u periradikularna tkiva. Ispitivanjem reoloških svojstava mogu se bliže odrediti karakteristike tečenja i viskoelastična svojstva endodontskih materijala. Definisane i razumevanje reoloških svojstava endodontskih silera u različitim uslovima doprinosi pravilnom rukovanju materijalom shodno primenjenoj tehnici opturacije.</p> <p><b>Cilj istraživanja:</b> ispitivanje viskoelastičnih svojstava tri različita endodontska silera, uključujući i tečenje / prodor silera u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.</p>

**Materijal i metode:** Ukupan uzorak činilo je 132 meziobukalna i meziolingvalna kanala korena prvih donjih molara. Nakon preparacije kanala kružno-apeksnom tehnikom i *ProTaper* endodontskim instrumentima, uzorak je podeljen u tri grupe u zavisnosti od ispitivanog silera (*AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ*) i dodatno u četiri podgrupe shodno primenjenoj tehnici opturacije (hladna lateralna kompakcija, monokona tehnika, opturacija sa čvrstim nosačem gutaperke i topla vertikalna kompakcija), što je činilo ukupno 12 grupa po 11 kanala. Nakon opturacije, uzorci su poprečno presečeni na rastojanju 3, 5 i 8mm od anatomskog foramena, kako bi se dobili preseči koji odgovaraju apikalnoj, srednjoj i koronarnoj trećini kanala. Koronarne površine preseka su analizirane skening elektronskim mikroskopom (SEM). Mesto najdubljeg tubularnog prodora silera je izmereno i izraženo u mikrometrima i procentualno u odnosu na ukupno rastojanje dentinski zid kanala - spoljašnja površina korena. Viskoelastična svojstva endodontskih silera su ispitana na dinamičkom oscilatornom reometru, *frequency sweep* testom, na četiri različite temperature: 25°C, 35°C, 40°C i 65°C.

**Rezultati:** Tehnike opturacije silerom *AH Plus* koje primenjuju toplotu i pritisak daju značajno višu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na tehnike koje ne primenjuju. Primena toplote i pritiska tokom opturacije silerom *Sealapex* nema značajnu ulogu u dubini prodora silera u dentinske tubule. Tehnike opturacije silerom *EndoREZ* koje ne primenjuju toplotu i pritisak daju značajno višu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na tehnike koje primenjuju. Dubina prodora sva tri ispitivana endodontska silera u dentinske tubule je najviša u koronarnoj trećini, zatim srednjoj i značajno je niža u apikalnoj trećini kanala korena. *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* ispoljavaju viskoelastični karakter sa dominantnim vrednostima elastičnog

	<p>modula u odnosu na vrednosti viskoznog modula, na svim zadatim temperaturama, u opsegu primenjenih frekvencija i napona smicanja. Kompleksni viskozitet svih ispitivanih silera opada sa porastom frekvencije, na svim zadatim temperaturama. Sa porastom temperature kompleksni viskozitet silera <i>AH Plus</i> opada, dok za silere <i>Sealapex</i> i <i>EndoREZ</i> raste. Korelacionom analizom ustanovljena je jaka negativna korelacija između kompleksnog viskoziteta ispitivanih silera i dubine prodora u dentinske tubule: opadanjem kompleksnog viskoziteta dubina prodora silera u dentinske tubule raste.</p> <p><b>Zaključak:</b> Odabir endodontskog silera treba da je zasnovan na tehnici opturacije koja se primenjuje.</p>
Datum prihvatanja teme od strane Senata: DP	24.10.2013. god.
Datum odbrane: DO	
Članovi komisije: (ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status) KO	<p>predsednik:</p> <p>član:</p> <p>član:</p> <p>član:</p> <p>član:</p>

University of Novi Sad  
Faculty of Medicine  
Key word documentation

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	Ph.D. Thesis
Author: AU	Milica Premović
Mentor: MN	Ljubomir Petrović, DMD, Ph.D., full professor, Medical Faculty University of Novi Sad; Dušan Zorica, Ph.D., associate research professor, Mathematical Institute, Searbian Academy of Arts and Sciences, Belgrade.
Title: TI	Rheological properties of endodontic sealers
Language of text: LT	Serbian (latin)
Language of abstract: LA	eng. / srp.
Country of publication: CP	Republic of Serbia
Locality of publication: LP	Novi Sad, Vojvodina
Publication year: PY	2016.
Publisher: PU	Author's reprint
Publication place: PP	Faculty of Medicine, University of Novi Sad, Hajduk Veljkova 3, Novi Sad

Physical description: PD	8 chapters , 111 pages, 16 figures, 49 tables, 13 graphs, 203 references
Scientific field SF	Medicine
Scientific discipline SD	Dentistry, Endodontics
Subject, Key words SKW	Root Canal Filling Materials; Root Canal Therapy; Rheology; Dentin; Root Canal Obturation; Viscosity; Microscopy, Electron, Scanning
UC	616.314.16-089.818.1-74
Holding data: HD	Library of Medical Faculty, Hajduk Veljkova 3, Novi Sad
Note: N	/
Abstract: AB	<p><b>Introduction:</b> The root canal system has a complex anatomy with main root canal and many lateral, secondary, accessory canals, apical isthmuses and deltas, as well as numerous branched dentinal tubules. Due to its complexity, the root canal system cannot be completely cleaned, shaped and disinfected using available techniques of instrumentation, irrigation and intracanal medication. The aim of root canal filling is to achieve a three-dimensional <i>obturation</i> of the root canal space, entomb residual bacteria and prevent their penetration into the periradicular tissue. Defining and understanding the rheological properties of endodontic sealers in different conditions contributes to the proper handling of the material according to the obturation technique applied.</p> <p><b>The aim:</b> testing the viscoelastic properties of three different endodontic sealers, including the flow / sealer penetration into dentinal tubules in combination with different obturation techniques.</p> <p><b>Materials and Methods:</b> The total sample consisted of 132 mesiobuccal and mesiolingual root canals of first mandibular molars. After root</p>



canal preparation using *ProTaper* endodontic instruments, in crown-down manner, the sample is divided into three groups depending on the tested sealers (*AH Plus*, *Sealapex* and *EndoREZ*) and additionally into four subgroups according to the obturation technique applied (cold lateral compaction, single-cone technique, carrier – based obturation and warm vertical compaction), making a total of 12 groups of 11 canals. After root canal obturation, the samples were sectioned horizontally at 3, 5 and 8mm from the anatomical foramen, in order to get the sections that correspond to the apical, middle and coronary third of the canal. The coronal surfaces of the sections were analyzed using scanning electron microscopy (SEM). The maximum depth of sealer penetration was measured and expressed in micrometers and as a percent of the total distance: canal dentinal wall - the outer surface of the root. The viscoelastic properties of endodontic sealers were measured using *frequency sweep* test on dynamic oscillatory rheometer, at four different temperatures: 25°C, 35°C, 40°C and 65°C.

**Results:** Obturation techniques with *AH Plus* that applied heat and pressure produced a significantly higher depth of sealer penetration into dentinal tubules as compared to techniques that did not apply. The application of heat and pressure during obturation with *Sealapex* had no a significant role in the depth of sealer penetration into dentinal tubules. Obturation techniques with *EndoREZ* that did not apply heat and pressure produced a significantly higher depth of sealer penetration into dentinal tubules as compared to techniques that applied. The depth of penetration of all three endodontic sealers into dentinal tubules was the highest in the coronary third, followed by the second and was significantly lower in the apical third of the root canal. *AH Plus*, *Sealapex* and

	<p><i>EndoREZ</i> exhibited viscoelastic character with dominant values of elastic over viscous modulus, at all specified temperatures, in the range of applied frequencies and shear stresses. Complex viscosity of all sealers decreased as the frequency increased at all temperatures. <i>AH Plus</i> showed decreased viscosity as the temperature increased, while <i>Sealapex</i> and <i>EndoREZ</i> demonstrated opposite behavior. Correlation analysis has established a strong negative correlation between the complex viscosity of the tested sealers and the depth of penetration into dentinal tubules: the decrease of complex viscosity increase the depth of sealer penetration into dentinal tubules.</p> <p><b>Conclusion:</b> The choice of endodontic sealer should be based on the obturation technique applied.</p>
Accepted on Senate on: AS	24 <sup>th</sup> October 2013.
Defended: DE	
Thesis Defend Board: DB	president:  member:  member:  member:  member:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. PREGLED LITERATURE</b> .....	<b>3</b>
2.1. Gutaperka.....	3
2.2. Paste za opturaciju / sileri .....	4
2.2.1. Podela silera .....	4
2.2.2. Dentin adhezivni materijali za endodontsku terapiju .....	5
2.2.3. Prodor silera u dentinske kanaliće / tubule.....	5
2.2.4. Tečenje ( <i>flow</i> ) i viskoelastična svojstva endodontskih silera.....	7
2.3. Tehnike opturacije korenskog kanala .....	8
2.3.1. Tehnike opturacije hladnom gutaperkom.....	8
2.3.2. Tehnike opturacije zagrejanom gutaperkom .....	9
2.4. Osnovi reologije.....	11
2.5. Termodinamičke restrikcije .....	13
2.6. Reološki testovi.....	14
<b>3. CILJ ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZE</b> .....	<b>17</b>
<b>4. MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>19</b>
4.1. Izbor i priprema uzorka.....	19
4.2. Instrumentacija / preparacija kanala .....	20
4.3. Veličina i podela uzorka .....	22
4.4. Izbor endodontskih silera.....	23
4.5. Opturacija kanala .....	23
4.6. Priprema uzorka za SEM .....	25
4.7. SEM analiza prodora silera u dentinske tubule.....	26
4.8. Određivanje temperature <i>Thermafil</i> i <i>DiaPen&amp;DiaGun</i> sistema.....	28
4.9. Reološki testovi.....	28
4.10. Statistička analiza .....	30
<b>5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>33</b>

5.1. Dubina prodora silera u dentinske tubule za sve ispitivane grupe.....	33
5.1.1. Dubina prodora silera u dentinske tubule u odnosu na tehniku opturacije .....	36
5.1.1.1. Siler <i>AH Plus</i> .....	36
5.1.1.2. Siler <i>Sealapex</i> .....	38
5.1.1.3. Siler <i>EndoREZ</i> .....	39
5.1.2. Dubina prodora u dentinske tubule u odnosu na vrstu silera .....	42
5.1.2.1. Hladna lateralna kompakcija .....	42
5.1.2.2. Monokona tehnika .....	43
5.1.2.3. Tehnika opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke ( <i>Thermafil</i> ).....	45
5.1.2.4. Topla vertikalna kompakcija ( <i>DiaPen &amp; DiaGun</i> ) .....	46
5.1.3. Dubina prodora silera u dentinske tubule u odnosu na primenu toplote tokom opturacije.....	48
5.1.3.1. Siler <i>AH Plus</i> .....	48
5.1.3.2. Siler <i>Sealapex</i> .....	49
5.1.3.3. Siler <i>EndoREZ</i> .....	50
5.1.4. Dubina prodora silera u dentinske tubule u odnosu na primenu pritiska tokom opturacije.....	51
5.1.4.1. Siler <i>AH Plus</i> .....	51
5.1.4.2. Siler <i>Sealapex</i> .....	52
5.1.4.3. Siler <i>EndoREZ</i> .....	53
5.1.5. Dubina prodora silera u dentinske tubule u odnosu na koronarnu, srednju i apikalnu trećinu kanala korena.....	54
5.1.6. SEM analiza dubine prodora ispitivanih endodontskih silera u dentinske tubule.....	55
5.2. Reološki testovi.....	60
5.2.1. Siler <i>AH Plus</i> .....	60
5.2.2. Siler <i>Sealapex</i> .....	63
5.2.3. Siler <i>EndoREZ</i> .....	66
5.2.4. Poređenje kompleksnog viskoziteta između različitih endodontskih silera.....	69
5.3. Korelaciona analiza .....	71
<b>6. DISKUSIJA .....</b>	<b>75</b>
6.1. Diskusija materijala i metoda .....	75
6.2. Diskusija rezultata prodora silera u dentinske tubule .....	79
6.3. Diskusija rezultata reoloških testova .....	85
<b>7. ZAKLJUČCI.....</b>	<b>91</b>
<b>8. LITERATURA .....</b>	<b>95</b>

## 1. UVOD

Uspešan ishod endodontske terapije postiže se: eliminacijom mikroorganizama čišćenjem i oblikovanjem kanala, formiranjem trodimenzionalne kanalne opturacije sa nepropustljivim, biokompatibilnim i dimenzionalno stabilnim materijalom i sprečavanjem komunikacija između usne duplje i periradikularnih tkiva formiranjem kvalitetne koronarne restauracije [1-5].

Sistem kanala korena je složena celina koja pored glavnog korenskog kanala sadrži brojne lateralne, sekundarne, akcesorne kanale, apikalne istmuse i delte, kao i razgranatu mrežu dentinskih tubula [6-8]. Usled kompleksne prirode često je teško oblikovati kanal do forme koja može biti lako opturisana u svim pravcima, naročito u predelu apikalnog terminusa usled malog dijametra kanala i često prisutnih anatomskih nepravilnosti. Podaci iz literature sugerišu da korensko kanalni sistem ne može biti u potpunosti očišćen i dezinfikovano postojećim tehnikama instrumentacije, irigacije i intrakanalne medikacije [9-11]. Dentinski tubuli i neobrađeni delovi kanalnog sistema mogu da zadrže nekrotično tkivo i bakterije iako na rendgenografskom snimku kanalno punjenje izgleda tehnički korektno. Sposobnost bakterija da kolonizuju dentinske tubule, kao i povezanost lokalizovane periodontalne lezije sa nekrotičnim i inficiranim kanalnim ramifikacijama, dokumentovani su od strane više autora [6,12-15]. Sistem kanala korena je, pored efektivnog čišćenja i oblikovanja, potrebno opturirati na način da se onemogući koronarno i apikalno mikrocurenje i posledična bakterijska kontaminacija, kao i kontaminacija periapikalnim tkivnim fluidima [16]. Uloga kanalnog punjenja ogleda se u postizanju trodimenzionalne opturacije kanalnog prostora, "pečaćenju" preostalih bakterija i onemogućavanju njihovog prodora u periradikularna tkiva. Nekompletna opturacija kanalnog prostora uzrok je približno 60% neuspeha endodontske terapije [17,18].

Uprkos stalnom razvoju materijala i tehnika, opturacija kompletnog kanalnog prostora i dalje je izazov za svakog kliničara. Materijali za punjenje kanala korena mogu se smatrati implantima i shodno tome moraju da ispune zahteve takvih materijala što se tiče

tehničkih i bioloških svojstava [19]. Različite tehnike opturacije se primenjuju, često i kombinuju, u cilju postizanja što intimnije i uniformnije adaptacije materijala za kanalne zidove. Razvojem tehnika opturacije koje koriste pritisak i toplotu, termoplastična kompakcija materijala unutar kanalnog prostora je široko prihvaćena od strane kliničara. Primena toplote tokom opturacije indukuje fizičke i hemijske promene u materijalu; ove promene nisu dovoljno istražene i dokumentovane u savremenoj stručnoj i naučnoj literaturi.

Ispitivanjem reoloških svojstava mogu se bliže odrediti karakteristike tečenja i viskoelastična svojstva endodontskih materijala. Razumevanje reološkog ponašanja na različitim temperaturama imalo bi pozitivan uticaj na odabir i rukovanje materijalom shodno tehnici opturacije, kao i na konačan ishod endodontskog tretmana.

## 2. PREGLED LITERATURE

Prema smernicama za rad u endodonciji Evropskog udruženja endodontologa (*European Society of Endodontology* - ESE), materijali za kanalnu opturaciju treba da su: biokompatibilni, dimenzionalno stabilni, dobrih zaptivnih svojstava, otporni na tkivne fluide i nerastvorljivi, nepovoljni za rast bakterija, radiokontrastni, sa mogućnošću uklanjanja iz kanala ukoliko je neophodna ponovna terapija [20].

Kanalno punjenje se sastoji od (polu-) solidnog materijala u kombinaciji sa pastom za opturaciju / silerom [20,21].

### 2.1. Gutaperka

Gutaperka je zbog povoljnih fizičkih i bioloških svojstava najčešće korišćen materijal za kanalnu opturaciju. Čini najveći deo kanalnog punjenja i s obzirom na nemogućnost adhezije za dentinski zid kao i nekompatibilnost oblika sa ispreparisanim kanalom, uvek se koristi u kombinaciji sa pastom za opturaciju / silerom.

Gutaperka je termoplastični polimer, inertna je, biokompatibilna, laka za rukovanje, radiokontrastna; zagrevanjem razmekšava, pod pritiskom se komprimuje [22-28]. Postoji u dve kristalne forme: alfa i beta; alfa-forma gutaperke se usled povoljnih fluidnih karakteristika koristi u tečnom stanju (injekcioni sistemi), dok je beta-forma manje krta i koristi se u obliku konusa. Procenti organske (gutaperka polimer i vosak / smole) i neorganske (cink-oksidi, metalni sulfati) komponente u komercijalno dostupnim gutaperkama široko variraju u sastavu i utiču na termomehanička svojstva materijala; dolazi do varijacija u: lomljivosti gutaperke, krutosti, zateznoj čvrstoći, tečenju, istezanju i termičkom ponašanju materijala [24,29-32].

Opturacija kanalnog sistema se postiže različitim tehnikama rukovanja gutaperkom u kombinaciji sa silerom, u cilju postizanja "hermetičkog punjenja" odnosno

trodimenzionalne kanalne opturacije. Manipulacija gutaperkom toplotom i / ili rastvaračima dovodi do odloženog skupljanja materijala (1-2%) što nije poželjno svojstvo; kompenzacija za kontrakciju gutaperke bi trebala biti inkorporirana u tehniku opturacije [33].

## **2.2. Paste za opturaciju / sileri**

Paste za opturaciju / sileri kreiraju jedinstvenu celinu između gutaperke i korenskog dentina popunjavanjem prostora gde gutaperka ne može da se adaptira, kao i nepravilnosti unutar kanalnog prostora, apikalne ramifikacije, delte, lateralne, akcesorne kanale i dentinske tubule. U odsustvu silera kanalno punjenje će biti nedovoljno kompaktno, stepen mikrocurenja veći i neuspeh terapije izvesniji [34-38]. Količina silera treba da je svedena na tanak sloj između gutaperke i kanalnih zidova, istovremeno u dovoljnoj količini da se onemogući prodor mikroorganizama i njihovih bioprodukata u periradikularna tkiva [39,40].

Fizička i hemijska svojstva silera određuju tehnike rukovanja, manipulacije i ponašanje materijala u kliničkim uslovima. Poželjna svojstva endodontskih silera se mogu svesti na dobra zaptivna svojstva (*sealing ability*), adekvatnu adhezivnu (za dentin i gutaperku) i kohezivnu snagu da se održi celovitost opturacije [33,41,42].

### **2.2.1. Podela silera**

U odnosu na hemijski sastav, sileri mogu biti na bazi cink oksid-eugenola, kalcijum hidroksida, glas-jonomer cementa, epoksi smole, metakrilatne smole, mineral trioksid agregata (MTA), silikona i biokeramike [19,43].



### **2.2.2. Dentin adhezivni materijali za endodontsku terapiju**

Povoljna svojstva silera na bazi smole učinila su ih najzastupljenijim na tržištu poslednjih decenija.

Koncept dentin adhezivne tehnologije u stomatologiji prvi je uveo *Buonocore* sredinom 1950-ih godina, dok su prvi pokušaji da se smola uvede u endodontsku terapiju objavljeni od strane *Tidmarsh*-a [44,45]. Prve generacije nisu koristile kiselinu za uklanjanje razmaznog sloja što je rezultovalo slabo ostvarenom adhezivnom vezom i nije značajno umanjilo bakterijsko mikrocurenje; kasnije generacije su koristile 35% fosfornu kiselinu za uklanjanje razmaznog sloja, ali su smole bile hidrofobne te je interakcija sa vlažnim dentinom bila nepovoljna. Poslednja generacija su hidrofilne smole bazirane na polimernoj tehnologiji i dentin adhezivnim svojstvima, od mikromehaničke retencije do prodora silera u dentinske tubule, formirajući intiman hibridni sloj sa kolagenim intertubularnim vlaknima [46].

U studijama *Perdigao*-a i sar. i *Bouillaguet*-a i sar. je konstatovano da uprkos razvoju adhezivnih materijala idealno kanalno punjenje je teško postići; nepovoljna geometrija korenskog kanala, visok konfiguracioni faktor (C - faktor) i kompleksnost supstrata (dentina) dovode do nastanka visokih stresova u materijalu i potencijalnog neuspeha u postizanju adhezivne veze [47-48]. Varijabilna struktura korenskog dentina, česta pojava sklerotičnog dentina u apikalnoj trećini kanala, kao i prisustvo velike količine debrisa tvrdog zubnog tkiva u kanalnom prostoru otežavajući su faktori za postizanje idealnog kanalnog punjenja, tzv. "monoblok-a" [49,50].

### **2.2.3. Prodor silera u dentinske kanaliće / tubule**

Sposobnost silera da efikasno i konzistentno prodire u dentinske kanaliće / tubule jedan je od faktora koji utiče na izbor silera [51]. Naime, prodor silera u dentinske tubule povećava površinu kontakta između materijala za punjenje i dentinskih zidova, retenciju materijala, ojačava koren zuba, povećava otpornost na vertikalnu frakturu i potencijalno

smanjuje mikrocurenje čime pozitivno utiče na kvalitet kanalnog punjenja [51-58]. Sila unutar dentinskih tubula može "zapečatiti" preostale bakterije i inaktivirati ih, dok hemijske komponente silera mogu ispoljiti potencijalno antibakterijsko dejstvo [59]. Na bazi ovih pretpostavki koncept prodora silera u dentinske tubule kao faktor koji utiče na kvalitet kanalnog punjenja predmet je raznih naučnih diskusija [51,54,60-73].

Na prodor silera u dentinske tubule utiču: prisustvo razmaznog sloja, dimenzije korenskog kanala, dentinska propustljivost (broj i dijametar dentinskih tubula), tehnika opturacije, temperatura i vlažnost [56,62,73,74-80]. Fizička i hemijska svojstva silera kao što su: viskozitet, tečenje (*flow*), površinski napon, kontaktni ugao između silera i korenskog dentina takođe utiču na tubularni prodor silera [51,62,73,78,80-82].

Prisustvo razmaznog sloja sa ostacima pulpnog tkiva, organskim i neorganskim debrisom, bakterijama i njihovim bioproduktima, nepoželjno je između materijala za punjenje i dentinskih zidova. Efikasno uklanjanje razmaznog sloja neophodan je faktor za prodor materijala u dentinske tubule [54,56,77,78]. Sa druge strane, tubularni prodor silera može da posluži kao indikator stepena uklanjanja razmaznog sloja [69]. *Osorio* i sar. su 2005. god. konstatovali da kolagena mreža u dentinu ostaje najbolje očuvana tretiranjem sa 17-19% rastvora EDTA ili niskim koncentracijama limunske kiseline kao završnim irigansom [83]. Preporuka američkog udruženja endodontista (*American Association of Endodontists* – AAE) za uklanjanje razmaznog sloja je aplikacija 17% rastvora EDTA i rastvora NaOCl-a; helatori uklanjaju neorgansku komponentu a hipohlorit je neophodan za uklanjanje ostataka organske komponente [33].

Obrnuto srazmeran odnos je ustanovljen između dubine tubularnog prodora silera i mikrocurenja eksternih fluida u korenski kanal: porastom dubine prodora mikrocurenje je manje [75,84].

#### 2.2.4. Tečenje (*flow*) i viskoelastična svojstva endodontskih silera

Poznavanje i razumevanje viskoelastičnih svojstava i karakteristika tečenja endodontskih silera pozitivno utiče na rukovanje materijalom, kao i na kvalitet endodontske terapije. Sposobnost silera da efikasno i konzistentno popuni korensko kanalni prostor, bez formiranja praznina između dentinskog zida i gutaperke, direktno je povezana je sa fizičkim i hemijskim svojstvima [85].

Poželjno je da siler poseduje niži viskozitet, odnosno visoku tečljivost (*flowability*), da teče što je duže moguće kako bi prodor u uske i kompleksne anatomske prostore unutar kanalnog sistema bio dublji i konzistentniji; sa druge strane visoka tečljivost može izazvati apikalnu ekstruziju materijala i iritaciju periradikularnih tkiva [86-88]. Siler idealne tečljivosti bi, zajedno sa gutaperkom, ispunio celokupnu unutrašnjost kanala stvarajući kompaktnu celinu, tzv. monoblok, intimno adaptiranu sa kanalnim zidovima. Idealna tečljivost silera nije dovoljno istražena i dokumentovana. Stoga, pecizno proučavanje karakteristika tečenja važno je za evaluaciju kliničkog ponašanja silera [87].

Na tečenje silera utiču: veličina čestica materijala, viskozitet, brzina unošenja u kanal, unutrašnji dijametar, oblik, širina i koničnost korenskog kanala, kao i vreme, temperatura i vlažnost [76,80,89]. Manipulisanje sa viskoznošću endodontskih silera može biti postignuto promenom odnosa pasta/pasta ili prah/tečnost ali je upitan uticaj na kvalitet punjenja s obzirom na to da se odstupa od preporuke proizvođača [90]. U najvećem broju istraživanja ispitivano je tečenje silera metodama regulisanim ISO standardom (6876/2001) (Međunarodna organizacija za standardizaciju/*Internacional Organization for Standardization*) i ANSI/ADA specifikacijama (No.57) (Američki nacionalni institut za standarde/Američko udruženje stomatologa / American National Standards Institute/American Dental Association) [43,91-101]. Metode su brze i jednostavne za izvođenje, tečljivost se određuje na osnovu dijametra komprimovanog silera između dve staklene ploče opterećene kontrolisanom težinom; dobijeni podaci su indirektno povezani sa viskozitetom materijala. U malom broju istraživanja je ispitivan direktno viskozitet

endodontskih silera, iako je značajan faktor u određivanju karakteristika tečenja, rukovanja i manipulacije materijalom [76,87,101].

### **2.3. Tehnike opturacije korenskog kanala**

Različite tehnike opturacije su razvijene u cilju postizanja idealnog kanalnog punjenja. U pojedinim istraživanjima je konstatovano da se nijednom od postojećih tehnika opturacije ne postiže superiorno kanalno punjenje, dok nalazi drugih istraživača ukazuju da se bolje punjenje lateralnih kanala i povoljniji rezultat endodontskog tretmana postiže tehnikama opturacije zagrejanom gutaperkom [102-108].

#### **2.3.1. Tehnike opturacije hladnom gutaperkom**

Tehnike opturacije hladnom gutaperkom se sastoje u postavljanju jednog ili više gutaperka poena u kanal u koji je prethodno aplikovan siler.

Hladna lateralna kompakcija gutaperke je široko zastupljena, klinički efektivna tehnika opturacije i predstavlja standard za poređenje sa ostalim tehnikama [109,110]. Vremenski je zahtevna (*time consuming technique*), a kritikovana je zbog nedovoljne adaptacije materijala za zidove kanala korena, nedostatka homogenosti punjenja, tragova lateralnog kompaktera kao i nepravilnosti nastalih unutar gutaperke, povišenog rizika od korenske frakture, nemogućnosti da se popune fini i uski kanalni prostori [27,111-113].

Monokona tehnika opturacije je brza i jednostavna za izvođenje; zamera joj se što gutaperka u obliku konusa kružnog poprečnog preseka ne odgovara u potpunosti obliku preparisanog kanala i na taj način veća količina endodontskog silera ostaje unutar kanala [114]. U pojedinim *in vitro* istraživanjima je ustanovljen viši stepen prodora boje (*dye penetration test*) u kanalima opturiranim monokonom tehnikom opturacije u odnosu na ostale tehnike, dok je u drugim istraživanjima ustanovljena jednaka efikasnost monokone tehnike u popunjavanju apikalne trećine kanala u odnosu na tehnike vertikalne i lateralne kompakcije [115-118].

### 2.3.2. Tehnike opturacije zagrejanom gutaperkom

Razvojem tehnika opturacije koje koriste toplotne izvore termoplastična kompaktacija materijala unutar kanalnog prostora je široko prihvaćena od strane kliničara [119]. Upotreba toplotnog izvora utiče na termoplastična svojstva gutaperke; gutaperka se u većem stepenu adaptira za kanalne zidove i iregularnosti; postiže se viši stepen homogenosti uz minimalnu količinu silera [25,27,114,120-124]. *Brothman* je u svom istraživanju ustanovio dva puta više lateralnih kanala opturiranih tehnikom vertikalne kompaktacije zagrejene gutaperke u odnosu na tehniku hladne lateralne kompaktacije [106]. Zagrejana gutaperka je mekša i tečnija, bolje se uliva u kanalne prostore i primenom pritiska dodatno se adaptira za kanalne zidove i iregularnosti [22,119]. Gutaperka ne bi trebala biti ni suviše tečna kako bi se adekvatno kontrolisala njena aplikacija i izbeglo “prebacivanje” u periradikalna tkiva. Kroz suviše tečnu gutaperku instrumenti će pre prodirati nego je komprimovati [125].

Kako bi se postigla trodimenzionalna kanalna opturacija koriste se različite tehnike zagrevanja gutaperke: zagrejana/hladna gutaperka komprimovana zagrejanim instrumentima/uređajima (*warm vertical compaction; continuous wave; warm lateral compaction*), rastopljena gutaperka aplikovana u kanal injekcionim sistemima (*injection techniques*); zagrejana gutaperka u specijalnom uređaju na plastičnom nosaču koji ostaje deo opturacije (*carrier-based techniques*) [33,114].

Fazne promene gutaperke kao funkcija temperature kreću se od beta, preko alfa do amorfne faze; hlađenjem je obrnuto [26,126,127]. Porastom temperature smanjuje se procenat kristalnog segmenta unutar gutaperke i tako izložena stresu ima manji procenat elastične (reverzibilne) deformacije [22]. Maksimalna temperatura potrebna da se postigne amorfna faza u gutaperci je 60°C [33,126,127]. *Venturi* i sar. preporučuju temperaturu između 37°C i 42-45°C kao idealnu za manipulaciju [128]; *Goodman* i sar. su takođe demonstrirali da je zagrevanje apikalnog dela gutaperke 4°C iznad temperature tela idealno za korektno topljenje gutaperke, adekvatnu kompaktaciju i kontrolu tokom rada [127]. *Schilder* i sar. su konstatovali da porast temperature gutaperke iznad 45°C dovodi do

zapreminskih promena tokom hlađenja usled faznih promena u strukturi materijala [129]. Ipak, mnogi sistemi za zagrevanje gutaperke koriste više temperature. Smatra se da zagrevanjem gutaperke iznad 100°C dolazi do ireverzibilnih promena u njenoj molekularnoj strukturi [24].

Tehnika vertikalne kompakcije zagrejjane gutaperke, uvedena od strane *Schilder*-a 1967 godine, bazirana je na upotrebi toplotnog izvora (prvobitno na plamenu, danas elektronski kontrolisanim uređajima - temperatura podešena između 170°C i 220°C) koji topi gutaperku i hladnog kompaktera za vertikalnu kompakciju [25,130]. Kod uređaja kao što je *System B (Sybrondental, Orange, CA, USA)*, izvor toplote je istovremeno i kompakter, koji simultano zagreva i komprimuje gutaperku tehnikom kontinuiranog talasa (*continuous wave technique*) uvedenom od strane *Buchnan*-a [121]. Injekcioni sistemi tope gutaperku na temperaturi do 200°C. Ipak, rezultati istraživanja ukazuju da je stvarna temperatura gutaperke merena intrakanalno značajno niža od temperature prikazane na displeju uređaja toplotnog izvora [131]. Podaci se kreću od približno 50°C niže vrednosti od temperature prikazane na displeju, preko prosečnih 100°C, “maksimalnih” 80°C, odnosno između 50°C – 85°C [76,114,119,124,132-134]. Temperatura se razlikuje u zavisnosti od vrste uređaja toplotnog izvora, podešene vrednosti temperature, vremena zagrevanja i mesta aplikacije kompaktera. Važno je napomenuti da gutaperka menja fizička svojstva za 3-4 mm od tačke kontakta sa zagrejjanim kompakterom [24,135,136]. Treba imati u vidu i da kompakter nije zagrejjan uniformno celom dužinom kao i da temperature između kompaktera različitih koničnosti ne dostižu iste temperature [125,128,132,133]. Značajno niža temperatura gutaperke od očekivane izmerena intrakanalno može se objasniti njenom slabom termičkom provodljivošću kao i brzim hlađenjem u kontaktu sa dentinom [125,135,137].

Kada se koriste tehnike opturacije zagrejjanom gutaperkom i siler je izložen temperaturnim promenama. Fizičke i hemijske promene silera indukovane povišenom temperaturom nisu dovoljno istražene i dokumentovane u savremenoj stručnoj i naučnoj literaturi [132]. Ograničeni podaci su dostupni o posledičnoj modifikaciji fizičkih i

hemijskih svojstava silera; potrebno je oceniti podobnost svakog endodontskog silera za opturaciju tehnikama zagrejane gutaperke.

*Lacey* i sar. su ustanovili da zagrevanjem endodontskih silera dolazi do promene u viskozitetu [76]. Temperatura od 100°C indukuje hemijske promene *AH Plus* silera; dolazi do dezintegracije poliamina iz paste B koji su inicijatori polimerizacije, kao i do smanjene otpornosti materijala na pritisak [132,133,138].

Uticaj toplote na periradikularna tkiva je značajan kada se koriste tehnike opturacije zagrejanom gutaperkom. Generalno je prihvaćen stav da porast temperature od 10°C iznad temperature tela, u trajanju od 1 minut, može da izazove trajna oštećena periradikularnih tkiva kao što je nekroza alveolarne kosti [139-144]. Brzo hlađenje gutaperke tokom aplikacije i izolaciona svojstva dentina smanjuju mogućnost periodoncijumskih oštećenja [114,145-147]. Debljina dentina i dimenzije korena utiču na disipaciju toplote koja se prenosi na spoljašnju površinu korena kada se koriste tehnike opturacije zagrejanom gutaperkom; endodontski sileri takođe disipiraju toplotu [133,148]. U pojedinim istraživanjima je demonstrirano da se manja temperatura na spoljašnjoj površini korena dostiže u *in vivo* uslovima usled prisustva periodontalnog ligamenta i intaktne vaskularne mreže koji dodatno disipiraju toplotu [132,148].

Kod tehnika opturacije zagrejanom gutaperkom pored toplote, neophodno je kontrolisati i pritisak tokom rada kako ne bi došlo do komplikacija kao što su intruzija materijala u periradikularna tkiva i jatrogena fraktura korena. Primena sile i manipulacija materijalom treba da su u skladu sa konzistencijom materijala [119].

## **2.4. Osnovi reologije**

Iako pojedini koncepti datiraju još iz vremena antičkog doba, reologija je relativno mlada nauka i dolazi do izražaja tek u drugoj polovini dvadesetog veka. Termin „*reologija*“ su uveli Markus Rajner (*Marcus Reiner*) i Eugen Bingam (*Eugene Bingham*) od grčke reči „*rheo*“ što znači „teći“. Heraklitova (*Heraclitus*) filozofija se takođe zasnivala na konceptu

„*panta rei*“ (παντα ρεῖ) – „sve teče“, što bi u reološkom smislu značilo „sve teče ukoliko se dovoljno dugo čeka“ (primer su stari crkveni prozori gde se može uočiti razlika u debljini stakla pri vrhu i dnu; iako je viskozitet materijala visok, oko 1040 Pas, staklo je još uvek tečnost i shodno tome teče, a vremenski period praćenja mora biti dovoljno dug, pa čak i nekoliko vekova, kako bi se kretanje uočilo) [149].

Reologija opisuje konzistenciju materije kroz dva svojstva: viskoznost i elastičnost. Shodno tome, svi materijali su podeljeni u tri grupe prema svom reološkom ponašanju: viskozni, elastični i viskoelastični.

U idealnom elastičnom telu napon je direktno proporcionalan deformaciji (engl. *stress* i *strain*). Delovanjem napona dolazi do trenutne deformacije materijala, dok se po prestanku delovanja napona telo vraća u prvobitan položaj - deformacija je povratna, elastična, efekat memorije ne postoji. Idealno elastična tela (*ideal solid*) opisuju se Hukovim zakonom analognom opruzi (engl. *spring*),  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ , gde  $\sigma$  predstavlja normalan napon,  $\varepsilon$  je deformacija, a  $E$  je Jungov moduo elastičnosti.

U idealnom viskoznom telu napon je proporcionalan brzini deformacije (engl. *strain rate*). Delovanjem napona dolazi do povećanja deformacije, dok po prestanku delovanja napona telo ostaje u deformisanom položaju – deformacija je nepovratna, stalna, efekat memorije je prisutan. Idealno viskozna tela (*ideal liquid*) se opisuju Njutnovim zakonom analognom prigušnici (engl. *dashpot*),  $\sigma(t) = \mu \frac{d\varepsilon}{dt} = \mu \cdot \dot{\varepsilon}(t)$ , gde  $\mu$  predstavlja koeficijent viskoznosti fluida.

Navedeni izrazi predstavljaju matematičke modele idealnih elastičnih i idealnih viskoznih materijala i čine granične slučajeve viskoelastičnih tela. Najveći broj realnih materijala, poseduje svojstva i elastičnih tela i viskoznih fluida, odnosno nalaze se u stanju između navedenih graničnih slučajeva.

Reologija kao oblast mehanike proučava konstitutivne modele deformabilnih viskoelastičnih tela. Reološki konstitutivni modeli se formulišu kao analogije modela



viskoelastičnih tela sa različitim konfiguracijama, ostvarenim serijskim i paralelnim vezama, elemenata karakterističnih za mehaniku materijalne tačke: opruge i prigušnice. Konfiguracija sastavljena od opruge i prigušnice analogna je, prema matematičkom modelu koji je opisuje, sa modelom viskoelastičnog tela.

Pored celobrojnih izvoda, viskoelastični materijali se mogu modelirati i konstitutivnim jednačinama koje sadrže frakcione izvode. Reološki mehanički modeli pogodni za modeliranje stomatoloških viskoelastičnih materijala su Maksvelov (*Maxwell*), Kelvin-Vojtov (*Kelvin-Voigt*) i Cenerov (*Zener*) model [150,151].

## 2.5. Termodinamičke restrikcije

Prvi princip termodinamike govori o energetsom bilansu sistema pri njegovom izlaganju različitim uticajima, npr. deformaciji i zagrevanju. Dolazi do transformacije različitih tipova energije iz jednog oblika u drugi pri čemu važi zakon održanja energije. Drugi princip termodinamike uvodi ograničenja na transformaciju energije i ističe da ne mogu svi tipovi energije imati istu sposobnost transformacije u mehanički rad. Dakle, prvi princip opisuje energetska ravnotežu, dok drugi princip tvrdi da postoji gubitak ili očuvanje energije u procesima njene transformacije iz jednog oblika u drugi.

Prvi i drugi princip termodinamike postavljaju ograničenja na parametre modela viskoelastičnog tela u konstitutivnim jednačinama. Zapravo, prvi i drugi princip termodinamike zabranjuju postojanje *perpetuum mobile* prve i druge vrste, koji bi mogli biti realizovani ukoliko bi postojali materijali opisani konstitutivnim jednačinama bez restrikcija na parametre modela. Principi termodinamike obezbeđuju konstitutivne jednačine kompatibilne sa fizičkim svetom.

Analiza termodinamičke konzistentnosti pogodna za frakcione konstitutivne modele je data u [152], gde je pretpostavljeno da nakon prelaznog režima periodična deformacija  $\varepsilon$  uzrokuje periodični napon  $\sigma$ . Pozitivnost disipacionog rada za ceo ciklus perioda  $T$  i za svaki trenutak tokom ciklusa implicira

$$G'(\omega) = \operatorname{Re} G(\omega) \geq 0 \text{ и } G''(\omega) = \operatorname{Im} G(\omega) \geq 0, \omega > 0,$$

gde je kompleksni moduo (engl. *complex modulus*)  $G = G' + iG'' = \frac{\hat{\sigma}}{\hat{\varepsilon}}$ . Realna komponenta  $G'$  kompleksnog modula  $G$  u fazi je sa silom deformacije i opisuje elastični deo mehaničkog odgovora materijala, te se naziva elastični moduo ili moduo akumulacije (engl. *storage modulus*), dok imaginarna komponenta  $G''$  kompleksnog modula  $G$  opisuje disipaciju energije izazvanu viskoznim odgovorom materijala i naziva se viskozni moduo ili moduo gubitaka (engl. *loss modulus*).

Motivacija za uvođenje modula akumulacije i gubitaka se može naći ukoliko se posmatra Hukov i Njutnov zakon. Naime, Hukov zakon opisuje idealno elastično telo, gde ne postoje gubici, dok Njutnov zakon opisuje materijal koji disipira energiju u potpunosti.

## 2.6. Reološki testovi

Princip rada reometra zasnovan je na aplikaciji specifične brzine smicanja, napona smicanja ili deformacije i posmatranju ponašanja materijala postavljenog između dve paralelne ploče, konusa i ploče, dva koaksijalna cilindra ili drugoj mernoj geometriji. Reometri su konstruisani da mogu da rade na više različitih načina, odnosno da kontrolišu vrednost primenjene brzine smicanja, napona smicanja i deformacije (CR – *control rate*, CS – *control stress*, CD – *control deformation*). Na reometru je moguće izvođenje testova u kojima se određuju krive proticanja, puzanja i relaksacije napona, kao i dinamička oscilatorna merenja [153].

Dinamički oscilatorni testovi su testovi malih deformacija, zasnovani na aplikaciji sinusoidalnog oscilatornog napona (ili deformacije) tokom vremena. Pod sinusoidalnom deformacijom  $\gamma(t) = \gamma_0 \sin \omega t$ , viskoelastični materijal odgovara sinusoidalnim naponom  $\tau(t) = \tau_0 \sin \omega t$ , a odgovor zavisi od svojstva materijala. Elastična komponenta odgovora predstavlja elastični ili moduo akumulacije  $G'$  (*storage modulus*) i mera je energije unutar materijala, dok viskozna komponenta odgovora predstavlja viskozni ili moduo gubitaka  $G''$

(*loss modulus*) i mera je disipacije energije. Krive zavisnosti  $G'$  i  $G''$  od frekvencije se razlikuju za različite materijale. Ponašanje materijala zavisi od apsolutnih vrednosti elastične i viskozne komponente kao i odnosa između njih [154]. Dinamičkim oscilatornim testovima je moguće kvantifikovati elastičnu i viskoznu komponentu viskoelastičnog materijala i na taj način bliže odrediti reološka svojstva materijala.

Reometrima je moguće meriti viskoelastična svojstva endodontskih silera kao funkciju vremena, temperature i frekvencije [76,87,101]. Tokom vremena, reološka svojstva endodontskih silera se menjaju u skladu sa reakcijom vezivanja materijala (*setting time reaction*), dok se promenom temperature reološka svojstva takođe značajno menjaju, ali su ova svojstva slabo istražena i dokumentovana [76,155].

Stomatološki materijali su kategorizovani kao viskoelastični materijali; njihova mehanička svojstva se nalaze između elastičnih i viskoznih [156-159]. Reometrima su do sada ispitana viskoelastična svojstva dentalnih kompozita, materijala za otiske i endodontskih silera [76,87,150,151,160-165].

Ispitivanje, definisanje i razumevanje reoloških svojstava endodontskih silera važno je u cilju dobijanja objektivnih podataka koji mogu uticati na klinički rad i kvalitet endodontske terapije.



### 3. CILJ ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZE

Cilj doktorske disertacije je ispitivanje viskoelastičnih svojstava tri različita endodontska silera, uključujući i tečenje / prodor silera u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

U odnosu na cilj doktorske disertacije postavljene su sledeće hipoteze istraživanja:

- Dubina prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije (hladna lateralna kompakcija, monokona tehnika, tehnika opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke i topla vertikalna kompakcija) se međusobno razlikuje.
- Dubina prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule u kombinaciji sa istom tehnikom opturacije se međusobno razlikuje.
- Tehnike opturacije koje koriste zagrejanu gutaperku daju višu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na tehnike koje koriste hladnu gutaperku.
- Tehnike koje koriste pritisak tokom opturacije daju višu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na tehnike koje ne koriste pritisak.
- Dubina prodora silera u dentinske tubule se razlikuje u apikalnoj, srednjoj i koronarnoj trećini korenskog kanala.
- Vrednosti elastičnog i viskoznog modula, kao i kompleksnog viskoziteta se razlikuju između silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ*.
- Vrednosti elastičnog i viskoznog modula, kao i kompleksnog viskoziteta silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* se razlikuju na temperaturama 25°C, 35°C, 40°C i 65°C.



## 4. MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA

Eksperimentalni deo istraživanja je podeljen u dva dela; u prvom delu je na osnovu mikrofotografija dobijenih skening elektronskim mikroskopom (SEM) vršena kvantitativna mikromorfološka analiza dubine prodora silera u dentinske tubule, dok su u drugom delu ispitana reološka svojstva endodontskih silera na dinamičkom oscilatornom reometru.

### 4.1. Izbor i priprema uzorka

U istraživanju su upotrebljeni humani mandibularni molari ekstrahovani na odeljenju Oralne hirurgije Klinike za stomatologiju Vojvodine u Novom Sadu i na odeljenju Oralne hirurgije Doma zdravlja „Novi Sad“.

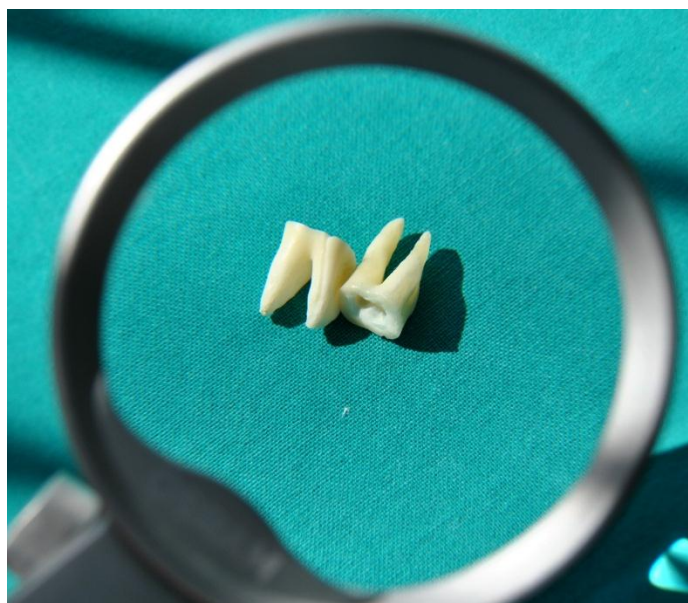
Upotreba humanih zuba u eksperimentalne svrhe odobrena je odlukom Etičke komisije Klinike za stomatologiju Vojvodine i Etičkog odbora Medicinskog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu.

Kriterijumi za uključivanje zuba u studiju: donji, stalni, prvi molari ekstrahovani iz ortodontskih, parodontoloških ili protetskih razloga; zubi sa potpuno formiranim apeksom; tip III anatomske konfiguracije prema *Vertucci* klasifikaciji (dva odvojena korenska kanala i dva nezavisna apikalna foramena) [166]; zubi sa krivinom korena između  $10^{\circ}$  i  $30^{\circ}$  mereno prema *Schneider*-u [167]. Kriterijumi za isključivanje zuba iz studije: donji, stalni, prvi molari ekstrahovani usled akutnog / hroničnog periodontitisa; endodontski lečeni zubi; zubi sa prisutnim korenskim pukotinama, perforacijama, frakturama, resorpcijama, otvorenim apeksom; tip I, II i IV anatomske konfiguracije prema *Vertucci* klasifikaciji; zubi sa izraženom krivinom korena – više od  $30^{\circ}$  mereno prema *Schneider*-u.

Nakon ekstrakcije, zubi su očišćeni od mekih tkiva, kamenca i konkremenata ručnim kiretama i ultrazvučnim nastavcima i čuvani u demineralizovanoj vodi na temperaturi  $4^{\circ}\text{C}$  do početka eksperimenta, ne duže od mesec dana.

## 4.2. Instrumentacija / preparacija kanala

Neposredno pre instrumentacije uzorci su dijamantskim diskom (*Edenta AG, AU/SG, Switzerland*) uz vodeno hlađenje presečeni u nivou gledno-cementne granice kako bi se pristupilo meziobukalnim i meziolingvalnim kanalima; odstranjeni su i distalni korenovi. Na svakom uzorku je dijamantskim fisurnim svrdlom duž bukalne površine mezijalnog korena urezan uzdužni žleb kako bi se kanali razlikovali shodno ispitivanoj grupi (Slika 1.).



**Slika 1.** Priprema uzoraka za eksperimentalno istraživanje; zubi su presečeni u nivou gledno-cementne granice; uočava se uzdužni žleb duž bukalne površine mezijalnih korenova.

Instrumentima *C+Files*, veličine #06, #08, #10 i #15 (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland*) je uspostavljena inicijalna prohodnost i eksploracija kanala. Radna dužina je određena unošenjem instrumenta *C+File* #10 dok vrh instrumenta nije uočen na apikalnom foramenu i skraćivanjem tako dobijene dužine za 0,5 mm. Kanali su preparisani krunično-apeksnom, “*crown-down*”, tehnikom i mašinski pokretanim, nikel-titanijumskim *ProTaper* endodontskim instrumentima pune rotacije, prateći sekvence S1, S2, F1 i F2



(*ProTaper Universal; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland*). Endodontskim motorom i redukcionim mikrokolenjakom (16:1) *X-Smart (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)* pri brzini od 300 obrtaja u minuti i kontrolom obrtnog momenta prema preporuci proizvođača su preparisani kanali. Između svakog instrumenta kanali su isprani sa 2 ml 1% rastvora natrijum-hipohlorita (NaOCl) plastičnim špricem i endodontskom iglom za irigaciju (*Side-vented needle, KerrHawe Irrigation Probe; KerrHawe SA, Bioggio, Switzerland*), kao i aktivatorom irigacije (*EndoActivator, Tips small #15/.02; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland*). Za lubrikaciju instrumenata tokom preparacije kanala upotrebljen je *Glyde (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)*. Nakon preparacije, kanali su isprani sa 10 ml rastvora 17% EDTA (*I-dental, Siauliai, Lithuania*) u trajanju od 60 sekundi, kako bi se uklonila neorganska komponenta razmaznog sloja, a zatim i sa 10 ml rastvora 1% natrijum-hipohlorita kako bi se uklonili ostaci organske komponente [33]. Kanali su isprani fiziološkim rastvorom u količini 10 ml po kanalu i blago posušeni papirnim poenima (*F2 Paper Points, ProTaper Universal; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland*) (Slika 2.).



**Slika 2.** Oprema za instrumentaciju i opturaciju kanala korena.

### 4.3. Veličina i podela uzorka

U cilju standardizacije određeno je da uzorak treba da sadrži ukupno 66 zuba sa dva “skoro identična” odnosno “maksimalno slična” kanala (ukoliko mezijalne kanale prvog mandibularnog molara smatramo takvim). Ukupan obim uzorka od 66 zuba odgovara broju kombinacija reda 2 broja 12,  $C(12,2) = 12 \cdot 11/2$ , odnosno ukupnom broju načina da se odaberu dve različite grupe od 12 grupa.

Uzorak je nasumično podeljen u tri grupe u zavisnosti od ispitivanog silera i dodatno u četiri podgrupe shodno primenjenoj tehnici opturacije. Ukupan uzorak je činilo 12 grupa po 11 kanala (Slika 3.).



Slika 3. Šematski prikaz ispitivanih grupa.

#### 4.4. Izbor endodontskih silera

U istraživanju su ispitana tri različita komercijalno dostupna endodontska silera:

1. *AH Plus (Jet system; Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany)*, dvokomponentni pasta / pasta siler na bazi epoksi-amin smole. Sistem je konstruisan da dvojnim špricem i specijalnim nastavkom (*mixing tip*) automatski meša obe komponente silera u idealnom odnosu (1:1). Siler je unošćen u kanale instrumentom *K-file #20*, plasiranim 1 mm kraće od radne dužine, pokretima obrnutim od smera kazaljke na satu.

2. *EndoREZ (Ultradent Products Inc., South Jordan, Utah, USA)*, dvokomponentni pasta / pasta siler na bazi metakrilatne smole. Sistem je konstruisan da dvojnim špricem i specijalnim nastavkom (*Ultra-mixer mixing tip*) automatski meša obe komponente silera u idealnom odnosu (1:1) i aplikuje u špric (*Skini syringe*) sa nastavkom (*Navi Tip*) konstruisanim za direktnu aplikaciju materijala u korenski kanal, 2-3 mm kraće od radne dužine. Siler je aplikovan do nivoa ulaza u kanale.

3. *Sealapex (Kerr, Salerno, Italia)*, dvokomponentni pasta / pasta siler na bazi kalcijum-hidroksida. Siler je zamešan ručno, po uputstvu proizvođača. Istiskivanje jednake količine obe komponente materijala je kontrolisano vagom za precizna merenja (tačnost 0,01 gram). Siler je unošćen u kanale instrumentom *K-file #20*, plasiranim 1 mm kraće od radne dužine, pokretima obrnutim od smera kazaljke na satu.

#### 4.5. Opturacija kanala

Uzorci su dvadeset četiri časa pre opturacije držani u termostatu u uslovima 100% vlažnosti na 35°C kako bi dostigli temperaturu usne duplje. Tokom opturacije uzorci su postavljeni između dve gaze natopljene fiziološkim rastvorom kako bi se održala vlažnost zuba.

Primenjene tehnike opturacije:

1. Hladna lateralna kompakcija gutaperke: master gutaperka poen (*ISO 25 Guttapercha Points; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland*) aplikovan u prethodno zamešan odgovarajući siler, osim za opturaciju pastom *EndoREZ* gde je master gutaperka poen plasiran direktno u kanal, je unešen u kanal do radne dužine. Preostali prostor u kanalu je popunjen lateralnom kompakcijom (*#25, #20 Finger spreader; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland*) akcesornih gutaperka poena (*ISO 15-40 Guttapercha Points; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland*). Višak gutaperke je uklonjen zagrejanim instrumentom.

2. Monokona tehnika opturacije (*Single - cone; Cone - fit*): gutaperka poen (*F2 ProTaper Universal Gutta-Percha Points; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland*) aplikovan u prethodno zamešan odgovarajući siler, osim za opturaciju pastom *EndoREZ* gde je master gutaperka poen plasiran direktno u kanal, je unešen u kanal do radne dužine. Višak gutaperke je uklonjen zagrejanim instrumentom.

3. Tehnika opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke: obturator (*F2 ProTaper Universal Thermafil Obturator; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland*) je nakon zagrevanja u *ThermaPrep 2 Oven (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)* u trajanju  $20 \pm 5$  sekundi, plasiran u kanal u koji je prethodno aplikovan odgovarajući siler, konstantnim apikalnim pritiskom do radne dužine. Koronarni deo obturatora je ručno stabilizovan i uklonjen svrdlom (*#12 Thermacut bur; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland*).

4. Topla vertikalna kompakcija: gutaperka poen (*F2 ProTaper Universal Gutta-Percha Points; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland*) aplikovan u prethodno zamešan odgovarajući siler, osim za opturaciju pastom *EndoREZ* gde je gutaperka poen plasiran direktno u kanal, je unešen u kanal 0,5 mm kraće od radne dužine. *DiaPen (Pen tip- size fine; DiaDent, Korea)* je plasiran u kanal 4 mm kraće od radne dužine i zagrejan na 200°C (*Medium temperature setting*) 1-2 sekunde, radi odsecanja gutaperka poena i kompakcije apikalnog dela kanalnog punjenja (*down-packing*). *DiaGun* sistemom (*DiaDent, Korea*) je gutaperka rastopljena na 200°C i aplikovana u kanal radi popunjavanja preostalog prostora

(*back-filling*), sa naizmeničnom kompakcijom ručnim kompakterom (*Heat Carrier plugger No 1/2; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland*).

Nakon opturacije na ulaze u kanale je postavljen tečni kompozit (*Filtek™ Supreme Ultra Flow, 3M/ESPE, St. Paul, MN, USA*) i svetlosno polimerizovan 20 sekundi (*Radii Plus, SDI, Bayswater, Victoria, Australia*). Uzorci su čuvani 14 dana u uslovima 100% vlažnosti na 37°C.

#### 4.6. Priprema uzorka za SEM

Uzorci su dijamantskim diskom uz vodeno hlađenje (*Edenta AG, AU/SG, Switzerland*) presečeni na rastojanju 3, 5 i 8 mm od anatomskog foramena, pod pravim uglom u odnosu na uzdužnu osovinu korena, kako bi se dobili preseki koji odgovaraju apikalnoj, srednjoj i koronarnoj trećini kanala. Koronarne površine preseka su odabrane za analizu mikroskopom i demineralizovane sa 17% rastvora EDTA (*I-dental, Siauliai, Lithuania*) 10 minuta. Uzorci su zatim aplikovani u 4% rastvor NaOCl-a, 10 minuta, kako bi se uklonili ostaci organske komponente, isprani destilovanom vodom i blago posušeni (Slika 4.). Pripremljeni uzorci su postavljeni na aluminijumske nosače i napareni zlatom (*SCD050 Sputter Coater; BAL-TEC, PA, USA*) u uslovima niskog vakuma (*Low vacuum SEM*).

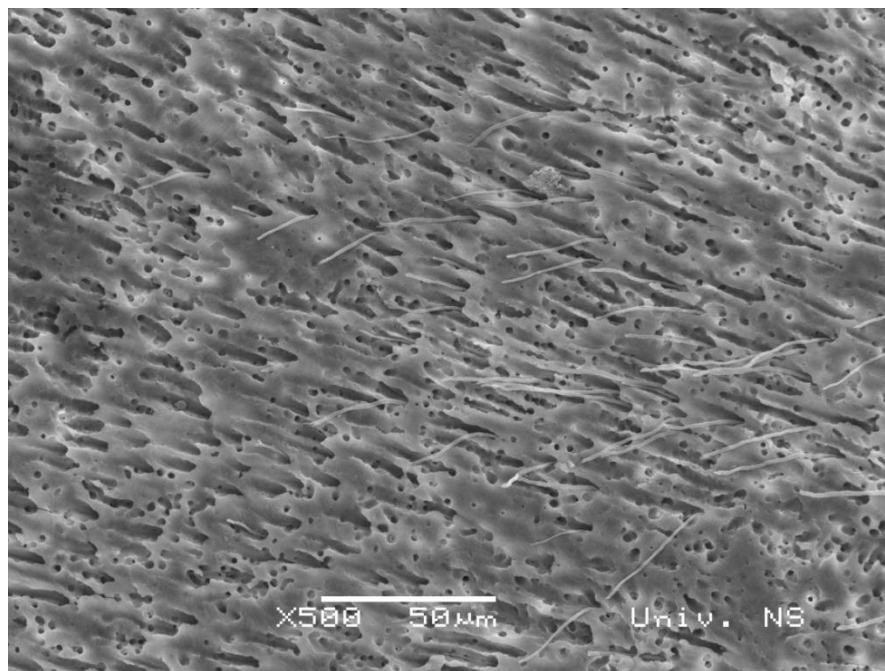


**Slika 4.** Pripremljeni uzorci za SEM.

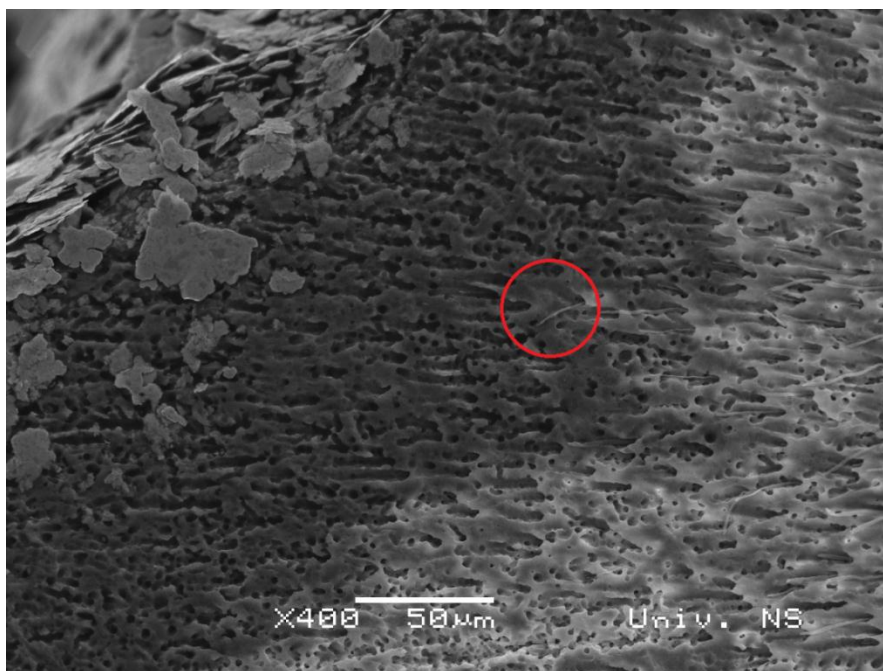
#### 4.7. SEM analiza prodora silera u dentinske tubule

Ispitivanje je sprovedeno u Centru za elektronsku mikroskopiju Univerziteta u Novom Sadu na skening elektronskom mikroskopu (*JEOL-JSM-6460LV, Tokyo, Japan*).

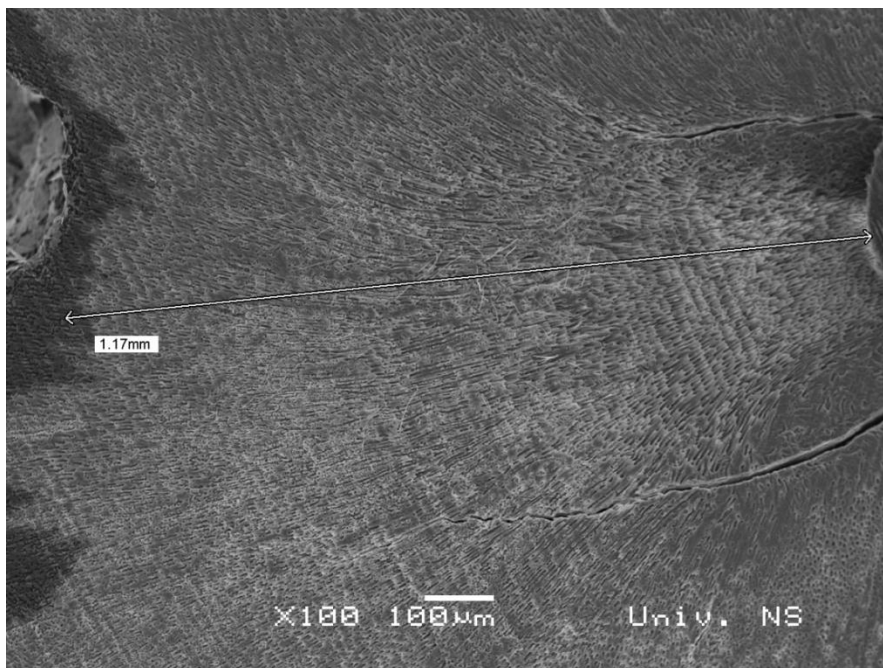
Na dobijenim mikrofotografijama (Mf.), na različitim uveličanjima je posmatrana dubina prodora silera u dentinske tubule. Prvobitno je na manjem uveličanju na osnovu najfrekventnijeg tubularnog prodora silera odabran segment korenskog preseka za analizu (Mf.1.), zatim pronađeno mesto najdubljeg tubularnog prodora (Mf.2.) i izmereno u mikrometrima (Mf.3.). Dubina maksimalnog tubularnog prodora je izražena i procentualno u odnosu na ukupno rastojanje dentinski zid kanala - spoljašnja površina korena.



**Mf.1.** SEM mikrofotografija prodora silera u dentinske tubule (*Sealapex / Thermoafil*; apikalna trećina kanala). Odabran segment korenskog preseka za analizu, x500.



**Mf.2.** SEM mikrofotografija prodora silera u dentinske tubule (*Sealapex / Therafil*; apikalna trećina kanala). Najudaljenije uočen produžetak silera, x400.



**Mf.3.** SEM mikrofotografija prodora silera u dentinske tubule (*Sealapex / Therafil*; apikalna trećina kanala). Izmerena maksimalna dubina prodora silera u dentinske tubule (dentinski zid kanala - najudaljenije uočen produžetak silera), x100.

#### 4.8. Određivanje temperature *Thermafil* i *DiaPen&DiaGun* sistema

Deset distalnih korenova prvih mandibularnih molara je preparisano na način opisan u poglavlju 4.2. Na spoljašnjoj površini korena, 4 mm od anatomskog apeksa, je okruglim svrdlom promera 1.5 mm ispreparisan otvor do kanala, shodno dimenzijama temperature sonde. Pripremljeni zubi su 24 sata držani u termostatu u uslovima 100% vlažnosti na 35°C kako bi dostigli temperaturu usne duplje.

Kanali su opturisani *Thermafil* obturatorom (*F2 ProTaper Universal Thermafil Obturator*) bez upotrebe silera. Kroz ispreparisan otvor na korenu je aplikovana fleksibilna temperaturna sonda *K*-tipa priključena na digitalni termometar (*Pro'sKit MT-5211 Digital LCR Multimeter, USA*), kako bi bila u kontaktu sa zagrejanom gutaperkom tokom opturacije; beležena je maksimalna dostignuta temperatura. Merenja su ponovljena pet puta; temperaturna sonda je nakon svakog merenja očišćena hloroformom. Srednja vrednost i standardna devijacija maksimalne dostignute temperature *Thermafil* obturadora unutar kanala prenešene na sondu termopara je iznosila  $39,88^{\circ}\text{C} \pm 0,37$ .

Sličnim postupkom je određena maksimalna dostignuta temperatura gutaperke tokom opturacije *DiaPen* sistemom. Master gutaperka poen je postavljen u kanal, bez upotrebe silera; *DiaPen* (*Pen tip- size fine*) je, zagrejan na 200°C, aktiviran 1-2 sekunde u kanalu (u skladu sa preporukom proizvođača); srednja vrednost i standardna devijacija maksimalne dostignute temperature gutaperke unutar kanala prenešene na sondu termopara je iznosila  $64,9^{\circ}\text{C} \pm 0,77$ .

#### 4.9. Reološki testovi

Reološka svojstva tri endodontska silera (*AH Plus*, *EndoREZ* i *Sealapex*) su ispitana na reometru *HAAKE Mars* (*Thermo Fisher Scientific, Karlsruhe, Germany*) (Slika 5.) na temperaturama 25°C (sobna temperatura), 35°C (temperatura usne duplje), 40°C (temperatura *Thermafil*-a) i 65°C (temperatura *DiaPen*-a).



Upotrebljena merna geometrija je ploča / ploča, prečnika 20mm. Sveže zamešani endodontski sileri (opisano u poglavlju 4.4.) su postavljeni na donju ploču reometra (*Peltier plate*), zagrejanu na zadatoj temperaturi, dok je gornja ploča spuštена do postizanja razmaka od 1mm. Uzorci su zaštićeni od uticaja svetlosti i vlažnosti teflonskim poklopcem (*Solvent trap*), a celokupan postupak je vršen u zamračenoj prostoriji. Merenja su započeta dva minuta nakon mirovanja uzorka kako bi došlo do relaksacije napona u materijalu nastalog usled deformacije nanete komprimovanjem. *Amplitude sweep* testom je, na frekvenciji 1 Hz, u intervalu od 0,01 Pa do 50 Pa, određen linearni viskoelastični region, interval napona smicanja koji, pri konstantnoj frekvenciji, daje konstantne vrednosti elastičnog ( $G'$ ) i viskoznog ( $G''$ ) modula. Dobijene vrednosti (Tabela 4.1.) su upotrebljene za izvođenje *frequency sweep* testa u rasponu frekvencija od 0,1 Hz do 10 Hz. *Frequency sweep* test je ponovljen tri puta uzastopno na svakom uzorku; tri različita uzorka su testirana za svaki siler na zadatoj temperaturi.

**Tabela 4.1.** Vrednosti napona smicanja upotrebljene za *frequency sweep* test.

	25°C	35°C	40°C	65°C
<i>AH Plus</i>	1 Pa	1 Pa	1 Pa	1 Pa
<i>Sealapex</i>	0,4 Pa	0,4 Pa	1 Pa	2 Pa
<i>EndoREZ</i>	1 Pa	5 Pa	5 Pa	30 Pa



**Slika 5.** HAAKE Mars reometar i merna geometrija ploča/ploča.

#### 4.10. Statistička analiza

Statistička obrada podataka je obuhvatila pojedine metode deskriptivne i komparativne statistike. Iako su ispitivana obeležja po svojoj prirodi neprekidna, pojedini uzorci nisu ispunjavali potrebne preduslove za primenu parametarskih komparativnih testova (saglasnost sa normalnom raspodelom i homogenost varijansi) te su primenjeni i neparametarski komparativni testovi.

Primenjene statističke metode:

- Deskriptivna statistika (obim uzorka, aritmetička sredina, standardna devijacija, medijana, minimum, maksimum, 95% interval poverenja za srednju vrednost).
- *Studentov t*-test za dva nezavisna uzorka za ispitivanje postojanja razlike između srednjih vrednosti dva neprekidna obeležja.
- *Man-Whitney U*-test kao neparametarski analogon *t*-testa.
- Jednofaktorska analiza varijanse (*ANOVA*) za ispitivanje postojanja razlike između srednjih vrednosti više od dva neprekidna obeležja.
- *Kruscal-Wallis ANOVA* kao neparametarski analogon analize varijanse.
- *Tukey HSD* test za grupe različitih obima kao *post-hoc* test kod *ANOVA*-e.
- Test višestrukog poređenja srednjih rangova za sve grupe kao neparametarski *post-hoc* test kod *Kruscal-Wallis ANOVA*-e.
- *Pirson*-ov koeficijent korelacije za utvrđivanje postojanja zavisnosti između dve neprekidne varijable, uz test za određivanje statističke značajnosti izračunatog koeficijenta.
- Jednačina linearne regresije za modeliranje zavisnosti dve neprekidne varijable.
- Dijagram rasipanja sa regresionom pravom i njenim 95% intervalom poverenja za grafički prikaz korelacije i regresije.
- Upporedni grafikon srednjih vrednosti i njihovih 95% intervala poverenja za grafički prikaz rezultata *ANOVA*-e.

Rezultati su tumačeni kao statistički značajni ukoliko je odgovarajuća  $p$ -vrednost  $< 0.05$ , a kao statistički veoma značajni ukoliko je odgovarajuća  $p$ -vrednost  $< 0.01$ . Statistička analiza je izvršena uz pomoć statističkog softverskog paketa *Statistica 10.0*. i *OriginPro 8.5*.



## 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 5.1. Dubina prodora silera u dentinske tubule za sve ispitivane grupe

Grupe su predstavljene numerički, prvi broj označava siler, drugi broj tehniku opturacije (Slika 3.) i to: grupa 11 predstavlja kombinaciju *AH Plus*/Lateralna kompakcija, 12 - *AH Plus*/Monokona tehnika, 13 - *AH Plus/Thermafil*, 14 - *AH Plus/DiaPen&DiaGun*; 21 - *Sealapex*/Lateralna kompakcija, 22 - *Sealapex*/Monokona tehnika, 23 - *Sealapex/Thermafil*, 24 - *Sealapex/DiaPen&DiaGun*; 31 - *EndoREZ*/Lateralna kompakcija, 32 - *EndoREZ*/Monokona tehnika, 33 - *EndoREZ/Thermafil*, 34 - *EndoREZ/DiaPen&DiaGun*. Trećine korena su označene slovima: “a”, “b” i “c” i predstavljaju koronarnu, srednju i apikalnu trećinu, respektivno.

**Tabela 5.1.1.** Validnost uzorka u odnosu na ispitivane grupe;  
a-koronarna trećina kanala; b – srednja trećina kanala; c – apikalna trećina kanala.

grupe	a N (%)	b N (%)	c N (%)	ukupno (%)
11	11 (100)	11 (100)	10 (90.9)	96.96667
12	11 (100)	10 (90.9)	9 (81.8)	90.9
13	11 (100)	11 (100)	10 (90.9)	96.96667
14	11 (100)	11 (100)	10 (90.9)	96.96667
21	11 (100)	11 (100)	9 (81.8)	93.6
22	11 (100)	11 (100)	8 (72.7)	90.9
23	11 (100)	10 (90.9)	8 (72.7)	87.86667
24	11 (100)	9 (81.8)	7 (63.6)	81.8
31	11 (100)	11 (100)	11 (100)	100
32	11 (100)	11 (100)	11 (100)	100
33	11 (100)	10 (90.9)	8 (72.7)	87.86667
34	8 (72.7)	6 (54.5)	3 (27.3)	51.5
ukupno %	97.725	92.41667	78.69167	89.61111

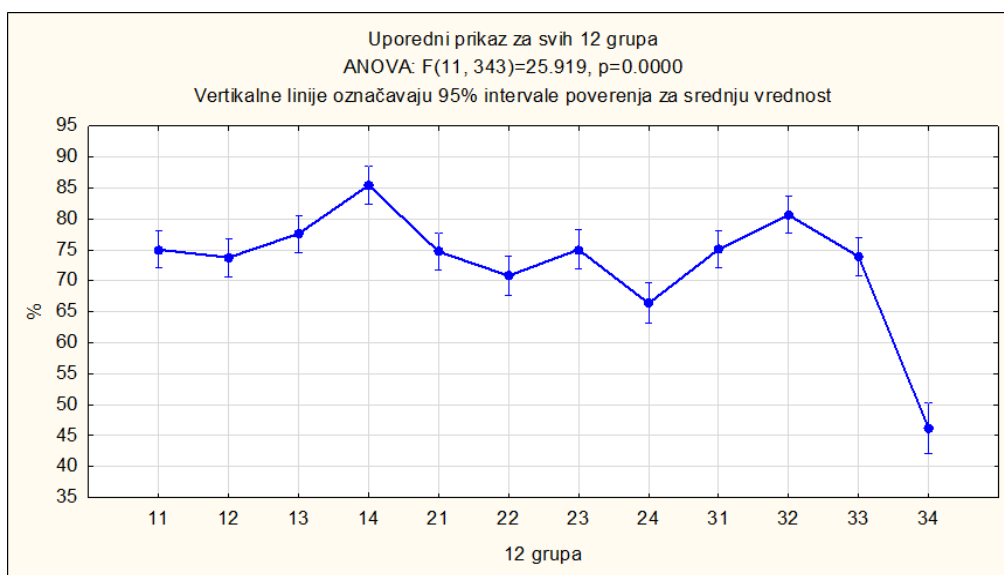
Tabela 5.1.1. prikazuje apsolutne i relativne mere validnog uzorka u odnosu na sve ispitivane grupe. Od ukupno 132 kanala, odnosno 396 pregledanih preseka korena, na 41 preseku nije uočen prodor silera u dentinske tubule što čini 10.35% ukupnog uzorka. Preostalih 89,65% uzorka je statistički obrađeno. Sa tabele se uočava da je prodor silera u dentinske tubule u koronarnoj trećini uočen u gotovo svim grupama i iznosi 100%, osim u grupi 34, *EndoREZ/DiaPen&DiaGun*, gde iznosi 72,7%. U srednjoj trećini prodor je na celokupnom uzorku uočen u 92,42% slučajeva. U apikalnoj trećini prodor je u najmanjem procentu uočen i iznosi ukupno 78,7%, a naročito je nizak u grupi 34, *EndoREZ/DiaPen&DiaGun*, gde iznosi 27,3%.

Osnovni pokazatelji deskriptivne statistike za dubinu prodora silera u dentinske tubule svih 12 ispitivanih grupa prikazani su u Tabeli 5.1.2. Pokazatelji: standardna devijacija, donja / gornja granica 95% intervala poverenja, minimum, maksimum i medijana odnose se na aritmetičku sredinu maksimalne dubine prodora silera u dentinske tubule za svaku grupu (koronarna, srednja i apikalna trećina zajedno), prikazanu procentualno.

**Tabela 5.1.2.** Osnovni pokazatelji deskriptivne statistike za dubinu prodora silera *AH Plus, Sealapex i EndoREZ* u dentinske tubule za sve ispitivane grupe.

grupa	N	aritmetička sredina (µm)	aritmetička sredina (%)	standardna devijacija	donja granica 95% intervala poverenja	gornja granica 95% intervala poverenja	minimum	maksimum	medijana
11	32	1098	75.02	8.78	71.86	78.19	59.30	89.20	75.65
12	30	1183	73.76	9.61	70.17	77.34	55.30	93.70	75.95
13	32	1229	77.59	7.77	74.79	80.40	60.70	90.80	78.15
14	32	1165	85.43	4.55	83.79	87.07	76.50	92.00	85.70
21	31	1113	74.70	8.22	71.68	77.71	59.30	93.10	75.10
22	30	997	70.81	8.10	67.79	73.83	53.40	85.40	70.80
23	29	985	75.03	10.42	71.07	79.00	50.70	90.10	79.10
24	27	778	66.35	9.55	62.57	70.13	52.20	81.60	65.70
31	33	1010	75.07	9.85	71.58	78.56	58.30	93.20	78.80
32	33	1154	80.63	7.78	77.87	83.39	65.00	92.30	81.10
33	29	883	73.89	8.16	70.79	77.00	55.80	84.50	75.30
34	17	502	46.21	10.15	40.99	51.42	21.30	62.70	48.10
total	355	1008	74.10	11.48	72.90	75.29	21.30	93.70	76.90

Parametarski ANOVA (Grafikon 5.1.) i neparametarski *Kruskal-Wallis ANOVA* test (Tabela 5.1.3.) pokazuju da između posmatranih 12 grupa postoji statistički veoma značajna razlika u srednjim vrednostima varijable – maksimalna dubina tubularnog prodora silera, prikazanih procentualno ( $p \approx 0.00$ ).



**Grafikon 5.1.** Rezultati analize varijanse (ANOVA) za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule za sve ispitivane grupe.

**Tabela 5.1.3.** Rezultati *Kruskal-Wallis ANOVA* testa,  $H(11, N=355)=119.8742$ ,  $p=0.000$ , za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule za sve ispitivane grupe.

grupa	validan N	suma rangova	srednji rang
11	32	5718.50	178.70
12	30	4973.50	165.78
13	32	6603.50	206.36
14	32	9431.50	294.73
21	31	5376.00	173.42
22	30	4035.50	134.52
23	29	5471.00	188.66
24	27	2735.50	101.31
31	33	6030.00	182.73
32	33	7774.00	235.58
33	29	4819.00	166.17
34	17	222.00	13.06

### 5.1.1. Dubina prodora silera u dentinske tubule u odnosu na tehniku opturacije

Kako sve grupe ne zadovoljavaju uslove za primenu parametarskih testova (saglasnost sa normalnom raspodelom i homogenost varijansi), rezultati su potvrđeni analognim neparametarskim testovima.

#### 5.1.1.1. Siler *AH Plus*

U Tabeli 5.1.4. su prikazane uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije, izražene u mikrometrima i procentualno, kao i standardna devijacija i medijana (odnose se na vrednost izraženu u procentima).

**Tabela 5.1.4.** Uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

grupa	μm	%	sd	med
11	1098	75.02	8.78	75.65
12	1183	73.76	9.61	75.95
13	1229	77.59	7.77	78.15
14	1165	85.43	4.55	85.7

**Tabela 5.1.5.** Rezultati parametarskog *ANOVA* testa za dubinu prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

varijabla	SS efekt	df	MS efekt	SS greška	df greška	MS efekt	F statistika	p vrednost
%	2594.903	3	864.9677	7580.112	122	62.13206	13.92144	0

Na osnovu rezultata parametarskog *ANOVA* testa:  $F(3,122)=13.9214$ ,  $p=0.0000$  (Tabela 5.1.5.) i neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa:  $H(3,N=126)=35.71971$ ,  $p=0.0000$  (Tabela 5.1.6.) zaključuje se da postoji statistički veoma značajna razlika između



srednjih vrednosti maksimalne dubine tubularnog prodora silera *AH Plus* u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

**Tabela 5.1.6.** Rezultati neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa za dubinu prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

grupa	validan N	suma rangova	srednji rang
11	32	1615.5	50.48438
12	30	1387	46.23333
13	32	1939	60.59375
14	32	3059.5	95.60938

U Tabeli 5.1.7. su prikazane *p* vrednosti parametarskih (*Tukey HSD* test za različite obime) i neparametarskih (test višestrukog poređenja srednjih rangova za sve grupe) *post-hoc* testova, kojima je ispitano između kojih parova grupa postoje statistički značajne razlike.

**Tabela 5.1.7.** Rezultati parametarskih i neparametarskih *post-hoc* testova (*p* vrednosti) za dubinu prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

grupe	11 i 12	11 i 13	11 i 14	12 i 13	12 i 14	13 i 14
parametarski test	0.925193	0.559623	<b>0.000008</b>	0.234296	<b>0.000008</b>	<b>0.000431</b>
neparametarski test	1	1	<b>0.000005</b>	0.730561	<b>0.000001</b>	<b>0.000752</b>

Rezultati parametarskih i neparametarskih testova su usaglašeni i pokazuju da grupa 14, *AH Plus/DiaPen&DiaGun*, ima statistički veoma značajno višu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na ostale tehnike opturacije silerom *AH Plus*, dok među ostalim parovima nema statistički značajne razlike.

### 5.1.1.2. Siler *Sealapex*

U Tabeli 5.1.8. su prikazane uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora silera *Sealapex* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije, izražene u mikrometrima i procentualno, kao i standardna devijacija i medijana (odnose se na vrednost izraženu u procentima).

**Tabela 5.1.8.** Uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora silera *Sealapex* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

grupa	µm	%	sd	med
21	1113	74.7	8.22	75.1
22	997	70.81	8.1	70.8
23	985	75.03	10.42	79.1
24	778	66.35	9.55	65.7

Na osnovu rezultata parametarskog *ANOVA* testa:  $F(3,113)=5.6236$ ,  $p=0.0012$  (Tabela 5.1.9.) i neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa:  $H(3,N=117)=015.97824$ ,  $p=0.0011$  (Tabela 5.1.10.) zaključuje se da postoji statistički veoma značajna razlika između srednjih vrednosti maksimalne dubine tubularnog prodora silera *Sealapex* u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

**Tabela 5.1.9.** Rezultati parametarskog *ANOVA* testa za dubinu prodora silera *Sealapex* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

varijabla	SS efekt	df	MS efekt	SS greška	df greška	MS efekt	F statistika	p vrednost
%	1395.057	3	465.0189	9343.97	113	82.69	5.623642	0.00125

**Tabela 5.1.10.** Rezultati neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa za dubinu prodora silera *Sealapex* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

grupa	validan N	suma rangova	srednji rang
21	31	2100	67.74194
22	30	1601.5	53.38333
23	29	2114	72.89655
24	27	1087.5	40.27778

U Tabeli 5.1.11. su prikazane *p* vrednosti parametarskih (*Tukey HSD* test za različite obime) i neparametarskih (test višestrukog poređenja srednjih rangova za sve grupe) *post-hoc* testova, kojima je ispitano između kojih parova grupa postoje statistički značajne razlike.

**Tabela 5.1.11.** Rezultati parametarskih i neparametarskih *post-hoc* testova (*p* vrednosti) za dubinu prodora silera *Sealapex* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

grupe	21 i 22	21 i 23	21 i 24	22 i 23	22 i 24	23 i 24
parametarski test	0.352248	0.999058	<b>0.005631</b>	0.293731	0.277485	<b>0.003658</b>
neparametarski test	0.590113	1	<b>0.012592</b>	0.162998	0.871489	<b>0.001939</b>

Rezultati parametarskih i neparametarskih testova su usaglašeni i pokazuju da grupa 24, *Sealapex/DiaPen&DiaGun*, ima statistički značajno nižu srednju maksimalnu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na grupe 21 i 23, *Sealapex/lateralna kompakcija* i *Sealapex/Thermafil*, dok među ostalim parovima nema statistički značajne razlike.

### 5.1.1.3. Siler *EndoREZ*

U Tabeli 5.1.12. su prikazane uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama

opturacije, izražene u mikrometrima i procentualno, kao i standardna devijacija i medijana (odnose se na vrednost izraženu u procentima).

**Tabela 5.1.12.** Uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

grupa	µm	%	sd	med
31	1010	75.07	9.85	78.8
32	1154	80.63	7.78	81.1
33	883	73.89	8.16	75.3
34	502	46.21	10.15	48.1

Na osnovu rezultata parametarskog *ANOVA* testa:  $F(3,108)=59.6944$ ,  $p=0.0000$  (Tabela 5.1.13.) i neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa:  $H(3,N=112)=48.33107$ ,  $p=0.0000$  (Tabela 5.1.14.) zaključuje se da postoji statistički veoma značajna razlika između srednjih vrednosti maksimalne dubine tubularnog prodora silera *EndoREZ* u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

**Tabela 5.1.13.** Rezultati parametarskog *ANOVA* testa za dubinu prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

varijabla	SS efekt	df	MS efekt	SS greška	df greška	MS efekt	F statistika	p vrednost
%	14181.75	3	4727.248	8552.603	108	79.19077	59.69444	0

**Tabela 5.1.14.** Rezultati neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa za dubinu prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

grupa	validan N	suma rangova	srednji rang
31	33	2014.5	61.04545
32	33	2514	76.18182
33	29	1637.5	56.46552
34	17	162	9.52941

U Tabeli 5.1.15. su prikazane  $p$  vrednosti parametarskih (*Tukey HSD* test za različite obime) i neparametarskih (test višestrukog poređenja srednjih rangova za sve grupe) *post-hoc* testova, kojima je ispitano između kojih parova grupa postoje statistički značajne razlike.

**Tabela 5.1.15.** Rezultati parametarskih i neparametarskih *post-hoc* testova ( $p$  vrednosti) za dubinu prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.

grupe	31 i 32	31 i 33	31 i 34	32 i 33	32 i 34	33 i 34
parametarski test	0.060008	0.958164	<b>0.000138</b>	<b>0.024392</b>	<b>0.000138</b>	<b>0.000138</b>
neparametarski test	0.349955	1	<b>0.000001</b>	0.102414	<b>0</b>	<b>0.000013</b>

Rezultati parametarskih i neparametarskih testova su saglasni da grupa 34, *EndoREZ/DiaPen&DiaGun*, ima statistički značajno nižu srednju maksimalnu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na ostale tehnike opturacije silerom *EndoREZ*. Parametarski testovi za razliku od neparametarskih pokazuju da grupa 32, *EndoREZ/Monokona tehnika*, ima statistički značajno višu srednju maksimalnu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na grupu 33, *EndoREZ/Thermafil*. Između ostalih parova nema statistički značajne razlike.

U slučaju kada rezultati parametarskih i neparametarskih testova nisu u potpunosti usaglašeni (po pitanju značajnosti između grupa 32 i 33) dodatno su ispitane grupe 32 i 33 *Mann-Whitney U* testom.

**Tabela 5.1.16.** Rezultati *Mann-Whitney U* testa za dubinu prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule između grupa 32 (*EndoREZ/Monokona tehnika*) i 33 (*EndoREZ/Thermafil*).

	U- statistika	Z - statistika	$p$ - vrednost	obim za 32	obim za 33
%	278.5	<b>2.814681</b>	<b>0.004883</b>	33	29

Rezultati *Mann-Whitney U* testa potvrđuju postojanje statistički značajne razlike između grupa 32 i 33, *EndoREZ/Monokona tehnika* i *EndoREZ/Thermafil*, što je prikazano u Tabeli 5.1.16.

### 5.1.2. Dubina prodora u dentinske tubule u odnosu na vrstu silera

Kako ne dozvoljavaju sve grupe uslove za primenu parametarskih testova (saglasnost sa normalnom raspodelom i homogenost varijansi), rezultati su potvrđeni analognim neparametarskim testovima.

#### 5.1.2.1. Hladna lateralna kompakcija

U Tabeli 5.1.17. su prikazane uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora tri endodontska silera u dentinske tubule tehnikom hladne lateralne kompakcije gutaperke izražene u mikrometrima i procentualno, kao i standardna devijacija i medijana (odnose se na vrednost izraženu u procentima).

**Tabela 5.1.17.** Uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora silera u dentinske tubule tehnikom hladne lateralne kompakcije gutaperke.

grupa	µm	%	sd	med
11	1098	75.02	8.78	75.65
21	1113	74.7	8.22	75.1
31	1010	75.07	9.85	78.8

Rezultati parametarskog *ANOVA* testa:  $F(2,93)=0.016$ ,  $p=0.984$  (Tabela 5.1.18.) i neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa:  $H(2,N=6)=0.1051016$ ,  $p=0.9488$  (Tabela 5.1.19.) su usaglašeni i pokazuju da ne postoji statistički značajna razlika između srednjih vrednosti maksimalne dubine tubularnog prodora silera *AH Plus* (grupa 11), *Sealapex* (grupa 21) i *EndoREZ* (grupa 31) tehnikom hladne lateralne kompakcije gutaperke.

**Tabela 5.1.18.** Rezultati parametarskog *ANOVA* testa za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikom hladne lateralne kompakcije gutaperke.

varijabla	SS efekt	df	MS efekt	SS greška	df greška	MS efekt	F statistika	p vrednost
%	2.599271	2	1.299636	7519.314	93	80.85284	0.016074	0.984057

**Tabela 5.1.19.** Rezultati neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikom hladne lateralne kompakcije gutaperke.

grupa	validan N	suma rangova	srednji rang
11	32	1564.5	48.89063
21	31	1463	47.19355
31	33	1628.5	49.34848

### 5.1.2.2. Monokona tehnika

U Tabeli 5.1.20. su prikazane uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora tri endodontska silera u dentinske tubule monokonom tehnikom opturacije izražene u mikrometrima i procentualno, kao i standardna devijacija i medijana (odnose se na vrednost izraženu u procentima).

**Tabela 5.1.20.** Uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora silera u dentinske tubule monokonom tehnikom opturacije.

grupa	µm	%	sd	med
12	1183	73.76	9.61	75.95
22	997	70.81	8.1	70.8
32	1154	80.63	7.78	81.1

Na osnovu rezultata parametarskog *ANOVA* testa:  $F(2,90)=11.137$ ,  $p=0.000048$  (Tabela 5.1.21.) i neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa:  $H(2,N=93)=17.45326$ ,

$p=0.0002$  (Tabela 5.1.22.) zaključuje se da postoji statistički veoma značajna razlika između srednjih vrednosti maksimalne dubine tubularnog prodora silera *AH Plus* (grupa 12), *Sealapex* (grupa 22) i *EndoREZ* (grupa 32) monokonom tehnikom opturacije.

**Tabela 5.1.21.** Rezultati parametarskog *ANOVA* testa za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule monokonom tehnikom opturacije.

varijabla	SS efekt	df	MS efekt	SS greška	df greška	MS efekt	F statistika	p vrednost
%	1612.503	2	806.2516	6515.206	90	72.39118	11.13743	0.000048

**Tabela 5.1.22.** Rezultati neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule monokonom tehnikom opturacije.

grupa	validan N	suma rangova	srednji rang
12	30	1300	43.33333
22	30	1026	34.2
32	33	2045	61.9697

U Tabeli 5.1.23. su prikazane  $p$  vrednosti parametarskih (*Tukey HSD* test za različite obime) i neparametarskih (test višestrukog poređenja srednjih rangova za sve grupe) *post-hoc* testova, kojima je ispitano između kojih parova grupa postoje statistički značajne razlike.

**Tabela 5.1.23.** Rezultati parametarskih i neparametarskih *post-hoc* testova ( $p$  vrednosti) za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule monokonom tehnikom opturacije.

grupe	12 i 22	12 i 32	22 i 32
parametarski test	0.376319	<b>0.006759</b>	<b>0.000167</b>
neparametarski test	0.570009	<b>0.018594</b>	<b>0.000136</b>



Rezultati parametarskih i neparametarskih testova su usaglašeni i pokazuju da grupa 32, *EndoREZ/Monokona tehnika*, ima statistički značajno višu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na grupe 12 i 22, *AH Plus/Monokona tehnika* i *Sealapex/Monokona tehnika*. Između grupa 12 i 22 nema statistički značajne razlike.

### 5.1.2.3. Tehnika opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*)

U Tabeli 5.1.24. su prikazane uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora tri endodontska silera u dentinske tubule tehnikom opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*) izražene u mikrometrima i procentualno, kao i standardna devijacija i medijana (odnose se na vrednost izraženu u procentima).

**Tabela 5.1.24.** Uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora silera u dentinske tubule tehnikom opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*).

grupa	µm	%	sd	med
13	1229	77.59	7.77	78.15
23	985	75.03	10.42	79.1
33	883	73.89	8.16	75.3

Rezultati parametarskog ANOVA testa:  $F(2,87)=1.4176$ ,  $p=0.2478$  (Tabela 5.1.25.) i neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa:  $H(2,N=90)=3.162650$ ,  $p=0.2057$  (Tabela 5.1.26.) su usaglašeni i pokazuju da ne postoji statistički značajna razlika između srednjih vrednosti maksimalne dubine prodora silera *AH Plus* (grupa 13), *Sealapex* (grupa 23) i *EndoREZ* (grupa 33) u dentinske tubule tehnikom opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke - *Thermafil* sistemom.

**Tabela 5.1.25.** Rezultati parametarskog ANOVA testa za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikom opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*).

varijabla	SS efekt	df	MS efekt	SS greška	df greška	MS efekt	F statistika	p vrednost
%	220.9181	2	110.4591	6778.703	87	77.91613	1.417666	0.247819

**Tabela 5.1.26.** Rezultati neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikom opturacije sa čvstnim nosačem gutaperke (*Thermafil*).

grupa	validan N	suma rangova	srednji rang
13	32	1624	50.75
23	29	1342.5	46.2931
33	29	1128.5	38.91379

#### 5.1.2.4. Topla vertikalna kompakcija (*DiaPen&DiaGun*)

U Tabeli 5.1.27. su prikazane uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora tri endodontska silera u dentinske tubule tehnikom tople vertikalne kompakcije (*DiaPen&DiaGun*) izražene u mikrometrima i procentualno, kao i standardna devijacija i medijana (odnose se na vrednost izraženu u procentima).

**Tabela 5.1.27.** Uporedne vrednosti srednje maksimalne dubine prodora silera u dentinske tubule tehnikom tople vertikalne kompakcije (*DiaPen&DiaGun*).

grupa	µm	%	sd	med
14	1165	85.43	4.55	85.7
24	778	66.35	9.55	65.7
34	502	46.21	10.15	48.1

Na osnovu rezultata parametarskog *ANOVA* testa:  $F(2,90)=11.137$ ,  $p=0.000048$  (Tabela 5.1.28.) i neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa:  $H(2,N=76)=60.17657$   $p=0.0000$  (Tabela 5.1.29.) zaključuje se da postoji statistički veoma značajna razlika između srednjih vrednosti maksimalne dubine tubularnog prodora silera *AH Plus* (grupa 14), *Sealapex* (grupa 24) i *EndoREZ* (grupa 34) tehnikom tople vertikalne kompakcije gutaperke - *DiaPen&DiaGun* sistemom.

**Tabela 5.1.28.** Rezultati parametarskog ANOVA testa za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikom tople vertikalne kompakcije (*DiaPen&DiaGun*).

varijabla	SS efekt	df	MS efekt	SS greška	df greška	MS efekt	F statistika	p vrednost
%	17600.5	2	8800.248	4663.462	73	63.88303	137.7556	0

**Tabela 5.1.29.** Rezultati neparametarskog *Kruskal-Wallis* ANOVA testa za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikom tople vertikalne kompakcije (*DiaPen&DiaGun*).

grupa	validan N	suma rangova	srednji rang
14	32	1911	59.71875
24	27	838.5	31.05556
34	17	176.5	10.38235

U Tabeli 5.1.30. su prikazane *p* vrednosti parametarskih (*Tukey HSD* test za različite obime) i neparametarskih (test višestrukog poređenja srednjih rangova za sve grupe) *post-hoc* testova, kojima je ispitano između kojih parova grupa postoje statistički značajne razlike.

**Tabela 5.1.30.** Rezultati parametarskih i neparametarskih *post-hoc* testova (*p* vrednosti) za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikom tople vertikalne kompakcije (*DiaPen&DiaGun*).

grupe	14 i 24	14 i 34	24 i 34
parametarski test	<b>0.00011</b>	<b>0.00011</b>	<b>0.00011</b>
neparametarski test	<b>0.000002</b>	<b>0</b>	<b>0.007493</b>

Rezultati parametarskih i neparametarskih testova su usaglašeni i pokazuju da se dubina prodora svih ispitivanih silera tehnikom tople vertikalne kompakcije (*DiaPen&DiaGun*) međusobno statistički značajno razlikuje. Najvišu dubinu prodora ima siler *AH Plus* (grupa 14), zatim siler *Sealapex* (grupa 24), dok najmanju dubinu prodora ima siler *EndoREZ* (grupa 34).

### 5.1.3. Dubina prodora silera u dentinske tubule u odnosu na primenu toplote tokom opturacije

Kako ne dozvoljavaju sve grupe uslove za primenu parametarskih testova (saglasnost sa normalnom raspodelom i homogenost varijansi), rezultati su potvrđeni analognim neparametarskim testovima.

#### 5.1.3.1. Siler *AH Plus*

U Tabelama 5.1.31. i 5.1.32. su prikazani rezultati parametarskog *Studentovog t*-testa i neparametarskog *Mann Whitney U* testa za dubinu prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule tehnikama koje primenjuju i ne primenjuju toplotu tokom opturacije.

**Tabela 5.1.31.** Rezultati parametarskog *Studentovog t*-testa za dubinu prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule tehnikama opturacije koje ne primenjuju (11 i 12) i primenjuju (13 i 14) toplotu.

%	11 i 12	13 i 14	t-vrednost	stepeni slobode	<i>p</i> -vrednost
aritmetička sredina	74.48033	81.33538	-4.59189	124	0.000011
standardna devijacija	9.192893	7.526732			
obim uzorka	61	65			

**Tabela 5.1.32.** Rezultati neparametarskog *Man-Whitney U*-testa za dubinu prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule tehnikama opturacije koje ne primenjuju (11 i 12) i primenjuju (13 i 14) toplotu.

	U-statistika	Z - statistika	<i>p</i> -vrednost	obim za 11 i 12	obim za 13 i 14
%	1084	-4.38393	0.000012	61	65

Rezultati su usaglašeni i pokazuju da tehnike opturacije silerom *AH Plus* koje koriste zagrejanu gutaperku, grupe 13 i 14 (zajednička srednja vrednost), *AH Plus/Thermafil* i *AH Plus/DiaPen&DiaGun*, imaju statistički veoma značajno višu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na tehnike opturacije koje koriste hladnu gutaperku, grupe 11 i 12 (zajednička srednja vrednost), *AH Plus/Lateralna kompakcija* i *AH Plus/Monokona tehnika*.

### 5.1.3.2. Siler *Sealapex*

U Tabelama 5.1.33. i 5.1.34. su prikazani rezultati parametarskog *Studentovog t*-testa i neparametarskog *Mann Whitney U* testa za dubinu prodora silera *Sealapex* u dentinske tubule tehnikama koje primenjuju i ne primenjuju toplotu tokom opturacije.

**5.1.33.** Rezultati parametarskog *Studentovog t*-testa za dubinu prodora silera *Sealapex* u dentinske tubule tehnikama opturacije koje ne primenjuju (21 i 22) i primenjuju (23 i 24) toplotu.

%	21 i 22	23 i 24	t-vrednost	stepeni slobode	p-vrednost
aritmetička sredina	72.78525	70.84643	1.08968	115	0.278131
standardna devijacija	8.325880	10.846080			
obim uzorka	61	56			

**Tabela 5.1.34.** Rezultati neparametarskog *Man-Whitney U*-testa za dubinu prodora silera *Sealapex* u dentinske tubule tehnikama opturacije koje ne primenjuju (21 i 22) i primenjuju (23 i 24) toplotu.

	U-statistika	Z - statistika	p-vrednost	obim za 21 i 22	obim za 23 i 24
%	1605.5	0.55658	0.577815	61	56

Rezultati su usaglašeni i pokazuju da između tehnika opturacije silerom *Sealapex* koje koriste hladnu gutaperku, grupe 21 i 22 (zajednička srednja vrednost),

*Sealapex/Lateralna kompakcija* i *Sealapex/Monokona tehnika* i tehnika opturacije koje koriste zagrejanu gutaperku, grupe 23 i 24 (zajednička srednja vrednost), *Sealapex/Thermafil* i *Sealapex/DiaPen&DiaGun*, ne postoji statistički značajna razlika u dubini prodora silera u dentinske tubule.

### 5.1.3.3. Siler *EndoREZ*

U Tabelama 5.1.35. i 5.1.36. su prikazani rezultati parametarskog *Studentovog t*-testa i neparametarskog *Mann Whitney U* testa za dubinu prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikama koje primenjuju i ne primenjuju toplotu tokom opturacije.

**Tabela 5.1.35.** Rezultati parametarskog *Studentovog t*-testa za dubinu prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikama opturacije koje ne primenjuju (31 i 32) i primenjuju (33 i 34) toplotu.

%	31 i 32	33 i 34	t-vrednost	stepeni slobode	p-vrednost
aritmetička sredina	77.84848	63.66087	5.89388	110	0.000000
standardna devijacija	9.240883	16.143378			
obim uzorka	66	46			

**Tabela 5.1.36.** Rezultati neparametarskog *Man-Whitney U* testa za dubinu prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikama opturacije koje ne primenjuju (31 i 32) i primenjuju (33 i 34) toplotu.

	U-statistika	Z - statistika	p-vrednost	obim za 31 i 32	obim za 33 i 34
%	718.5	4.72559	0.000002	66	46

Rezultati su usaglašeni i pokazuju da tehnike opturacije silerom *EndoREZ* koje koriste hladnu gutaperku, grupe 31 i 32 (zajednička srednja vrednost), *EndoREZ/Lateralna kompakcija* i *EndoREZ/Monokona tehnika*, imaju statistički veoma značajno višu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na tehnike koje koriste zagrejanu gutaperku,

grupe 33 i 34 (zajednička srednja vrednost), *EndoREZ/Thermafil* i *EndoREZ/DiaPen&DiaGun*.

#### 5.1.4. Dubina prodora silera u dentinske tubule u odnosu na primenu pritiska tokom opturacije

Kako ne dozvoljavaju sve grupe uslove za primenu parametarskih testova (saglasnost sa normalnom raspodelom i homogenost varijansi), rezultati su potvrđeni analognim neparametarskim testovima.

##### 5.1.4.1. Siler *AH Plus*

U Tabelama 5.1.37. i 5.1.38. su prikazani rezultati parametarskog *Studentovog t*-testa i neparametarskog *Mann Whitney U* testa za dubinu prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule tehnikama koje primenjuju i ne primenjuju pritisak tokom opturacije.

**Tabela 5.1.37.** Rezultati parametarskog *Studentovog t*-testa za dubinu prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule tehnikama opturacije koje primenjuju (11 i 14) i ne primenjuju (12 i 13) pritisak.

%	11 i 14	12 i 13	t-vrednost	stepeni slobode	p-vrednost
aritmetička sredina	80.22500	75.73710	2.87121	124	0.004810
standardna devijacija	8.696451	8.848585			
obim uzorka	64	62			

**Tabela 5.1.38.** Rezultati neparametarskog *Man-Whitney U*-testa za dubinu prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule tehnikama opturacije koje primenjuju (11 i 14) i ne primenjuju (12 i 13) pritisak.

	U-statistika	Z - statistika	p-vrednost	obim za 11 i 14	obim za 12 i 13
%	1373	2.979263	0.00289	64	62

Rezultati su usaglašeni i pokazuju da tehnike opturacije silerom *AH Plus* koje koriste pritisak tokom opturacije, grupe 11 i 14 (zajednička srednja vrednost), *AH Plus/Lateralna kompakcija* i *AH Plus/DiaPen&DiaGun*, imaju statistički veoma značajno višu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na tehnike koje ne koriste pritisak tokom opturacije, grupe 12 i 13 (zajednička srednja vrednost), *AH Plus/Monokona tehnika* i *AH Plus/Thermafil*.

#### 5.1.4.2. Siler *Sealapex*

U Tabelama 5.1.39. i 5.1.40. su prikazani rezultati parametarskog *Studentovog t*-testa i neparametarskog *Mann Whitney U* testa za dubinu prodora silera *Sealapex* u dentinske tubule tehnikama koje primenjuju i ne primenjuju pritisak tokom opturacije.

**Tabela 5.1.39.** Rezultati parametarskog *Studentovog t*-testa za dubinu prodora silera *Sealapex* u dentinske tubule tehnikama opturacije koje primenjuju (21 i 24) i ne primenjuju (22 i 23) pritisak.

%	21 i 24	22 i 23	t-vrednost	stepeni slobode	p-vrednost
aritmetička sredina	70.81034	72.88644	-1.16876	115	0.244918
standardna devijacija	9.737965	9.475712			
obim uzorka	58	59			

**Tabela 5.1.40.** Rezultati neparametarskog *Man-Whitney U*-testa za dubinu prodora silera *Sealapex* u dentinske tubule tehnikama opturacije koje primenjuju (21 i 24) i ne primenjuju (22 i 23) pritisak.

	U-statistika	Z - statistika	p-vrednost	obim za 21 i 24	obim za 22 i 23
%	1476.5	-1.27574	0.202048	58	59

Rezultati su usaglašeni i pokazuju da između tehnika opturacije silerom *Sealapex* koje koriste pritisak tokom opturacije, grupe 21 i 24 (zajednička srednja vrednost), *Sealapex/Lateralna kompakcija* i *Sealapex/DiaPen&DiaGun* i tehnika opturacije koje ne koriste, grupe 22 i 23 (zajednička srednja vrednost), *Sealapex/Monokona tehnika* i



*Sealapex/Thermafil*, ne postoji statistički značajna razlika u dubini prodora silera u dentinske tubule.

#### 5.1.4.3. Siler *EndoREZ*

U Tabelama 5.1.41. i 5.1.42. su prikazani rezultati parametarskog *Studentovog t*-testa i neparametarskog *Mann Whitney U* testa za dubinu prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikama koje primenjuju i ne primenjuju pritisak tokom opturacije.

**Tabela 5.1.41.** Rezultati parametarskog *Studentovog t*-testa za dubinu prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikama opturacije koje primenjuju (31 i 34) i ne primenjuju (32 i 33) pritisak.

%	31 i 34	32 i 33	t-vrednost	stepeni slobode	p-vrednost
aritmetička sredina	65.25600	77.47742	-4.94460	110	0.000003
standardna devijacija	16.962794	8.590033			
obim uzorka	50	62			

**Tabela 5.1.42.** Rezultati neparametarskog *Man-Whitney U*-testa za dubinu prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikama opturacije koje primenjuju (31 i 34) i ne primenjuju (32 i 33) pritisak.

	U-statistika	Z-statistika	p-vrednost	obim za 31 i 34	obim za 32 i 33
%	901.5	-3.79275	0.000149	50	62

Rezultati su usaglašeni i pokazuju da tehnike opturacije silerom *EndoREZ* koje ne koriste pritisak tokom opturacije, grupe 32 i 33 (zajednička srednja vrednost), *EndoREZ/Monokona tehnika* i *EndoREZ/Thermafil*, imaju statistički veoma značajno višu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na tehnike koje koriste pritisak tokom opturacije, grupe 31 i 34 (zajednička srednja vrednost), *EndoREZ/Lateralna kompakcija* i *EndoREZ/DiaPen&DiaGun*.

### 5.1.5. Dubina prodora silera u dentinske tubule u odnosu na koronarnu, srednju i apikalnu trećinu kanala korena

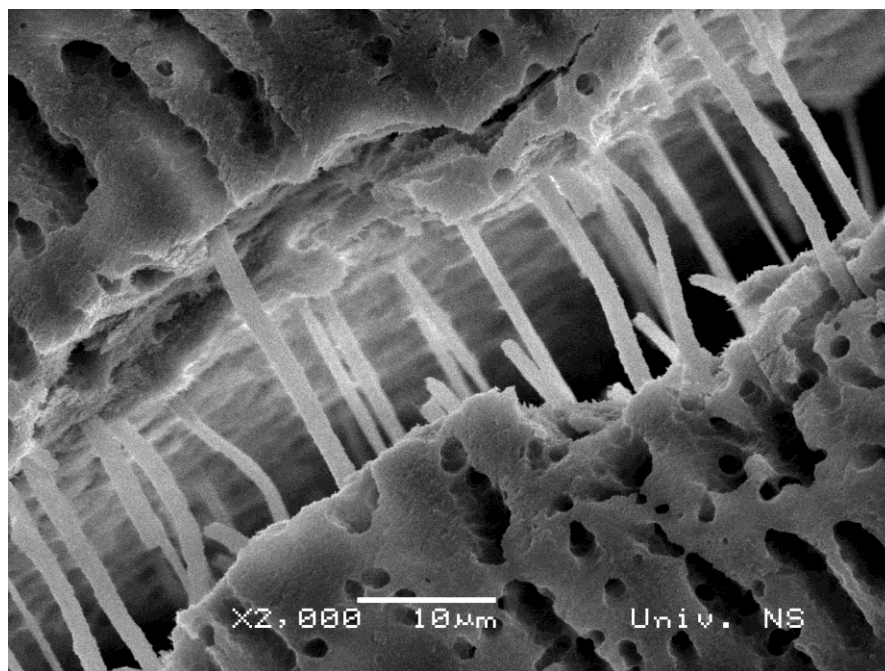
U Tabeli 5.1.43. su prikazani rezultati neparametarskog *Kruskal-Wallis ANOVA* testa za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule u odnosu na koronarnu, srednju i apikalnu trećinu kanala korena. Kod svih ispitivanih grupa se uočava postojanje statistički značajne razlike u maksimalnoj dubini tubularnog prodora silera (srednja vrednost, procentualno izražena) u koronarnoj trećini (a), srednjoj trećini (b) i apikalnoj trećini (c). Kod skoro svih grupa je dubina prodora silera u dentinske tubule viša u koronarnoj trećini (a) u odnosu na srednju trećinu (b), dok je u apikalnoj trećini (c) vrednost obeležja najniža za sve ispitivane grupe. U grupi 13, *AH Plus/Thermafil*, dubina prodora silera u srednjoj trećini (b) je viša od dubine prodora u koronarnoj trećini (a).

**Tabela 5.1.43.** Rezultati *Kruskal-Wallis ANOVA* testa za dubinu prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule u odnosu na koronarnu, srednju i apikalnu trećinu kanala.

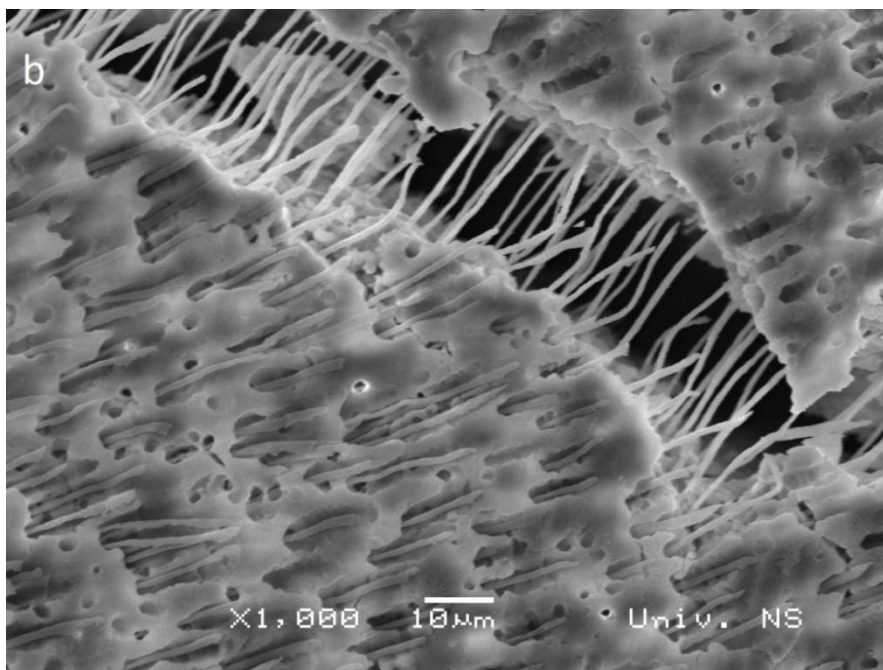
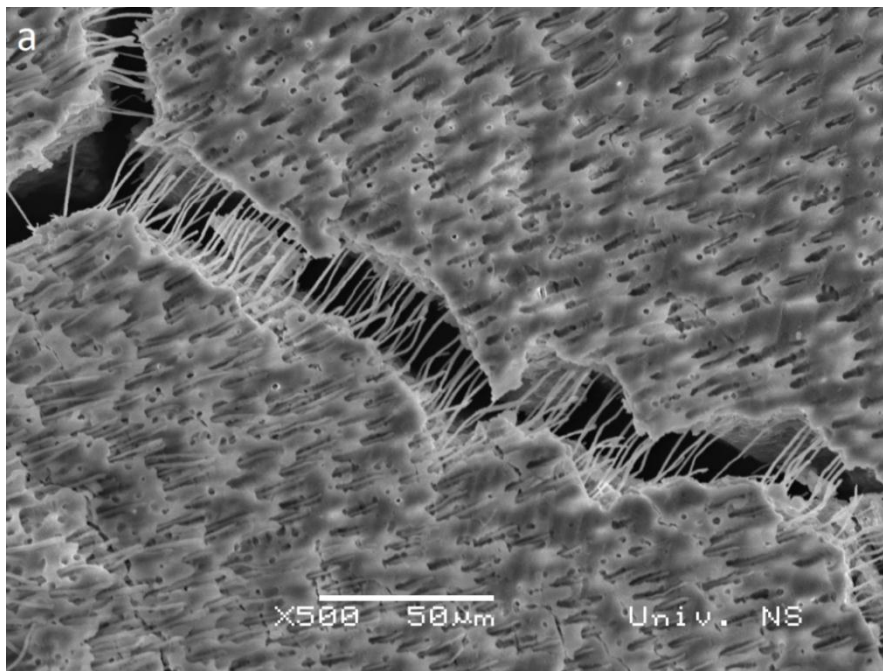
grupa	validan N	H-statistika	stepeni slobode	p-vrednost	post-hoc test
11	32	17.0501	2	0.0002	nivo a se statistički značajno razlikuje od nivoa b i c
12	30	15.786	2	0.0004	nivo a se statistički značajno razlikuje od nivoa b i c
13	32	15.8505	2	0.0004	nivo c se statistički značajno razlikuje od nivoa a i b
14	32	14.4999	2	0.0007	nivo a se statistički značajno razlikuje od nivoa c
21	31	22.5219	2	0.0000	nivo c se statistički značajno razlikuje od nivoa a i b
22	30	17.3372	2	0.0002	nivo a se statistički značajno razlikuje od nivoa b i c
23	29	13.7759	2	0.001	nivo a se statistički značajno razlikuje od nivoa c
24	27	19.5621	2	0.0001	nivo a se statistički značajno razlikuje od nivoa b i c
31	33	17.9072	2	0.0001	nivo c se statistički značajno razlikuje od nivoa a i b
32	33	23.8586	2	0.0000	nivo a se statistički značajno razlikuje od nivoa b i c
33	29	13.6763	2	0.001	nivo a se statistički značajno razlikuje od nivoa b i c
34	17	6.3137	2	0.04	nivo c se statistički značajno razlikuje od nivoa a

#### 5.1.6. SEM analiza dubine prodora ispitivanih endodontskih silera u dentinske tubule

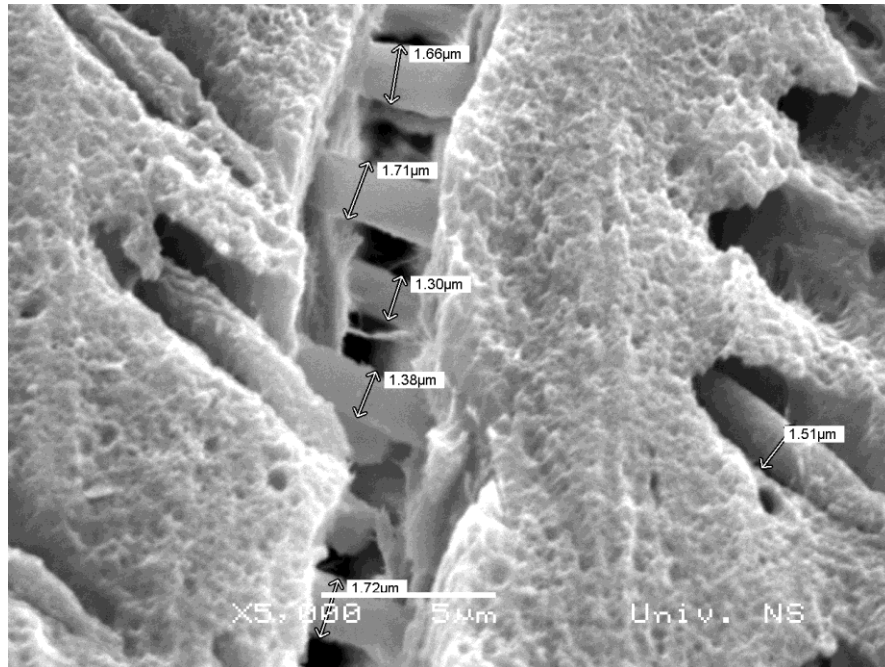
Na mikrofotografijama (Mf. 4 – 11) dobijenim skening elektronskim mikroskopom, prikazan je prodor silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije.



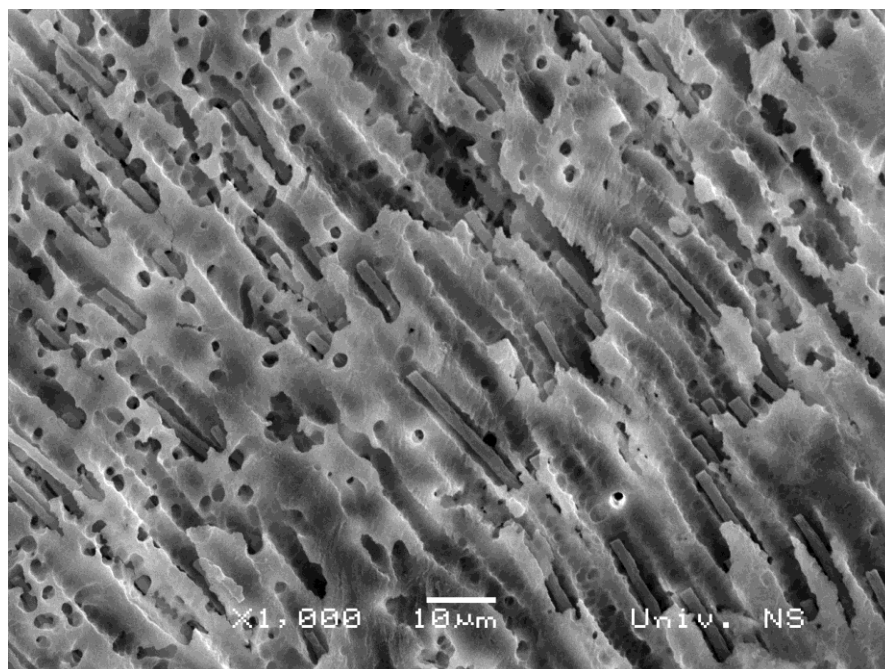
**Mf. 4.** SEM mikrofotografija prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule monokonom tehnikom opturacije; uočavaju se mikropukotina nastala tokom pripreme uzorka za SEM i produžeci silera unutar pukotine; koronarna trećina kanala; uvećanje x2000.



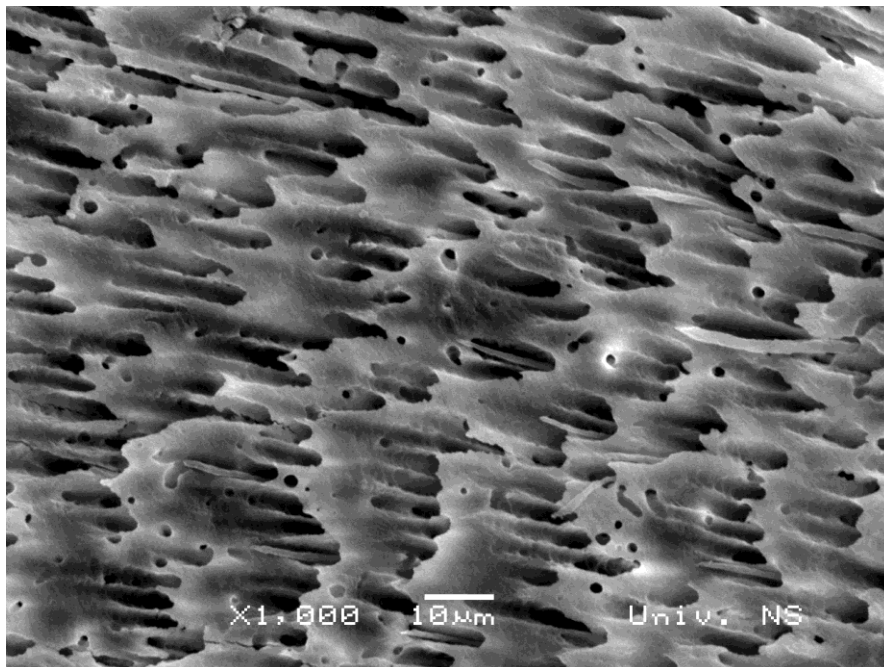
**Mf. 5.** SEM mikrofotografije prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule tehnikom opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*); uočava se mikropukotina nastala tokom pripreme uzorka za SEM i produžeci silera unutar pukotine; srednja trećina kanala. a – uvećanje x50, b - uvećanje x1000.



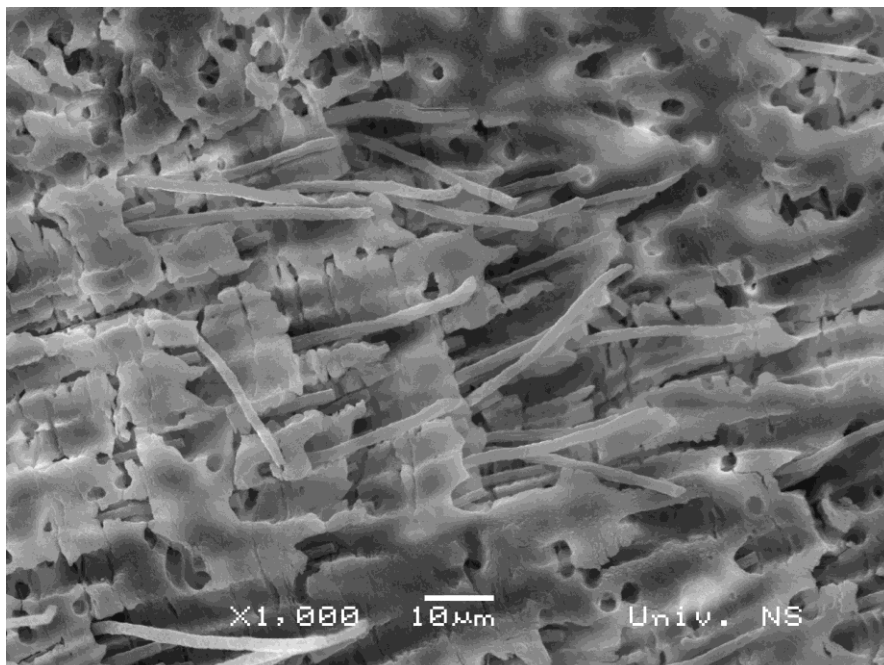
**Mf. 6.** SEM mikrofotografija prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikom hladne lateralne kompaktacije sa izmerenim promerima produžetaka silera unutar dentinskih tubula; uočava se mikropukotina nastala tokom pripreme uzorka za SEM; koronarna trećina kanala; uvećanje x5000.



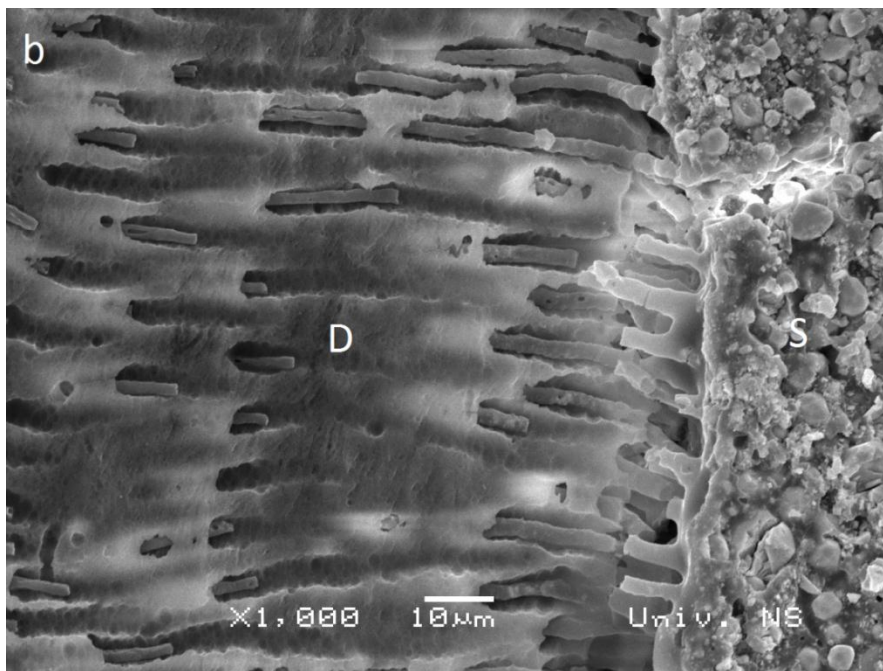
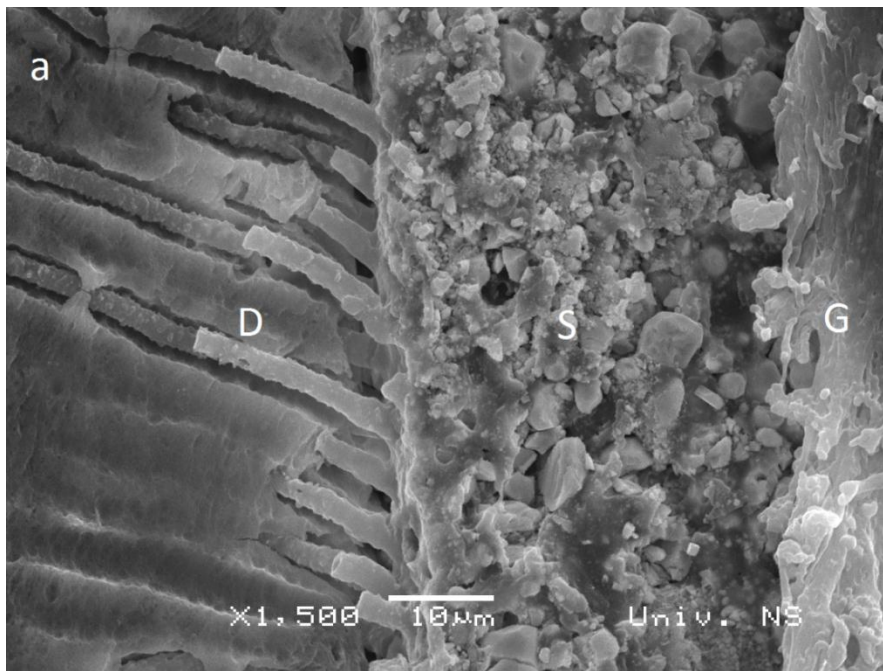
**Mf. 7.** SEM mikrofotografija prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule monokonim tehnikom opturacije; srednja trećina kanala; uvećanje x1000.



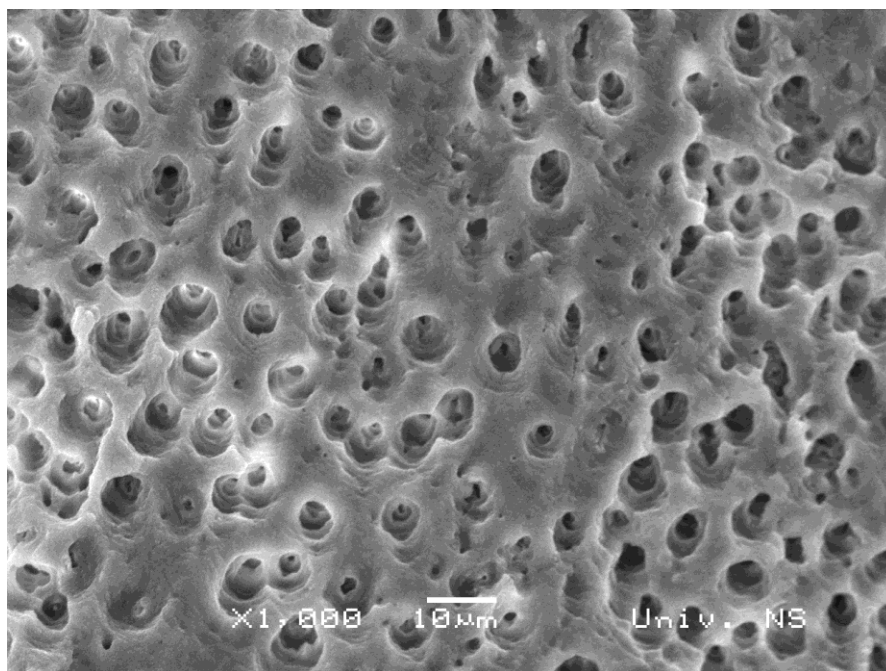
**Mf. 8.** SEM mikrofotografija prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikom opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*); srednja trećina kanala; uvećanje x1000.



**Mf. 9.** SEM mikrofotografija prodora silera *Sealapex* u dentinske tubule tehnikom opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*); apikalna trećina kanala; uvećanje x1000.



**Mf. 10.** SEM mikrofotografije prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule monokonom tehnikom opturacije; srednja trećina kanala. a - uvećanje x1500; b – uvećanje x1000.  
D – dentin, S – siler, G – gutaperka.



**Mf. 11.** SEM mikrofotografija prikazuje otvorene dentinske tubule bez tubularnog prodora silera; apikalna trećina kanala; uvećanje x1000.

## **5.2. Reološki testovi**

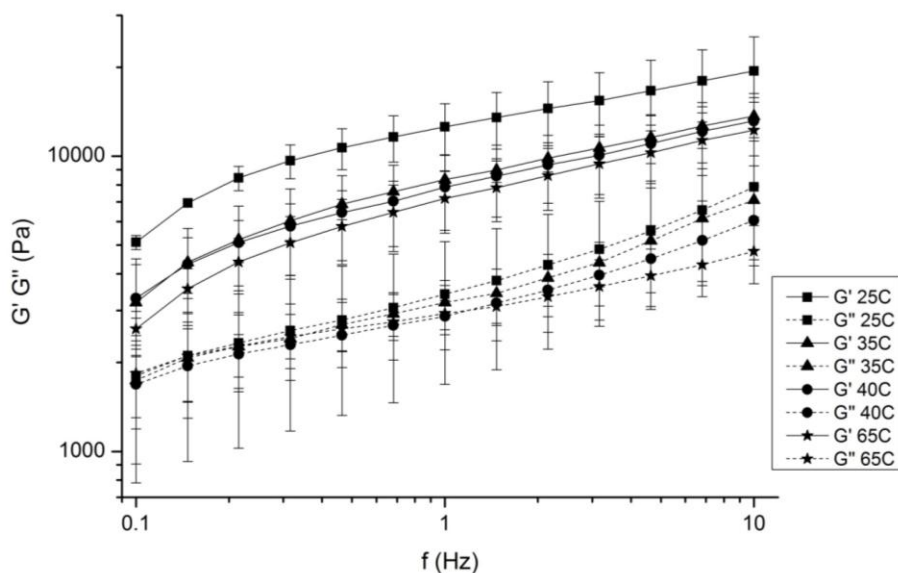
*Frequency sweep* testom na reometru su određene vrednosti elastičnog ( $G'$ ) i viskoznog modula ( $G''$ ), kao i kompleksnog viskoziteta, silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* i analizirane u odnosu na frekvenciju, temperaturu i vreme.

### **5.2.1. Siler *AH Plus***

Na Grafikonu 5.2.1. se uočava da vrednosti elastičnog modula  $G'$  dominiraju u odnosu na vrednosti viskoznog modula  $G''$ , za sve ispitivane temperature, u opsegu primenjenih frekvencija i napona smicanja. Primećuje se porast oba modula sa porastom frekvencije. Porast elastičnog modula je izraženiji na nižim frekvencijama, dok je porast viskoznog modula izraženiji na višim frekvencijama. Uočava se opadanje vrednosti oba



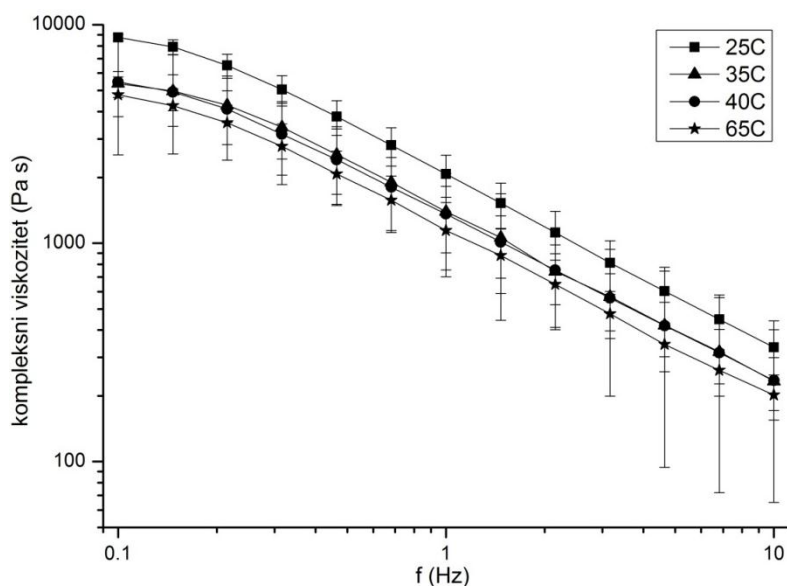
modula sa porastom temperature; opadanje elastičnog modula je izraženije u odnosu na opadanje viskoznog modula.



**Grafikon 5.2.1.** Rezultati *frequency sweep* testa; elastični ( $G'$ ) i viskozni ( $G''$ ) moduli za sve ispitivane temperature i frekvencije za siler *AH Plus*.

Na Grafikonu 5.2.2. se uočava opadanje vrednosti kompleksnog viskoziteta sa porastom frekvencije i temperature; uočava se i skoro poklapanje krivih na 35°C i 40°C što je verovatno posledica male temperaturne razlike.

U Tabeli 5.2.1. su prikazane vrednosti kompleksnog viskoziteta (srednja vrednost  $\pm$  standardna devijacija / tri merenja) silera *AH Plus* na različitim temperaturama i frekvencijama. Na osnovu rezultata parametarskog *ANOVA* testa zaključuje se da ne postoji statistički značajna razlika u kompleksnom viskozitetu silera *AH Plus* na različitim temperaturama i frekvencijama.

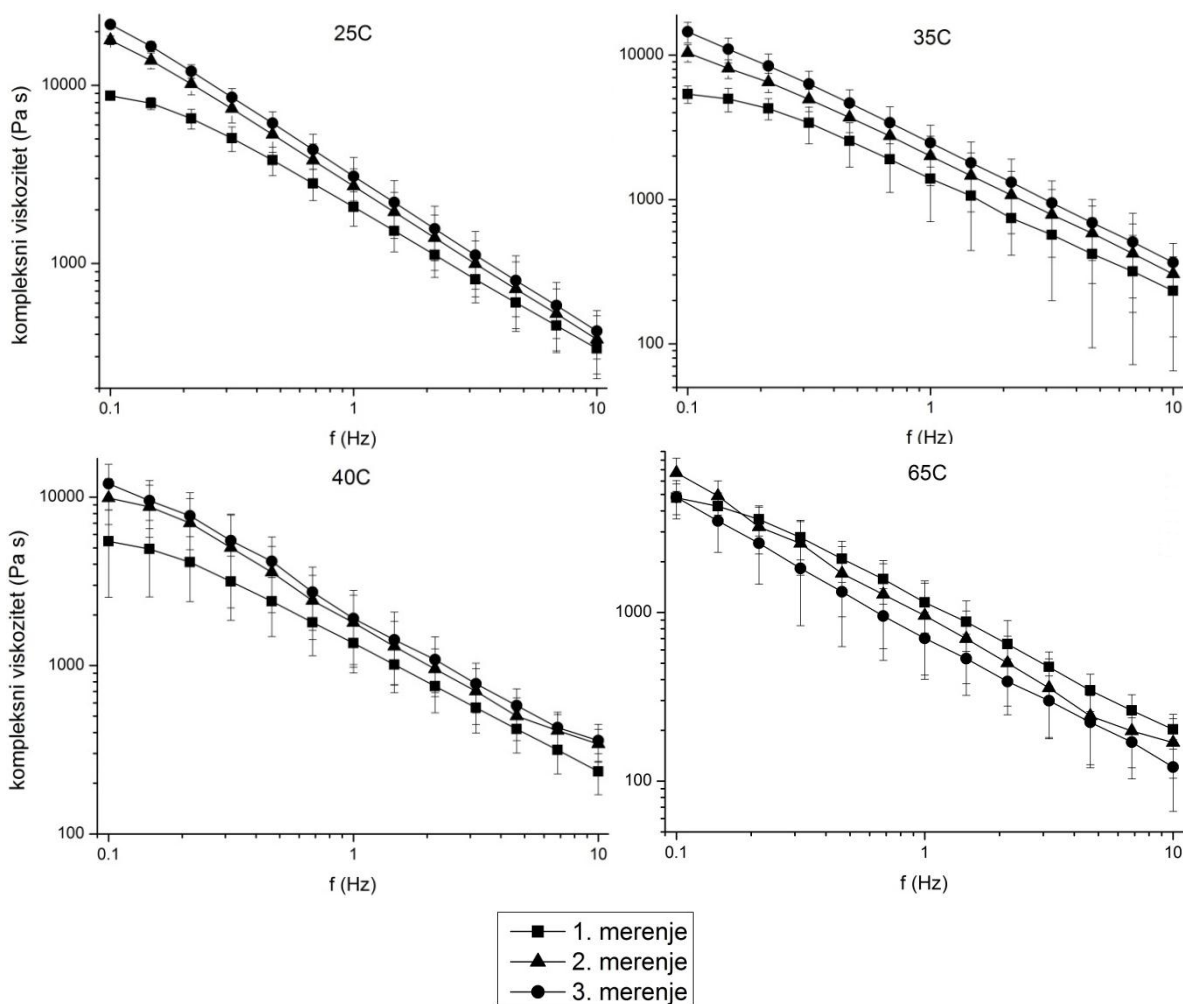


**Grafikon 5.2.2.** Vrednosti kompleksnog viskoziteta za sve ispitivane temperature i frekvencije za siler *AH Plus*.

**Tabela 5.2.1.** Vrednosti kompleksnog viskoziteta (srednja vrednost  $\pm$  standardna devijacija / tri merenja) silera *AH Plus* na različitim temperaturama i frekvencijama.

	0.147 Hz	0.464 Hz	1 Hz	3.162 Hz	6.813 Hz
25C	7927.7 $\pm$ 613.1	3801.3 $\pm$ 687.3	2077.3 $\pm$ 455.5	814.7 $\pm$ 212.4	448.1 $\pm$ 131.3
35C	4971 $\pm$ 934	2545 $\pm$ 868.6	1395 $\pm$ 694	569.1 $\pm$ 370.4	318.9 $\pm$ 246.3
40C	4920.7 $\pm$ 2351.2	2411.3 $\pm$ 921.2	1361 $\pm$ 458.8	561.6 $\pm$ 164.2	315.7 $\pm$ 89
65C	4264.3 $\pm$ 839.6	2075.3 $\pm$ 569.5	1145.1 $\pm$ 391.7	475.1 $\pm$ 109.9	262.9 $\pm$ 63.5

Na Grafikonu 5.2.3. su prikazane vrednosti kompleksnog viskoziteta silera *AH Plus* tokom tri uzastopna merenja na istom uzorku (tri uzorka). Uočava se porast kompleksnog viskoziteta sa vremenom na temperaturama 25°C, 35°C i 40°C, dok se na temperaturi 65°C uočava opadanje kompleksnog viskoziteta.

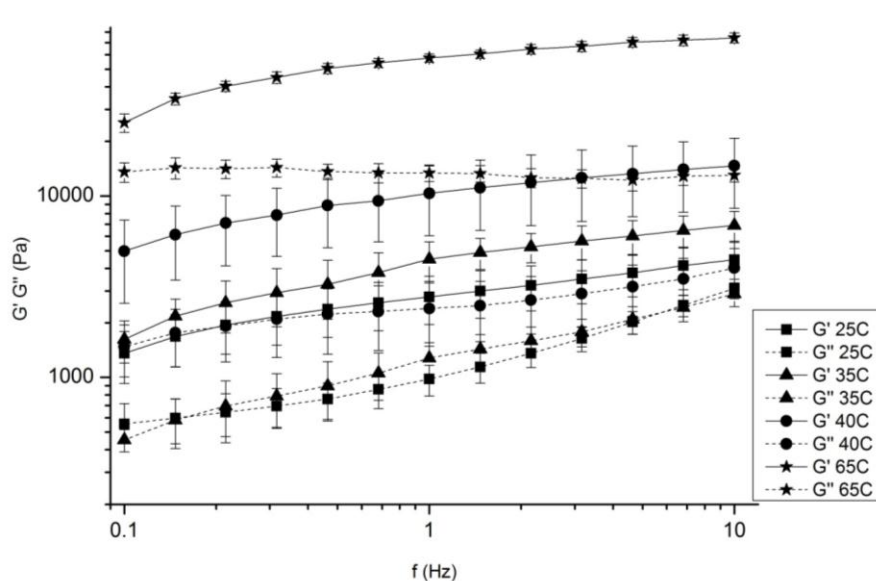


**Grafikon 5.2.3.** Vrednosti kompleksnog viskoziteta silera *AH Plus* tokom tri uzastopna merenja na istom uzorku, na temperaturama 25°C, 35°C, 40°C i 65°C.

## 5.2.2. Siler *Sealapex*

Na Grafikonu 5.2.4. se uočava da vrednosti elastičnog modula  $G'$  dominiraju u odnosu na vrednosti viskoznog modula  $G''$ , za sve ispitivane temperature, u opsegu primenjenih frekvencija i napona smicanja. Povećanjem frekvencije svi moduli rastu osim viskoznog modula na temperaturi 65°C koji je pretežno konstantan. Povećanjem temperature uočava se porast oba modula; porast elastičnog modula sa frekvencijom na

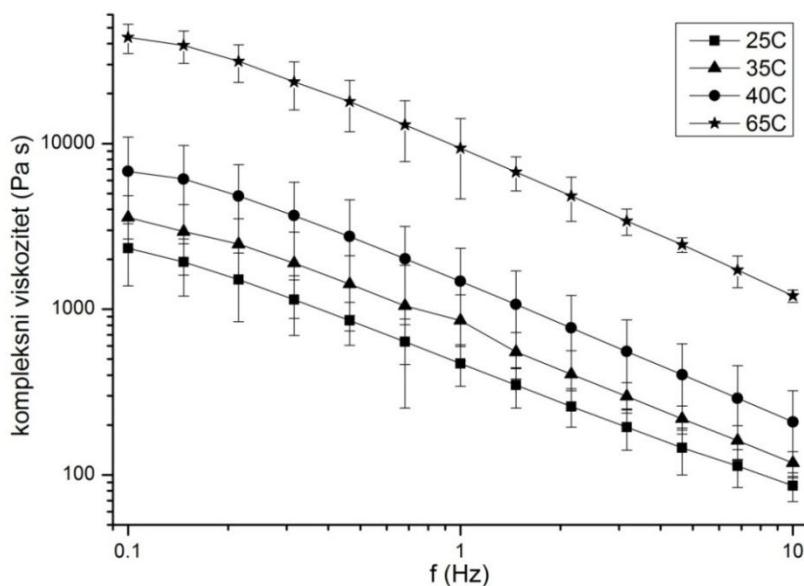
svim temperaturama je približno konstantan; porast viskoznog modula sa frekvencijom je sve manje izražen sa porastom temperature.



**Grafikon 5.2.4.** Rezultati *frequency sweep* testa; elastični ( $G'$ ) i viskozni ( $G''$ ) moduli za sve ispitivane temperature i frekvencije za siler *Sealapex*.

Na Grafikonu 5.2.5. se uočava porast vrednosti kompleksnog viskoziteta materijala sa porastom temperature. Porastom frekvencije vrednosti kompleksnog viskoziteta opadaju.

U Tabeli 5.2.2. su prikazane vrednosti kompleksnog viskoziteta (srednja vrednost  $\pm$  standardna devijacija / tri merenja) silera *Sealapex* na različitim temperaturama i frekvencijama. Na osnovu rezultata parametarskog *ANOVA* testa (*Tukey HSD post-hoc* test) zaključuje se da su vrednosti kompleksnog viskoziteta na temperaturi 65°C statistički značajno više ( $p < 0.05$ ) od vrednosti kompleksnog viskoziteta na temperaturama 25°C, 35°C i 40°C na svim ispitivanim frekvencijama. Između ostalih grupa razlika u kompleksnom viskozitetu nije statistički značajna.



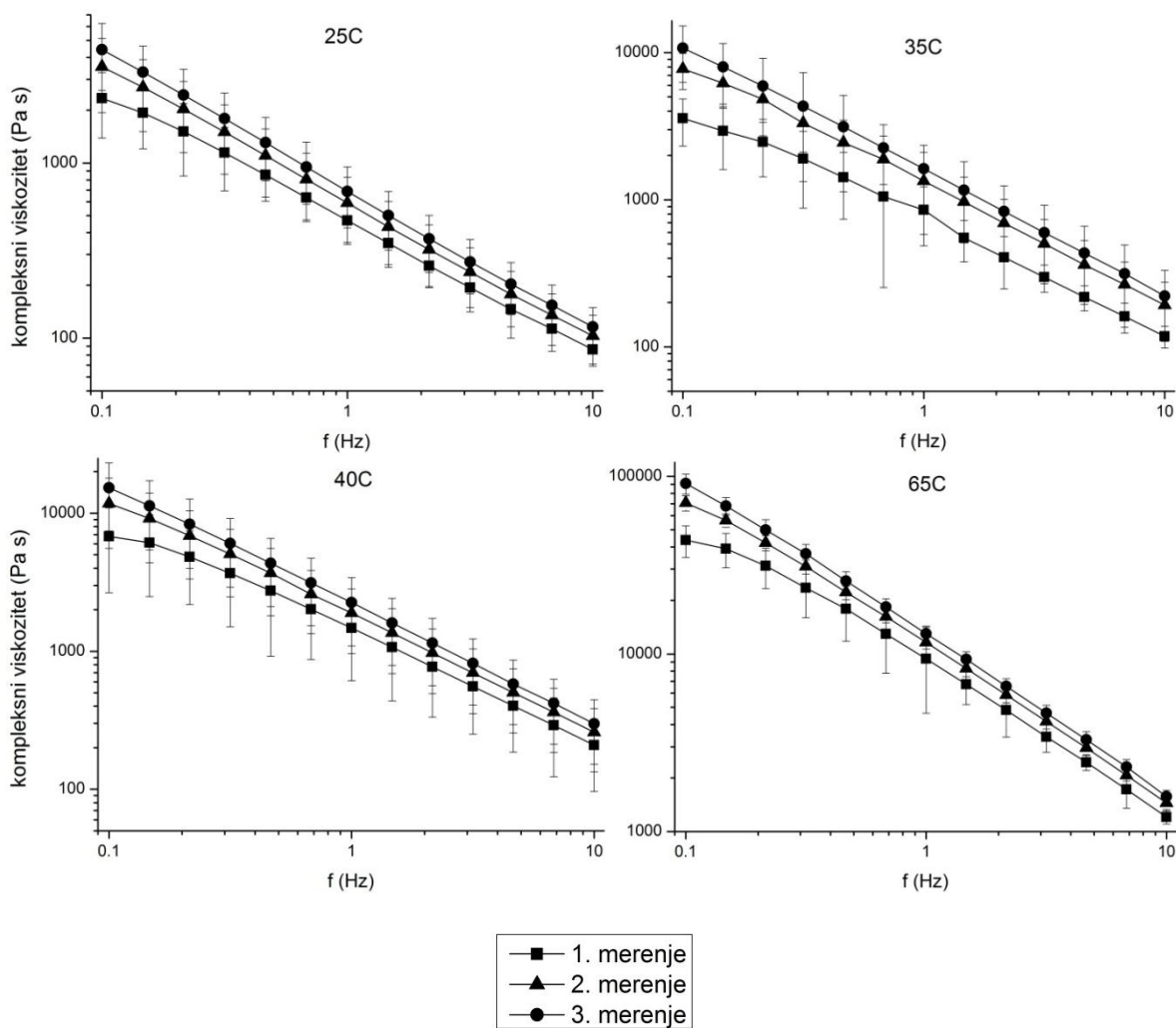
**Grafikon 5.2.5.** Vrednosti kompleksnog viskoziteta za sve ispitivane temperature i frekvencije za siler *Sealapex*.

**Tabela 5.2.2.** Vrednosti kompleksnog viskoziteta (srednja vrednost  $\pm$  standardna devijacija / tri merenja) silera *Sealapex* na različitim temperaturama i frekvencijama.

	0.147 Hz	0.464 Hz	1 Hz	3.162 Hz	6.813 Hz
25°C	1932 $\pm$ 728 <sup>a</sup>	855.2 $\pm$ 249.2 <sup>a</sup>	469.7 $\pm$ 127.2 <sup>a</sup>	194.4 $\pm$ 53.3 <sup>a</sup>	113.3 $\pm$ 29 <sup>a</sup>
35°C	2942 $\pm$ 1336.8 <sup>a</sup>	1420 $\pm$ 681.4 <sup>a</sup>	854.3 $\pm$ 369.8 <sup>a</sup>	298 $\pm$ 62.7 <sup>a</sup>	161.4 $\pm$ 37.6 <sup>a</sup>
40°C	6109 $\pm$ 3621 <sup>a</sup>	2746 $\pm$ 1829 <sup>a</sup>	1474.1 $\pm$ 863.4 <sup>a</sup>	555.9 $\pm$ 305 <sup>a</sup>	290.8 $\pm$ 167.6 <sup>a</sup>
65°C	39095 $\pm$ 8565 <sup>b</sup>	17920 $\pm$ 6130 <sup>b</sup>	9391 $\pm$ 4764 <sup>b</sup>	3411 $\pm$ 616 <sup>b</sup>	1724 $\pm$ 376 <sup>b</sup>

Vrednosti označene različitim slovom (*superscript*) u koloni se statistički značajno razlikuju ( $p < 0.05$ ).

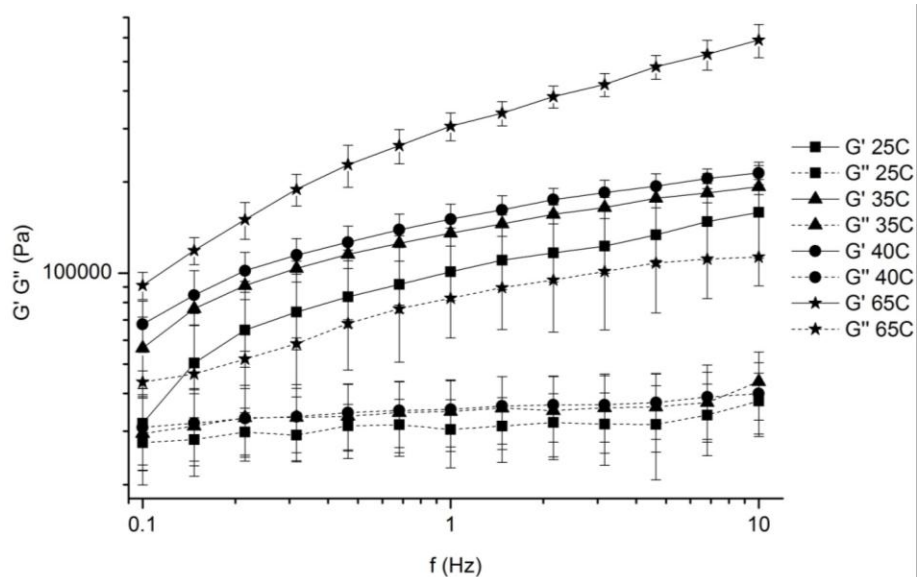
Na Grafikonu 5.2.6. su prikazane vrednosti kompleksnog viskoziteta silera *Sealapex* tokom tri uzastopna merenja na istom uzorku (tri uzorka). Uočava se porast kompleksnog viskoziteta sa vremenom na svim zadatim temperaturama.



**Grafikon 5.2.6.** Vrednosti kompleksnog viskoziteta silera *Sealapex* tokom tri uzastopna merenja na istom uzorku, na temperaturama 25°C, 35°C, 40°C i 65°C.

### 5.2.3. Siler *EndoREZ*

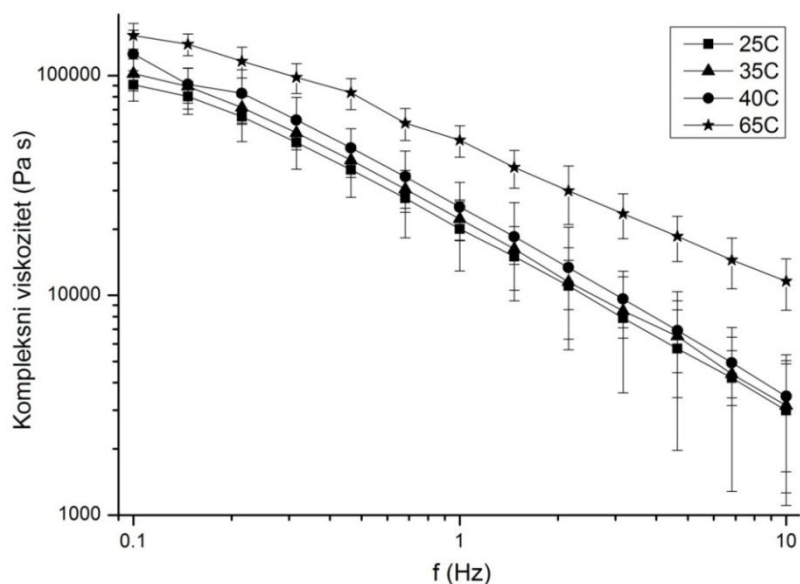
Na Grafikonu 5.2.7. se uočava da vrednosti elastičnog modula  $G'$  dominiraju u odnosu na vrednosti viskoznog modula  $G''$ , za sve ispitivane temperature, u opsegu primenjenih frekvencija i napona smicanja. Sa porastom frekvencije oba modula rastu; porast viskoznih modula je manje izražen. Primećuje se i porast oba modula sa povećanjem temperature.



**Grafikon 5.2.7.** Rezultati *frequency sweep* testa; elastični (G') i viskozni (G'') moduli za sve ispitivane temperature i frekvencije za siler *EndoREZ*.

Na Grafikonu 5.2.8. se uočava opadanje vrednosti kompleksnog viskoziteta materijala sa porastom frekvencije, dok sa porastom temperature vrednosti kompleksnog viskoziteta rastu.

U Tabeli 5.2.3. su prikazane vrednosti kompleksnog viskoziteta (srednja vrednost  $\pm$  standardna devijacija / tri merenja) silera *EndoREZ* na različitim temperaturama i frekvencijama. Na osnovu rezultata parametarskog *ANOVA* testa (*Tukey HSD post-hoc* test) zaključuje se da su vrednosti kompleksnog viskoziteta na temperaturi 65°C statistički značajno više ( $p < 0.05$ ) od vrednosti kompleksnog viskoziteta na temperaturama 25°C, 35°C i 40°C na svim ispitivanim frekvencijama. Između ostalih grupa razlika u kompleksnom viskozitetu nije statistički značajna.



**Grafikon 5.2.8.** Vrednosti kompleksnog viskoziteta za sve ispitivane temperature i frekvencije za siler *EndoREZ*.

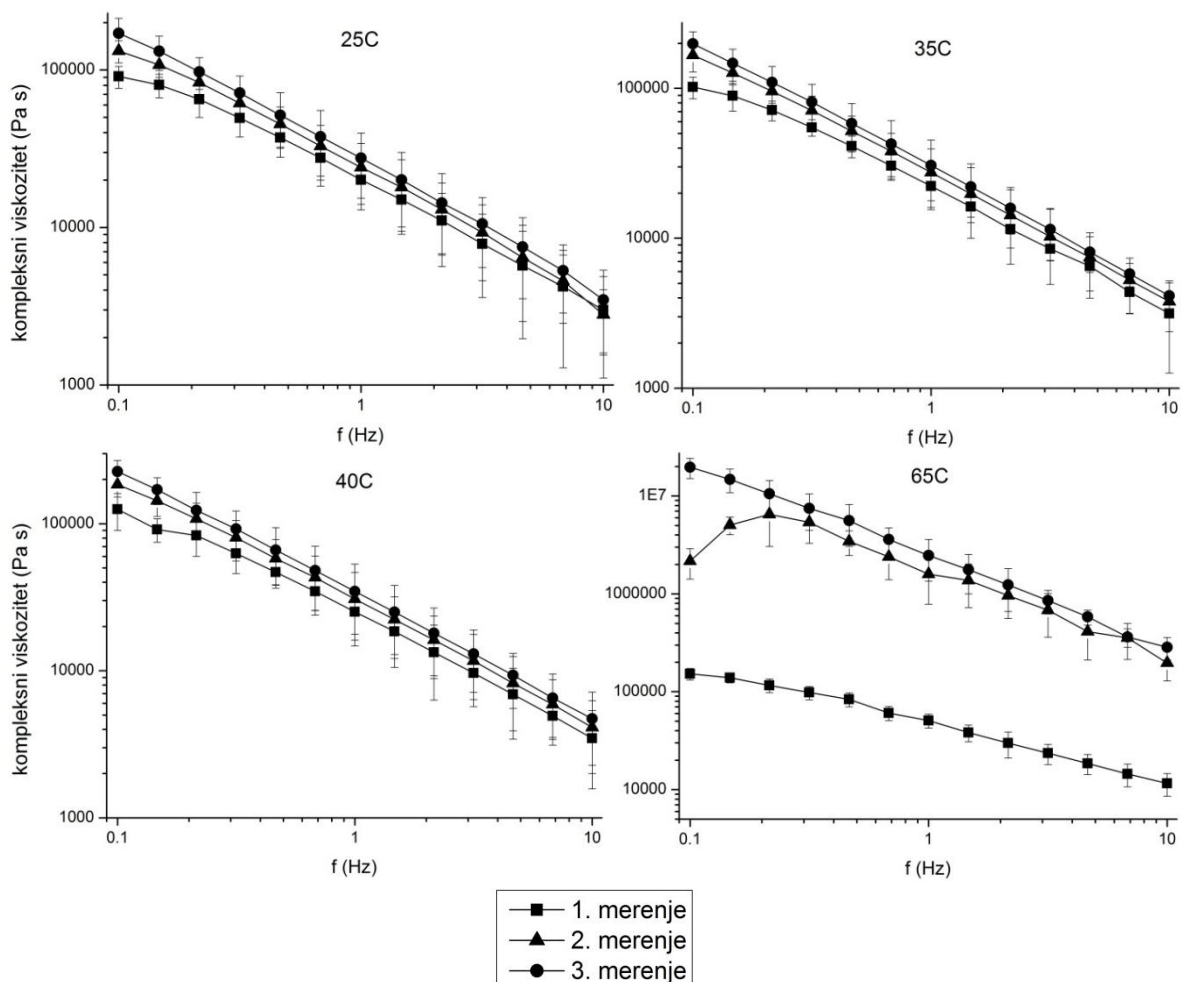
**Tabela 5.2.3.** Vrednosti kompleksnog viskoziteta (srednja vrednost  $\pm$  standardna devijacija / tri merenja) silera *EndoREZ* na različitim temperaturama i frekvencijama.

	0.147 Hz	0.464 Hz	1 Hz	3.162 Hz	6.813 Hz
25C	80320 $\pm$ 13610 <sup>a</sup>	37245 $\pm$ 9329 <sup>a</sup>	20055 $\pm$ 7114 <sup>a</sup>	7867 $\pm$ 4273 <sup>a</sup>	4212 $\pm$ 2929.5 <sup>a</sup>
35C	89260 $\pm$ 18815 <sup>a</sup>	41250 $\pm$ 6815 <sup>a</sup>	22270 $\pm$ 4428 <sup>a</sup>	8488 $\pm$ 1379 <sup>a</sup>	4378 $\pm$ 2385.1 <sup>a</sup>
40C	96720 $\pm$ 19774 <sup>a</sup>	46350 $\pm$ 7175 <sup>a</sup>	27753.3 $\pm$ 4055 <sup>a</sup>	11480 $\pm$ 1667 <sup>a</sup>	4378 $\pm$ 1222.6 <sup>a</sup>
65C	138867 $\pm$ 15868 <sup>b</sup>	83500 $\pm$ 21516 <sup>b</sup>	51786.7 $\pm$ 8288 <sup>b</sup>	23553.3 $\pm$ 5456 <sup>b</sup>	14473.3 $\pm$ 3766.9 <sup>b</sup>

Vrednosti označene različitim slovom (*superscript*) u koloni se statistički značajno razlikuju ( $p < 0.05$ ).

Na Grafikonu 5.2.9. su prikazane vrednosti kompleksnog viskoziteta silera *EndoREZ* tokom tri uzastopna merenja na istom uzorku (tri uzorka). Uočava se porast kompleksnog viskoziteta sa vremenom na svim zadatim temperaturama. Dok su na temperaturama 25°C, 35°C i 40°C krive relativno bliske, na 65°C dolazi do značajnog porasta vrednosti kompleksnog viskoziteta u drugom i trećem merenju.



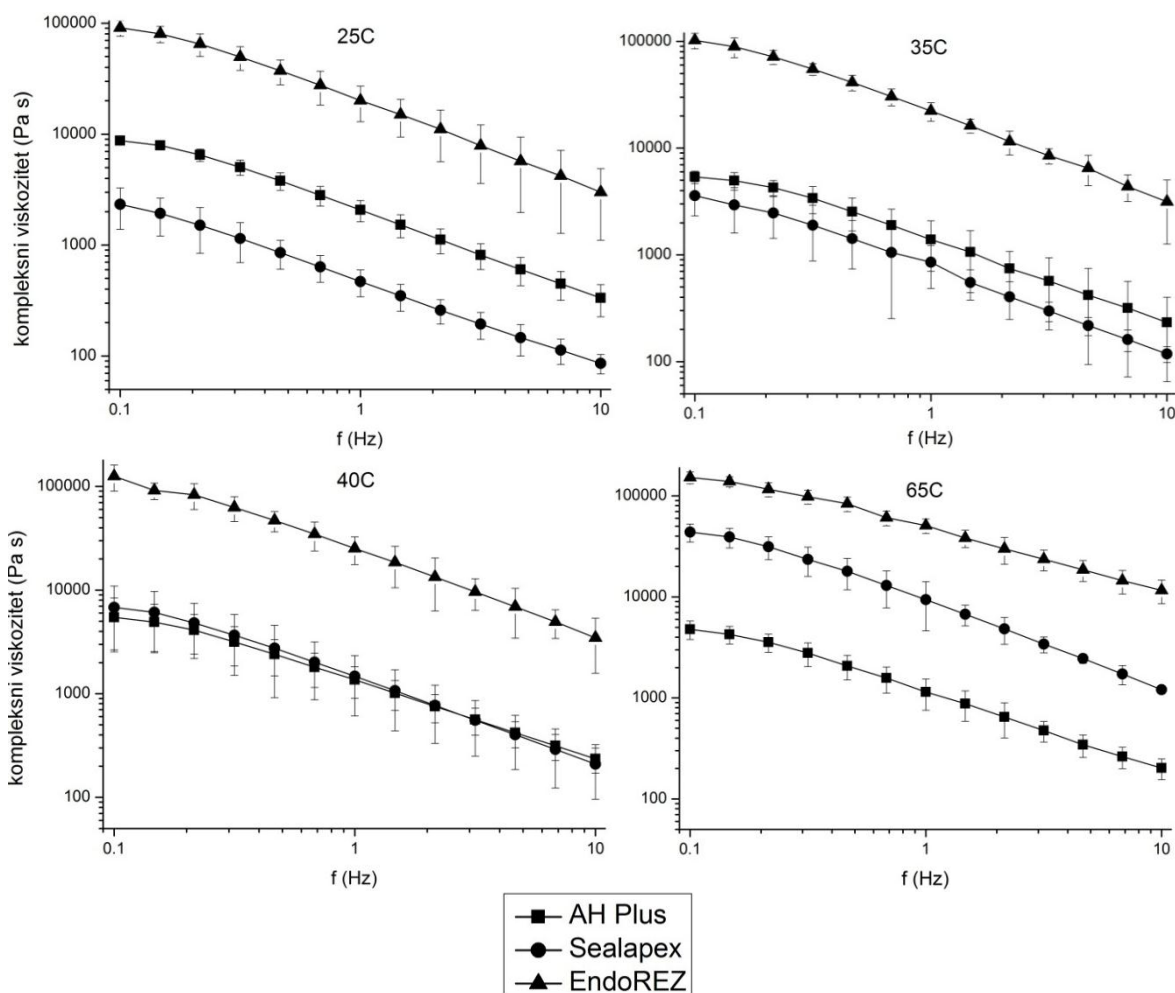


**Grafikon 5.2.9.** Vrednosti kompleksnog viskoziteta silera *EndoREZ* tokom tri uzastopna merenja na istom uzorka, na temperaturama 25°C, 35°C, 40°C i 65°C.

#### 5.2.4. Poređenje kompleksnog viskoziteta između različitih endodontskih silera

Na Grafikonu 5.2.10. se uočava porast kompleksnog viskoziteta silera *Sealapex* i *EndoREZ* sa porastom temperature, dok kompleksni viskozitet silera *AH Plus* opada. Na svim zadatim temperaturama *EndoREZ* ima najvišu vrednost kompleksnog viskoziteta, u opsegu primenjenih frekvencija i napona smicanja. Na temperaturama 25°C i 35°C *AH Plus* ima više vrednosti kompleksnog viskoziteta u odnosu na *Sealapex*, dok na temperaturi 65°C više vrednosti kompleksnog viskoziteta ima *Sealapex*. Na temperaturi 40°C na nižim

frekvencijama više vrednosti kompleksnog viskoziteta ima *Sealapex*, a na višim frekvencijama *AH Plus*.



**Grafikon 5.2.10.** Vrednosti kompleksnog viskoziteta ispitivanih silera na zadatim temperaturama.

Na osnovu rezultata parametarskog *ANOVA* testa (*Tukey HSD post-hoc* test) zaključuje se da su vrednosti kompleksnog viskoziteta silera *EndoREZ* statistički značajno više ( $p < 0.05$ ) u odnosu na vrednosti kompleksnog viskoziteta silera *AH Plus* i *Sealapex* na svim zadatim temperaturama, u opsegu primenjenih frekvencija i napona smicanja. Između silera *AH Plus* i *Sealapex* ne postoji statistički značajna razlika između vrednosti kompleksnog viskoziteta.

### 5.3. Korelaciona analiza

Korelacija je uspostavljena između srednjih vrednosti maksimalne dubine prodora silera u dentinske tubule izraženih procentualno (rezultati dobijeni SEM-om) i srednjih vrednosti kompleksnog viskoziteta silera na frekvenciji 1 Hz (reološki testovi).

Kako tehnike hladne lateralne kompaktacije i monokone tehnike opturacije imaju isti par za korelacionu analizu – kompleksni viskozitet odgovarajućeg silera na temperaturi 25°C, korelacije za ove dve grupe su izvršene odvojeno.

Parovi prve korelacije:

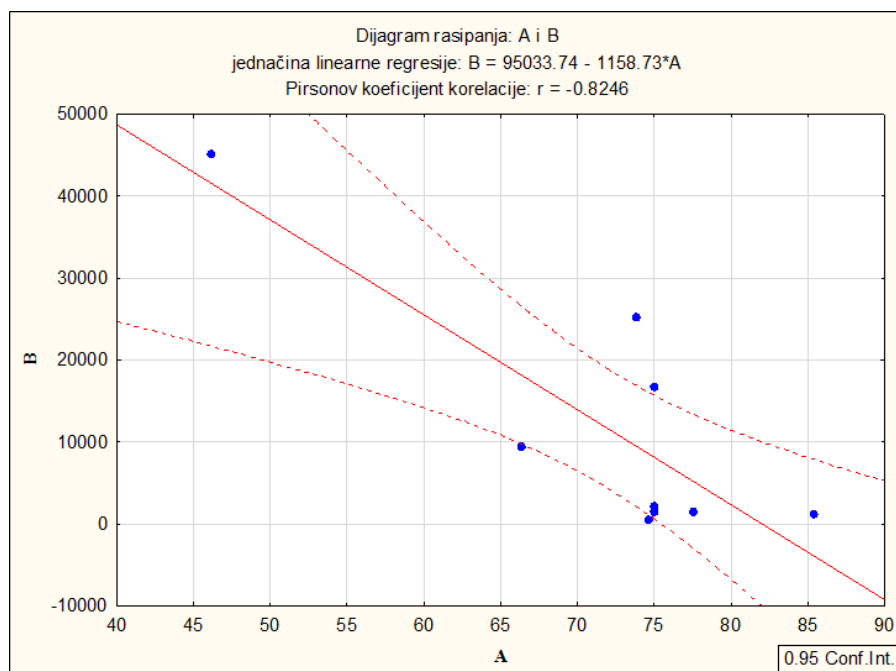
<b>A. Dubina prodora silera u dentinske tubule (%)</b>	<b>B. Kompleksni viskozitet / 1 Hz</b>
<i>AH Plus / Lateralna kompaktacija</i>	<i>AH Plus / 25°C</i>
<i>AH Plus / Thermafil</i>	<i>AH Plus / 40°C</i>
<i>AH Plus / DiaPen&amp;DiaGun</i>	<i>AH Plus / 65°C</i>
<i>Sealapex / Lateralna kompaktacija</i>	<i>Sealapex / 25°C</i>
<i>Sealapex / Thermafil</i>	<i>Sealapex / 40°C</i>
<i>Sealapex / DiaPen&amp;DiaGun</i>	<i>Sealapex / 65°C</i>
<i>EndoREZ / Lateralna kompaktacija</i>	<i>EndoREZ / 25°C</i>
<i>EndoREZ / Thermafil</i>	<i>EndoREZ / 40°C</i>
<i>EndoREZ / DiaPen&amp;DiaGun</i>	<i>EndoREZ / 65°C</i>

**Tabela 5.3.1.** Rezultati prve korelacione analize obeležja A i B.

	aritmetička sredina	standardna devijacija	validan obim N	Pirsonov koef. korelacije r	koef. determinacije r <sup>2</sup>	t-statistika	p-vrednost
A	72.14	10.88	9	-0.8246	0.6799	-3.8560	0.0062
B	11438.69	15291.82					

Kako su ispitivana obeležja neprekidna korišćen je *Pirsonov* koeficijent korelacije; iznos je bio -0,8246, a odgovarajuća *p* vrednost 0,0062, što je prikazano u Tabeli 5.3.1. Na

Grafikonu 5.3.1. je prikazana jednačina linearne regresije za modeliranje zavisnosti dve neprekidne varijable i dijagram rasipanja sa regresionom pravom i njenim 95% intervalom poverenja. Zaključuje se da postoji jaka negativna korelacija između obeležja A i B; porastom vrednosti obeležja A - dubina prodora silera u dentinske tubule, dolazi do opadanja vrednosti obeležja B - kompleksni viskozitet ispitivanog silera.



**Grafikon 5.3.1.** Jednačina linearne regresije za modeliranje zavisnosti dve neprekidne varijable i dijagram rasipanja sa regresionom pravom i njenim 95% intervalom poverenja.

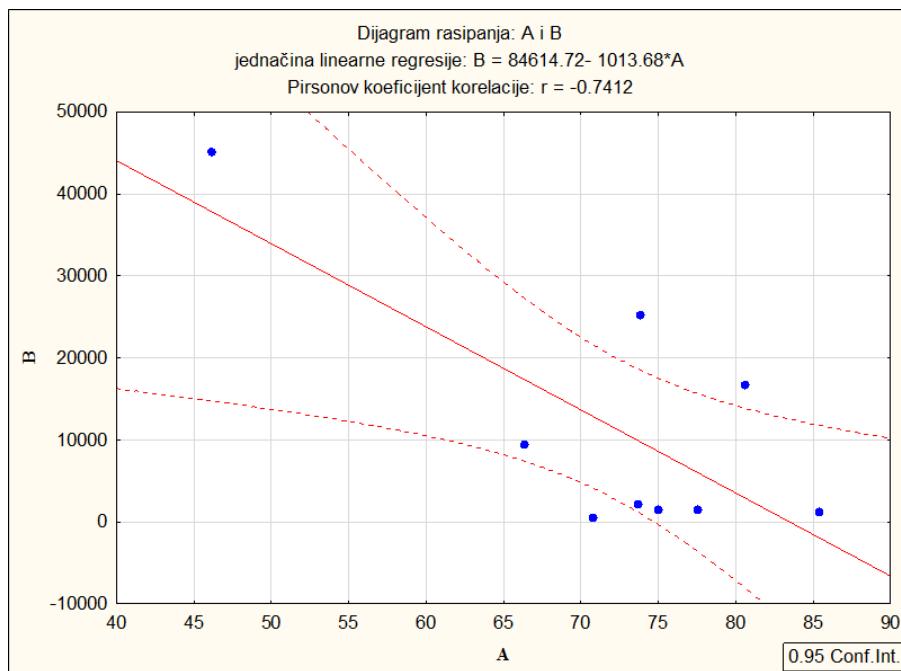
Parovi druge korelacije:

<b>A. Dubina prodora silera u dentinske tubule (%)</b>	<b>B. Kompleksni viskozitet / 1 Hz</b>
<i>AH Plus / Monokona tehnika</i>	<i>AH Plus / 25°C</i>
<i>AH Plus / Thermafil</i>	<i>AH Plus / 40°C</i>
<i>AH Plus / DiaPen&amp;DiaGun</i>	<i>AH Plus / 65°C</i>
<i>Sealapex / Monokona tehnika</i>	<i>Sealapex / 25°C</i>
<i>Sealapex / Thermafil</i>	<i>Sealapex / 40°C</i>
<i>Sealapex / DiaPen&amp;DiaGun</i>	<i>Sealapex / 65°C</i>
<i>EndoREZ / Monokona tehnika</i>	<i>EndoREZ / 25°C</i>
<i>EndoREZ / Thermafil</i>	<i>EndoREZ / 40°C</i>
<i>EndoREZ / DiaPen&amp;DiaGun</i>	<i>EndoREZ / 65°C</i>

Pirsonov koeficijent korelacije je iznosio -0,7412, dok je dgovarajuća *p* vrednost iznosila 0,0223 što je prikazano u Tabeli 5.3.2. Na Grafikonu 5.3.2. je prikazana jednačina linearne regresije za modeliranje zavisnosti dve neprekidne varijable i dijagram rasipanja sa regresionom pravom i njenim 95% intervalom poverenja. Zaključuje se da postoji jaka negativna korelacija između obeležja A i B; porastom vrednosti obeležja A - dubina prodora silera u dentinske tubule, dolazi do opadanja vrednosti obeležja B - kompleksni viskozitet ispitivanog silera.

**Tabela 5.3.2.** Rezultati druge korelacione analize obeležja A i B.

	aritmetička sredina	standardna devijacija	validan obim N	Pirsonov koef. korelacije r	koef. determinacije r <sup>2</sup>	t-statistika	p-vrednost
A	72.19	11.18	9	-0.7412	0.5494	-2.9217	0.0223
B	11438.69	15291.82					



**Grafikon 5.3.2.** Jednačina linearne regresije za modeliranje zavisnosti dve neprekidne varijable i dijagram rasipanja sa regresionom pravom i njenim 95% intervalom poverenja.

## 6. DISKUSIJA

Kako bi se ispitalo tečenje i viskoelastična svojstva tri različita endodontska silera, analizirana je dubina prodora silera unutar dentinskih tubula skening elektronskim mikroskopom i posmatrano je reološko ponašanje materijala primenom testova malih deformacija na reometru.

### 6.1. Diskusija materijala i metoda

Eksperimentalni deo doktorske disertacije sproveden je u laboratorijskim, *in vitro*, uslovima na humanom biološkom materijalu.

Prednost *in vitro* istraživanja je stroga kontrola uslova eksperimentalnog modela, mogućnost ponavljanja eksperimenta pod identičnim uslovima, kao i ispitivanje na velikom broju uzoraka u relativno kratkom vremenskom periodu. Nefiziološki uslovi eksperimenta glavni su nedostatak *in vitro* istraživanja.

Evaluacija uspeha endodontske terapije, kao i poređenje stomatoloških materijala i tehnika opturacije, važan su faktor u određivanju idealnih uslova za postizanje optimalnog ishoda endodontskog tretmana. Najveći broj eksperimentalnih istraživanja baziran je na testovima prodora boje (*dye penetration test*) i bakterijskog curenja (*bacterial leakage test*), zasnovanih na pretpostavci da dubina i stepen prodora / curenja ukazuju na veličinu pukotine između kanalnog punjenja i dentinskog zida. Ipak, pokazalo se da su ove tehnike varijabilne i teško ponovljive usled otežane standardizacije humanih zuba za ispitivanje [75,84,109,168]. Nekoliko autora je proizvelo arteficialne kanalne ramifikacije u plastičnim fabričkim blokovima za endodontsku terapiju; uprkos jednostavnoj tehnici standardizacije, površina, tekstura i svojstva materijala nisu bliska humanim zubima, utiču na ponašanje materijala (gutaperke i silera) i limitiraju značaj laboratorijskih istraživanja [108,124,169-171].

U najvećem broju *in vitro* istraživanja ispitivan je prodor silera u dentinske tubule na zubima iste morfološke grupe, najčešće jednokorenim zubima, sa relativno pravim kanalima [51,54,64,71-73,82]. Iako se odabirom jednokorenih zuba postiže zadovoljavajuća standardizacija uzorka, u pogledu interne anatomije, izostavljanje zuba sa komplikovanim kanalnim sistemom limitira statistički značaj laboratorijskih nalaza [74]. Naime, unutar uskih i zakrivljenih kanalnih prostora i uspeh endodontske terapije je manje predvidljiv. U okviru ove doktorske disertacije analiziran je prodor silera u dentinske tubule na zubima sa uskim i relativno zakrivljenim kanalima - mezijalni kanali prvog mandibularnog molara, 10° i 30° mereno prema *Schneider*-u [167].

Pored faktora za uključivanje i isključivanje zuba iz studije, kao i identičnim protokolom preparacije i irigacije kanala, standardizacija uzorka je postignuta i odabirom ukupno 66 zuba (132 kanala) što odgovara broju 12\*11/2, odnosno ukupnom broju načina da se odaberu dve različite grupe od 12 grupa. Na ovaj način uticaj faktora kao što su interna anatomija zuba, dentinska propustljivost i starost pacijenta na rezultate istraživanja je sveden na minimum. Sve ispitivane grupe su imale maksimalno slične uslove da prodru u dentinske tubule. Postupak endodontskog tretmana izveden je od strane jednog operatera, nakon čega je uzorak nasumično podeljen u ispitivane grupe.

Odabran je prikaz rezultata u relativnoj meri, procentualno: maksimalna dubina tubularnog prodora silera u odnosu na ukupno rastojanje dentinski zid kanala – cement korena. Na ovaj način je eliminisan uticaj veličine zuba, odnosno dijametra poprečnog preseka korena, na rezultate merenja, jer kao što se vidi u Tabeli 5.1.2. uporedne vrednosti rezultata merenja izražene u mikrometrima ne odgovaraju u potpunosti vrednostima izraženim u procentima.

Prisustvo razmaznog sloja kao faktora koji utiče na tubularni prodor silera ispitan je od strane više autora sa zajedničkim stavom da efikasno uklanjanje razmaznog sloja rezultuje u dubljem i konzistentnijem prodoru [54,71,77-79]. U ovom istraživanju razmazni sloj je uklonjen završnom irigacijom kanala rastvorom 17% EDTA, zatim 1% NaOCl-a i fiziološkim rastvorom, što je u skladu sa metodama drugih istraživanja i sa preporukama za



rad u kliničkoj endodonciji američkog udruženja endodontista [33,51,82,172,173]. Korenski dentin je bio izložen dejstvu rastvora EDTA u trajanju od 1 minut kako bi se minimalizovala potencijalna destruktivna dejstva na dentin [174]. Tehnika uklanjanja razmaznog sloja omogućila je prodor svim ispitivanim silerima u dentinske tubule.

Dentinski tubuli, kao i površina kontakta između dentina i paste za opturaciju, mogu biti posmatrani na longitudinalnom ili poprečnom preseku korena. U pojedinim studijama su upotrebljeni longitudinalni preseci za analizu, naročito kada se posmatrala koronarna i srednja trećina korena, ili kad lokacija evaluacije nije pomenuta [53,61,175,176]. Ukoliko se posmatraju zakrivljeni kanali, kao u slučaju maksilarnih i mandibularnih molara, longitudinalni presek je komplikovan za izvođenje, naročito u apikalnoj trećini, mogućnost nastanka artefakata prilikom preparacije je veća, te je i upotreba longitudinalnog preseka ograničena. Poprečni presek kanala korena, upotrebljen u mnogim istraživanjima [51,52,70,82,117,172], jednostavan je za izvođenje i u slučajevima zakrivljenih korenova i omogućuje uvid u stanje celokupne cirkumferencije kanalnog preseka. U ovom istraživanju uzorci su poprečno presečeni na rastojanjima 3, 5 i 8 mm od anatomskog foramena, kako bi se dobili preseci koji odgovaraju apikalnoj, srednjoj i koronarnoj trećini kanala [177].

U brojnim studijama je skening elektronskim mikroskopom analiziran prodor silera u dentinske tubule [51,53,54,56,77-79,82,172,175,178]. Princip rada SEM-a zasnovan je na upotrebi snopa elektrona visoke energije usmerenog na površinu ispitivanog uzorka. Neophodan je sistem za održavanje vakuuma u kome se elektronski zrak kreće. Elektroni intereaguju sa atomima ispitivanog uzorka i šalju povratnu informaciju u obliku sekundarnih i rasejanih elektrona. Formira se pseudotrodimenzijska slika na osnovu koje je moguće dobiti informacije o teksturi uzorka (topografija), kristalnoj strukturi (kristalografija) i hemijskom sastavu (spektroskopija). Postupak pripreme površine uzorka za SEM podrazumeva različite metode fiksacije uzorka, dehidracije i oblaganja elektron – provodljivim materijalom. Tokom tih procesa može doći do stvaranja artefakata na površini uzorka što je i glavni nedostatak skening elektronske mikroskopije. Na mikrofotografijama dobijenim SEM-om, kao i upotrebom različitih softverskih aplikacija, moguća su detaljna

posmatranja dentinskih tubula, integriteta produžetaka silera i precizna merenja, na različitim uveličanjima [56,179,180].

Različitim metodama se zubi pripremaju za SEM analizu u cilju uklanjanja debris a i organske materije oko produžetaka silera unutar dentinskih tubula [47,181]. Uzorci u ovom istraživanju su aplikovani u rastvor 17% EDTA kako bi došlo do demineralizacije dentina, potom i u rastvor NaOCl-a kako bi se uklonili ostaci organske komponente i finalno su isprani destilovanom vodom [51,79,182]; dobijeni su otvoreni dentinski tubuli sa ekspaniranim produžecima silera (Mf. 1-10). Dugotrajno izlaganje uzoraka rastvoru EDTA dovelo bi do prekomerne demineralizacije i destruktivnih efekata na dentinu; stoga, uzorci su držani deset minuta u rastvoru [51,172,174].

Alternativna tehnika za posmatranje tubularnog prodora silera je upotreba svetlosnog mikroskopa [52,62,73]. U cilju rešavanja problema razgraničenja silera i dentina inkorporiraju se različite boje u siler, ali je upitna interakcija tih partikula sa fizičkim karakteristikama silera, vezivanjem i rukovanjem [73]. Sa druge strane svetlosni mikroskop ne zahteva specijalnu pripremu uzorka i omogućuje sistematičniji pristup analizi [51,52,60]. Mikro-kompjuterizovana tomografija (mikro-CT) i kompjuerizovana tomografija konusnog zraka (CBCT) su metode sve više zastupljene u eksperimentalnoj i kliničkoj endodonciji i iako daju precizne slike i nedestruktivne su po uzorak, ipak ne mogu da se koriste za analizu prodora silera u dentinske tubule.

U okviru ove doktorske disertacije vršena je kvantitativna analiza prodora endodontskih silera u dentinske tubule; izmerena je maksimalna dubina tubularnog prodora silera svakog korenskog preseka i predstavljena u apsolutnoj i relativnoj meri. Kako je analiza kvantitativne prirode i faktor pristrasnosti istraživača tokom ispitivanja je eliminisan, odnosno sveden na minimum.

Merenja opisana ISO standardom (6876/2001) i ADA specifikacijama (No.57), upotrebljena u velikom broju istraživanja, su indirektno povezana sa viskozitetom materijala, odnosno određuju tečljivost na osnovu dijametra poprečnog preseka komprimovanog silera između dve staklene ploče, opterećene kontrolisanom težinom

određeno vreme [43,91-93-101]. U istraživanju *Chang*-a i sar. poređenjem tečljivosti silera *AH Plus* i *Sealapex* (ISO standard) nije ustanovljena statistički značajna razlika, dok je poređenjem kompleksnih viskoziteta (reološki testovi) razlika bila statistički značajna [87]. Merenje viskoelastičnih svojstava endodontskih silera na reometru je precizniji i pouzdaniji metod u odnosu na merenja opisana ISO standardom (6876/2001) i ADA specifikacijama (No.57) [87,91,92].

U okviru ove doktorske disertacije tri endodontska silera (*AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ*) su testirana na dinamičkom oscilatornom reometru primenom testova malih deformacija. Nakon pripreme uzorka i postavljanja između ploča reometra uzorak je ostavljen da miruje dva minuta kako bi došlo do relaksacije napona u materijalu nastalog usled deformacije nanete komprimovanjem. Dinamički oscilatorni testovi su testovi malih deformacija, nedestruktivni po uzorak, te su i uzastopna merenja na istom uzorku bila moguća.

## **6.2. Diskusija rezultata prodora silera u dentinske tubule**

U okviru prvog dela doktorske disertacije ispitana je dubina prodora tri endodontska silera (*AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ*) u dentinske tubule mezijalnih kanala prvog mandibularnog molara u kombinaciji sa različitim tehnikama opturacije (hladna lateralna kompaktacija, monokona tehnika, tehnika opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke – *Thermafil* i topla vertikalna kompaktacija – *DiaPen&DiaGun*).

Prodor silera u dentinske tubule povećava površinu kontakta između materijala za punjenje i dentinskog zida, time i mehaničku retenciju materijala, ojačava koren zuba, povećava otpornost na vertikalnu frakturu i potencijalno smanjuje mikrocurenje [51-53,56-58]. Takođe, unutar dentinskih tubula siler može da ispolji potencijalno antibakterijsko dejstvo. U pojedinim istraživanjima je ispitan odnos mikrocurenja i tubularnog prodora silera sa zaključkom da što je prodor dublji mikrocurenje je manje [75,84].

Najdublji prodor silera u dentinske tubule u ovom istraživanju, preko 80%, imale su grupe 14 i 32, *AH Plus/DiaPen&DiaGun* i *EndoREZ/Monokona tehnika*, 1165 $\mu$ m i 1154 $\mu$ m respektivno, dok su najnižu vrednost dubine tubularnog prodora, ispod 70%, imale grupe 24 i 34, *Sealapex/DiaPen&DiaGun* i *EndoREZ/DiaPen&DiaGun*, 778 $\mu$ m i 502 $\mu$ m respektivno. Dubina tubularnog prodora silera ostalih ispitanih grupa je bila između 70% i 80% rastojanja dentinski zid kanala – cement korena.

U većem broju istraživanja su konstatovane regionalne varijacije u dubini tubularnog prodora silera sa zajedničkom konstatacijom da je najniži prodor u apikalnoj trećini kanala korena [53,62,73,75,82,177,178]. *Weis* i sar. su konstatovali statistički značajno višu dubinu prodora silera u dentinske tubule 5 i 3mm od anatomskog apeksa, u odnosu na 1mm [73]; *Sen* i sar. su takođe ustanovili dublji tubularni prodor silera u srednjoj trećini u odnosu na apikalnu [75]. U okviru ove doktorske disertacije, statistički značajno manja dubina prodora u dentinske tubule svih ispitivanih grupa izmerena je u apikalnoj trećini kanala korena, što je u saglasnosti sa rezultatima drugih istraživača [71,73,75,177,183]. Pored najniže izmerene dubine, prodor silera u dentinske tubule je i u najmanjem procentu uočen u apikalnoj trećini korena, iznosi ukupno 78.7% i posebno je nizak u grupi 34, *EndoREZ/DiaPen&DiaGun*, gde iznosi 27,3% (Tabela 5.1.1.). Prodor silera u dentinske tubule u koronarnoj trećini iznosio je 100% u gotovo svim ispitivanim grupama, osim u grupi 34, *EndoREZ/DiaPen&DiaGun*, gde je iznosio 72,7%. U srednjoj trećini prodor na celokupnom uzorku je uočen u 92,42% slučajeva. Varijacije u dubini prodora silera između koronarne i srednje trećine kanala korena u okviru ovog istraživanja nisu bile statistički značajne. Apikalna trećina korenskog kanala je anatomski najvarijabilnija, broj dentinskih tubula je manji, kao i dijametar, često su zatvoreni pa i okludirani cementnim tkivom, efikasnost uklanjanja razmaznog sloja je manja, pa je i najniža dubina tubularnog prodora silera u ovoj trećini kanala korena očekivan [82,172,175,184-186]. Tehnika opturacije takođe utiče na dubinu prodora silera u dentinske tubule po trećinama i svakako je najmanje pod kontrolom u apikalnoj trećini kanala [64,70].

U istraživanju *Mamootil*-a i *Messer*-a srednja vrednost maksimalne dubine tubularnog prodora silera *AH26* (epoksi smola) i *EndoREZ* (metakrilatna smola) tehnikom hladne lateralne kompaktacije gutaperke na 5 i 7mm od anatomskog apeksa iznosila je 1337 $\mu$ m (*AH 26*) i 863 $\mu$ m (*EndoREZ*) [51]. *Sevimay* i *Kalayci* su takođe ustanovili višu dubinu prodora silera *AH Plus* u dentinske tubule u odnosu na *EndoREZ* u svim trećinama korenskog kanala tehnikom hladne lateralne kompaktacije gutaperke [178]. Toplom vertikalnom kompaktacijom gutaperke *Ashwini* i sar. su objavili slične rezultate: viša dubina prodora silera u dentinske tubule je izmerena tokom opturacije silerom *AH Plus*, 689.55 $\pm$ 209.964 $\mu$ m / 1011.9 $\pm$ 315.752 $\mu$ m, u odnosu na *EndoREZ*, 465.35 $\pm$ 158.641 $\mu$ m / 870.55 $\pm$ 130.515 $\mu$ m, na 3 / 5mm od apeksa [187]. *Moradi* i sar. su izmerili 520.48 $\mu$ m dubinu tubularnog prodora silera *AH26* u apikalnoj trećini [70]. U istraživanju *Sen*-a i sar. dubina tubularnog prodora silera *Diaket* (epoksi smola) iznosila je 751-1000 $\mu$ m [75]. Dubina tubularnog prodora silera *EndoREZ* u srednjoj i koronarnoj trećini iznosila je 800-1200 $\mu$ m u istraživanju *Tay* i sar. [188]. Pojedina istraživanja su ustanovila značajno nižu dubinu prodora silera u dentinske tubule. *Kokkas* i sar. su izmerili srednju vrednost maksimalne dubine tubularnog prodora silera *AH Plus* 54,6  $\mu$ m [54]; *Balguerie* i sar. su izmerili dubinu 62.5/53.3/22.3 $\mu$ m na 8/5/2mm od anatomskog apeksa za siler *AH Plus*, a za siler *Acroseal* (kalcijum hidroksid i epoksi smola) 90.3/84.3/0 $\mu$ m [82]; *Rouhani* i sar. su u apikalnoj trećini zakrivljenih kanala (25° - 40° mereno prema *Schneider*-u) izmerili srednju maksimalnu dubinu prodora silera *AH plus* 122.18 $\pm$ 89.37 $\mu$ m [172]; *Shokouhinejad* i sar. su u srednjoj trećini kanala izmerili dubinu prodora silera *AH Plus* 22.07 $\mu$ m [189]. U pojedinim istraživanjima dubina prodora silera u dentinske tubule je opisno interpretirana: siler *AH26* dostiže “spoljašnju trećinu dentinskog zida” [73], a u slučaju silera na bazi metakrilata produžeci silera se prostiru “daleko unutar dentinskih tubula” [190].

Više faktora mogu objasniti dobijene konfliktne rezultate istraživanja: razlike u metodama eksperimentalnog istraživanja, odabiru i veličini uzorka, tehnici preparacije i irigacije kanala, uklanjanju razmaznog sloja, tehnici pripreme silera, tehnici opturacije, posmatranju na longitudinalnom ili poprečnom preseku kanala korena, pripremi uzorka za

posmatranje pod mikroskopom, kao i uopšte na metodu posmatranja uzorka pod mikroskopom.

Rezultati ove doktorske disertacije, po pitanju tubularnog prodora silera *AH Plus* i *EndoREZ*, u saglasnosti su sa rezultatima *Mamootil*-a i *Messer*-a koji su koristili sličan eksperimentalni model i evaluacione metode [51]. U navedenom istraživanju je ustanovljen prodor silera u dentinske tubule i u *in vivo* uslovima (preko 1000 $\mu$ m za siler *AH26*) i kako je takođe analiziran *in vitro* identičnim metodama rada, potvrđuje validnost eksperimentalnog modela, primenjenog i u okviru ove doktorske disertacije.

Fizička i hemijska svojstva silera utiču na dubinu prodora u dentinske tubule [51,78,81,82,187,191]. U saglasnosti sa ovom konstatacijom su i rezultati doktorske disertacije gde su različiti endodontski sileri, na bazi epoksi smole (*AH Plus*), metakrilatne smole (*EndoREZ*) i kalcijum hidroksida (*Sealapex*), pokazali različitu dubinu prodora u dentinske tubule. *Kokkas* i sar. su ustanovili statistički značajnu razliku u dubini tubularnog prodora između silera na bazi epoksi smole, kalcijum hidroksida i cink oksid eugenola [54]; *Mamootil* i *Messer* između silera na bazi epoksi smole, metakrilatne smole i cink oksid eugenola [51]; *Sevimay* i *Kalayci* između silera na bazi epoksi smole i metakrilatne smole [178].

*AH Plus* je postao zlatni standard za poređenje sa ostalim silerima usled povoljnih fizičkih i hemijskih svojstava, kao i biokompatibilnosti [192,193]. Vreme vezivanja od minimum 8 sati dozvoljava dugu infiltraciju tubula silerom *AH Plus* za razliku od *EndoREZ*-a čije potpuno vreme vezivanja iznosi 20-30 minuta. Dvojna priroda vezivanja *EndoREZ*-a podrazumeva i višu polimerizacionu kontrakciju koja može imati uticaja na inicijalnu adaptaciju materijala [187]. *EndoREZ* je siler na bazi metakrilatne smole, hidrofilnih karakteristika. Neophodno je aplikovati ga u blago vlažan kanal i to bez prisustva kiseonika, specijalnim nastavkom (*NaviTip*), kako ne bi došlo do inhibiranja procesa polimerizacije. *Sealapex* je siler na bazi kalcijum hidroksida, ne poseduje adhezivna svojstva i veoma sporo se vezuje.

Tehnika opturacije se pokazala kao značajan faktor u dubini tubularnog prodora silera u ovom istraživanju.

Hladna lateralna kompakcija gutaperke i monokona tehnika ne koriste toplotu tokom opturacije, dok tehnika sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*) i topla vertikalna kompakcija (*DiaPen&DiaGun*) koriste. Primena toplote tokom opturacije se pokazala kao značajan faktor u dubini tubularnog prodora silera. Naime, *AH Plus* je pokazao statistički značajno višu dubinu prodora u dentinske tubule primenom tehnika koje koriste toplotu (*Thermafil* i *DiaPen&DiaGun*) u odnosu na tehnike koje ne koriste (hladna lateralna kompakcija i monokona tehnika), dok se *EndoREZ* ponašao suprotno. *Sealapex* je pokazao višu dubinu prodora u dentinske tubule tehnikama opturacije koje ne koriste toplotu u odnosu na tehnike koje koriste, ali bez statistički značajne razlike. Za *EndoREZ* proizvođač navodi da se optimalan rezultat postiže bez primene toplote, pritiska i dodatnih manipulacija tokom opturacije, "pasivnom insercijom gutaperka poena". U ovom istraživanju monokona tehnika jedina nije koristila toplotu i pritisak tokom opturacije i *EndoREZ* jeste pokazao statistički značajno dublji prodor u dentinske tubule navedenom tehnikom opturacije u odnosu na *AH Plus* i *Sealapex*. Tehnike opturacije zagrejanom gutaperkom mogu dovesti do više polimerizacione kontrakcije materijala na bazi smole, kao što i dodatne manipulacije unutar kanala mogu da utiču na vezu između materijala i korenskog dentina, što bi moglo da objasni najmanju dubinu prodora silera *EndoREZ* u dentinske tubule kada se koristi zagrejana gutaperka i primenjuje pritisak tokom opturacije (topla vertikalna kompakcija - *DiaPen&DiaGun*) [172,194,195].

Teško je predvideti put silera pod pritiskom u kompleksnom kanalnom prostoru. Distribucija silera zavisi od intenziteta i tačke aplikacije pritiska, viskoziteta materijala, anatomije kanalnog sistema, temperature. Ukoliko je kanal celom dužinom prohodan intenzitet primene sile treba da se razlikuje u koronarnoj i srednjoj trećini od apikalne trećine. Pod pritiskom siler teče prema najmanjem otporu, češće u apikalnom nego u lateralnom pravcu. Pravilnim rukovanjem materijalom tečenje se može usmeriti u željenom pravcu; ukoliko se želi lateralna distribucija silera potrebno je dobro zaptivanje gutaperkom apikalno [22].

Tehnikom hladne lateralne kompaktacije gutaperke i toplom vertikalnom kompaktacijom primenjuje se pritisak tokom opturacije [22]. Kada se gutaperka komprimuje, odnos stresa (MPa) i deformacije se može predstaviti krivom. Prvi deo krive je prav, veza između stresa i defromacije je linearna, deformacija je reverzibilna, elastična; u određenom momentu (elastični limit), a koji zavisi od svojstava materijala, deformacija postaje nepovratna, plastična. Hladna gutaperka ima mali procenat plastične deformacije pod pritiskom, za razliku od zagrejane gutaperke gde je procenat plastične deformacije visok [23]. Nekontrolisanom primenom sile može doći do ekstruzije materijala u periaradikularna tkiva, pa i do jatrogene vertikalne frakture korena.

Monokona tehnika i tehnika opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*) nisu koristile pritisak tokom opturacije ili je on bio minimalan. Primena pritiska tokom opturacije se pokazala kao značajan faktor u dubini tubularnog prodora silera. Naime, *AH Plus* je pokazao statistički značajno višu dubinu prodora u dentinske tubule primenom tehnika koje koriste pritisak (hladna lateralna kompaktacija i *DiaPen&DiaGun*) u odnosu na tehnike koje ne koriste pritisak ili je on minimalan (monokona tehnika i *Thermafil*), dok se *EndoREZ* ponašao suprotno. *Sealapex* nije pokazao značajnu razliku u dubini tubularnog prodora kada se primenjuje pritisak. Za *EndoREZ* proizvođač navodi da je zasnovan na hemijskoj reakciji pre nego na primeni vertikalne sile, pritiska i toplote i da se optimalan rezultat postiže “pasivnom insercijom gutaperka poena”. Dodatne manipulacije tokom insercije materijala u kanal mogu narušiti vezu između punjenja i korenskog dentina [194,195].

*Sadeghi* i sar. nisu ustanovili statistički značajnu razliku poredeći kompaktnost i zaptivna svojstva materijala unutar kanala tehnikom lateralne i vertikalne kompaktacije (*BeeFill*) [196], dok su *Dadresanfar* i sar. ustanovili manje mikrocurenje (*dye leakage test*) primenom tehnike tople vertikalne kompaktacije (*BeeFill*) u odnosu na tehniku hladne lateralne kompaktacije, iako razlika nije statistički značajna [197].

Na osnovu rezultata ove doktorske disertacije zaključuje se da izbor silera treba razmotriti u odnosu na tehniku opturacije koja se primenjuje; isto je zaključio *Camilleri* u



svom istraživanju [138]. *AH Plus* bi mogao biti materijal izbora za sve tehnike opturacije, naročito kada se primenjuju pritisak i toplota. *Sealapex* je pokazao superiorniji rezultat, ali bez statistički značajne razlike, kada se primenjuju tehnike opturacije koje ne koriste toplotu, dok u odnosu na primenu pritiska tokom opturacije nije pokazao značajnu razliku. *EndoREZ* bi bio materijal izbora kada se primenjuju tehnike opturacije koje ne koriste ni pritisak ni toplotu.

### 6.3. Diskusija rezultata reoloških testova

Reološka svojstva tri endodontska silera (*AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ*) su ispitana na reometru, dinamičkim oscilatornim testovima, na različitim temperaturama: 25°C (sobna temperatura), 35°C (intrakanalna temperatura), 40°C (maksimalna temperatura gutaperke unutar kanala dostignuta tokom opturacije *Thermafil* sistemom) i 65°C (maksimalna temperatura gutaperke unutar kanala dostignuta tokom opturacije sistemom *DiaPen&DiaGun*).

Ispitani endodontski sileri su dvokomponentni pasta / pasta materijali, pripremljeni prema uputstvu proizvođača. Iako su *AH Plus* i *EndoREZ* zamešani automatski u idealnom odnosu (1:1), bez udela ljudskog faktora, visoka ponovljivost rezultata *frequency sweep* testa nije postignuta i nije viša u poređenju sa rezultatima paste *Sealapex* zamešane ručno. Varijacije u dobijenim rezultatima se ogledaju kroz širok opseg standardne devijacije. U studiji od strane Lacey i sar. [76] je ispitivanjem reoloških svojstava endodontskih silera, takođe ustanovljen širog opseg standardne devijacije. Sa druge strane, ispitivanjem kompozita - jednokomponentnih stomatoloških materijala, identičnim eksperimentalnim metodom, ponovljivost rezultata *frequency sweep* testa je bila visoka [150,151]. Može se zaključiti da je viskozitet materijala visoko senzitivna indikator promena kao što su: varijacije u količini komponenta materijala, tehnika mešanja, vreme proteklo od početka mešanja, vlažnost i temperatura [76]. U okviru ovog istraživanja svaka od nabrojanih varijabli je maksimalno kontrolisana. Špricima sa specijalnim nastavcima su automatski

zamešani sileri *AH Plus* i *EndoREZ*, vagom za precizna merenja je kontrolisano istiskivanje jednakih količina obe komponente silera *Sealapex*; vreme merenja je strogo kontrolisano i ujednačeno za sve ispitivane silere; teflonskim poklopcem (*Solvent trap*) su materijali tokom merenja zaštićeni od uticaja svetlosti i vlažnosti. Proizvođač materijala takođe upozorava o mogućim varijacijama u konzistenciji materijala i separaciji paste tokom ekstruzije, ali navodi da ovi procesi ne utiču negativno na svojstva materijala (*AH Plus Jet*, Uputstvo za upotrebu); ukoliko se ulje pojavi iz jedne od pasti, uzorak treba odbaciti i zameniti novim usled negativnog uticaja na svojstva silera (*Sealapex*, Uputstvo za upotrebu). *Baldi* i sar. su u svom istraživanju demonstrirali da se fizička i hemijska svojstva silera (*AH Plus*) kao što su tečenje, vreme vezivanja i rentgen kontrastnost razlikuju u zavisnosti od segmenta tube iz koje su komponente silera istisnute i zamešane. Naime, tečenje silera (ANSI/ADA specifikacija 57) ima najvišu vrednost ukoliko se komponente silera zamešaju iz početnih delova tuba i, kako se siler meša iz nižih porcija tuba, tečenja je sve manje izraženo; razlika u tečljivosti silera zamešanog iz početnih, srednjih i krajnjih delova istih tuba je statistički značajna [93]. Neuniformna konzistencija silera u tubama takođe može da objasni varijabilnost rezultata kada se ispituju karakteristike tečenja i viskoelastična svojstva endodontskih silera. Iz svega navedenog može se zaključiti da je pojedine varijable nemoguće kontrolisati kada se ispituju dvokomponentni stomatološki materijali. Dinamički oscilatorni testovi su sa druge strane visoko precizni i detektuju i najmanje promene u strukturi materijala.

Svi sileri su pokazali viskoelastični karakter sa dominantnim vrednostima elastičnog modula u odnosu na vrednosti viskoznog modula, za sve ispitivane temperature, u opsegu primenjenih frekvencija i napona smicanja, što implicira da elastični karakter materijala dominira nad viskoznim. *Sealapex* je pokazao najniže vrednosti oba modula za sve ispitivane temperature i frekvencije, dok je *EndoREZ* pokazao najviše vrednosti.

Sva tri endodontska silera su pokazala pseudoplastično ponašanje: povećanjem frekvencije viskozitet opada. Dobijeni podaci ukazuju da bi se povoljnije fluidne karakteristike materijala, odnosno više tečenje silera, kao i prolongirano radno vreme, mogli postići brzim rukovanjem materijalom, insercijom u kanalni prostor i manipulacijom,

što je u saglasnosti i sa nalazima drugih istraživača [43,76,90,203]. Materijali se ponašaju suprotno njutnovskim materijalima i dilatantnim fluidima. Visoka tečljivost materijala poželjna je za popunjavanje nepravilnosti unutar kanalnog prostora, lateralnih kanala i dentinskih tubula. Ipak, suviše tečan materijal može lako da ekstrudira iz kanalnog prostora i izazove periradikularnu tkivnu reakciju [88]. Kombinacija kontrolisane primene sile i manipulacije treba da je u skladu sa konzistencijom materijala [119,128].

Povećanjem temperature kompleksni viskozitet silera *AH Plus* se smanjuje, dok viskoziteti silera *Sealapex* i *EndoREZ* rastu.

Kompleksni viskozitet silera *AH Plus* je pokazao trend opadanja sa povećanjem temperature što zajedno sa izraženijim opadanjem  $G'$  modula u odnosu na  $G''$  moduo sa porastom temperature govori u prilog sve izraženijih viskoznih karakteristika materijala. Sa ovom konstatacijom negativno koreliraju rezultati prvog dela istraživanja gde je *AH Plus* pokazao najdublji prodor u dentinske tubule tehnikom tople vertikalne kompakcije (*DiaPen&DiaGun*) tokom koje gutaperka u kanalu dostiže temperaturu 65°C. Kompleksni viskozitet silera *AH Plus* je viši na 40°C u odnosu na 65°C što takođe negativno korelira sa prvim delom istraživanja gde je dubina prodora silera u dentinske tubule tehnikom opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*), tokom koje gutaperka u kanalu dostiže 40°C, bila niža u odnosu na grupu 14, *AH Plus/DiaPen&DiaGun*. Vrednosti kompleksnog viskoziteta *AH Plus*-a na temperaturama 25°C i 35°C su još više (na 25°C kompleksni viskozitet je viši u odnosu na 35°C) što takođe negativno korelira sa prvim delom istraživanja gde je i dubina prodora silera u dentinske tubule tehnikama opturacije sa hladnom gutaperkom (hladna lateralna kompakcija i monokona tehnika) bila niža. Iz svega navedenog može se zaključiti da je *AH Plus* siler adekvatan izbor kada se koriste tehnike opturacije koje primenjuju toplotu.

Kompleksni viskoziteti silera *Sealapex* i *EndoREZ* rastu sa povećanjem temperature i ponašaju se suprotno u odnosu na *AH Plus*; porast kompleksnog viskoziteta *EndoREZ*-a je izraženiji u odnosu na *Sealapex*. Viši kompleksni viskozitet sa povećanjem temperature je u saglasnosti sa izraženijim porastom  $G'$  modula u odnosu na  $G''$  moduo sa porastom

temperature i govori u prilog sve izraženijih elastičnih karakteristika materijala. Sa ovom konstatacijom negativno koreliraju rezultati prvog dela istraživanja gde su oba silera pokazala najnižu dubinu prodora u dentinske tubule tehnikom tople vertikalne kompakcije (*DiaPen&DiaGun*) tokom koje gutaperka u kanalu dostiže temperaturu 65°C (*Sealapex* je pokazao višu dubinu prodora u dentinske tubule u odnosu na *EndoREZ*). Kompleksni viskoziteti silera *Sealapex* i *EndoREZ* su niži na 40°C u odnosu na 65°C što takođe negativno korelira sa prvim delom istraživanja gde je i dubina prodora silera u dentinske tubule tehnikom opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*), tokom koje gutaperka u kanalu dostiže temperaturu 40°C, bila viša u odnosu na grupu 24 i 34, *Sealapex/DiaPen&DiaGun* i *EndoREZ/DiaPen&DiaGun*. Vrednosti kompleksnih viskoziteta na temperaturama 25°C i 35°C su još niže za oba silera (na 25°C kompleksni viskoziteti su niži u odnosu na 35°C; kompleksni viskozitet silera *Sealapex* je niži u odnosu na *EndoREZ* na obe temperature) što takođe negativno korelira sa prvim delom istraživanja gde je i dubina prodora silera u dentinske tubule tehnikama opturacije sa hladnom gutaperkom (hladna lateralna kompakcija i monokona tehnika) bila viša. Na osnovu navedenog može se zaključiti da bi sileri *Sealapex* i *EndoREZ* bili adekvatan izbor kada se koriste tehnike opturacije hladnom gutaperkom. Porast viskoziteta silera *Sealapex* i *EndoREZ* sa povećanjem temperature ukazuje da bi se fluidne karakteristike silera, tečenje, mogle poboljšati mešanjem komponenti silera na ohlađenoj podlozi.

Korelacionom analizom, u odeljku 5.3, ustanovljena je jaka negativna korelacija između kompleksnog viskoziteta silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* i dubine prodora u dentinske tubule: opadanjem kompleksnog viskoziteta dubina prodora silera u dentinske tubule raste.

Tokom procesa opturacije, čak i u uslovima kada se ne koriste tehnike zagrejanom gutaperkom, sileri su izloženi temperaturnim promenama od ambijentalne do temperature usne duplje. U najvećem broju *in vitro* istraživanja svojstva endodontskih materijala su ispitivana na sobnoj temperaturi (23/25°C), izuzimajući činjenicu da je intrakanalna temperatura viša [51,52,101,172,173,197-199]. ISO standardom nije specifikovana temperatura za ispitivanje stomatoloških materijala u *in vitro* uslovima, iako se uticaj

temperature pokazao kao značajan faktor kada su u pitanju fizička i hemijska svojstva. Endodontske materijale bi trebalo ispitivati na realnoj intrakanalnoj temperaturi, usled različitog ponašanja u odnosu na sobnu temperaturu, što je prikazano u okviru ovog istraživanja, a takođe i u drugim [76,168,200]. *Sobhnamayan* i sar. su ustanovili manji stepen mikrocurenja (*dye penetration test*), viši prodor lateralnog kompaktera i veći broj ubačenih akcesornih gutaperka poena (hladna lateralna kompakcija) kada su kanali opturisani na intrakanalnoj (35°C) u odnosu na sobnu temperaturu (25°C) [168]. Prema literaturnim podacima, intrakanalna temperatura merena u *in vivo* uslovima kreće se između 31°C i 35°C [168,201,202]. Visina temperature varira u zavisnosti od vrste zuba, lokalizacije i ambijentalne temperature.

Razlike u ponašanju materijala na temperaturama 25°C (sobna temperatura) i 35°C (intrakanalna temperatura) su važne za poznavanje s obzirom na to da se sileri pripremaju na sobnoj temperaturi, zatim aplikuju u kanal i svoja svojstva dalje ispoljavaju na intrakanalnoj temperaturi. Potrebno je imati u vidu da sileri i nakon završenog postupka opturacije nastavljaju da teku, do momenta potpunog vezivanja koje se opet razlikuje u zavisnosti od vrste silera. Za očekivati je da će *AH Plus* i *Sealapex* duže teći i infiltrirati dentinske tubule s obzirom na duže vreme vezivanja u odnosu na *EndoREZ*.

Na osnovu rezultata ovog istraživanja razlike u kompleksnom viskozitetu ispitivanih silera na temperaturama 25°C i 35°C postoje, ali nisu statistički značajne. Dok *AH Plus* pokazuje niži viskozitet na intrakanalnoj temperaturi, *Sealapex* i *EndoREZ* pokazuju niži viskozitet na sobnoj temperaturi. *Lacey* i sar. su takođe ustanovili niži viskozitet silera *AH Plus* povećanjem temperature sa 25°C na 37°C bez statistički značajne razlike [75].

*Chang* i sar. su ispitujući uticaj temperature na hemijska svojstva silera konstatovali hemijske promene silera *AH Plus* na temperaturi između 120-130°C (*exothermic peak*); *Sealapex* nije pokazao bitnije promene hemijskog sastava na visokim temperaturama [87]. I u drugim istraživanjima su konstатовane hemijske promene silera *AH Plus* na visokim temperaturama; dolazi do dezintegracije poliamina (inicijatori polimerizacije) iz paste B

[132,133,138]. Ipak, treba imati na umu da sileri unutar kanala ne dostižu te temperature, jer iako displej toplotnog uređaja prikazuje temperature i do 200°C, gutaperka u kanalu dostiže značajno nižu temperaturu [19,119,124,132-134,141,143]. Poznavanje stvarne temperature koju gutaperka dostiže u kanalu kada se koriste tehnike opturacije zagrejanom gutaperkom važno je s obzirom na to da je uticaj toplote značajan faktor kada su u pitanju viskoelastična svojstva materijala. Zagrejana gutaperka prenosi toplotu na siler koji je okružuje. U okviru ove doktorske disertacije zaključeno je da gutaperka dostiže maksimalnih 65°C u kanalu kada se koristi tehnika tople vertikalne kompakcije (*DiaPen&DiaGun*) iako displej uređaja pokazuje 200°C. Tehnikom opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*) ona unutar kanala dostiže maksimalnih 40°C. To su najviše temperature koje se mogu preneti na siler i koje su korišćene u ovom istraživanju. Za očekivati je da će siler kao i dentin, imajući u vidu termičku provodljivost dentina, dodatno disipirati primljenu toplotu [133,145-147].

Vremenom, kompleksni viskoziteti ispitivanih silera rastu, što je u skladu sa reakcijom vezivanja materijala (*setting time reaction*). Opadanje kompleksnog viskoziteta sa vremenom je uočeno jedino kod silera *AH Plus* na temperturi 65°C, što na još jedan način ukazuje kako visoka temperatura deluje na viskozitet ovog materijala. *EndoREZ* je pokazao najizraženiji porast kompleksnog viskoziteta sa vremenom, što je i očekivano s obzirom na to da ima najkraće radno vreme, odnosno najbrže vreme vezivanja. Porast kompleksnog viskoziteta silera *EndoREZ* sa vremenom je posebno naglašen na temperaturi 65°C, što negativno korelira sa prvim delom istraživanja gde je i grupa 34, *EndoREZ/DiaPen&DiaGun*, tokom koje gutaperka u kanalu dostiže maksimalnih 65°C, pokazala statistički značajno nižu dubinu prodora u dentinske tubule u odnosu na ostale ispitivane grupe. Može se zaključiti da *EndoREZ* nije materijal izbora za vremenski zahtevne tehnike opturacije.

Upotrebom rezultata reoloških testova moguće je odrediti parametre modela viskoelastičnog tela. Dobijeni matematički model pogodan je za opisivanje stomatoloških viskoelastičnih materijala i predviđanje njihovog ponašanja u različitim kliničkim situacijama, kao što je urađeno u istraživanju *Petrovića* i sar. [150,151].

## 7. ZAKLJUČCI

Na osnovu prikazanih rezultata istraživanja mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Siler *AH Plus* daje višu dubinu prodora u dentinske tubule tehnikom tople vertikalne kompakcije (*DiaPen&DiaGun*) u odnosu na tehniku hladne lateralne kompakcije, monokonu tehniku i tehniku opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*).
- Tehnike opturacije silerom *AH Plus* koje primenjuju toplotu i pritisak daju značajno višu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na tehnike koje ne primenjuju.
- Siler *Sealapex* daje nižu dubinu prodora u dentinske tubule tehnikom tople vertikalne kompakcije (*DiaPen&DiaGun*) u odnosu na tehniku hladne lateralne kompakcije i tehniku opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*), dok u odnosu na monokonu tehniku opturacije razlika u dubini prodora nije značajna.
- Primena toplote i pritiska tokom opturacije silerom *Sealapex* nema značajnu ulogu u dubini prodora silera u dentinske tubule.
- Siler *EndoREZ* daje nižu dubinu prodora u dentinske tubule tehnikom tople vertikalne kompakcije (*DiaPen&DiaGun*) u odnosu na tehniku hladne lateralne kompakcije, monokonu tehniku i tehniku opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*). Monokona tehnika opturacije silerom *EndoREZ* daje višu dubinu prodora u dentinske tubule u odnosu na tehniku opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*).
- Tehnike opturacije silerom *EndoREZ* koje ne primenjuju toplotu i pritisak daju značajno višu dubinu prodora silera u dentinske tubule u odnosu na tehnike koje primenjuju.
- Ne postoji značajna razlika u dubini prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikom hladne lateralne kompakcije.

- Monokonom tehnikom opturacije siler *EndoREZ* daje višu dubinu prodora u dentinske tubule u odnosu na silere *AH Plus* i *Sealapex*.
- Ne postoji značajna razlika u dubini prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule tehnikom opturacije sa čvrstim nosačem gutaperke (*Thermafil*).
- Toplom vertikalnom kompakcijom (*DiaPen&DiaGun*) siler *AH Plus* daje najvišu dubinu prodora u dentinske tubule, zatim *Sealapex*, dok najnižu dubinu prodora daje *EndoREZ*.
- Dubina prodora silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* u dentinske tubule je najviša u koronarnoj trećini, zatim srednjoj, dok je najniža u apikalnoj trećini kanala korena.
- Sileri *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* ispoljavaju viskoelastični karakter sa dominantnim vrednostima elastičnog modula ( $G'$ ) u odnosu na vrednosti viskoznog modula ( $G''$ ), na svim zadatim temperaturama, u opsegu primenjenih frekvencija i napona smicanja.
- Sa porastom temperature, vrednosti elastičnog i viskoznog modula rastu za silere *Sealapex* i *EndoREZ*, dok za siler *AH Plus* opadaju.
- Kompleksni viskozitet silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* opada sa porastom frekvencije, na svim zadatim temperaturama.
- Kompleksni viskozitet raste sa porastom temperature za silere *Sealapex* i *EndoREZ*, dok za siler *AH Plus* opada.
- Na temperaturama 25°C i 35°C najvišu vrednost kompleksnog viskoziteta ima *EndoREZ*, zatim *AH Plus*, a najnižu vrednost ima *Sealapex*.
- Na temperaturi 40°C najvišu vrednost kompleksnog viskoziteta ima *EndoREZ*, dok poredeći druga dva silera, na nižim frekvencijama višu vrednost ima *Sealapex*, a na višim frekvencijama višu vrednost ima *AH Plus*.
- Na temperaturi 65°C najvišu vrednost kompleksnog viskoziteta ima *EndoREZ*, zatim *Sealapex*, a najnižu vrednost ima *AH Plus*.
- Postoji jaka negativna korelacija između kompleksnog viskoziteta silera *AH Plus*, *Sealapex* i *EndoREZ* i dubine prodora u dentinske tubule: opadanjem kompleksnog viskoziteta dubina prodora silera u dentinske tubule raste.



#### OPŠTI ZAKLJUČAK I KLINIČKI ZNAČAJ:

- Odabir endodontskog silera treba da je zasnovan na tehnici opturacije koja se primenjuje.



## 8. LITERATURA

1. Cantatore G, Berutti E, Castellucci A. Missed anatomy: frequency and clinical impact. *Endod Topics*. 2009;15:3–31.
2. Ørstavik D. Time-course and risk analyses of the development and healing of chronic apical periodontitis in man. *Int Endod J*. 1996;29:150–5.
3. Friedman S. Considerations and concepts of case selection in the management of post-treatment endodontic disease (treatment failure). *Endod Topics*. 2002;1:54–78.
4. Kirkevang LL, Horsted-Bindslev P. Technical aspects of treatment in relation to treatment outcome. *Endod Topics*. 2002;2:89–102.
5. Vertucci FJ. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endod Topics*. 2005;10:3–29.
6. Kirkham DB. The location and incidence of accessory pulpal canals in periodontal pockets. *J Am Dent Assoc*. 1975;91(2):353-6.
7. De Deus QD. Frequency, location, and direction of the lateral, secondary, and accessory canals. *J Endod*. 1975;1(11):361-6.
8. Rubach WC, Mitchell DF. Periodontal disease, accessory canals and pulp pathosis. *J Periodontol*. 1965;36:34-8.
9. Peters LB, van Winkelhoff AJ, Buijs JF, Wesselink PR. Effects of instrumentation, irrigation and dressing with calcium hydroxide on infection in pulpless teeth with periapical bone lesions. *Int Endod J*. 2002;35(1):13-21.
10. Heard F, Walton RE. Scanning electron microscope study comparing four root canal preparation techniques in small curved canals. *Int Endod J*. 1997;30(5):323-31.
11. Siqueira JF Jr, Araújo MC, Garcia PF, Fraga RC, Dantas CJ. Histological evaluation of the effectiveness of five instrumentation techniques for cleaning the apical third of root canals. *J Endod*. 1997;23(8):499-502.
12. Barkhordar RN, Stewart GG. The potential of periodontal pocket formation associated with untreated accessory canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1990;70,769–72.
13. Weine FS. The enigma of the lateral canal. *Dent Clin North Am*. 1984;28:833–52.

14. Love RM. Regional variation in root dentinal tubule infection by *Streptococcus gordonii*. *J Endod.* 1996;22(6):290-3.
15. Oguntebi BR. Dentine tubule infection and endodontic therapy implications. *Int Endod J.* 1994;27(4):218-22.
16. Delivanis PD, Mattison GD, Mendel RW. The survivability of F43 strain of *Streptococcus sanguis* in root canals filled with gutta-percha and Procosol cement. *J Endod.* 1983;9(10):407-10.
17. Dow PR, Ingle JI. Isotope determination of root-canal failure. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1955;8:1100-4.
18. ElDeeb ME. The sealing ability of injection-molded thermoplasticized gutta-percha. *J Endod.* 1985;11(2):84-6.
19. Schmalz G, Hörsted-Bindslev P. Root canal filling materials. U: Bergenholtz G, Bindslev PH, Reit C, urednici. *Textbook of Endodontology.* Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell; 2010. str. 193-218.
20. European Society of Endodontology. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J.* 2006;39(12):921-30.
21. Marković D. *Stomatološki leksikon.* Beograd: Stomatološki fakultet Univerziteta u Beogradu; 2009.str 577.
22. Venturi M, Di Lenarda R, Breschi L. An ex vivo comparison of three different gutta-percha cones when compacted at different temperatures: rheological considerations in relation to the filling of lateral canals. *Int Endod J.* 2006;39(8):648-56.
23. Camps JJ, Pertot WJ, Escavy JY, Pravaz M. Young's modulus of warm and cold gutta-percha. *Endod Dent Traumatol.* 1996;12:50-3.
24. Marciano J, Michalesco P. Dental gutta-percha: chemical composition, X-ray identification, enthalpic studies, and clinical implications. *J Endod.* 1989;15:149-53.
25. Schilder H. Filling the root canal in three dimensions. *Dent Clin North Am.* 1967;11:723-44.

26. Schilder H, Goodman A, Aldrich W. The thermomechanical properties of gutta-percha. III. Determination of phase transition temperatures for gutta percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1974;38:109–14.
27. Lea CS, Apicella MJ, Mines P, Yancich PP, Parker MH. Comparison of the obturation density of cold lateral compaction versus warm vertical compaction using the continuous wave of condensation technique. *J Endod.* 2005;31(1):37-9.
28. Venturi M, Breschi L. Evaluation of apical filling after warm vertical gutta-percha compaction using different procedures. *J Endod.* 2004;30(6):436-40.
29. Combe EC, Cohen BD, Cummings K. Alpha- and beta forms of gutta-percha in products for root canal filling. *Int Endod J.* 2001;34:447–51.
30. Friedman CE, Sandrik JL, Heuer MA, Rapp GW. Composition and physical properties of gutta-percha endodontic filling materials. *J Endod.* 1977;3:304–8.
31. Gurgel-Filho ED, Andrade Feitosa JP, Teixeira FB, Monteiro de Paula RC, Araujo Silva JB, Souza-Filho FJ. Chemical and X-ray analyses of five brands of dental gutta-percha cone. *Int Endod J.* 2003;36:302–7.
32. Tagger M, Gold A. Flow of various brands of gutta-percha cones under in vitro thermomechanical compaction. *J Endod.* 1988;14:115–20.
33. American Association of Endodontists. Obturation of root canal systems [internet]. 2009 [preuzeto 11.04.2016]. Dostupno na: <https://www.aae.org/>.
34. Kontakiotis EG, Wu MK, Wesselink PR. Effect of sealer thickness on long-term sealing ability: a 2-year follow-up study. *Int Endod J.* 1997;30:307–12.
35. Wu MK, Fan B, Wesselink PR. Diminished leakage along root canals filled with gutta-percha without sealer over time: a laboratory study. *Int Endod J.* 2000;33:121–5.
36. Wu MK, Van Der Sluis LW, Wesselink PR. Fluid transport along gutta-percha backfills with and without sealer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2004;97(2):257-62.
37. Schäfer E, Olthoff G. Effect of three different sealers on the sealing ability of both thermafil obturators and cold laterally compacted Gutta-Percha. *J Endod.* 2002;28(9):638-42.

38. Kontakiotis EG, Tzanetakis GN, Loizides AL. A comparative study of contact angles of four different root canal sealers. *J Endod.* 2007;33:299–302.
39. Gutmann JL, Witherspoon DE. Obturation of the cleaned and shaped root canal system. U: Cohens S, Burns RC, urednici. *Pathways of the Pulp.* St Louis, MO: Mosby, 2002. str. 293–364.
40. Kersten HW, Moorer WR. Particles and molecules in endodontic leakage. *Int Endod J.* 1989;22:118–24.
41. Branstetter J, von Fraunhofer JA. The physical properties and sealing action of endodontic sealer cements: A review of literature. *J Endod.* 1982;8:312–6.
42. Himel VT, McSpadden, Goodis HE. Instruments, materials and devices. U: Cohen S, Hargreaves KM, urednici. *Pathways of the pulp.* St. Louis, Mo.: Mosby Inc.; 2006. str. 265.
43. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M. Physical properties of 5 root canal sealers. *J Endod.* 2013;39(10):1281-6.
44. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res.* 1955;34(6):849-53.
45. Tidmarsh BG. Acid-cleansed and resin-sealed root canals. *J Endod.* 1978;4:117-21.
46. Pameijer CH, Zmener O. Resin materials for root canal obturation. *Dent Clin North Am.* 2010;54(2):325-44.
47. Perdigão J, Lopes MM, Gomes G. Interfacial adaptation of adhesive materials to root canal dentin. *J Endod.* 2007;33(3):259-63.
48. Bouillaguet S, Troesch S, Wataha JC, Krejci I, Meyer JM, Pashley DH. Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. *Dent Mater.* 2003;19(3):199-205.
49. Kim YK, Grandini S, Ames JM, Gu LS, Kim SK, Pashley DH, et al. Critical review on methacrylate resin-based root canal sealers. *J Endod.* 2010;36(3):383-99.
50. Schwartz RS. Adhesive dentistry and endodontics. Part 2: bonding in the root canal system-the promise and the problems: a review. *J Endod.* 2006;32(12):1125-34.
51. Mamootil K, Messer HH. Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and in vivo. *Int Endod J.* 2007;40(11):873-81.

52. De-Deus G, Brandão MC, Leal F, Reis C, Souza EM, Luna AS, et al. Lack of correlation between sealer penetration into dentinal tubules and sealability in nonbonded root fillings. *Int Endod J.* 2012;45(7):642-51.
53. Calt S, Serper A. Dentinal tubule penetration of root canal sealers after root canal dressing with calcium hydroxide. *J Endod.* 1999;25:431-3.
54. Kokkas AB, Boutsoukis AC, Vassiliadis LP, Stavrianos CK. The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study. *J Endod.* 2004;30:100-2.
55. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo MP, Orstavik D. Adhesion of endodontic sealers: scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy. *J Endod.* 2003;29:595-601.
56. White RR, Goldman M, Lin PS. The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by plastic filling materials. *J Endod.* 1984;10:558-62.
57. Wu MK, de Gee AJ, Wesselink PR. Effect of tubule orientation in the cavity wall on the seal of dental filling materials: an in vitro study. *Int Endod J.* 1998;31(5):326-32.
58. Whitworth J. Methods of filling root canals: principles and practices. *Endod Topics.* 2005;12(1):2-24.
59. Heling I, Chandler NP. The antimicrobial effect within dentinal tubules of four root canal sealers. *J Endod.* 1996;22(5):257-9.
60. Bitter K, Paris S, Martus P, Schartner R, Kielbassa AM. Laser Scanning Microscope investigation of different dental adhesives bonded to root canal dentine. *Int Endod J.* 2004;37:840-8.
61. De-Deus G, Gurgel Filho ED, Ferreira CM, Coutinho Filho T. Intratubular penetration of root canal sealers. *Pesqui Odontol Bras.* 2002;16:332-6.
62. De-Deus G, Gurgel-Filho ED, Maniglia-Ferreira C, Coutinho-Filho T. The influence of filling technique on depth of tubule penetration by root canal sealer: a study using light microscopy and digital image processing. *Aust Endod J.* 2004;30:23-8.
63. Engel GT, Goodell GG, Mcclanahan SB. Sealer penetration and apical microleakage in smear-free dentin after a final rinse with either 70% isopropyl alcohol or Peridex. *J Endod.* 2005;31:620-3.

64. Gharib SR, Tordik PA, Imamura GM, Baginski TA, Goodell GG. A confocal laser scanning microscope investigation of the epiphany obturation system. *J Endod.* 2007;33:957–61.
65. Jainan A, Palamara JEA, Messer HH. The effect of a resin-based sealer cement on micropunch shear strength of dentin. *J Endod.* 2008;34:1215–8.
66. Jainan A, Palamara JE, Messer HH. Effect of dentinal tubules and resin-based endodontic sealers on fracture properties of root dentin. *Dent Mater.* 2009;25(10):e73–81.
67. Karadag LS, Tinaz AC, Mihcioglu T. Influence of passive ultrasonic activation on the penetration depth of different sealers. *J Contemp Dent Pract.* 2004;5:115–25.
68. Lohbauer U, Nikolaenko SA, Petschelt A, Frankenberger R. Resin tags do not contribute to dentin adhesion in self-etching adhesives. *J Adhes Dent.* 2008;10:97–103.
69. Moon YM, Shon WJ, Baek SH, Bae KS, Kum KY, Lee W. Effect of final irrigation regimen on sealer penetration in curved root canals. *J Endod.* 2010;36:732–6.
70. Moradi S, Ghoddusi J, Forghani M. Evaluation of dentinal tubule penetration after the use of dentin bonding agent as a root canal sealer. *J Endod.* 2009;35:1563–6.
71. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Graeff MS, del Carpio Perochena A, Vivan RR, Camargo EJ, et al. Depth and percentage of penetration of endodontic sealers into dentinal tubules after root canal obturation using a lateral compaction technique: a confocal laser scanning microscopy study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108(3):450–7.
72. Patel DV, Sherriff M, Ford TR, Watson TF, Mannocci F. The penetration of RealSeal primer and Tubliseal into root canal dentinal tubules: a confocal microscopic study. *Int Endod J.* 2007;40:67–71.
73. Weis MV, Parashos P, Messer HH. Effect of obturation technique on sealer cement thickness and dentinal tubule penetration. *Int Endod J.* 2004;37:653–63.
74. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Bernardineli N, Graeff MS, Garcia RB, de Moraes IG, et al. A preliminary study of the percentage of sealer penetration in roots obturated with the Thermafil and RealSeal-1 obturation techniques in mesial root canals of mandibular molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108(6):961–8.



75. Sen BH, Piskin B, Baran N. The effect of tubular penetration of root canal sealers on dye microleakage. *Int Endod J.* 1996;29:23–8.
76. Lacey S, Pitt Ford TR, Yuan XF, Sherriff M, Watson T. The effect of temperature on viscosity of root canal sealers. *Int Endod J.* 2006;39(11):860-6.
77. Kouvas V, Liolios E, Vassiliadis L, Parissis-Messimeris S, Boutsoukias A. Influence of smear layer on depth of penetration of three endodontic sealers: an SEM study. *Endod Dent Traumatol.* 1998;14(4):191-5.
78. Okşan T, Aktener BO, Sen BH, Tezel H. The penetration of root canal sealers into dentinal tubules. A scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 1993;26(5):301-5.
79. White RR, Goldman M, Lin PS. The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by endodontic filling materials. Part II. *J Endod.* 1987;13(8):369-74.
80. Ørstavik D. Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing. *Endod Topics.* 2005;12(1):25-38.
81. Peters LB, Wesselink PR, Moorer WR. The fate and the role of bacteria left in root dentinal tubules. *Int Endod J.* 1995;28(2):95-9.
82. Balguerie E, van der Sluis L, Vallaey K, Gurgel-Georgelin M, Diemer F. Sealer penetration and adaptation in the dentinal tubules: a scanning electron microscopic study. *J Endod.* 2011;37(11):1576-9.
83. Osorio R, Erhardt MC, Pimenta LA, Osorio E, Toledano M. EDTA treatment improves resin-dentin bonds' resistance to degradation. *J Dent Res.* 2005;84(8):736-40.
84. Stevens RW, Strother JM, McClanahan SB. Leakage and sealer penetration in smear-free dentin after a final rinse with 95% ethanol. *J Endod.* 2006;32(8):785-8.
85. Torneck CD. Reaction of rat connective tissue to polyethylene tube implants. I. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1966;21(3):379-87.
86. Vujasković M, Teodorović N. Analysis of sealing ability of root canal sealers using scanning electronic microscopy technique. *Srp Arh Celok Lek.* 2010;138(11-12):694-8.
87. Chang SW, Lee YK, Zhu Q, Shon WJ, Lee WC, Kum KY, et al. Comparison of the rheological properties of four root canal sealers. *Int J Oral Sci.* 2015;23;7(1):56-61.

88. Duarte MA, Ordinola-Zapata R, Bernardes RA, Bramante CM, Bernardineli N, Garcia RB, de Moraes IG. Influence of calcium hydroxide association on the physical properties of AH Plus. *J Endod.* 2010;36(6):1048-51.
89. Ilić DV. The flow of two zinc oxide-eugenol-based endodontic sealers. *Vojnosanit Pregl.* 2013;70(1):21-5.
90. Brooke KK, Grace MG. Relationship of intracanal pressure with viscosity of endodontic sealer during warm Gutta-Percha vertical compaction. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000;89(5):618-22.
91. International Organization for Standardization. *Dentistry – Root Canal Sealing Materials. ISO 6876.* London, UK: British Standards Institution; 2012.
92. ADA American National Standards / American Dental Association. *ANSI /ADA Specification no. 57: Endodontic Sealing Material.* Chicago: American National Standards/American Dental Association; 2000.
93. Baldi JV, Bernardes RA, Duarte MA, Ordinola-Zapata R, Cavenago BC, Moraes JC, et al. Variability of physicochemical properties of an epoxy resin sealer taken from different parts of the same tube. *Int Endod J.* 2012;45(10):915-20.
94. Kuga MC, Faria G, Só MV, Keine KC, Santos AD, Duarte MA, et al. The impact of the addition of iodoform on the physicochemical properties of an epoxy-based endodontic sealer. *J Appl Oral Sci.* 2014;22(2):125-30.
95. Tanomaru-Filho M, Bosso R, Viapiana R, Guerreiro-Tanomaru JM. Radiopacity and flow of different endodontic sealers. *Acta Odontol Latinoam.* 2013;26(2):121-5.
96. Almeida JF, Gomes BP, Ferraz CC, Souza-Filho FJ, Zaia AA. Filling of artificial lateral canals and microleakage and flow of five endodontic sealers. *Int Endod J.* 2007;40(9):692-9.
97. Gambarini G, Testarelli L, Pongione G, Gerosa R, Gagliani M. Radiographic and rheological properties of a new endodontic sealer. *Aust Endod J.* 2006;32(1):31-4.
98. Fonzi M, Fonzi L, Lungarella G, Lafornera D, Bertelli E. [Biocompatibility and physico-mechanical properties of the new Venezia root canal sealer. In vivo and in vitro test according international standards]. [Italian]. *Minerva Stomatol.* 2001;50(3-4):91-100.

99. Siqueira FJ Jr, Fraga RC, Garcia PF. Evaluation of sealing ability, pH and flow rate of three calcium hydroxide-based sealers. *Endod Dent Traumatol.* 1995;11(5):225-8.
100. Ono K, Matsumoto K. Physical properties of CH61, a newly developed root canal sealer. *J Endod.* 1998;24(4):244-7.
101. Lacey S, Pitt Ford TR, Watson TF, Sherriff M. A study of the rheological properties of endodontic sealers. *Int Endod J.* 2005;38(8):499-504.
102. Beer R, Gängler P, Rupprecht B. Investigation of the canal space occupied by gutta-percha following lateral condensation and thermomechanical condensation. *Int Endod J.* 1987;20(6):271-5.
103. Jacobsen EL, BeGole EA. A comparison of four root canal obturation methods employing gutta-percha: a computerized analysis of the internal structure. *Endod Dent Traumatol.* 1992;8(5):206-12.
104. Liewehr FR, Kulild JC, Primack PD. Improved density of gutta-percha after warm lateral condensation. *J Endod.* 1993;19(10):489-91.
105. Peters DD. Two-year in vitro solubility evaluation of four Gutta-percha sealer obturation techniques. *J Endod.* 1986;12(4):139-45.
106. Brothman P. A comparative study of the vertical and the lateral condensation of gutta-percha. *J Endod.* 1981;7(1):27-30.
107. Clark DS, ElDeeb ME. Apical sealing ability of metal versus plastic carrier Thermafil obturators. *J Endod.* 1993;19(1):4-9.
108. Goldberg F, Artaza LP, De Silvio A. Effectiveness of different obturation techniques in the filling of simulated lateral canals. *J Endod.* 2001;27(5):362-4.
109. Wu MK, Wesselink PR. Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *Int Endod J.* 1993;26(1):37-43.
110. Ingle JE, Bakland LK. *Endodontics.* 5<sup>th</sup> ed. Hamilton. ON, Canada: BC Decker Inc. 2002
111. Ozok AR, van der Sluis LW, Wu MK, Wesselink PR. Sealing ability of a new polydimethylsiloxane-based root canal filling material. *J Endod.* 2008;34(2):204-7.
112. Brayton SM, Davis SR, Goldman M. Gutta-percha root canal fillings. An in vitro analysis. I. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1973;35(2):226-31.

113. Eguchi DS, Peters DD, Hollinger JO, Lorton L. A comparison of the area of the canal space occupied by gutta-percha following four gutta-percha obturation techniques using Procosol sealer. *J Endod.* 1985;11(4):166-75.
114. Wesselink P. Root filling techniques. U: Bergenholtz G, Bindsvlev PH, Reit C, urednici. *Textbook of Endodontology.* Chichster, West Sussex: Wiley-Blackwell; 2010. str. 219-32.
115. Beatty RG. The effect of standard or serial preparation on single cone obturation. *Int Endod J.* 1987;20(6):276-81.
116. Beer VR, Gängler P, Beer M. In-vitro Untersuchungen unterscheidlicher Wurzelkanalfülltechniken und -materialien. *Zahn- Mund- Kieferheilk.* 1986;74:800–6.
117. Cavenago BC, Duarte MA, Ordinola-Zapata R, Marciano MA, Carpio-Perochena AE, Bramante CM. Interfacial adaptation of an epoxy-resin sealer and a self-etch sealer to root canal dentin using the System B or the single cone technique. *Braz Dent J.* 2012;23(3):205-11.
118. ElAyouti A, Kiefner P, Hecker H, Chu A, Löst C, Weiger R. Homogeneity and adaptation of endodontic fillings in root canals with enlarged apical preparation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108(3):e141-6.
119. Chang J, Baek S, Lee IB. Rheological characterization of thermoplasticized injectable gutta percha and resilon. *J Korean Acad Conserv Dent.* 2011;36(5):377-384.
120. Alicia Karr N, Baumgartner JC, Marshall JG. A comparison of gutta-percha and Resilon in the obturation of lateral grooves and depressions. *J Endod* 2007;33:749-52.
121. Buchanan LS. The continuous wave of obturation technique: ‘Centered’ condensation of warm gutta percha in 12 seconds. *Dent Today.* 1996;15(1):60–7.
122. McSpadden JT. Self-study course for the thermatic condensation of gutta-percha. Toledo: Ramson and Randolph; 1980.
123. Jarrett IS, Marx D, Covey D, Karmazin M, Lavin M, Gound T. Percentage of canals filled in apical cross sections - an in vitro study of seven obturation techniques. *Int Endod J.* 2004;37(6):392-8.
124. Silver GK, Love RM, Purton DG. Comparison of two vertical condensation obturation techniques: Touch 'n Heat modified and System B. *Int Endod J.* 1999;32(4):287-95.

125. Jurcak JJ, Weller RN, Kulild JC, Donley DL. In vitro intracanal temperatures produced during warm lateral condensation of Gutta-percha. *J Endod.* 1992;18(1):1-3.
126. Goodman A, Schilder H, Aldrich W. The thermomechanical properties of gutta-percha. II. The history and molecular chemistry of gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1974;37(6):954-61.
127. Goodman A, Schilder H, Aldrich W. The thermomechanical properties of gutta-percha. Part IV. A thermal profile of the warm gutta-percha packing procedure. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1981;51(5):544-51.
128. Venturi M, Pasquantonio G, Falconi M, Breschi L. Temperature change within gutta-percha induced by the System-B Heat Source. *Int Endod J.* 2002;35(9):740-6.
129. Schilder H, Goodman A, Aldrich W. The thermomechanical properties of gutta-percha. Part V. Volume changes in bulk gutta-percha as a function of temperature and its relationship to molecular phase transformation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1985;59(3):285-96.
130. Cohen BD, Combe ED, Lilley JD. Effect of thermal placement techniques on some physical properties of gutta-percha. *Int Endod J.* 1992;25(6):292-6.
131. Blum JY, Parahy E, Machtou P. Warm vertical compaction sequences in relation to gutta-percha temperature. *J Endod.* 1997;23(5):307-11.
132. Viapiana R, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M, Camilleri J. Investigation of the effect of sealer use on the heat generated at the external root surface during root canal obturation using warm vertical compaction technique with System B heat source. *J Endod.* 2014;40(4):555-61.
133. Viapiana R, Baluci CA, Tanomaru-Filho M, Camilleri J. Investigation of chemical changes in sealers during application of the warm vertical compaction technique. *Int Endod J.* 2015;48(1):16-27.
134. Cumbo E, Russo R, Gallina G. System B, Endo-Twinn and E-Fill. True temperatures inside the canal. *J Conserv Dent.* 2012;15(4):342-5.
135. Goodman A, Schilder H, Aldrich W. The thermomechanical properties of gutta-percha. Part IV. A thermal profile of the warm gutta-percha packing procedure. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1981;51(5):544-51.

136. Gurney BF, Best EJ, Gervasio G. Physical measurements on gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971;32(2):260-70.
137. Donley DL, Weller RN, Kulild JC, Jurcak JJ. In vitro intracanal temperatures produced by low- and high-temperature thermoplasticized injectable Gutta-percha. *J Endod.* 1991;17(7):307-9.
138. Camilleri J. Sealers and warm gutta-percha obturation techniques. *J Endod.* 2015;41(1):72-8.
139. Eriksson AR, Albrektsson T. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. *J Prosthet Dent.* 1983;50(1):101-7.
140. Molyvdas I, Zervas P, Lambrianidis T, Veis A. Periodontal tissue reactions following root canal obturation with an injection-thermoplasticized gutta-percha technique. *Endod Dent Traumatol.* 1989;5(1):32-7.
141. Gutmann JL, Creel DC, Bowles WH. Evaluation of heat transfer during root canal obturation with thermoplasticized gutta-percha. Part I. In vitro heat levels during extrusion. *J Endod.* 1987;13(8):378-83.
142. Gutmann JL, Rakusin H, Powe R, Bowles WH. Evaluation of heat transfer during root canal obturation with thermoplasticized gutta-percha. Part II. In vivo response to heat levels generated. *J Endod.* 1987;13(9):441-8.
143. Saunders EM. In vivo findings associated with heat generation during thermomechanical compaction of gutta-percha. Part II. Histological response to temperature elevation on the external surface of the root. *Int Endod J.* 1990;23(5):268-74.
144. Weller RN, Koch KA. In vitro radicular temperatures produced by injectable thermoplasticized gutta-percha. *Int Endod J.* 1995;28(2):86-90.
145. Soyenkoff BC, Okun JH. Thermal conductivity measurements of dental tissues with the aid of thermistors. *J Am Dent Assoc.* 1958;57(1):23-30.
146. Heithersay GS, Braennstroem M. Observations on heat-transmission experiments with dentin. 1. Laboratory study. *J Dent Res.* 1963;42:1140-5.
147. Brown WS, Dewey WA, Jacobs HR. Thermal properties of teeth. *J Dent Res.* 1970;49(4):752-5.

148. Fors U, Jonasson E, Berquist A, Berg JO. Measurements of the root surface temperature during thermo-mechanical root canal filling in vitro. *Int Endod J.* 1985;18(3):199-202.
149. Tanner RI, Walters K. *Rheology: An historical Perspective.* 1<sup>st</sup> ed. Amsterdam: Elsevier; 1998.
150. Petrovic LM, Zorica DM, Stojanac ILj, Krstonosic VS, Hadnadjev MS, Atanackovic TM. A model of the viscoelastic behavior of flowable resin composites prior to setting. *Dent Mater.* 2013;29(9):929-34.
151. Petrovic LM, Zorica DM, Stojanac ILj, Krstonosic VS, Hadnadjev MS, Janev MB, Premovic MT, Atanackovic TM. Viscoelastic properties of uncured resin composites: Dynamic oscillatory shear test and fractional derivative model. *Dent Mater.* 2015;31(8):1003-9.
152. Bagley RL, Torvik PJ. On the fractional calculus model of viscoelastic behavior. *J Rheology.* 1986;30(1):133-155.
153. Dapčević Hadnađev T. Uticaj dodatka emulgujućih skrobova na tehnološke karakteristike testa i kvalitet hleba [doktorska disertacija]. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet; 2013.
154. Barnes HA, Hutton JF, Walters K. *An introduction to rheology.* New York: Elsevier; 1989.
155. Kaplan AE, Ormaechea MF, Picca M, Canzobre MC, Ubios AM. Rheological properties and biocompatibility of endodontic sealers. *Int Endod J.* 2003;36(8):527-32.
156. Jacobsen PH, Whiting R, Richardson PC. Viscosity of setting anterior restorative materials. *Br Dent J.* 1977;143(12):393-6.
157. Watts DC. Elastic moduli and visco-elastic relaxation. *J Dent.* 1994;22(3):154-8.
158. Craig RG, Powers JM. *Restorative dental materials.* 11<sup>th</sup> ed. St. Louis: Mosby; 2002.
159. Duran RL, Powers JM, Craig RG. Viscoelastic and dynamic properties of soft liners and tissue conditioners. *J Dent Res.* 1979;58(8):1801-7.

160. Ellakwa A, Cho N, Lee IB. The effect of resin matrix composition on the polymerization shrinkage and rheological properties of experimental dental composites. *Dent Mater.* 2007;23(10):1229-35.
161. Lee IB, Min SH, Kim SY, Ferracane J. Slumping tendency and rheological properties of flowable composites. *Dent Mater.* 2010;26(5):443-8.
162. Kim MH, Min SH, Ferracane J, Lee IB. Initial dynamic viscoelasticity change of composites during light curing. *Dent Mater.* 2010;26(5):463-70.
163. Beun S, Bailly C, Dabin A, Vreven J, Devaux J, Leloup G. Rheological properties of experimental Bis-GMA/TEGDMA flowable resin composites with various macrofiller/microfiller ratio. *Dent Mater.* 2009;25(2):198-205.
164. German MJ, Carrick TE, McCabe JF. Surface detail reproduction of elastomeric impression materials related to rheological properties. *Dent Mater.* 2008;24(7):951-6.
165. Al-Ahdal K, Silikas N, Watts DC. Rheological properties of resin composites according to variations in composition and temperature. *Dent Mater.* 2014;30(5):517-24.
166. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1984;58(5):589-99.
167. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971;32:271-75.
168. Sobhnamayan F, Sahebi S, Moazami F, Borhanhaghghi M. Comparison of Apical Sealing Ability of Lateral Condensation Technique in Room and Body- Simulated Temperatures (An in vitro study). *J Dent (Shiraz).* 2013;14(1):25-30.
169. Goldberg F, Artaza LP, De Silvio AC. Influence of calcium hydroxide dressing on the obturation of simulated lateral canals. *J Endod.* 2002;28:99-101.
170. Moraes FG, Bramante CM, Moraes IG, Carneiro E, Menezes R. Influence of the EDTA, ND:YAG Laser and association of both on the filling of artificial lateral root canals. *J Appl Oral Sci.* 2004;12:22-6.
171. Pecora JD, Ribeiro RG, Guerisoli DM, Barbizam JV, Marchesan MA. Influence of the spatulation of two zinc oxideeugenol-based sealers on the obturation of lateral canals. *Pesqui Odontol Bras.* 2002;16:127-30.



172. Rouhani A, Ghoddusi J, Naghavi N, Al-Lawati G. Scanning electron microscopic evaluation of dentinal tubule penetration of Epiphany in severely curved root canals. *Eur J Dent.* 2013;7(4):423-8.
173. Castelo-Baz P, Martin-Biedma B, Lopes MM, Pires-Lopes L, Silveira J, López-Rosales E, et al. Ultramicroscopic study of the interface and sealing ability of four root canal obturation methods: Resilon versus gutta-percha. *Aust Endod J.* 2013;39(3):159-63.
174. Tay FR, Gutmann JL, Pashley DH. Microporous, demineralized collagen matrices in intact radicular dentin created by commonly used calcium-depleting endodontic irrigants. *J Endod.* 2007;33(9):1086-90.
175. Vassiliadis LP, Sklavounos SA, Stavrianos CK. Depth of penetration and appearance of Grossman sealer in the dentinal tubules: an in vivo study. *J Endod.* 1994;20(8):373-6.
176. Kataoka H, Yoshioka T, Suda H, Imai Y. Dentin bonding and sealing ability of a new root canal resin sealer. *J Endod.* 2000;26(4):230-5.
177. Kara Tuncer A. Effect of QMix 2in1 on sealer penetration into the dentinal tubules. *J Endod.* 2015;41(2):257-60.
178. Sevimay S, Kalayci A. Evaluation of apical sealing ability and adaptation to dentine of two resin-based sealers. *J Oral Rehabil.* 2005;32(2):105-10.
179. Goldstein J, Newbury DE, Echlin P, Joy DC, Romig Jr AD, Lyman CE, et al. Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis: a text for biologists, material scientist, and geologists. Springer Science & Business Media; 2012 Dec 6.
180. DeLong A. Electron sources for electron microscopes. *Eur Microsc Anal.* 1993:9–11.
181. Mannocci F, Innocenti M, Ferrari M. Stereomicroscopic and scanning electron microscopic study of roots obturated with vertically condensed gutta-percha, epoxy resin cement, and dentin bonding agent. *J Endod.* 1998;24(6):397-400.
182. Gwinnett AJ. A method for demonstrating resin penetration into dentin. *J Dent Res.* 1977;56(11):1364.
183. Chandra SS, Shankar P, Indira R. Depth of penetration of four resin sealers into radicular dentinal tubules: a confocal microscopic study. *J Endod.* 2012;38(10):1412-6.

184. Carrigan PJ, Morse DR, Furst ML, Sinai IH. A scanning electron microscopic evaluation of human dentinal tubules according to age and location. *J Endod.* 1984;10(8):359-63.
185. Mjör IA, Smith MR, Ferrari M, Mannocci F. The structure of dentine in the apical region of human teeth. *Int Endod J.* 2001;34(5):346-53.
186. O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JC. A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *J Endod.* 2000;26(12):739-43.
187. Saraf-Dadpe A, Kamra AI. A scanning electron microscopic evaluation of the penetration of root canal dentinal tubules by four different endodontic sealers: A zinc oxide eugenol-based sealer, two resin-based sealers and a Polydimethylsiloxane-based sealer: An in vitro study. *Endodontology.* 2012;24(2):50-3.
188. Tay FR, Loushine RJ, Monticelli F, Weller RN, Breschi L, Ferrari M, Pashley DH. Effectiveness of resin-coated gutta-percha cones and a dual-cured, hydrophilic methacrylate resin-based sealer in obturating root canals. *J Endod.* 2005;31(9):659-64.
189. Shokouhinejad N, Sabeti M, Gorjestani H, Saghiri MA, Lotfi M, Hoseini A. Penetration of Epiphany, Epiphany self-etch, and AH Plus into dentinal tubules: a scanning electron microscopy study. *J Endod.* 2011;37(9):1316-9.
190. Ahlberg KM, Tay WM. A methacrylate-based cement used as a root canal sealer. *Int Endod J.* 1998;31(1):15-21.
191. Sen BH, Wesselink PR, Türkün M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J.* 1995;28(3):141-8.
192. Garrido AD, Lia RC, França SC, da Silva JF, Astolfi-Filho S, Sousa-Neto MD. Laboratory evaluation of the physicochemical properties of a new root canal sealer based on Copaifera multijuga oil-resin. *Int Endod J.* 2010;43(4):283-91.
193. Scelza MZ, Linhares AB, da Silva LE, Granjeiro JM, Alves GG. A multiparametric assay to compare the cytotoxicity of endodontic sealers with primary human osteoblasts. *Int Endod J.* 2012;45(1):12-8.
194. Tay FR, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Pashley DH, Mak YF, Lai CN, Raina R, Williams MC. Ultrastructural evaluation of the apical seal in roots filled with a polycaprolactone-based root canal filling material. *J Endod.* 2005;31(7):514-9.

195. Gesi A, Raffaelli O, Goracci C, Pashley DH, Tay FR, Ferrari M. Interfacial strength of Resilon and gutta-percha to intraradicular dentin. *J Endod.* 2005;31(11):809-13.
196. Sadeghi S, Sadeghi HH. Density and apical sealing ability of lateral compaction using two different spreaders and vertical compaction using BeeFill device. *Iran Endod J.* 2009;4(1):10-4.
197. Dadresanfar B, Khalilak Z, Shiekholeslami M, Afshar S. Comparative study of the sealing ability of the lateral condensation technique and the BeeFill system after canal preparation by the Mtwo NiTi rotary system. *J Oral Sci.* 2010;52(2):281-5.
198. De Deus G, Murad CF, Reis CM, Gurgel-Filho E, Coutinho Filho T. Analysis of the sealing ability of different obturation techniques in oval-shaped canals: a study using a bacterial leakage model. *Braz Oral Res.* 2006;20(1):64-9.
199. De-Deus G, Reis C, Beznos D, de Abranches AM, Coutinho-Filho T, Paciornik S. Limited ability of three commonly used thermoplasticized gutta-percha techniques in filling oval-shaped canals. *J Endod.* 2008;34(11):1401-5.
200. Rai RU, Singbal KP, Parekh V. The effect of temperature on rheological properties of endodontic sealers *J Conserv Dent.* 2016;19(2):116-9.
201. Cunningham WT, Balekjian AY. Effect of temperature on collagen-dissolving ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1980;49(2):175-7.
202. de Hemptinne F, Slaus G, Vandendael M, Jacquet W, De Moor RJ, Bottenberg P. In Vivo Intracanal Temperature Evolution during Endodontic Treatment after the Injection of Room Temperature or Preheated Sodium Hypochlorite. *J Endod.* 2015;41(7):1112-5.
203. Uhrich JM, Moser JB, Heuer MA. The rheology of selected root canal sealer cements. *J Endod.* 1978;4(12):373-9.