



Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје



Стоматолошки факултет

д-р Фјола Мехмед

**ХЕМИСКИ И МЕХАНИЧКИ СВОЈСТВА НА
АЛКАЗИТЕН РЕСТАВРАТИВЕН МАТЕРИЈАЛ**

- магистерски труд -

Ментор:

проф. д-р Елизабета Ѓоргиевска

Февруари 2026



University "Ss. Cyril and Methodius" – Skopje

Faculty of Dental Medicine



D-r Fjolla Mehmed

**CHEMICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF AN
ALCASITE RESTORATIVE MATERIAL**

Master's thesis

Supervisor

Prof. d-r Elizabeta Gjorgievska

February, 2026

СОДРЖИНА

АПСТРАКТ	4
ABSTRACT.....	5
ВОВЕД.....	6
ПРЕГЛЕД ОД ЛИТЕРАТУРАТА.....	9
ЦЕЛИ НА ТРУДОТ	19
МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДИ.....	20
РЕЗУЛТАТИ	25
ДИСКУСИЈА	63
ЗАКЛУЧОЦИ	70
КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА.....	72

АПСТРАКТ

Вовед: Композитите и глас-јономер цементите се најчесто користени стоматолошки материјали за директни реставрации. Во последно време се јавуваат нов тип материјали (познати и како „паметни материјали“) со својства за ослободување јони, под различни имиња, но има малку студии за нив и објаснувања за нивниот хемиски состав.

Цел: Целта на оваа студија беше да се споредат механичките својства на новиот комерцијален дентален реставративен материјал (алказит) изразени преку компресивната цврстина со глас-јономер цемент и композит; да се утврдат хемиските својства преку испитување на структурата на алказитните материјали и со добиените резултати да се направи компарација на алказитите со преостанатите репрезентативни реставративни материјали (композити и глас-јономер цемента).

Материјал и методи: Во оваа студија беа тестирани алказит (Cention® Forte Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein), глас-јономер цемент (Fuji IX GP® IX IX GP®, Co, Tokyo, Japan) и композит (Tetric EvoCeram®, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein). Од секој материјал беа подготвени по шест цилиндрични примероци со димензии 4 мм во дијаметар и 6 мм во висина, што резултира со вкупно 18 примероци. Тестот за компресивна цврстина беше изведен со апаратот Tinius Olsen Hounsfield, UK. Фрактурите површини беа набљудувани под скенинг електронски микроскоп - Field Emission gun scanning electron microscope (FEG-SEM Hitachi SU 8030, Japan).

Резултати: Резултатите покажаа дека композитниот материјал Tetric EvoCeram® оствари највисоки вредности на компресивна сила во споредба со преостанатите испитувани материјали, додека Cention® Forte покажа средни вредности, значително повисоки од глас-јономерниот цемент Fuji IX GP®, кој имаше најниска компресивна издржливост. Полуквантитативната EDX анализа потврди различен елементален состав и карактеристична распределба на неорганските полимери кај испитуваните материјали.

Заклучок: Алказитниот материјал Cention® Forte покажува поволни механички и хемиски карактеристики, со компресивна јачина повисока од глас-јономерниот цемент и со карактеристичен елементален состав, што го позиционира како соодветна современа реставративна алтернатива со комбинирани механички и биоактивни својства.

Клучни зборови: алказит, глас-јономер цемент, композит

ABSTRACT

Introduction: Composite resins and glass ionomer cements are the most commonly used dental materials for direct restorations. Recently, new materials (also referred to as “smart materials”) with ion-releasing properties have been introduced under various names; however, there are still limited studies and explanations regarding their chemical composition.

Aim: The aim of this study was to compare the mechanical properties of a new commercial dental restorative material (alkasite), expressed through compressive strength, with those of a glass ionomer cement and a composite resin; to determine the chemical properties through structural analysis of alkasite materials; and, based on the obtained results, to perform a comparison between alkasites and other representative restorative materials (composites and glass ionomer cements).

Materials and Methods: In this study, an alkasite material (Cention® Forte, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein), a glass ionomer cement (Fuji IX GP®, GC Co., Tokyo, Japan), and a composite resin (Tetric EvoCeram®, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) were tested. Six cylindrical specimens were prepared from each material, with dimensions of 4 mm in diameter and 6 mm in height, resulting in a total of 18 specimens. Compressive strength testing was performed using a Tinius Olsen Hounsfield testing machine (UK). The fractured surfaces were examined using a Field Emission Gun Scanning Electron Microscope (FEG-SEM Hitachi SU 8030, Japan).

Results: The results showed that the composite material Tetric EvoCeram® demonstrated the highest compressive strength compared to the other tested materials, while Cention® Forte exhibited intermediate values, significantly higher than the glass ionomer cement Fuji IX GP®, which showed the lowest compressive resistance. Semi-quantitative EDX analysis confirmed differences in elemental composition and characteristic inorganic filler distribution among the tested materials.

Conclusion: The alkasite material Cention® Forte demonstrates favorable mechanical and chemical characteristics, with higher compressive strength than glass ionomer cement and a characteristic elemental composition, supporting its role as a suitable modern restorative alternative with combined mechanical and bioactive properties.

Key words: alkasite, glass ionomer cement, composite

ВОВЕД

Во последниве години, при унапредувањето на материјалите во реставративната стоматологија акцентот постепено се префрли од „биокомпатибилност“ кон „биоактивност“. Со напредокот на минимално инвазивната стоматологија научниот интерес за реставративни материјали кои предизвикуваат ослободување на јони, исто така, се зголемува¹⁻⁵. Материјалите за реставрација треба да поседуваат антикариогени и реминерализирачки својства, а притоа да ја задржат нивната стабилност со текот на времето и отпорноста на оклузално оптоварување, термички промени и ензимски влијанија во усната шуплина. Глас-јономер цементите беа првите стоматолошки реставративни материјали способни да задоволат некои од својствата што се посакувани за биоактивен реставративен материјал³.

Композитите, првиот избор на материјал за реставрација на постериорните заби, сè уште поседуваат недостатоци, вклучувајќи ги нивната полимеризациона контракција и потенцијален неуспех на интерфејсот смола-дентин што доведува до секундарен кариес. Заштедата на време при нивната апликација и поедноставувањето на реставративните процедури се во постојана побарувачка кога станува збор за постериорните композити. Т.н. “Bulk-fill” (дебелослојни) композити се развиени со обид да се забрза процесот на реставрацијата со овозможување зголемување до 4 или 5 mm дебелина на слој да се полимеризира во еден чекор⁶.

Неодамна на пазарот се појавија нова класа материјали кои ослободуваат јони базирани на смола, наречени алказити⁷. Алказитниот реставративен материјал е нова категорија на материјал за полнење што е класифициран како подгрупа на композитите. Производителот Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein, тврди дека главната предност на алказитите е тоа што ослободуваат калциум, како и хидроксилни и флуоридни јони од неговото алкално полнило (калциум флуоросиликатно стакло)⁸. Хидроксилните јони присутни на површината на материјалот може да играат важна улога во неутрализирањето на киселините произведени од кариогените бактерии⁹. Понатаму, се претпоставува дека ослободувањето јони на калциум и флуорид од полнилата придонесува за реминерализација и има антикариоген ефект⁸. Калциумот е неопходен за реминерализација, а флуоридот игра важна улога во забрзувањето на овој процес¹⁰. Станува збор за биоактивен реставративен материјал, со ниско ниво на полимеризациона контракција. Понатаму, се тврди дека хидроксилните јони ослободени од алказитите имаат заштитен тампонирачки капацитет да ги

неутрализираат кариогените киселини. Овој материјал може да се користи со или без атхезиви¹¹.

Во првата генерација на алказити спаѓа Cention® N, реставративен материјал кој ја одразува оваа категорија на материјали за полнење како подгрупа на композитите, поточно, самополимеризирачки материјал базиран на UDMA (Urethane dimetacrylate) со опционо дополнително светлосно-полимеризирачко врзување, а се состои од прашок и течна компонента. Течноста е составена од диметакрилати и иницијатори, а прашокот се состои од стаклени полнила, иницијатори и пигменти. Cention® N вклучува полимерична мрежа со висока густина и степен на полимеризација во текот на целата длабочина на реставрацијата поради нејзините вкрстени метакрилатни мономерии комбинирани со стабилен иницијатор за самополимеризирање¹²⁻¹³.

Овој материјал може да се користи со или без апликација на атхезив во зависност од ретенционите карактеристики на препарираниот заб. Тоа е самоврзувачки материјал чие стврднување може да се забрза со лесно светлосно полимеризирање. Дополнително, тоа е радиоопакен материјал и содржи алкални глас-филтри, односно стаклено полнило со способност за испуштање калциум, флуориди и хидроксилни јони. Покажува висока густина на полимеричната мрежа и степен на полимеризација во целата длабочина на реставрацијата поради вкрстеното поврзување на метакрилатните мономерии во комбинација со стабилен, ефикасен самоврзувачки иницијатор³⁹.

Степенот на успешност на реставративниот третман зависи од физичките, биолошките и патофизиолошките принципи, како и од темелното познавање на механичките и хемиските својства на забните ткива и материјали.

Степенот на успешност на реставративниот третман зависи од физичките, биолошките и патофизиолошките принципи, како и од темелното познавање на механичките и хемиските својства на забните ткива и материјали.

Една *in vitro* студија дошла до заклучок дека Cention® N може да се користи за кавитети од V класа бидејќи на тој начин би се превенирало создавање на кариес на маргините од реставрацијата преку ослободувањето јони на калциум и флуор.

Други разни студии, исто така, покажале дека Cention® N има значително повисока компресивна, истегнувачка и атхезивна моќ споредено со глас-јономер цементите⁴⁰.

Оваа студија има цел да ги утврди хемиските и механичките својства на новата генерација алказитни материјали (Cention® Forte) и да ги спореди резултатите со перформансите на другите стоматолошки материјали.

ПРЕГЛЕД ОД ЛИТЕРАТУРАТА

Композитите се едни од најкористените реставративни материјали поради релативно добрите механички и естетски својства. Тие главно се составени од органска матрица и честички за полнење, меѓутоа, на пазарот се воведени различни формулации уште од нивното прво претставување. Cention® N (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) е еден од новововедените материјали со боја на забите и е класифициран како „алказит“ кој е означен како подгрупа на композитни материјали. Сепак, тој е способен да ослободува флуорид, калциум и хидроксилни јони, што резултира со антикариоген потенцијал. Бидејќи има можност за двојно врзување, може да се користи како дебелослоен (“bulk-fill”) материјал¹⁴.

Алказитните материјали се подгрупа на смолести материјали со двојно врзување, кои се достапни во формулација на база/катализатор. Основата (прав) содржи стаклени полнила, пигменти и иницијатори за полимеризација, додека катализаторот (течноста) содржи метакрилати и иницијатори за полимеризација¹⁵.

Конкретно, *метакрилатите* содржани во течната компонента се:

- Уретан-диметакрилат (UDMA): главна компонента, која ги обезбедува основните механички својства на материјалот;
- Трициклодекандиметанол-диметакрилат (DCP): овозможува манипулирање со материјалот и мешање на двете компоненти и ги подобрува механичките својства на материјалот;
- Тетраметил-ксилилен-диуретан диметакрилат (ароматско-алифатичен UDMA): ја намалува варијацијата на бојата на материјалот со текот на времето и ја зголемува еластичноста;
- Полиетилен гликол 400 диметакрилат (PEG-400 DMA) е течен мономер кој ги зголемува вискозноста на материјалот и способноста за врзување за површината на дентинот и емајлот¹⁵.

Полнилата содржани во прашокот, кои се околу 78,4 % од волуменот на материјалот:

- Алуминосиликат (Al_2SiO_5) и бариум (Ba), кои ја зголемуваат цврстината на материјалот;

- Итербиум трифлуорид (YbF₃), кој обезбедува радиопакност;
- Изофилер: изработен од претходно полимеризирани UDMA фрагменти, ја намалува полимеризационата контракција;
- Калциум, бариум и алуминиумски флуоросиликатни стакла, ја зголемуваат цврстината додека обезбедуваат ослободување на флуор;
- Калциумфлуоросиликатно стакло: ослободува основни јони (F⁻, Ca²⁺, OH⁻) и претставува 24,6 % од волуменот на материјалот¹⁵.

За да се атхерира на подготвениот кавитет, не е потребно нагризување, додека употребата на атхезив се предлага во случај на неретентивна форма на кавитетот. Овој материјал има способност да ослободува јони кога плунката ќе достигне кисела рН-вредност (т.е. за време и по оброците), спречувајќи ја деминерализацијата на забното ткиво и спротивставувајќи се на киселинските напади од бактериите. Овој ефект е сличен на оној типичен за биоактивни композитни смоли¹⁴.

Cention® N е реставративен материјал со фотоиницијатори и хемиски катализатори кои овозможуваат механизам за полимеризација со двојно стврдување. Овој материјал ослободува Ca²⁺, F⁻ и (PO₄)₃ јони во неутрални и кисели услови, што доведува до формирање на апатит на неговата површина. Серија студии на Раг и сор. покажаа дека Cention® N има способност за неутрализирање на киселините и спречува деминерализација на емајлот и дентинот кога е подложен на млечна киселина во подолг период. Во моментот, овој материјал се смета за единствен вистински комерцијално достапен биоактивен композит¹⁶⁻¹⁹.

Во студијата на Wiriyasatiankun и сор. е истражуван ефектот на реставративниот материјал алказит врз рН-вредноста на биофилмот кој содржи *Streptococcus Mutans* и цврстината на дентинот. Оваа лабораториска студија открила дека Cention® N има капацитет да ја зголеми рН-вредноста на биофилмот и цврстината на деминерализираниот дентин повеќе отколку Filtek™ Z350. Ова се објаснува со ослободувањето на јони. Ослободувањето на хидроксид, флуорид и јони на калциум во студијата е значително повисоко од Cention® N отколку од Filtek™ Z350 во сите временски интервали (6 часа, 1, 3, 7, 14 и 28 дена), што сугерира дека алкалното стакло за полнење (калциум флуоро-силикатно стакло) е одговорно (13) за значителното ниво на ослободување јони од Cention® N. Резултатите од оваа студија сугерираат дека Cention® N има потенцијал да ја намали инциденцијата на секундарен кариес, што е главна причина за неуспех на реставративниот третман. Меѓутоа, бидејќи различни фактори влијаат врз оваа

способност, понатамошно истражување треба да се спроведе во клиничка средина²⁰.

Целта на студијата на Motevasselian и сор. е проценка на ефектот на *in vitro* микропропустливоста на Cention® N, кој беше споредлив со конвенционалните композити на рабовите на емајлот и дентинот; сепак, но покажува значително пониски резултати за истекување од глас-јономер цементите модифицирани со смола²¹.

Сепак, студијата на Patit & Vinier покажува најмалку микропропустливост и на оклузалната и на цервикалната површина кај Cention® N во споредба со глас-јономер цементите²⁴.

Контаминацијата на површините на кавитетот со плунка, крв и сл. е најчестиот фактор што негативно влијае врз атхезијата, издржливоста на врската и долговечноста на реставрацијата²³. Во студијата на Natirli и сор. се проценува ефектот на контаминација со плунка врз микропропустливоста на реставративниот материјал со алказит, високовискозен глас-јономер цемент и нанополнет композит, при што заклучок е дека реставративните материјали со алказит, аплицирани со или без атхезив, покажуваат помала микропропустливост од високовискозниот глас-јономер цемент и во двете групи (контаминирани и неконтаминирани со плунка)²³.

Во современата стоматолошка ординација достапни се многу материјали за директно полнење, од амалгами до модерни композити. За долговечноста на реставративниот материјал, многу фактори играат важна улога. Цврстината е еден од важните критериуми. Материјалот за реставрација треба да обезбеди доволна цврстина на истегнување и притисок за да се спротивстави на повеќенасочните сили за цвакање во долг временски интервал.

Abhishek Mishra и сор. ги споредуваат механичките својства на Cention® N со други реставративни материјали, имено глас-јономер цементи, сребрен амалгам и композит; при што цврстината на Cention® N била помала од композитот и амалгамот, но повисока од глас-јономер цементот. Јачината на свиткување на Cention® N била помала од композитот, но повисока од амалгамот и глас-јономер цементот²⁶.

Флуоридот игра суштинска улога во спречување забен кариес и промовирање на оралното здравје. Помеѓу реставративните материјали што ослободуваат флуор, Cention® N припаѓа на категорија за која се наведува дека ослободува значителни нивоа на јони на флуор. Се смета дека е замена за амалгамот бидејќи е поисплатлив. Студијата на Kiran Singhal и сор. го покажала следниов редослед на концентрација на флуоридни јони ослободени од стоматолошките реставративни материјали: EQUIA (високовискозен глас-јономер

цемент) > Cention® N (алказит) > Beautifil II (гиомер). Сите тестирани реставративни материјали покажале ослободување на флуоридни јони во текот на набљудуваната временска рамка. Cention® N покажал ветувачки резултати поради неговото постојано високо ослободување на флуор, што може да придонесе за неговите антикариогени својства²⁷.

Mishra A и сор. (2018) ја споредуваат отпорноста на притисок и на свиткување на Cention® N со други конвенционално користени реставративни материјали и заклучиле дека композитот има најголема отпорност на притисок и свиткување од четирите тестирани материјали. Сепак, Cention® N може да се користи како алтернативен реставративен материјал бидејќи има добри споредливи механички својства и за разлика од композитот, тој е економичен за пациентите²⁸.

Dayananad Chole и сор. (2018) ја споредувале отпорноста на свиткување на повеќе материјали, при што Cention® N покажал највисока отпорност на свиткување во споредба со нанокмпозити, додека најмала цврстина на свиткување е пронајдена кај глас-јономер цементот модифициран со смола²⁹.

Mazumdar P и сор. (2018) ја оценувале цврстината на четири реставративни материјали: нанохибридна композитна смола, Cention® N, амалгам и глас-јономер цемент. Тие заклучиле дека Cention® N поседува подобри својства на микроцврстина и е клинички посоодветна опција за минимални инвазивни третмани³¹.

Неколку студии ги проценувале својствата на Cention® N, односно неговата компресивна моќ, силата на свитливост, способноста на ослободување флуориди итн. Овие *in vitro* студии демонстрирале дека Cention® N има посупериорни механички својства од ГЈЦ, но не и од композитите. Бидејќи Cention® N не го нуди опсегот на нијанси на бои како композитите, па така композитите драстично доминираат над Cention® N.

Cention® N може да се полимеризира како ГЈЦ модифициран со смола. Pai D и сор., спровеле *in vitro* студија за да се оцени и спореди јачината на притисок, јачината на флексибилност и јачината на врската на атхезија на млечните заби во споредба со ГЈЦ модифициран со смола. Јачината на притисок, јачината на флексибилност и јачината на атхезија на даден материјал можат директно да се поврзат со неговата стапка на преживување во оралната средина³⁴.

Од наодите на оваа студија Cention® N може да се смета за супериорен материјал во однос на ГЈЦи модифицирани со смола, особено во однос на јачината на притисок и флексибилност. Јачината на атхезија на Cention® N не

била подобра од онаа на ГЈЦи модифицирани со смола. Ова може да се подобри со додавање систем за поврзување со прајмер кој производителите го вовеле со Cention® Forte. Така Cention® N може да се смета задоволителен реставративен материјал за млечни постериорни заби³⁴.

Kumaran и соработниците ја испитувале и споредувале јачината на флексибилност на самоврзувачкиот Cention® N со двојноврзувачкиот Cention® N. Cention® N е замешан според пропорции препорачани од производителот. Двојно стврднувачките примероци се стврднуваат со ламба за полимеризација која емитува сина светлина. За производство на примероци за компресивна јачина³⁵ се користел цилиндричен плексиглас калап со димензии 6 мм висина и 4 мм дијаметар.

Оваа студија открила дека механизмот за стврднување има мало влијание врз јачината на свиткување и јачината на притисок на Cention® N. Сепак, може да биде корисно да се употреби опционалната функција за стврднување со светлина за да се забрза реставративниот процес.

Врз основа на оваа *in vitro* студија, немало значајна разлика помеѓу јачината на притисок и јачината на свитливост на самоврзувачкиот Cention® N со двојно стврднувачкиот Cention® N. Исто така, видот на полимеризација нема значајно влијание врз јачината на притисок и свитливост на Cention® N³⁵.

Секоја реставрација треба да се спротивстави на интраоралните сили за време на функција. Јачината на свиткување го проценува капацитетот на материјалот да се спротивстави на фрактура, а јачината на притисок го проценува капацитетот на материјалот да се спротивстави на компресија. Сите механички својства го мерат капацитетот на материјалот кој треба да се спротивстави на фрактура или деформација под примена на сила или притисок.

Затоа студијата на Fousiya и соработниците го проценила ефектот на дополнителното стврднување со светлина врз јачината на притисок и јачината на свитливост на Cention® N. Нултата хипотеза тестирала дали режимот на стврднување (самоврзувачки или двојноврзувачки) не влијае врз јачината на притисок, исто така, и режимот на стврднување (самоврзувачки или двојноврзувачки) не влијае врз јачината на свиткување на Cention® N.

За овој тест биле користени самостврднувачкиот и двојностврднувачкиот Cention® N. Биле подготвени вкупно 20 примероци во две групи. Цилиндричен калап од плексиглас со димензија 6 мм висина и 4 мм дијаметар бил користен за изработка на примероци. Материјалот бил мешан според препораките на производителот. Двојностврднувачките примероци биле полимеризирани со помош на ламба за полимеризација која емитува сина светлина. Примероците

биле складирани во дестилирана вода на собна температура, 24 часа пред евалуацијата³⁶.

Примероците биле тестирани за цврстина на притисок со помош на машина за тестирање Instron Universal и биле поврзани со ќелија за мерење на оптоварување. Оваа мерна ќелија за оптоварување континуирано го снима оптоварувањето применето на примероците со брзина на вкрстување од $0,75 \pm 0,25$ мм минимум 1 сè додека примероците не се скршат.

Врз основа на тековните наоди од *in vitro* студијата, нема значителна разлика помеѓу јачината на притисок и јачината на свитливост на самостврднувачкиот и двојностврднувачкиот Cention® N. Исто така, видот на полимеризација нема значаен ефект врз јачината на притисок и јачината на свитливост на Cention® N³⁶.

Firouzmandi и соработниците ја споредувале јачината на фрактура и маргиналната адаптација на МОД кавитетите реставрирани со Cention® N, бондиран Cention® N и композит. Исто така, го истражувале и ефектот на волуменот на подготовката на кавитетите врз тие својства. Јачината на фрактура (MPa) била тестирана со помош на универзална машина за тестирање. За да се испита маргиналната адаптација, биле земени отпечатоци од поливинил-силоксан наполнети со епоксидна смола. Репликите на смола биле испитани со SEM(x400) за маргинална адаптација³⁷.

Кај конзервативните реставрации, отпорноста на фрактура на врзаниот Cention® N била значително поголема од онаа на Cention® N ($P=0,001$), додека кај продолжените препарации немало значајна разлика помеѓу отпорноста на фрактура на различни видови реставрации ($P=0,579$). Во однос на маргиналната адаптација, немало значајна разлика помеѓу различни типови конзервативни реставрации ($P=0,232$). Меѓутоа, во проширените препарати композитот покажал значително помала маргинална адаптација од Cention® N и бондираниот Cention® N ($P=0,004$ и $P=0,045$ соодветно).

Конзервативните препарации покажале значително поголема фрактурна јачина и маргинална адаптација во споредба со продолжените кои биле во групите реставрирани со композит. Волуменот на подготовка на кавитет се покажал како ефикасен во јачината на фрактура и маргиналната адаптација. Cention® N покажал ветувачки резултати во однос на јачината на фрактура и маргиналната адаптација, како и во конвенционалните или во продолжените МОД кавитети³⁷.

Идеалниот реставративен материјал треба да биде сличен на забното ткиво во однос на физичките и хемиските својства и треба да може да остане во устата долго време без да се деформира. Така, Virant & Gumustas ја оцениле површинската микроцврстина, површинскиот хемиски состав на биоактивни

реставративни материјали пред и по термално стареење. Тие користеле Cention® N, ACTIVA BioActive Restorative, Equia™ Forte, HT Fil, Glass Fill стакло карбомер цемент (GCP) и Fuji IX LC. Тестот на Викерс за микроцврстина бил користен за мерење на цврстината на површината. Скенирачка електронска микроскопија со енергетска дисперзивна спрктроскопија (SEM/EDS) била користена за да се одредат карактеризацијата и елементалната анализа на материјалите. Преку добиените резултати, тие заклучиле дека Cention® N има највисока вредност на микроцврстина на Викерс пред термичкиот циклус. Највисокиот сооднос на флуоридни јони меѓу материјалите пред термичкото стареење е откриен во групите на Equia™ Forte HT и Fuji IX LC®, додека намалување на флуоридниот јон било откриено во сите групи освен во групата на Cention® N по термичкото стареење. Алказитните биоактивни материјали се послични на композитните реставративни материјали и покажуваат подобри механички својства од другите материјали, но немаат ист ефект врз ослободувањето на флуор³⁸.

Нанотехнологијата нуди значителен опсег во стоматологијата за подобрување на стоматолошкиот третман, грижата и превенцијата од орални болести преку употребата на биоматеријали со наноголемина. Студијата на Abdallah и сор. го проценила ефектот на инкорпорирање наночестички од алуминиум (Al₂O₃) во неодамна претставениот реставративен материјал базиран на алказит (Cention® N) врз неговите механички својства и површинските топографски карактеристики. Тие инкорпорирале наноправ во прашестата компонента на Cention® N од 5 и 10% (w/w)⁴¹.

Јачината на притисок била проценета со помош на универзална машина за тестирање. Микроцврстината и грубоста на површината биле оценети со користење на тестот на Викерс за микроцврстина и површински профилометар, соодветно. Површинската топографија била прегледана со помош на електронски микроскоп за скенирање (SEM). Податоците биле анализирани со ANOVA и Turkey-ов тест (P<0,05). Вградувањето на 5 или 10 % (w/w) Al₂O₃ наночестички во реставративните материјали базирани на алказит (Cention® N) ги зголемило и неговата цврстина на притисок и микроцврстината на површината. Ова зголемување било незначајно со употребата на Al₂O₃ наночестички со пониска концентрација (5 % w/w). Во меѓувреме имало зголемување на вредностите на грубоста на површината на Cention® N модифициран со 5 или 10 % (w/w) Al₂O₃ наночестички. Вградувањето 5 % (w/w) Al₂O₃ наночестички во новововедениот реставративен материјал базиран на алказит (Cention® N) се чини дека произведува ветувачки реставративен материјал со висока јачина на притисок и цврстина на површината без негативно да влијае врз неговите својства на грубоста на површината. Со оглед на тоа, имплементацијата на нанотехнологијата во

реставративниот материјал Cention® N може да биде многу корисна за разновидноста на клиничките апликации⁴¹.

Во насока на поновите истражувања кои ги анализираат механичките својства на алказитните и јоно-ослободувачките реставративни материјали, Lalović и соработниците (2024) спровеле компаративна *in vitro* студија за процена на компресивната цврстина, флексионата цврстина и дијаметралната затегнувачка цврстина на алказитниот материјал Cention® Forte во споредба со други современи bulk-fill материјали. Во студијата биле изработени 168 примероци според препораките на производителите и тестирани по 24 часа складирање во дестилирана вода. Добиените резултати покажале статистички сигнификантни разлики помеѓу материјалите за сите испитувани механички параметри. Cention® Forte покажал највисоки просечни вредности на флексурална цврстина во споредба со глас-јономер цементот Fuji IX Extra® и стакло-хибридниот материјал Equia™ Forte HT, додека неговата дијаметрална затегнувачка цврстина била сигнификантно повисока во однос на преостанатите тестирани материјали. Највисока компресивна цврстина била регистрирана кај bulk-fill композитот Tetric PowerFill®, но без статистички значајна разлика во однос на Cention® Forte. Авторите наведуваат дека Cention® Forte покажува конкурентни механички перформанси и претставува валидна алтернатива меѓу современите реставративни материјали⁴⁹.

Во студијата на Yeslam и Hasanain (2025) спроведена е компаративна анализа на механичките својства на биоактивниот алказитен материјал (Cention® N) во споредба со други реставративни материјали кои ослободуваат јони, вклучително ГЈЦ модифициран со смола (Fuji II LC®) и компомер (Dugact XR®). Во истражувањето се изработени цилиндрични и примероци во форма на лента (n = 6 по материјал) и подложени на испитување на компресивната и флексионата цврстина со универзална машина со брзина на дејство од 0,5 mm/min. Резултатите открија статистички значајни разлики во механичките својства помеѓу тестирани материјали, при што Dugact XR® покажа највисоки вредности на компресивна (170,79 ± 23,59 МПа) и флексиона цврстина (114,09 ± 30,78 МПа) (p < 0,01), додека Fuji II LC® имаше значително повисок флексурален модул (10,21 ± 4,46 GPa) во однос на другите материјали. Авторите заклучуваат дека компомерот во оваа студија произведува механички посилни реставрации во споредба со испитаниот алказитен материјал и ГЈЦ модифициран со смола, што укажува на негова предност при реставрации во постериорните заби, додека алказитниот материјал може да биде соодветна опција во клинички ситуации со помало оптоварување⁵⁰.

Во контекст на клиничката евалуација на новите алказитни реставративни материјали, Etiennot и соработниците (2025) спровеле рандомизирано клиничко испитување кое го споредува раното клиничко однесување на алказитниот материјал Cention® Forte и стакло-хибридниот материјал Equia™ Forte HT во класа-I и класа-II кариозни кавитети, со следење од 6 месеци. Во оваа студија, 59 пациенти со парови слично конфигурирани кавитети се поделени по случаен избор за реставрација со еден или со другиот материјал, а контролната процена е извршена на почеток и по 6 месеци според FDI критериуми. Стапката при контрола по 6 месеци изнесувала 96,6 %, при што сите реставрации се оценети како клинички прифатливи, со исклучок на една реставрација со Equia™ Forte HT која покажала маргинална деформација. Двата материјали покажуваат слично и клинички повољно однесување во однос на површинска текстура, маргинална дискоolorација, анатомска форма, постоперативна хиперсензитивност и интегритет на забот, при што се забележани само минимални маргинални промени, но сè уште во границите на клиничка прифатливост. Иако студијата се однесува на краток период од 6 месеци, истражувањето обезбедува важни почетни клинички податоци за примената на Cention® Forte како алтернативен реставративен материјал, со резултати кои укажуваат на споредливост со стакло-хибридни материјали во постериорни реставрации⁵¹.

Bonchev (2025) во својот труд дава сеопфатна анализа на алказитните реставративни материјали како посебна подгрупа на смолести реставративни материјали со способност за ослободување јони, со акцент на нивниот хемиски состав, механички својства и клиничка примена. Според авторот, алказитите комбинираат карактеристики на композитните материјали и глас-јономер цементите, преку присуство на алкално реактивни стаклени полнила кои овозможуваат ослободување на калциумови, флуоридни и хидроксилни јони. Прегледот опфаќа повеќе *in vitro* и клинички студии кои покажуваат дека алказитните материјали, како Cention-базираните системи, вообичаено демонстрираат повисоки механички вредности од конвенционалните глас-јономер цемента, но во одредени параметри можат да покажат пониски вредности во однос на современите композити. Истовремено, се нагласува нивниот потенцијал за тампонирачки ефект и јонско ослободување, што може да има значење во превенцијата на секундарен кариес. Авторот заклучува дека алказитите претставуваат ветувачка категорија на реставративни материјали, но укажува дека се потребни дополнителни долгорочни клинички истражувања за целосна евалуација на нивната издржливост и клиничка успешност⁵².

Во понова експериментална студија, Negovetić-Mandić и сор. ги испитуваа механичките својства на алказитен реставративен материјал во зависност од различни услови на полимеризација и лабораториско стареење, со цел да се процени стабилноста на материјалот во симуирани орални услови. Во истражувањето се анализирани микро- и макромеханички параметри, вклучувајќи флексиона цврстина, флексионен модулус и површинска микротврдина, при што примероците се подготвени со различни режими на стврдување (самополимеризирање и светлосно иницирано стврдување), а потоа изложени на различни средини за стареење, како вода, кисела средина, алкална средина и етанол. Резултатите покажале дека начинот на полимеризација има значително влијание врз механичките својства, при што комбинираниот режим на стврдување доведува до подобри макромеханички параметри во споредба со самохемиско стврдување. Дополнително, утврдено е дека одредени агресивни средини за стареење, особено етанол, можат да доведат до намалување на механичката стабилност на материјалот, што укажува на чувствителност на органскиот матрикс. Авторите нагласуваат дека алказитните материјали покажуваат стабилни механички карактеристики во стандардни услови, но дека факторите како режимот на полимеризација и хемиската средина можат значајно да влијаат врз нивното однесување, што е од значење при клиничка примена и долгорочна издржливост на реставрациите⁵³.

Според сето досега изнесено, Cention N е нов материјал за полнење кој нуди многу предности, како што се: економичност, двојно врзување, ослободување флуориди, може да се користи со и без атхезиви, што обезбедува брза и лесна употреба без комплицирана опрема, а истовремено обезбедува цврстина и естетика.

ЦЕЛИ НА ТРУДОТ

Со оглед на фактот дека алказитните материјали припаѓаат на релативно нова група реставративни материјали во современата стоматологија, целите на оваа студија беа следните:

1. Хемиските својства преку испитување на структурата на алказитните материјали, претставени со најновата генерација од оваа група Cention® Forte;
2. Да се направи споредба на структурата со преостанатите репрезентативни реставративни материјали (композити и глас-јономер цементи);
3. Да се одредат механичките својства преку испитување на компресивните сили на Cention® Forte;
4. Да се направи компарација на компресивната сила на Cention® Forte со преостанатите репрезентативни реставративни материјали (композити и глас-јономер цементи).

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДИ




За да се реализираат зададените цели на магистерскиот труд, експериментите и анализата на резултатите беа изведени во соработка помеѓу:

- Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Стоматолошки факултет-Скопје,
- University of Greenwich-Medway Campus, School of Science, Chatam, Kent, UK.

Материјал

Во испитувањата се користеа три типа материјали: алказит, композит и глас-јономер цемент (табела 1.)

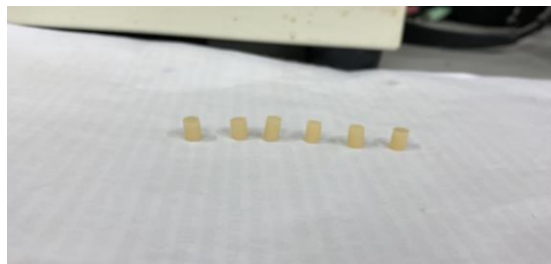
Табела 1. Материјали што се користеа во студијата

Материјал	Тип	Производител
Centrion® Forte 	алказит	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein
Tetric EvoCeram® 	КОМПОЗИТ	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein
Fuji IX GP® 	глас-јономер цемент	GC, Japan

Испитувањата беа изведени на цилиндрични примероци со димензии 6x4 мм. Беа изработени по 6 примероци од секоја група (слика 4 и 5).



Слика 1. Цилиндрични примероци



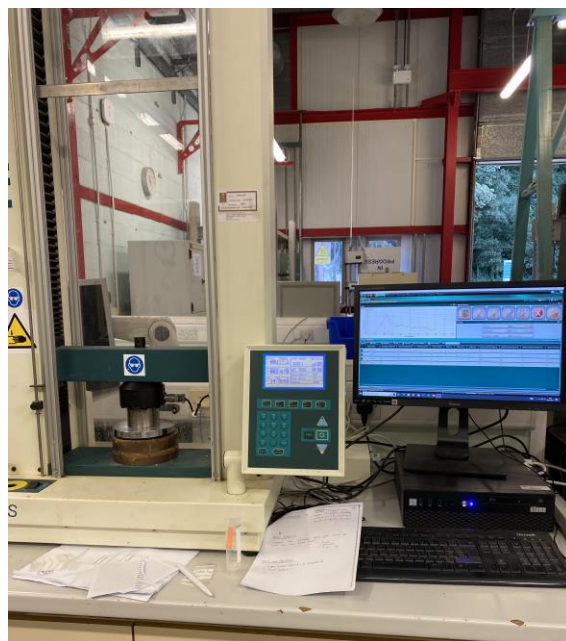
Слика2. Цилиндрични примероци

Методи

Одредување компресивна сила

Подготвените примероци подлежеа на тест за компресивна сила. Апаратот со кој се правеа овие испитувања е Tinius Olsen Hounsfield, UK, со следните програмирани карактеристики:

- опфат на оптоварување до 5000 N
- поместување 2 мм
- брзина 1 мм/мин.
- висина 6 мм
- протегање 10
- период 1 мм/мин.

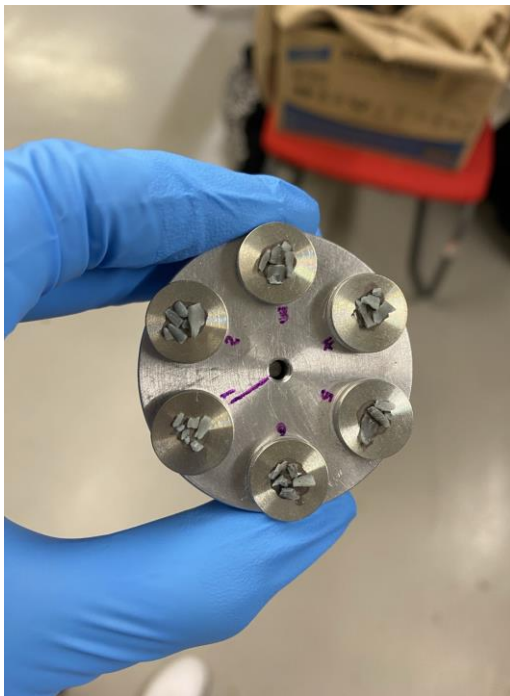


Слика 3. Tinius Olsen Hounsfield, UK

По експерименталната метода со апаратот за тестирање компресивна сила, фрактурираните примероци од контролната и испитуваната група беа фиксирани

во специјални држачи со помош на кондуктивен јаглероден цемент (Leit-C conductive carbon cement, Neubauer Chemikalien) и беа ставени во апарат за испарување со висок вакуум (Model 306, Edwards Co., UK) за на крај да се покријат со тенок слој од јаглерод.

Фрактурираниите површини беа набљудувани под скенинг електронски микроскоп - Field-emission gun scanning electron microscope (FEG-SEM Hitachi SU 8030, Japan) со следните параметри: 10 KV забрзување на напон, 5-6 мм работна далечина и зголемување од 1000x, 5000x, 10 000x, 30 000 и 50 000x.



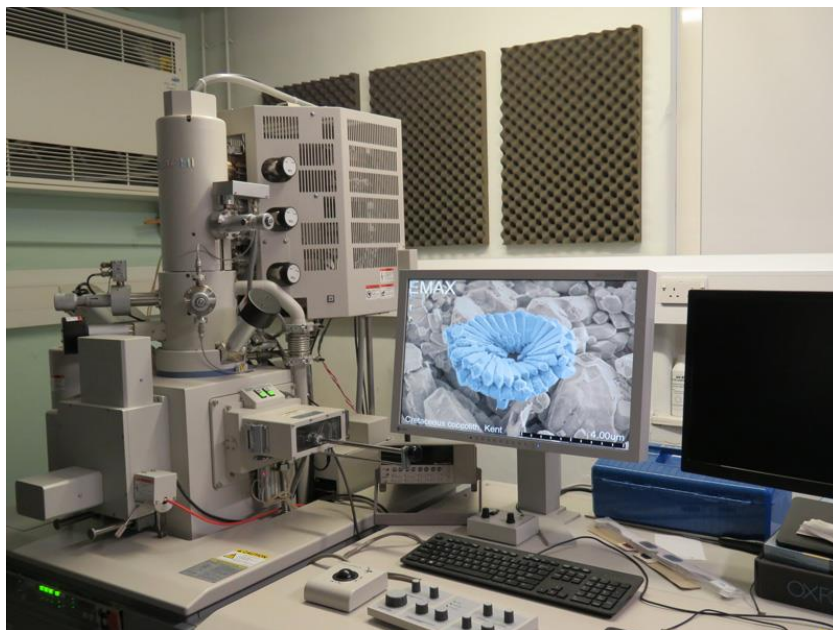
Слика 4. Фиксирани фрактурирани примероци



Слика 5. Апарат за испарување со висок вакуум (Model 306, Edwards Co., UK)

Енергетска дисперзивна анализа со x-зраци (Energy Dispersive Analysis with X-rays)

Подготвените примероци беа анализирани со ладна катода FEG-SEM (Hitachi SU 8030) со заднински електронски модус (SEM-BEI) со забрзувачки напон од 10 kV. Исто така, со цел да се одреди елементалната дистрибуција во материјалите, ќе биде употребен EDX. Мапирањето ќе се изведе со Hitachi SU 8030 SEM дополнително опремен со Thermo Noran (Thermo Scientific, Rockford, IL, USA) NSS System 7 со ултрасув EDX детектор и на оптичко зголемување од 10.000 пати, 20 kV забрзувачки напон, резолуција 512×384 и време на дејствување од 508 μs на случајно избрани делови од површината на примероците. Полуквантитативна EDX точкеста анализа ќе биде извршена со одредување на елементалните нивоа (%) на натриум (Na), магнезиум (Mg), алуминиум (Al), фосфор (P), флуор (F) и калциум (Ca). За секој примерок, по случаен избор ќе бидат избрани десет точки и ќе бидат пресметани нивните средни вредности.



Слика 6. FEG-SEM (Hitachi SU 8030)

СТАТИСТИЧКА АНАЛИЗА

Базите на податоците се формирани со примена на специфична компјутерска програма за таа намена и нивната обработка е со MedCalc.

Во текот на анализата собраните податоци статистички се обработувани со помош на следните статистички методи:

- Анализа на структурата на нумеричките статистички серии со помош на мерките на централна тенденција (просек) и мерките на дисперзија (стандардна девијација);

- Разликата помеѓу две просечни вредности (елементите во композитен материјал мазна и фрактурирана површина), кај нумеричките серии сигнификантноста на разликата е тестирана со Difference test (Comparison of means);

- Разликата помеѓу повеќе од две просечни вредности (трите композитни материјали), кај нумеричките серии сигнификантноста на разликата е тестирана со Comparison of means, а по позитивната разлика е изработен post hoc Multiple Comparisons p- values (2-tailed) тест;

- Разликата помеѓу просечни вредности на елементите од сите точки на композитен материјал мазна и фрактурирана површина, кај нумеричките серии сигнификантноста на разликата е тестирана со Comparison of means, а по позитивната разлика е изработен post hoc testot Multiple Comparisons p- values (2-tailed) тест.

- Разликата помеѓу просечни вредности на максималната компресивна сила кај реставративните материјали е тестирана со Multiple Comparisons p-values (2-tailed) force Kruskal-Wallis ANOVA тестот;

- Со Shapiro-Wilk`s тест е испитувана нормалната распределба на варијаблите.

- За CI (confidence interval = 95 % CI) е дефинирана статистичката значајност за ниво на грешка помало од 0,05 (p).

- Резултатите се прикажани табеларно и графички.

РЕЗУЛТАТИ

Во ова поглавје се прикажани резултатите добиени од испитувањето на механичките и хемиските својства на алказитниот реставративен материјал Cention® Forte, како и нивна споредба со композитниот материјал Tetric EvoCeram® и глас-јономер цементот Fuji IX GP® .

Механичките својства на испитуваните материјали беа анализирани преку тестирање на компресивната сила, при што беа евалуирани максималната компресивна сила и позицијата (поместувањето) при дејство на максималното оптоварување. Добиените резултати се прикажани табеларно и графички, а нивната статистичка значајност е одредена со соодветни статистички тестови.

Хемиските својства на испитуваните реставративни материјали беа испитувани со примена на скенирачка електронска микроскопија (SEM) во комбинација со енергетска дисперзивна анализа со x-зраци (EDX). Анализата беше извршена на случајно избрани делови од површината на примероците, при што беа одредени елементалниот состав и распределбата на поединечните елементи. Резултатите од EDX анализата се прикажани преку микрофотографии, спектри и табели со просечни вредности на елементите изразени во проценти од масата.

Резултатите се презентирани одделно за секој материјал, со цел јасна и прегледна споредба помеѓу алказитниот материјал, композитот и глас-јономер цементот.

Максималните компресивни сили кај реставративниот материјал Fuji IX GP® помеѓу 6 примероци варира од 510 N, преку 687,5 N до 959,17 N и до максималната 1081,7 N (табела 2 и графикон 1а).

Позицијата/поместувањето варира кај реставративниот материјал Fuji IX GP® помеѓу 6 примероци од 0,395 до 0,46 и максимум 0,673 (табела 2 и графикон 1б).

Максималните компресивни сили кај реставративниот материјал Cention® Forte помеѓу 6 примероци варира од 1123,3 N, преку 2138,3 N до 2651,7 N и до максималната 2944,2 N (табела 2 и графикон 1а).

Позицијата/поместувањето варира кај реставративниот материјал Cention® Forte помеѓу 6 примероци од 0,728 до 1,383 и максимум 1,974 (табела 2 и графикон 1б).

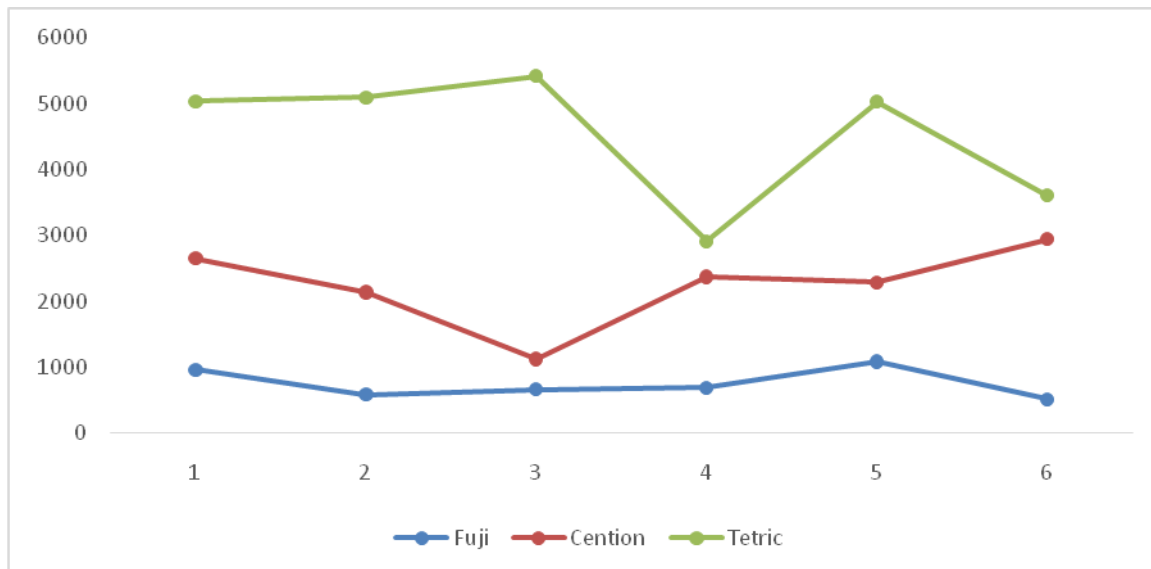
Максималните компресивни сили кај реставративниот материјал Tetric EvoCeram® помеѓу 6 примероци варира од 2908,3 N, преку 3608,3 N до 509,5 N и до максималната 5422,5 N (табела 2 и графикон 1а).

Позицијата/поместувањето варира кај реставративниот материјал Tetric EvoCeram® помеѓу 6 примероци од 0,97 до 1,826 и максимум 2,485 (табела 2 и графикон 1б).

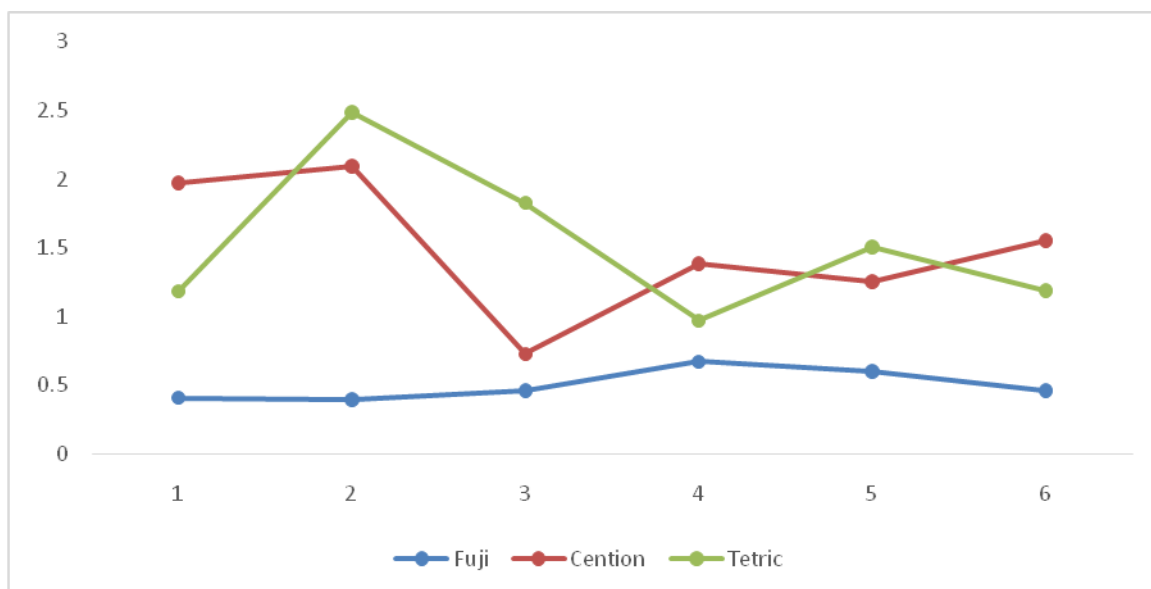
Табела 2. Приказ на движењето на висината на максималните употребени компресивни сили и позиција на трите реставративни материјали во 6 примероци во текот на истражувањето

Реставративни материјали	Fuji IX GP®		Cention® Forte		Tetric EvoCeram®	
	Force	Position	Force	Position	Force	Position
1	959,17	0,407	2651,7	1,974	5036,7	1,184
2	582,5	0,395	2138,3	2,095	5095	2,485
3	662,5	0,46	1123,3	0,728	5422,5	1,826
4	687,5	0,673	2371,7	1,383	2908,3	0,97
5	1081,7	0,601	2286,7	1,255	5030,8	1,507
6	510	0,46	2944,2	1,554	3608,3	1,188

Графикон 1а Приказ на движењето на висината на максималните употребени компресивни сили на трите реставративни материјали во 6 примероци во текот на истражувањето



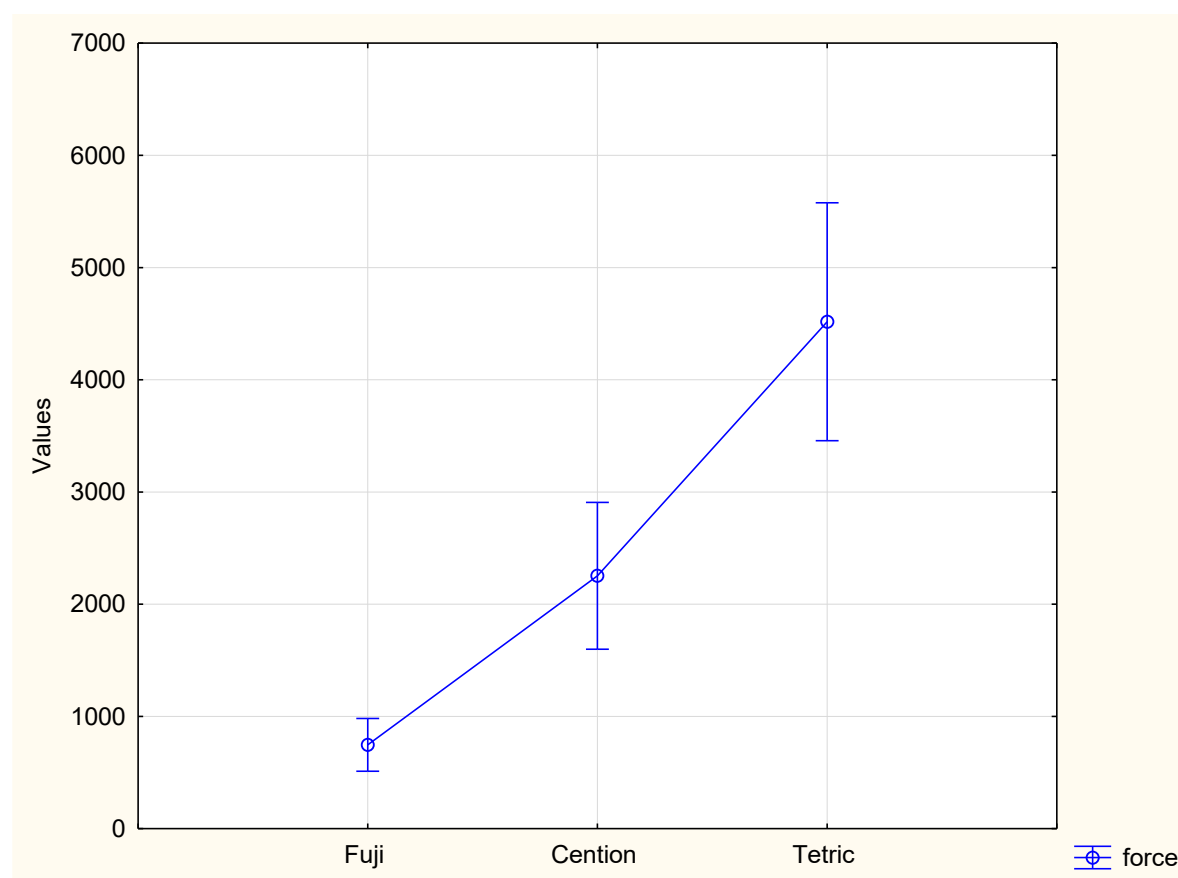
Графикон 1б Приказ на движењето на позицијата на дејствување на трите реставративни материјали во 6 примероци во текот на истражувањето



Табела 3. Приказ на просечната максимална компресивна сила кај трите реставративни материјали

Материјал	Просек	Број	Стд.дев.	Минимум	Максимум
Fuji IX GP® Force	747,228	6	224,031	510,0	1081,7
Cention® Forte Force	2252,650	6	623,109	1123,3	2944,2
Tetric EvoCeram® Force	4516,933	6	1010,123	2908,3	5422,5

Графикон 2 Приказ на просечната максимална компресивна сила кај трите реставративни материјали



Просечната вредност на максималната компресивна сила кај Fuji IX GP® реставративниот материјал изнесува $747,228 \pm 224,031\text{N}$, во ранг од 510,0 до 1081,7 N.

Просечната вредност на максималната компресивна сила кај Cention® Forte реставративниот материјал изнесува $2252,650 \pm 623,109\text{N}$, во ранг од 1123,3 до 2944,2 N.

Просечната вредност на максималната компресивна сила кај Tetric EvoCeram® реставративниот материјал изнесува $4516,933 \pm 1010,123\text{N}$, во ранг од 2908,3 до 5422,5 N (табела 3 и графикон 2).

Табела 4. Приказ Multiple Comparisons тест

Multiple Comparisons p values (2-tailed) force			
Kruskal-Wallis test: H (2, N= 18) =14,74854 p =,0006			
	Fuji R:3.5000	Cention R:9.6667	Tetric R:15.3333
Fuji IX GP®		0,136264	0,000370
Cention® Forte	0,136264		0,197962
Tetric EvoCeram®	0,000370	0,197962	

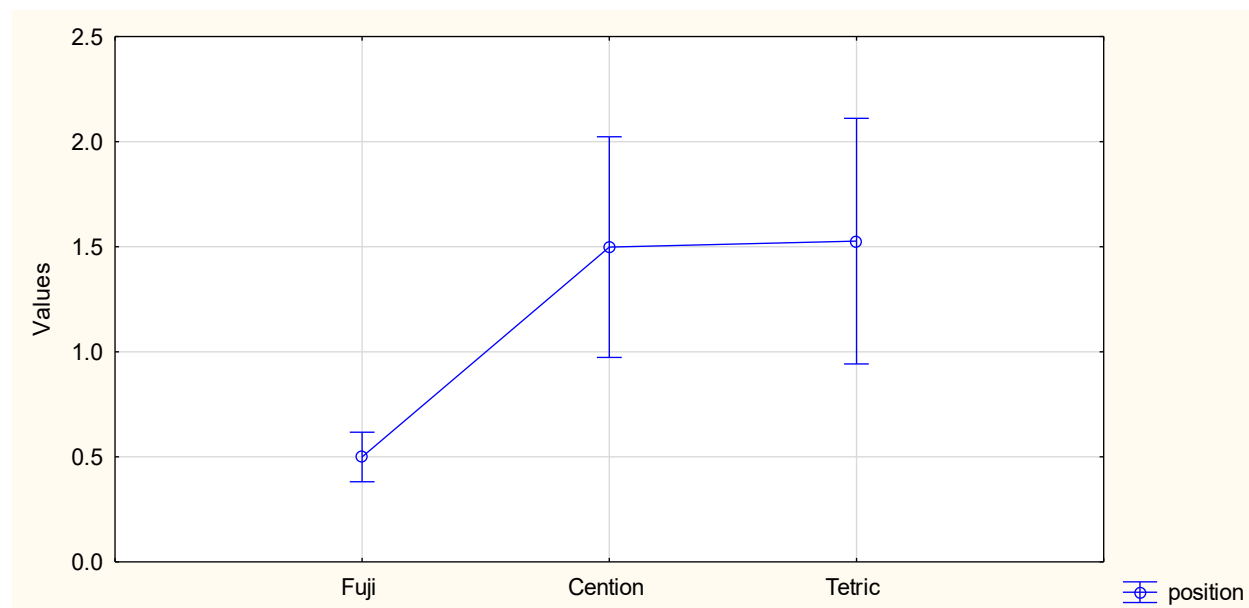
Разликата што се регистрира помеѓу просечните вредности на максималната сила кај реставративните материјали според Kruskal-Wallis test е сигнификантна за $p < 0,05$ (H (2, N= 18) =14,74854 p =,0006).

Сигнификантната разлика според Kruskal-Wallis ANOVA тестот се должи главно на статистички сигнификантна разлика на просечните вредности на максималната компресивната сила помеѓу Fuji IX GP® версус Tetric EvoCeram® за $p < 0,05$ ($p = 0,000370$) (табела 4).

Табела 5. Приказ на просечната позиција под дејство на максималната сила кај трите реставративни материјали

Материјал	Просек	Број	Стд.дев.	Минимум	Максимум
Fuji IX GP® Force	0,499333	6	0,112251	0,395000	0,673000
Cention® Forte Force	1,498167	6	0,500259	0,728000	2,095000
Tetric EvoCeram® Force	1,526667	6	0,556845	0,970000	2,485000

Графикон 3 Приказ на просечната позиција под дејство на максималната сила кај трите реставративни материјали



Просечната вредност на позицијата при дејство на максималната компресивна сила кај Fuji IX GP® реставративниот материјал изнесува $0,5 \pm 0,1$, во ранг од 0,395 до 0,673.

Просечната вредност на позицијата при дејство на максималната компресивна сила кај Cention® Forte реставративниот материјал изнесува $1,5 \pm 0,5$, во ранг од 0,728 до 2,95.

Просечната вредност на позицијата при дејство на максималната компресивна сила кај Tetric EvoCeram® реставративниот материјал изнесува $1,5 \pm 0,6$, во ранг од 0,97 до 2,485 (табела и графикон 4).

Разликата што се регистрира помеѓу просечните вредности на позицијата при дејство на максималната компресивна сила на реставративните материјали според Kruskal-Wallis test е сигнификантна за $p < 0,05$ ($H(2, N=18) = 11,42700$ $p = 0,0033$).

Сигнификантната разлика според Kruskal-Wallis ANOVA тестот се должи главно на статистички сигнификантна разлика на просечните вредности на позицијата при дејство на максималната компресивна сила помеѓу Fuji IX GP® версус Cention® Forte, Fuji IX GP® версус Tetric EvoCeram® за $p < 0,05$ ($p = 0,007382$, $p = 0,014778$) (табела 6).

Табела 6. Приказ на Multiple Comparisons тест

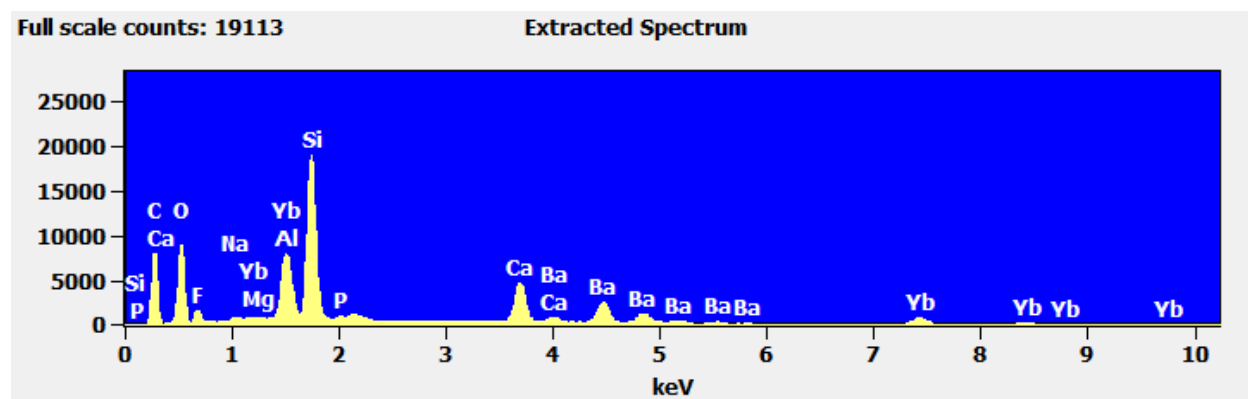
Multiple Comparisons p values (2-tailed); position			
Kruskal-Wallis test: $H(2, N=18) = 11,42700$ $p = 0,0033$			
	Fuji IX GP® - R:3.5000	Cention® Forte - R:12.833	Tetric EvoCeram® - R:12.167
Fuji IX GP®		0,007382	0,014778
Cention® Forte	0,007382		1,000000
Tetric EvoCeram®	0,014778	1,000000	

Врз основа на добиените резултати од испитувањето на компресивната сила и позицијата при дејство на максималното оптоварување, може да се констатира дека постојат јасни разлики во механичкото однесување помеѓу испитуваните реставративни материјали. Глас-јономер цементот Fuji IX GP® покажа најниски вредности на максималната компресивна сила и најмало поместување при оптоварување, додека композитниот материјал Tetric EvoCeram® оствари највисоки вредности на компресивна сила. Алказитниот материјал Cention® Forte покажа средни вредности, кои беа значително повисоки во однос на Fuji IX GP®, но пониски во споредба со Tetric EvoCeram®. Статистичката анализа потврди дека разликите во максималната компресивна сила и позицијата при дејство на максималната сила помеѓу испитуваните материјали се статистички сигнификантни, при што најизразени разлики беа утврдени помеѓу Fuji IX GP® и преостанатите два материјали.

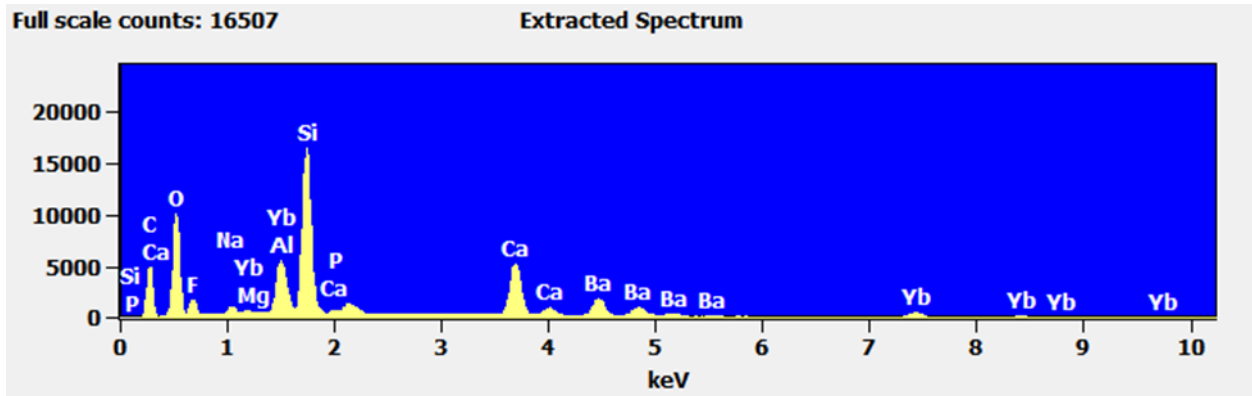
Квалитативна енергетска дисперзивна анализа со x-зраци (Energy dispersive analysis with x-rays)

Квалитативната EDX анализа беше извршена за идентификација на елементалниот состав на испитуваните реставративни материјали. Подолу се прикажани репрезентативни EDX спектри добиени при забрзувачки напон од 20 kV за секој материјал, пред и по изложување на компресивно оптоварување.

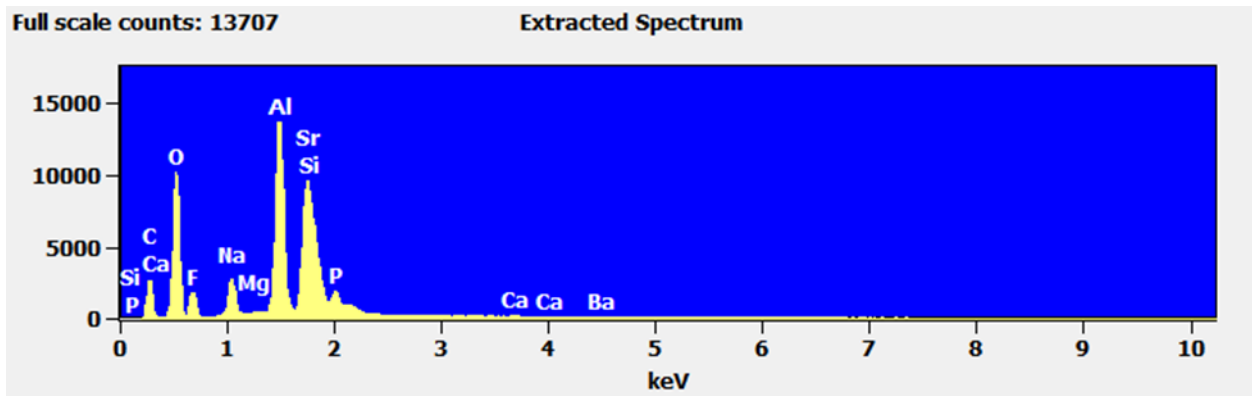
Графикон 4. Репрезентативен EDX спектар на Cention® Forte пред компресивно оптоварување на 20 kV, покажувани врвови за Si, Al, Ba и Yb



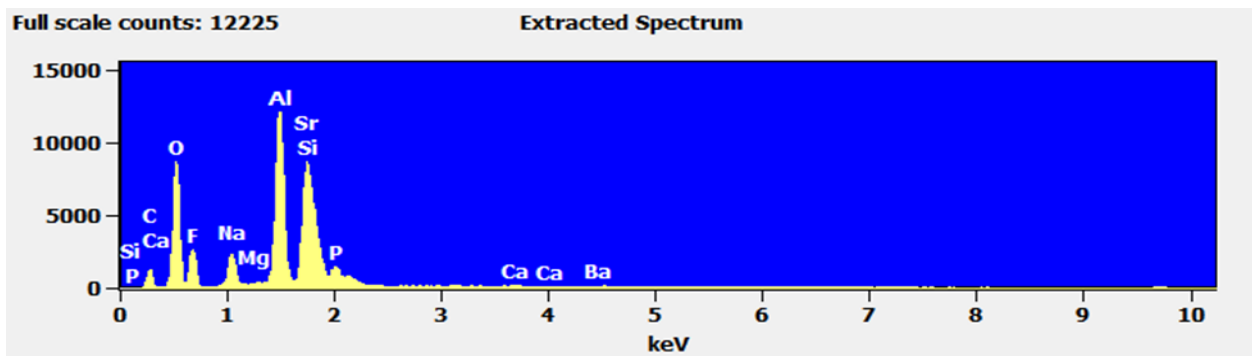
Графикон 5. Репрезентативен EDX спектар на Cention® Forte по компресивно оптоварување на 20 kV, покажувани врвови за Si, Al, Ba и Yb



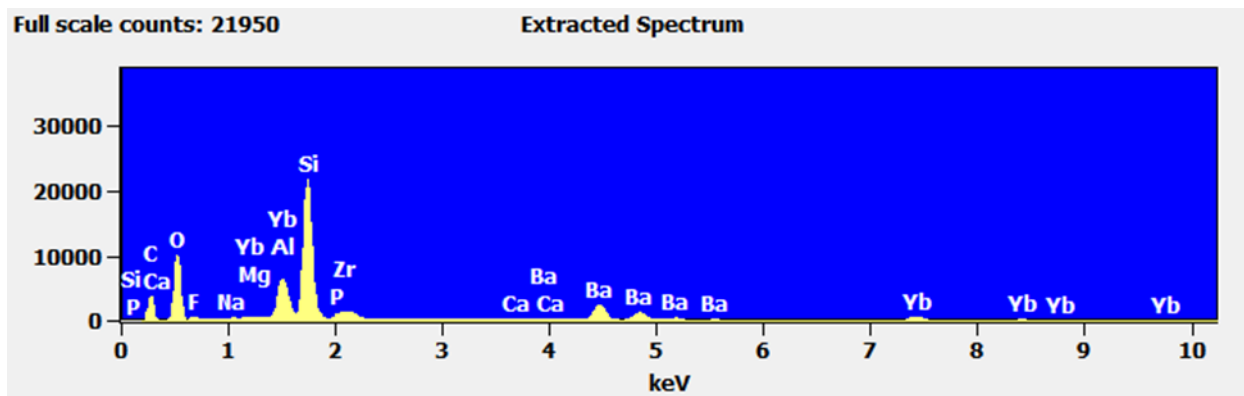
Графикон 6. Репрезентативен EDX спектар на Fuji IX GP® пред компресивно оптоварување на 20 kV, покажувани врвови за Si, Al, Ba и Yb



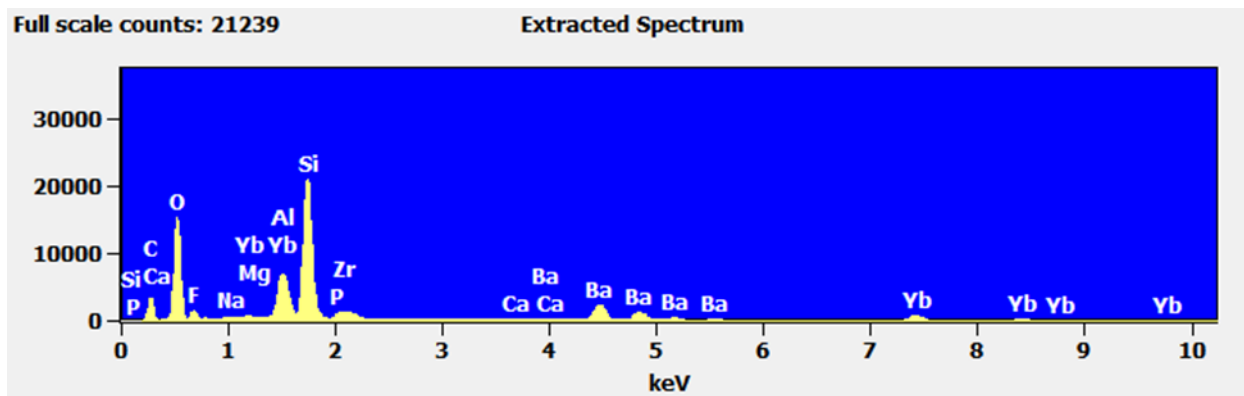
Графикон 7. Репрезентативен EDX спектар на Fuji IX GP® по компресивно оптоварување на 20 kV, покажувани врвови за Si, Al, Ba и Yb



Графиконот 8. Репрезентативен EDX спектар на Tetric EvoCeram® пред компресивно оптоварување на 20 kV, покажувани врвови за Si, Al, Ba и Yb.



Графиконот 9. Репрезентативен EDX спектар на Tetric EvoCeram® по компресивно оптоварување на 20 kV, покажувани врвови за Si, Al, Ba, и Yb



Врз основа на прикажаните репрезентативни EDX спектри може да се констатира дека кај сите испитувани реставративни материјали е регистрирано присуство на карактеристични елементи кои ја одразуваат нивната материјална структура. Кај алказитниот материјал Cention® Forte, и пред и по компресивно оптоварување, беа детектирани врвови за силициум (Si), алуминиум (Al), бариум (Ba) и итербиум (Yb), без појава на нови елементи по кршењето. Кај глас-јономер цементот Fuji IX GP®, EDX спектрите покажуваат присуство на Si и Al, типични за стаклената матрица на овој тип материјали, при што компресивното оптоварување

не доведе до квалитативни промени во елементалниот состав. Слично на тоа, кај композитниот материјал Tetric EvoCeram® беше утврден доминантен силициум-базиран полнеж, кој останува непроменет и по дејство на компресивната сила. Овие резултати укажуваат дека компресивното оптоварување не предизвикува квалитативни промени во елементалниот состав на испитуваните реставративни материјали.

Полуквантитативна EDX точкеста анализа

Семи-квантитативната EDX анализа беше извршена за да се одреди релативната застапеност на елементите присутни во испитуваните материјали.

Во овој дел од резултатите, за секој тип материјал е прикажана анализа на случајно избрани делови од површината на примероците.

Полуквантитативната EDX точкеста анализа е извршена со одредување на елементалните нивоа (%) на Na, Mg, Al, P, F, Ca.

Табела 7. Приказ на просечните вредности (%) на елементите во композитниот материјал Cention® Forte мазна површина и Cention® Forte фрактурирана површина

елемент	број	Cention® Forte мазна површина		Cention® Forte фрактурирана површина		P Comparison of means calculator, MedCalc
		просек		просек		
C	10	19± 0,2		10,6± 0,2		,0000
O	10	35,5± 0,8		41,6± 0,8		,0000
F	10	3± 0,5		6,4± 0,6		,0000
Na	10	0,5± 0,1		1,3± 0,1		,0001
Mg	10	0		0,1± 0,0		
Al	10	3,1± 0,1		3,0± 0,1		,0382
Si	10	14,2± 0,1		14,4± 0,1		,0003

P	10	0		0	
Ca	10	4,9± 0,1		6,1± 0,1	,0000
Ba	10	9,9± 0,3		8,8± 0,3	,0000
Yb	10	9,9± 0,4		7,7± 0,7	,0000

Просечната вредност на **C** во композитниот материјал Cention® Forte мазна површина изнесува 19,0±0,2, во Cention® Forte фрактурирана површина изнесува 10,6±0,2, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (Comparison of means calculator, MedCalc) (табела 7).

Просечната вредност на **O** во композитниот материјал Cention® Forte мазна површина изнесува 35,5±0,8, во Cention Forte фрактурирана површина изнесува 41,6±0,8, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 7).

Просечната вредност на **F** во композитниот материјал Cention® Forte мазна површина изнесува 3,0±0,5, во Cention Forte фрактурирана површина изнесува 6,4±0,6, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 7).

Просечната вредност на **Na** во композитниот материјал Cention® Forte мазна површина изнесува 0,5±0,1, во Cention Forte фрактурирана површина изнесува 1,3±0,1, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 7).

Mg во композитниот материјал Cention® Forte мазна површина не се регистрира, во Cention Forte фрактурирана површина изнесува 0,1±0,0 (табела 7).

Просечната вредност на **Al** во композитниот материјал Cention® Forte мазна површина изнесува 3,1±0,1, во Cention Forte фрактурирана површина изнесува 3,0±0,1, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 7).

Просечната вредност на **Si** во композитниот материјал Cention® Forte мазна површина изнесува 14,2±0,1, во Cention Forte фрактурирана површина изнесува

14,4±0,1, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 7).

Елементот **P** не се регистрира во десетте точки на Cention® Forte мазна површина и Cention Forte фрактурирана површина (табела 7).

Просечната вредност на **Ca** во композитниот материјал Cention® Forte мазна површина изнесува 4,9±0,1, во Cention Forte фрактурирана површина изнесува 6,1±0,1 (табела 7).

Просечната вредност на **Ba** во композитниот материјал Cention® Forte мазна површина изнесува 11,9±0,4, во Cention Forte фрактурирана површина изнесува 8,8±0,3, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 7).

Просечната вредност на **Yb** во композитниот материјал Cention® Forte мазна површина изнесува 9,9±0,4, во Cention Forte фрактурирана површина изнесува 7,7±0,7, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 7).

Табела 8. Приказ на просечните вредности (%) на елементите во композитниот материјал Tetric EvoCeram® мазна површина и Tetric EvoCeram® фрактурирана површина

елемент	број	Tetric EvoCeram® мазна површина		Tetric EvoCeram® фрактурирана површина		P Comparison of means calculator, MedCalc
		просек		просек		
C	10	12,4± 0,2		8,7± 0,2		,0000
O	10	39,3± 0,6		45,7± 0,6		,0000
F	10	2,4± 0,3		2,9± 0,5		,0000
Na	10	0,3± 0,1		0,6± 0,1		,0001
Mg	10	0		0,1± 0,1		

Al	10	3,5± 0,2	2,5± 0,2	,0000
Si	10	20,3± 0,2	16,9± 0,2	,0000
P	10	0	0	
Ca	10	0	0,1± 0,0	
Ba	10	11,9± 0,4	10,4± 0,3	,0000
Yb	10	9,9± 0,4	10,4± 0,7	,0000

Просечната вредност на **C** во композитниот материјал Tetric EvoCeram® мазна површина изнесува 12,4±0,2, во Tetric EvoCeram® фрактурирана површина изнесува 8,7±0,2, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Просечната вредност на **O** во композитниот материјал Tetric EvoCeram® мазна површина изнесува 39,3±0,6, во Tetric EvoCeram® фрактурирана површина изнесува 45,7±0,6, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Просечната вредност на **F** во композитниот материјал Tetric EvoCeram® мазна површина изнесува 2,4±0,3, во Tetric EvoCeram® фрактурирана површина изнесува 2,9±0,5, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Просечната вредност на **Na** во композитниот материјал Tetric EvoCeram® мазна површина изнесува 0,3±0,1, во Tetric EvoCeram® фрактурирана површина изнесува 0,6±0,1, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Mg во композитниот материјал Tetric EvoCeram® мазна површина не се регистрира, во Tetric EvoCeram® фрактурирана површина изнесува 0,1±0,0 (табела 8).

Просечната вредност на **Al** во композитниот материјал Tetric EvoCeram® мазна површина изнесува 3,5±0,2, во Tetric EvoCeram® фрактурирана површина изнесува

2,5±0,2, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Просечната вредност на **Si** во композитниот материјал Tetric EvoCeram® мазна површина изнесува 20,3±0,2, во Tetric EvoCeram® фрактурирана површина изнесува 16,9±0,2, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Елементот **P** не се регистрира во десетте точки на Tetric EvoCeram® мазна површина и Tetric EvoCeram® фрактурирана површина (табела 8).

Ca во композитниот материјал Tetric EvoCeram® мазна површина не се регистрира, во Tetric EvoCeram® фрактурирана површина изнесува 0,1±0,0 (табела 8).

Просечната вредност на **Ba** во композитниот материјал Tetric EvoCeram® мазна површина изнесува 11,9±0,4, во Tetric EvoCeram® фрактурирана површина изнесува 10,4±0,3, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Просечната вредност на **Yb** во композитниот материјал Tetric EvoCeram® мазна површина изнесува 9,9±0,4, во Tetric EvoCeram® фрактурирана површина изнесува 10,4±0,7, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Табела 9. Приказ на просечните вредности (%) на елементите во композитниот материјал Fuji IX GP® мазна површина и Fuji IX GP® фрактурирана површина

елемент	број	Fuji IX GP®		P Comparison of means calculator, MedCalc
		мазна површина просек	фрактурирана површина просек	
C	10	11,5± 0,2	6,9± 0,2	,0000
O	10	45,7± 0,7	42,1± 0,7	,0000

F	10	8,4± 0,6	14,4± 0,6	,0000
Na	10	3,8± 0,1	3,9± 0,1	,0001
Mg	10	0,1± 0,1	0,1± 0,1	
Al	10	11,5± 0,1	12,4± 0,1	,0000
Si	10	8,3± 0,1	9,1± 0,1	,0000
P	10	1,1± 0,1	1,2± 0,1	,0382
Ca	10	0,1± 0,0	0,1± 0,0	
Sr	10	9,5± 0,2	9,8± 0,2	,0035

Просечната вредност на **C** во композитниот материјал Fuji IX GP® мазна површина изнесува 12,4±0,2, во Fuji IX GP® фрактурирана површина изнесува 8,7±0,2, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Просечната вредност на **O** во композитниот материјал Fuji IX GP® мазна површина изнесува 39,3±0,6, во Fuji IX GP® фрактурирана површина изнесува 45,7±0,6, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Просечната вредност на **F** во композитниот материјал Fuji IX GP® мазна површина изнесува 2,4±0,3, во Fuji IX GP® фрактурирана површина изнесува 2,9±0,5, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Просечната вредност на **Na** во композитниот материјал Fuji IX GP® мазна површина изнесува 0,3±0,1, во Fuji IX GP® фрактурирана површина изнесува 0,6±0,1, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Mg во композитниот материјал Fuji IX GP® мазна површина не се регистрира, во Tetric EvoCeram® фрактурирана површина изнесува 0,1±0,0 (табела 8).

Просечната вредност на **AI** во композитниот материјал Fuji IX GP® мазна површина изнесува $3,5 \pm 0,2$, во Fuji IX GP® фрактурирана површина изнесува $2,5 \pm 0,2$, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Просечната вредност на **Si** во композитниот материјал Fuji IX GP® мазна површина изнесува $20,3 \pm 0,2$, во Fuji IX GP® фрактурирана површина изнесува $16,9 \pm 0,2$, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

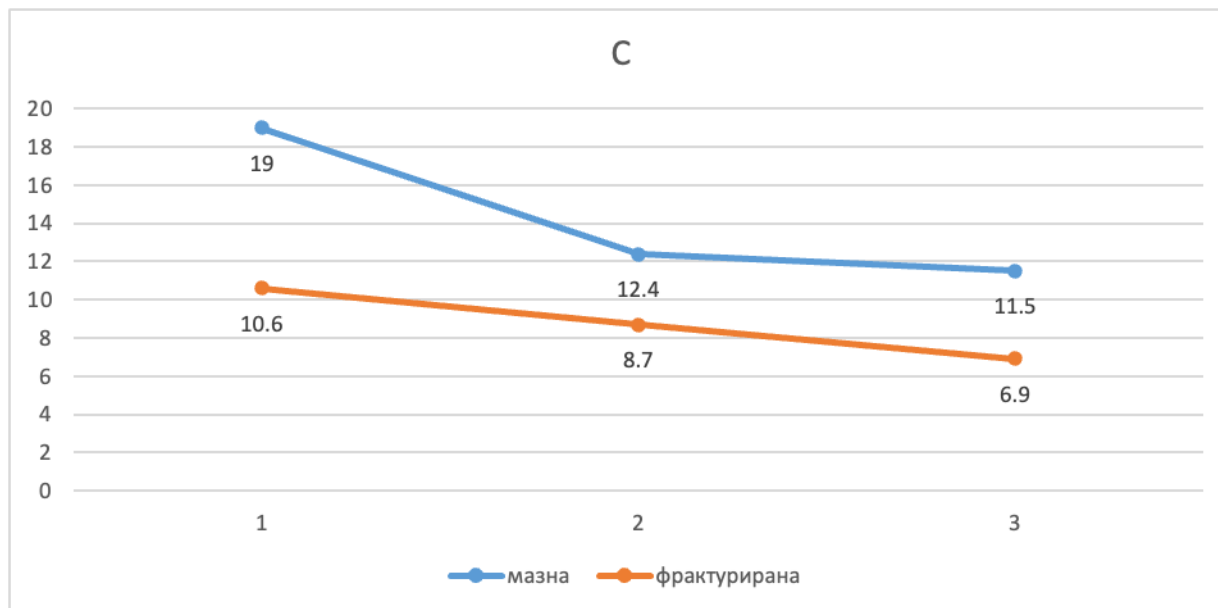
Елементот **P** не се регистрира во десетте точки на Fuji IX GP® мазна површина и Fuji IX GP® фрактурирана површина (табела 8).

Ca во композитниот материјал Fuji IX GP® мазна површина не се регистрира, во Fuji IX GP® е фрактурирана површина изнесува $0,1 \pm 0,0$. (табела 8).

Просечната вредност на **Ba** во композитниот материјал Tetric EvoCeram® мазна површина изнесува $11,9 \pm 0,4$, во Tetric EvoCeram® фрактурирана површина изнесува $10,4 \pm 0,3$, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Просечната вредност на **Yb** во композитниот материјал Tetric EvoCeram® мазна површина изнесува $9,9 \pm 0,4$, во Tetric EvoCeram® фрактурирана површина изнесува $10,4 \pm 0,7$, разликата помеѓу просечните вредности е сигнификантна за $p < 0,05$ (табела 8).

Графикон 10 Приказ на просечните вредности на елементот С кај трите композитни материјали



1 Cention® Forte

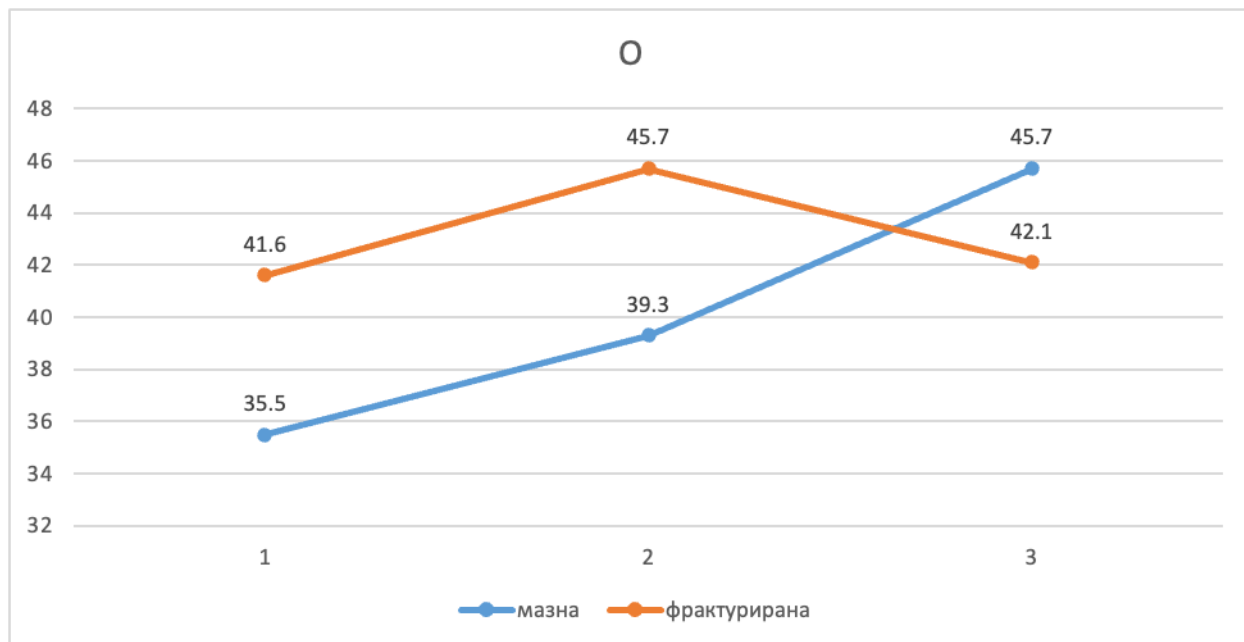
2 Tetric EvoCeram®

3 Fuji IX GP®

Разликата на просечните вредности на елементот С (19, 12,4 и 11,5) помеѓу трите композитни материјали од мазна површина е сигнификантна за $p < ,05$, највисока просечна вредност се регистрира кај Cention® Forte (19), а најниска кај Fuji IX GP® (11,5). Разликата на просечните вредности на елементот С (10,6, 8,7 и 6,9) помеѓу трите композитни материјали од фрактурирана површина е сигнификантна за $p < ,05$, највисока просечна вредност се регистрира кај Cention® Forte (10,6), а најниска кај Fuji IX GP® (6,9).

Просечните вредности на елементот С од сите точки на композитните материјали се сигнификантно повисоки кај мазната површина во однос на просечните вредности од фрактурираната површина за $p < ,05$ (графикон 10).

Графикон 11 Приказ на просечните вредности на елементот O кај трите композитни материјали



1 Cention® Forte

2 Tetric EvoCeram®

3 Fuji IX GP®

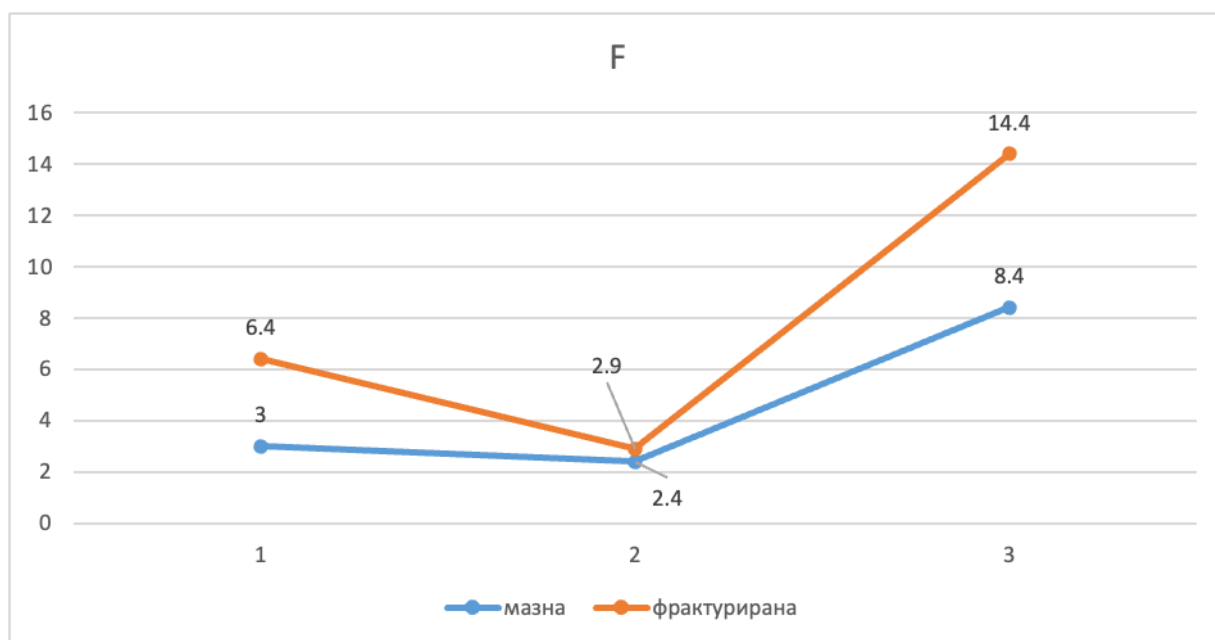
Разликата на просечните вредности на елементот O (41,6, 45,7 и 42,1) помеѓу трите композитни материјали од фрактурираната површина е сигнификантна за $p < ,05$, највисока просечна вредност се регистрира кај Tetric EvoCeram® (45,7), а најниска кај Cention® Forte (41,6).

Разликата на просечните вредности на елементот O (35,5, 39,3 и 45,7) помеѓу трите композитни материјали од мазната површина е сигнификантна за $p < ,05$, највисока просечна вредност се регистрира кај Fuji IX GP® (45,7), а најниска кај Cention® Forte (35,5).

Просечните вредности на елементот O од точки на композитните материјали Cention® Forte и Tetric EvoCeram® од фрактурираната површина (41,6, 45,7) се

сигнификантно повисоки од мазната површина за $p < ,05$. Просечната вредност на елементот O од точки на композитните материјали Fuji IX GP® од фрактурираната површина (42,1) е сигнификантно помала од мазната површина (45,7) за $p < ,05$ (графикон 11).

Графикон 12 Приказ на просечните вредности на елементот F кај трите композитни материјали



1 Cention® Forte

2 Tetric EvoCeram®

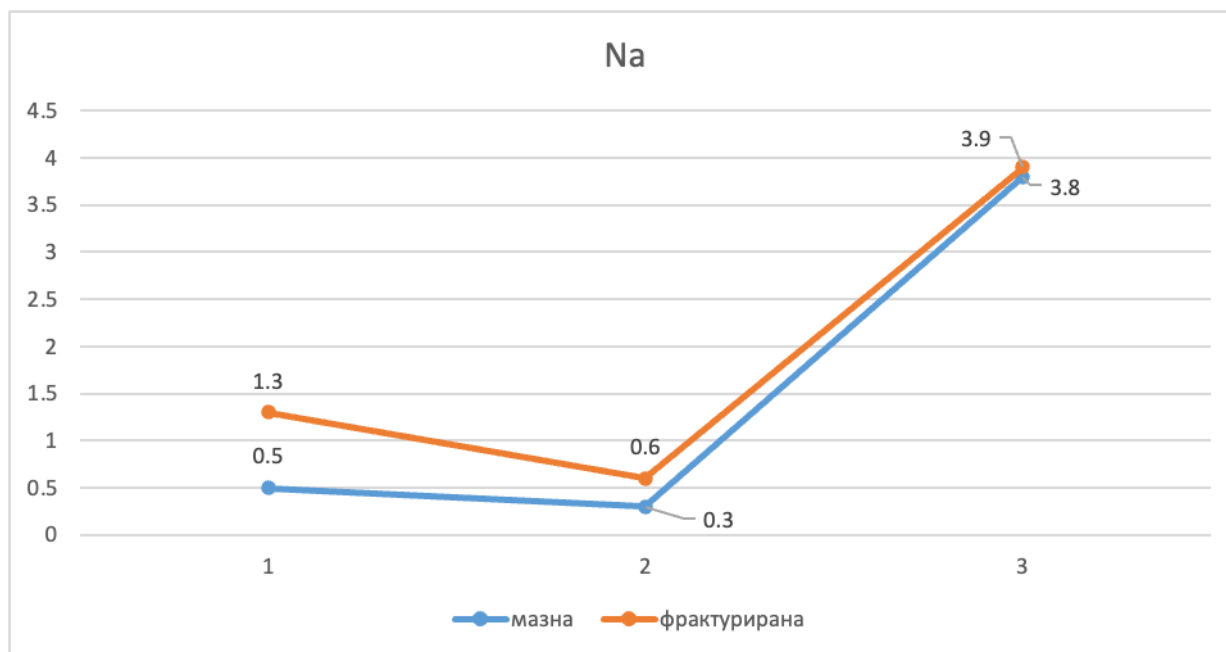
3 Fuji IX GP®

Разликата на просечните вредности на елементот F (6,4, 2,9 и 14,4) помеѓу трите композитни материјали од фрактурираната површина е сигнификантна за $p < ,05$, најниската просечна вредност на F се регистрира кај Tetric EvoCeram® (2,9), а највисока кај Fuji IX GP® (14,4).

Разликата на просечните вредности на елементот F (3,0, 2,4 и 8,4) помеѓу трите композитни материјали од мазната површина е сигнификантна за $p < .05$, најниската просечна вредност на F се регистрира кај Tetric EvoCeram® (2,4), а највисока кај Fuji IX GP® (8,4).

Просечните вредности на елементот F од точки на фрактурираната површина се сигнификантно повисоки од мазната површина за $p < .05$. (графикон 12).

Графикон 13 Приказ на просечните вредности на елементот Na кај трите композитни материјали



1 Cention® Forte

2 Tetric EvoCeram®

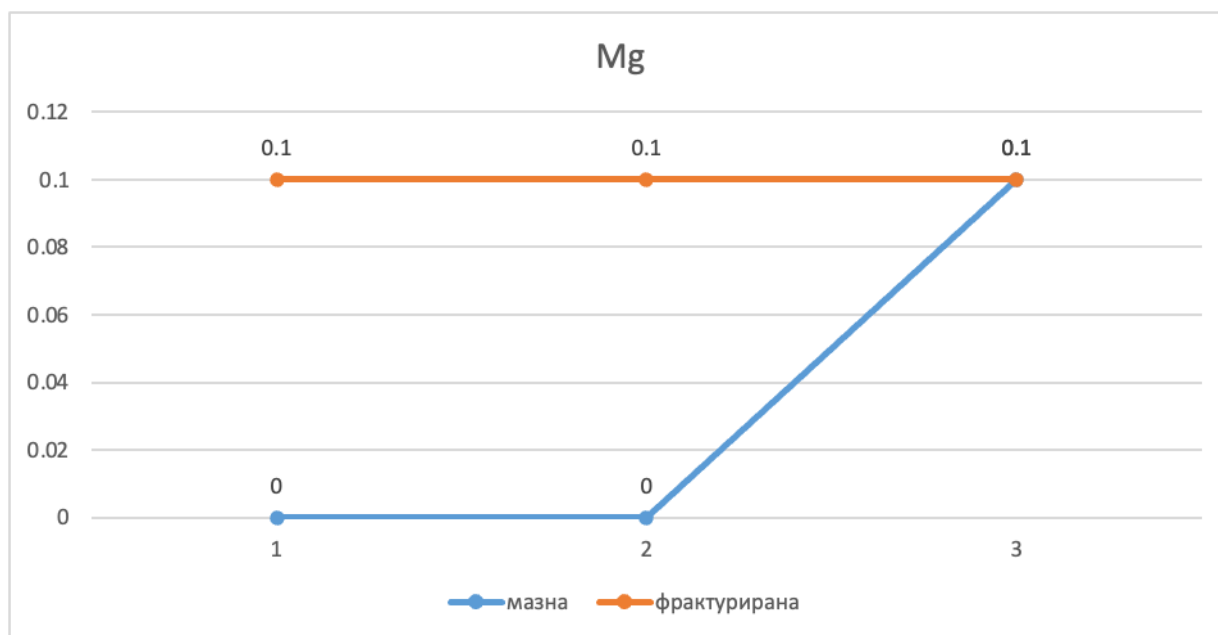
3 Fuji IX GP®

Разликата на просечните вредности на елементот Na (0,5, 0,3 и 3,8) помеѓу трите композитни материјали од мазна површина е сигнификантна за $p < .05$, највисока просечна вредност се регистрира кај Fuji IX GP® (3,8), а најниска кај Tetric

EvoCeram® (0,3). Разликата на просечните вредности на елементот Na (1,3, 0,6 и 3,9) помеѓу трите композитни материјали од фрактурирана површина е сигнификантна за $p < 0,05$, највисока просечна вредност се регистрира кај Fuji IX GP® (3,9), а најниска кај Tetric EvoCeram® (0,6).

Просечните вредности на елементот Na од сите точки на композитните материјали се сигнификантно повисоки од фрактурираната површина во однос на просечните вредности од мазната површина за $p < 0,05$ (графикон 13).

Графикон 14 Приказ на просечните вредности на елементот Mg кај трите композитни материјали



1 Cention® Forte

2 Tetric EvoCeram®

3 Fuji IX GP®

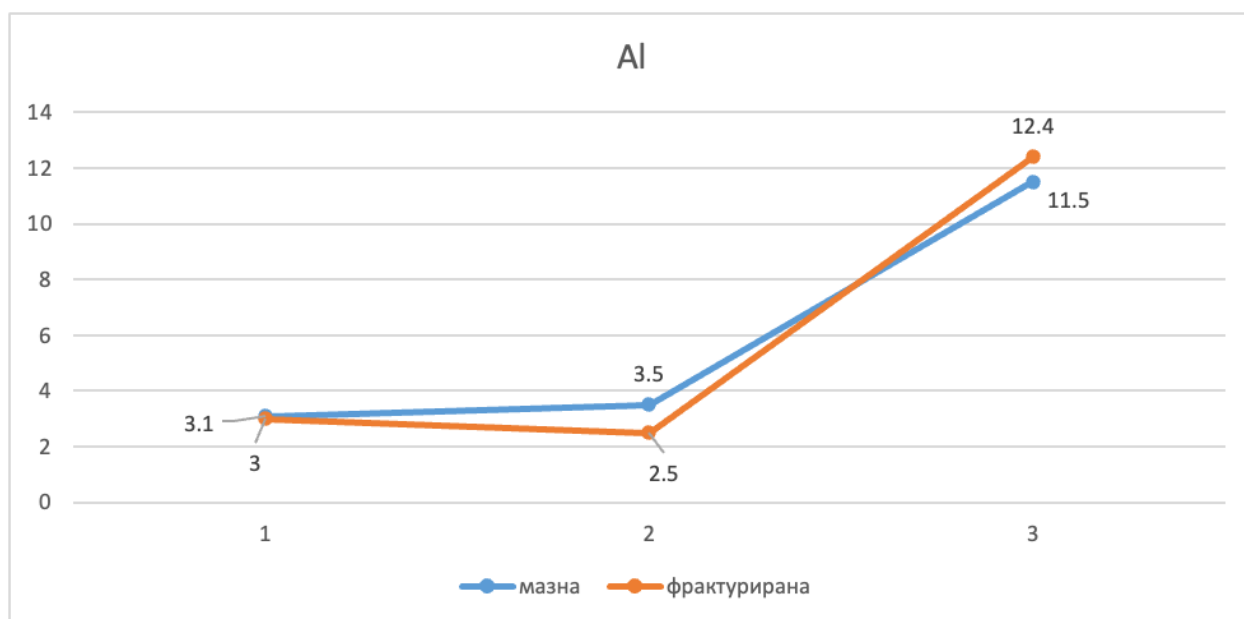
Елементот Mg не се регистрира кај Cention® Forte и Tetric EvoCeram®, а во Fuji IX GP® изнесува 0,1 кај мазна површина.

Вредностите на елементот Mg се константни кај сите три композитни материјали и изнесуваат 0,1 кај фрактурираната површина (графикон 14).

Разликата на просечните вредности на елементот Al (3,1, 3,5 и 11,5) помеѓу трите композитни материјали од мазна површина е сигнификантна за $p < ,05$, највисока просечна вредност се регистрира кај Fuji IX GP® (11,5), а најниска кај Cention® Forte (3.1). Разликата на просечните вредности на елементот Al (3, 2,5 и 12,4) помеѓу трите композитни материјали од фрактурирана површина е сигнификантна за $p < ,05$, највисока просечна вредност се регистрира кај Fuji IX GP® (12,4), а најниска кај Cention® Forte (3).

Просечните вредности на елементот Al од сите точки на композитните материјали се сигнификантно повисоки од мазната површина, единствено разликата се менува во Fuji IX GP® (12.4) фрактурирана површина во однос на просечните вредности од мазната површина за $p < ,05$ (графикон 14).

Графикон 15 Приказ на просечните вредности на елементот Al кај трите композитни материјали



1 Cention Forte

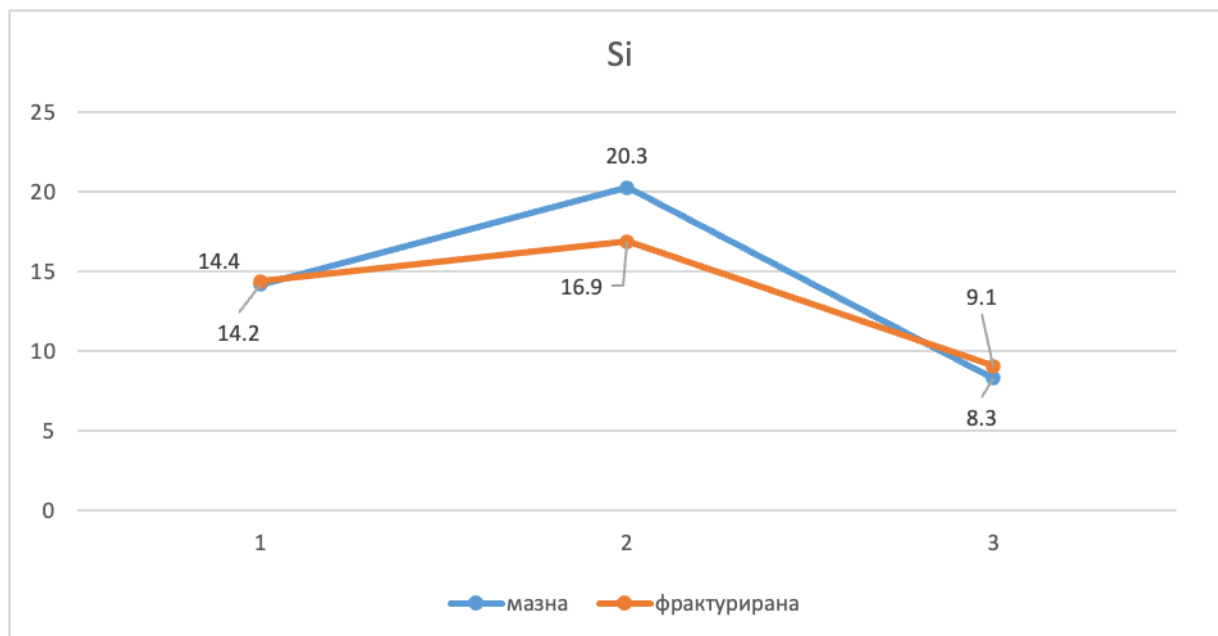
2 Tetric EvoCeram®

3 Fuji IX GP®

Разликата на просечните вредности на елементот Si (14,2, 20,3 и 8,3) помеѓу трите композитни материјали од мазна површина е сигнификантна за $p < ,05$, највисока просечна вредност се регистрира кај Tetric EvoCeram® (20,3), а најниска кај Fuji IX GP® (8,3). Разликата на просечните вредности на елементот Si (14,4, 16,9 и 9,1) помеѓу трите композитни материјали од фрактурирана површина е сигнификантна за $p < ,05$, највисока просечна вредност се регистрира кај Fuji IX GP® (16,9), а најниска кај Fuji IX GP® (8,3).

Просечните вредности на елементот Si од сите точки на композитните материјали варираат и се сигнификантно повисоки од фрактурираната површина кај Cention® Forte, разликата се менува кај Tetric EvoCeram® мазна површина во однос на просечните вредности од фрактурираната површина и вредностите се сигнификантно повисоки од фрактурираната површина во однос на мазната, за $p < ,05$ (графикон 15).

Графикон 16 Приказ на просечните вредности на елементот Si кај трите композитни материјали



1 Cention® Forte

2 Tetric EvoCeram®

3 Fuji IX GP®

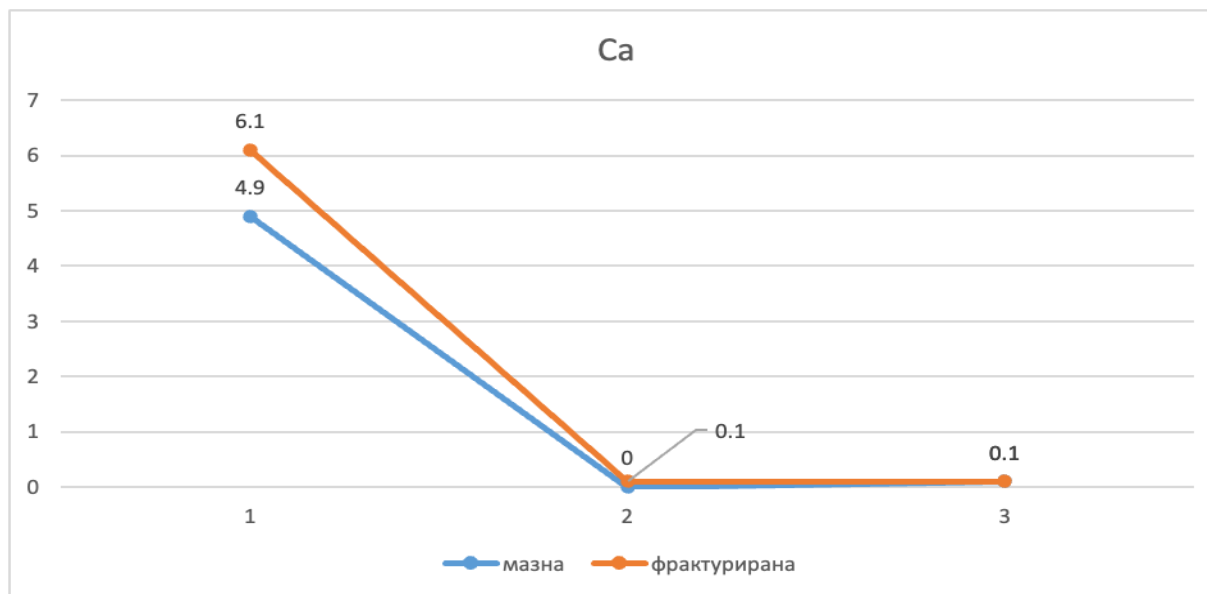
P се регистрира единствено кај композитниот материјал Fuji IX GP® мазна и фрактурирана и површина просечната вредност изнесува 1,1 и 1,2.

Разликата на просечните вредности на елементот Ca (4,9, 0 и 0,1) помеѓу трите композитни материјали од мазна површина е сигнификантна за $p < 0,05$, највисока просечна вредност се регистрира кај Cention Forte (4,9), а најниска кај Tetric EvoCeram® (0) и Fuji IX GP® (0,1).

Разликата на просечните вредности на елементот Ca (6,1, 0,1 и 0,1) помеѓу трите композитни материјали од фрактурирана површина е сигнификантна за $p < 0,05$, највисока просечна вредност се регистрира кај Cention® Forte (6,1), а најниска кај Tetric EvoCeram® и Fuji IX GP® (0,1).

Просечната вредност на елементот Ca е сигнификантно повисока кај фрактурираната површина кај Cention® Forte, во однос на мазната површина за $p < 0,05$ (графикон 17).

Графикон 17 Приказ на просечните вредности на елементот Ca кај трите композитни материјали



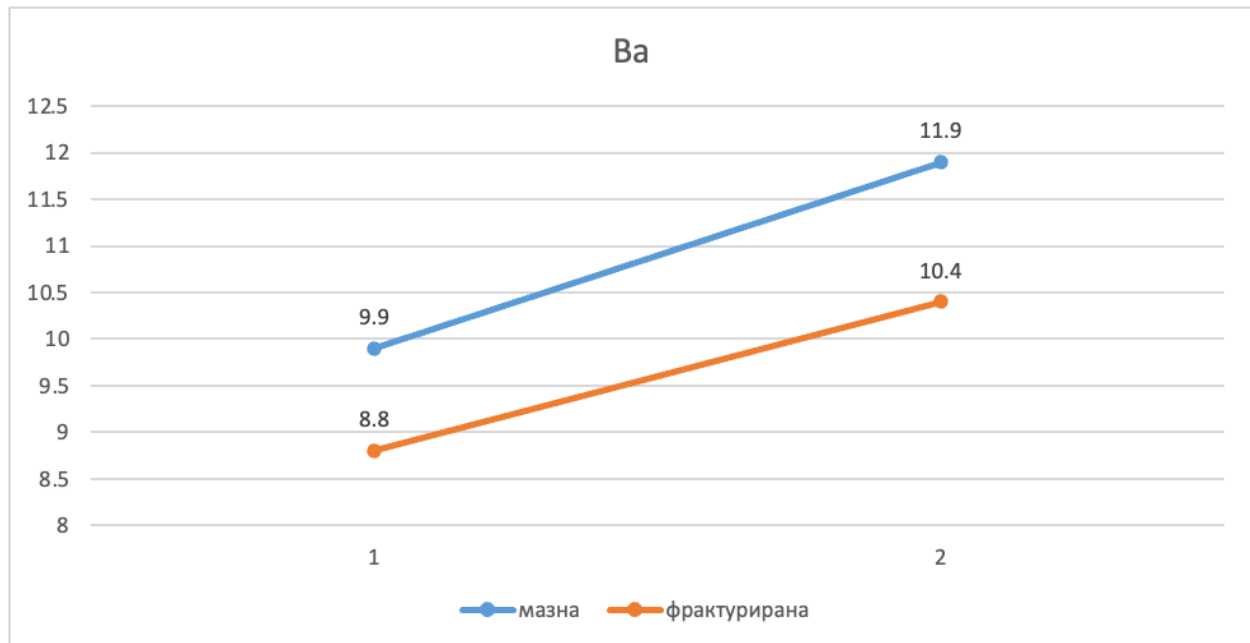
1 Cention® Forte

2 Tetric EvoCeram®

3 Fuji IX GP®

Просечната вредност на елементот Ва е сигнификантно повисоко од мазната површина кај Cention® Forte и Tetric EvoCeram®, во однос на фрактурираната површина за $p < 0,05$ (графикон 18).

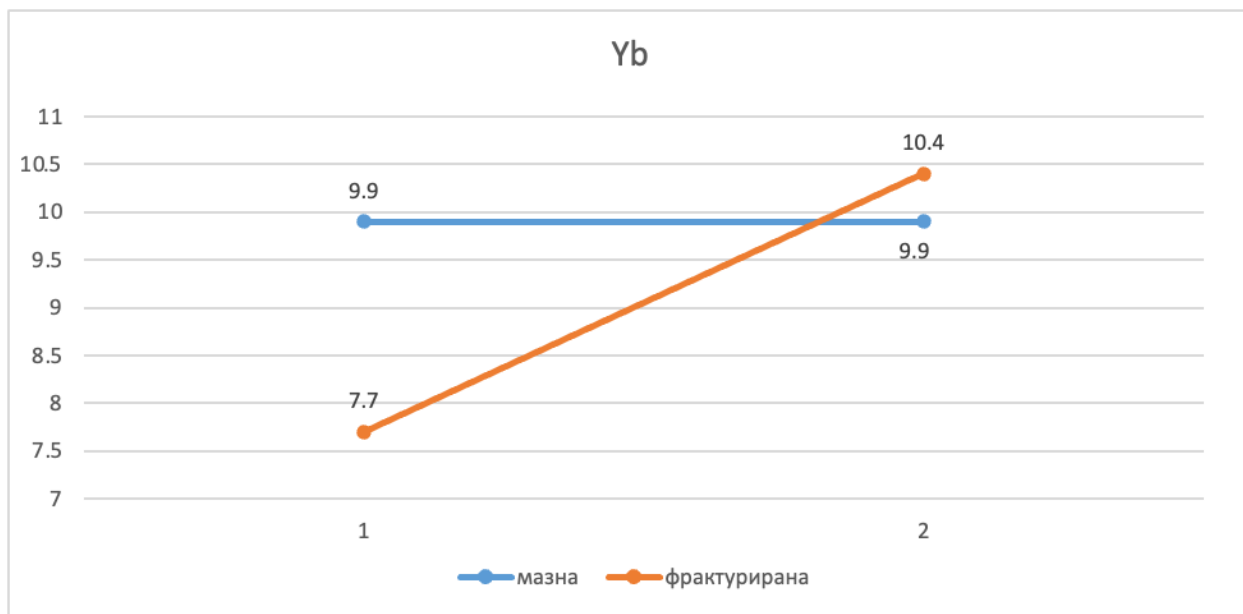
Графикон 18 Приказ на просечните вредности на елементот Ва кај трите композитни материјали



1 Cention® Forte

2 Tetric EvoCeram®

Графикон 19 Приказ на просечните вредности на елементот Yb кај трите композитни материјали



1 Cention® Forte

2 Tetric EvoCeram®

Просечната вредност на елементот Yb е сигнификантно повисока кај Cention® Forte мазната површина во однос на фрактурираната површина за $p < ,05$, додека просечната вредност кај Tetric EvoCeram® е сигнификантно повисока кај фрактурираната површина во однос на мазната површина за $p < ,05$ (графикон 19).

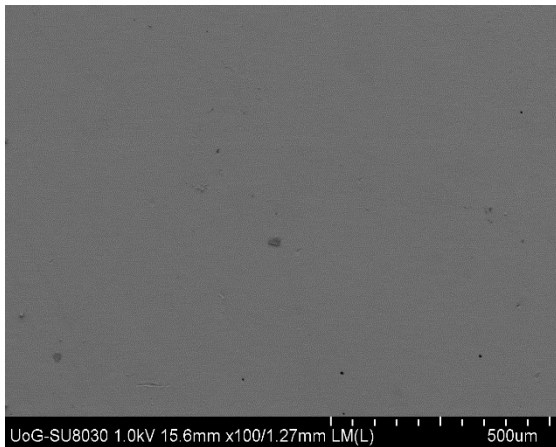
Полуквантитативната EDX анализа покажа различна елементална застапеност помеѓу испитуваните материјали и помеѓу мазната и фрактурираната површина кај секој од нив. Кај Cention® Forte се регистрира зголемување на Ca, F и Na на фрактурираната површина, кај Tetric EvoCeram® доминираат Si и O со умерени промени по фрактурата, додека Fuji IX GP® се одликува со највисока застапеност на F, Al и Na. Кај најголем дел од анализираниите елементи утврдените разлики се статистички сигнификантни, што укажува на променета површинска елементална распределба по механичко оптоварување.

Резултатите од испитувањето на површинската структура на полимеризираните површини на примероците се прикажани преку микрофотографии добиени со

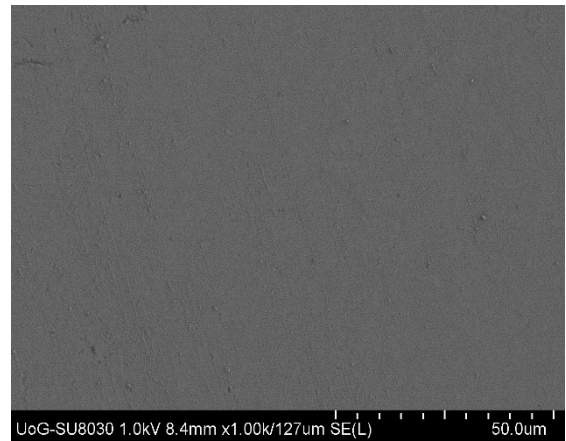
скенирачки електронски микроскоп - Field-emission gun scanning electron microscope (FEG-SEM Hitachi SU 8030, Japan), при користење на следните параметри: 10 KV забрзување на напон, 5-6 мм работна далечина и зголемување од 100x, 1000x, 5000x, 10 000x и 30 000x.

Слика 7 Микрофотографии на изгледот на површината на алказитниот материјал Cention® Forte пред тестирање со компресивно оптоварување, при одредено зголемување

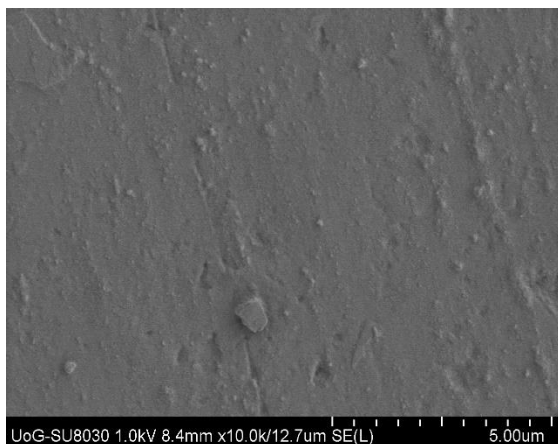
A) Cention® Forte, 100x



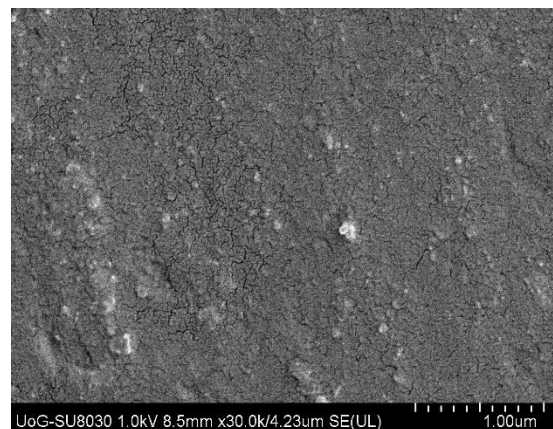
B) Cention® Forte, 1000x



C) Cention® Forte, 10000x

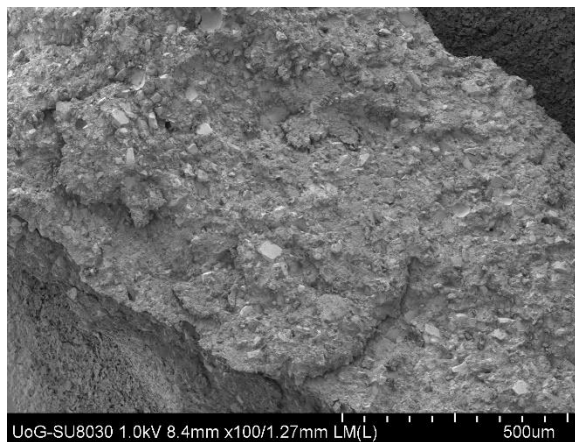


D) Cention® Forte, 30000x

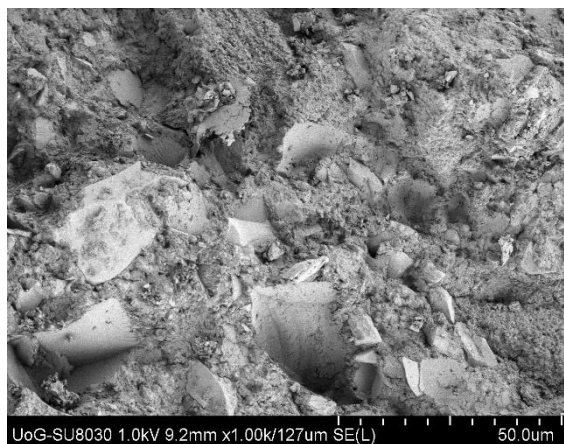


Слика 8 Микрофотографии на изгледот на површината на алказитниот материјал Cention® Forte по тестирање со компресивно оптоварување, при одредено зголемување.

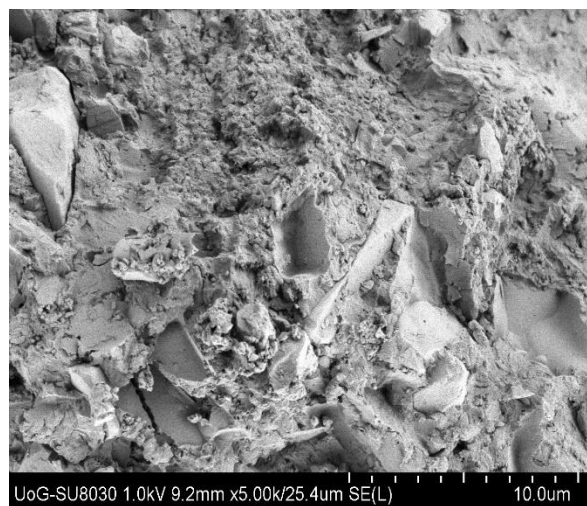
A) Cention® Forte, 100x



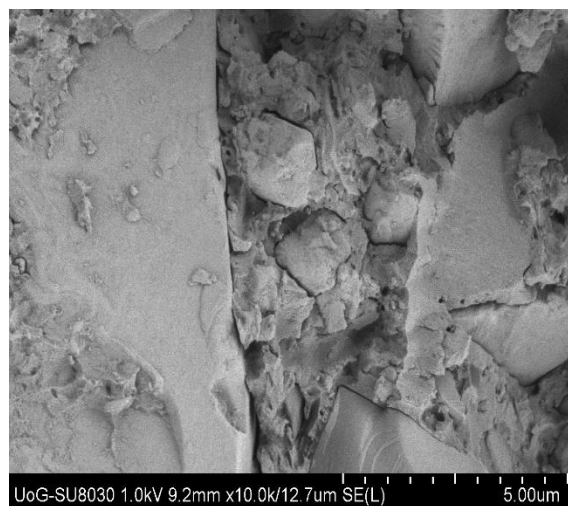
B) Cention® Forte, 1000x



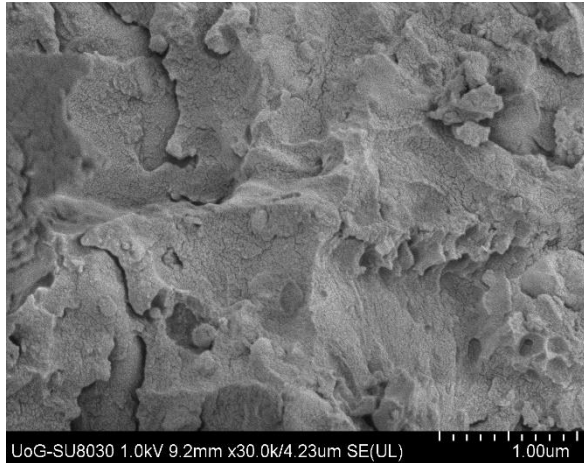
C) Cention® Forte, 5000x



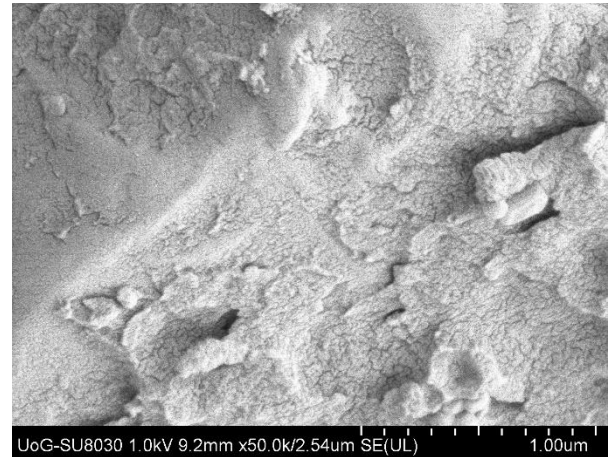
D) Cention® Forte, 10000x



E) Cention® Forte, 30000x



D) Cention® Forte, 50000x



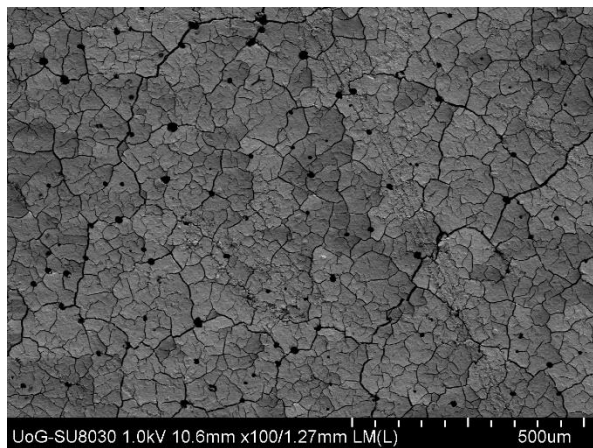
Микрофотографиите на алказитниот реставративен материјал Cention® Forte пред изложување на компресивно оптоварување прикажуваат релативно хомогена и континуирана површинска морфологија. При пониски зголемувања (100× и 1000×) се забележува рамномерна површина со дисперзирани полнила вградени во органската матрица. Со зголемување на зголемувањето (10 000× и 30 000×) појасно се диференцира микроструктурата на материјалот, при што се воочуваат честички од неоргански полнила со различна големина и форма, цврсто инкорпорирани во матриксот, без присуство на пукнатини или структурни дисконтинуитети на површинскиот слој.

Микрофотографиите по тестирањето со компресивно оптоварување покажуваат значително изменета површинска морфологија. По фрактурата се забележуваат изразени неправилности на површината, присуство на пукнатински линии, микро- и макродисконтинуитети, како и експонирани и делумно извлечени честички од полнилата. При повисоки зголемувања (10 000×–50 000×) се регистрира поизразена хетерогеност, со зони на одвојување помеѓу полнилото и матрицата и локални фрактурни површини со нерамна текстура.

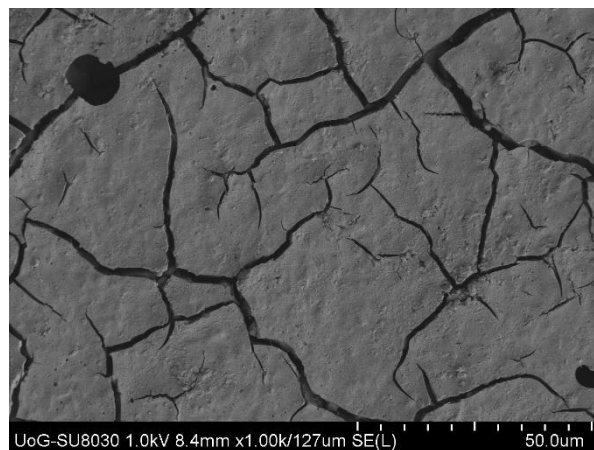
Во споредба со иницијалната, мазна и компактна површина пред оптоварување, фрактурираната површина по компресивниот тест покажува изразени структурни промени, со поголема рапавост, присуство на пукнатини и изложени полнила, што укажува на механички индуцирана површинска деструкција на материјалот.

Слика 9 Микрофотографии на изгледот на површината на алказитниот материјал Fuji IX GP® пред тестирање со компресивно оптоварување, при одредено зголемување

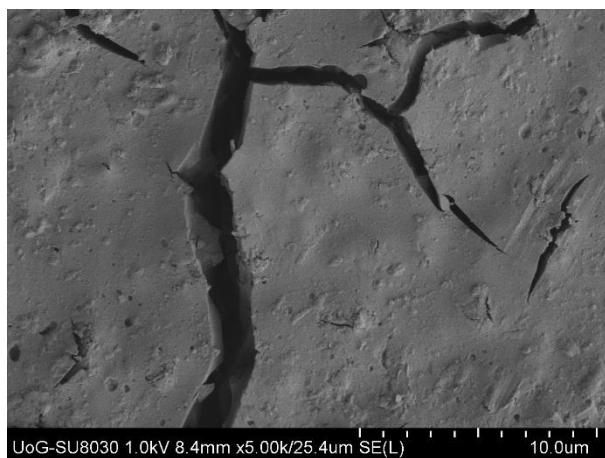
A) Fuji IX GP®, 100x



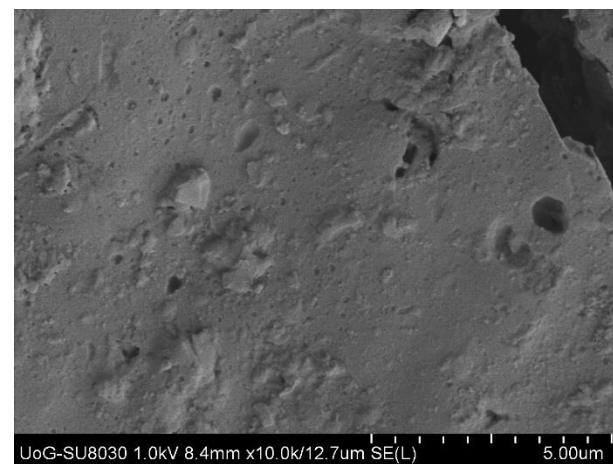
B) Fuji IX GP®, 1000x



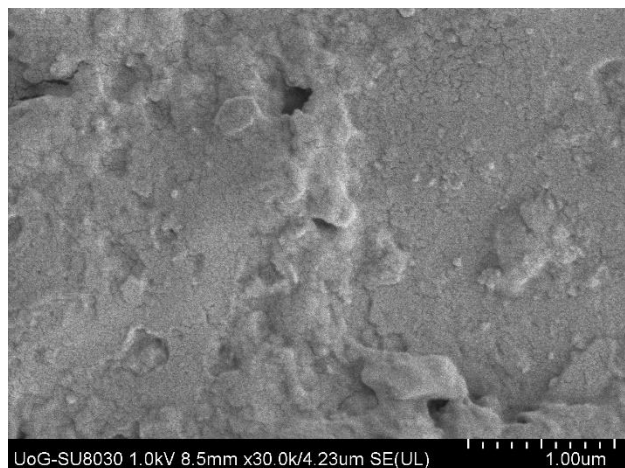
C) Fuji IX GP®, 50000x



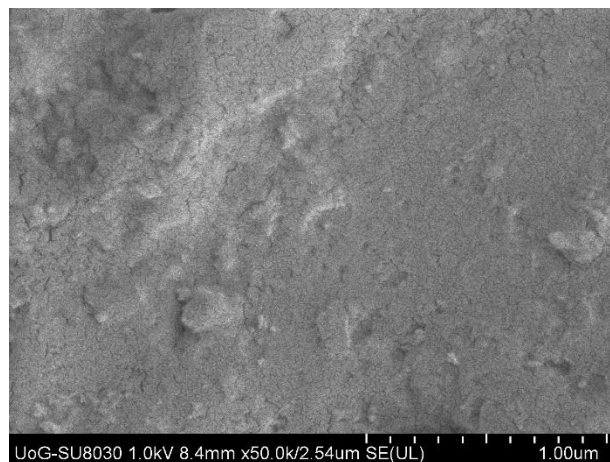
D) Fuji IX GP®, 10000x



E) Fuji IX GP[®], 30000x

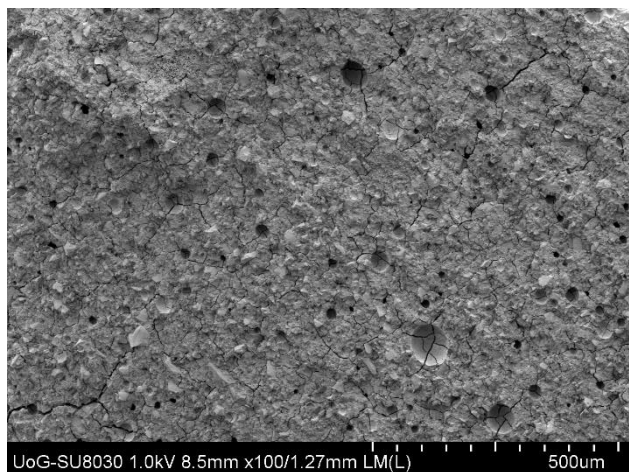


F Fuji IX GP[®], 50000x

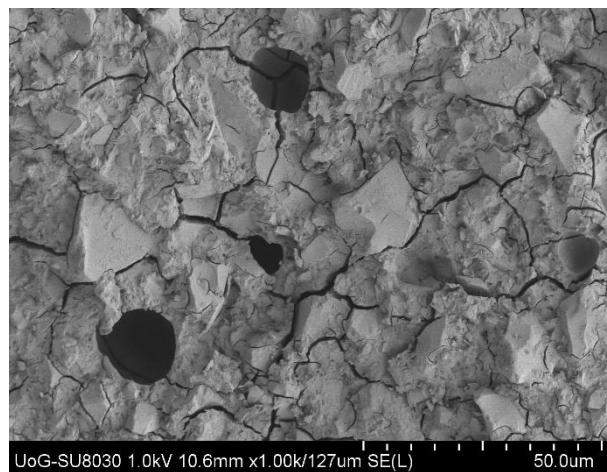


Слика 10 Микрофотографии на изгледот на површината на алказитниот материјал Фуџи IX GP[®] по тестирање со компресивно оптоварување, при одредено зголемување

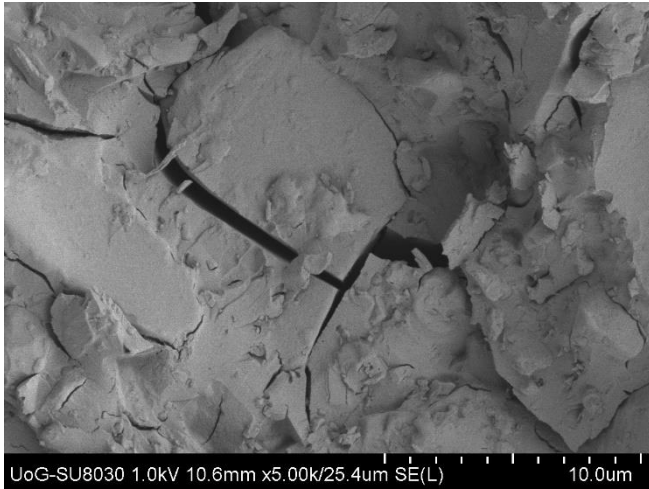
A) Fuji IX GP[®], 100x



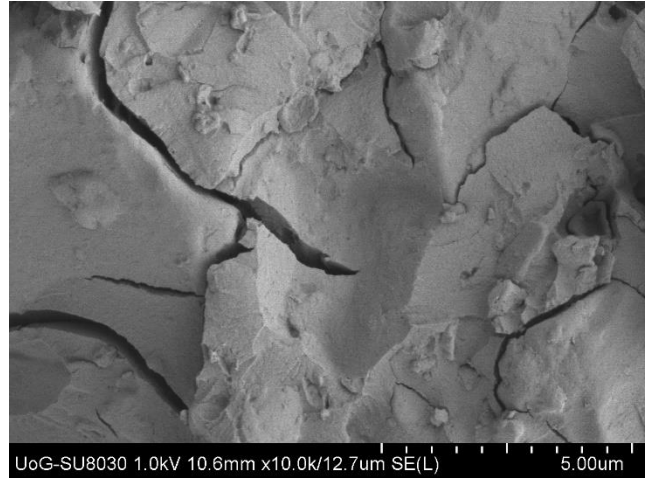
B) Fuji IX GP[®], 1000x



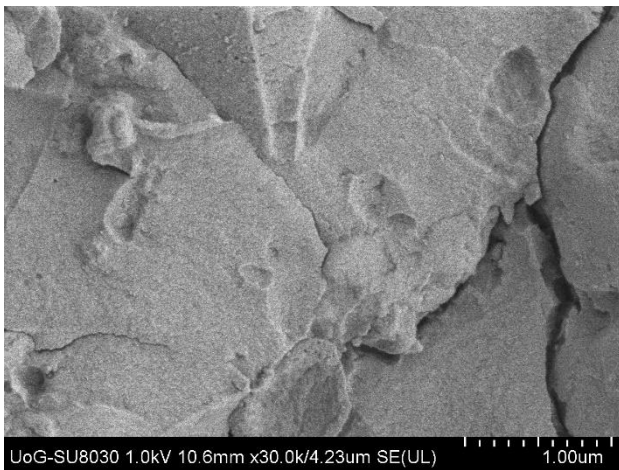
C) Fuji IX GP®, 5000x



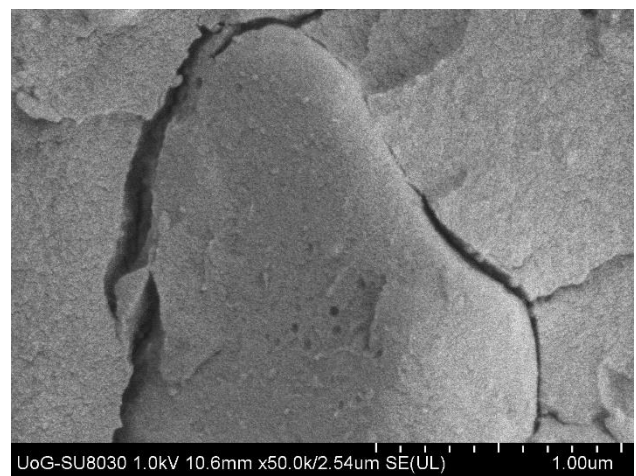
D) Fuji IX GP®, 10000



E) Fuji IX GP®, 30000x



F) Fuji IX GP®, 50000x



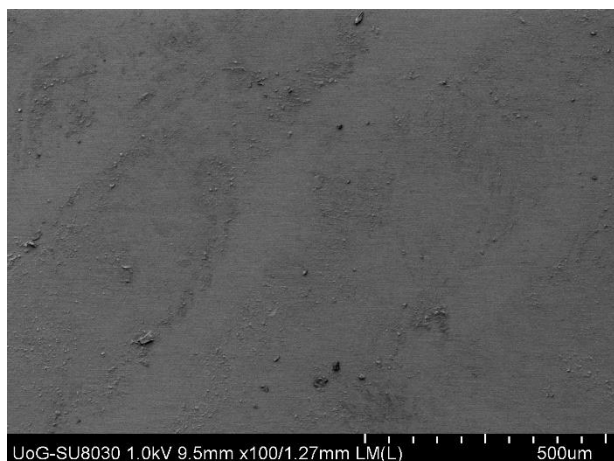
SEM микрофотографиите на глас-јономерниот реставративен материјал Fuji IX GP® пред изложување на компресивно оптоварување прикажуваат релативно нехомогена површинска морфологија карактеристична за глас-јономерните цемента. При пониски зголемувања (100× и 1000×) се забележува грануларна структура со нерамномерна распределба на честички и присуство на микропорозитети во површинскиот слој. При повисоки зголемувања (10 000×–50 000×) појасно се визуализира стаклената фаза со вградени честички од полнило и матрикс со нецелосно мазна текстура, со локални неправилности и микроструктурни празнини.

SEM микрофотографиите по тестирањето со компресивно оптоварување покажуваат изразено нарушување на површинската структура. По фрактурата се воочуваат многубројни пукнатини, проширени порозни зони и неправилни фрактурни површини. На повисоки зголемувања се регистрираат зони на раздвојување во матриксот и делумно дезинтегрирани области, со појава на фрактурни линии кои се протегаат низ структурата на материјалот.

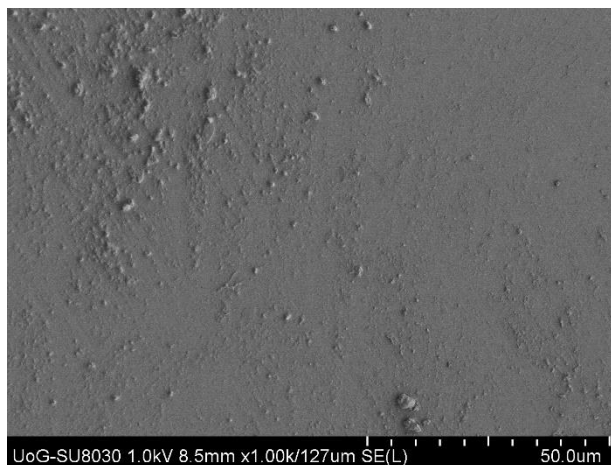
Во споредба со иницијалната површина пред механичко оптоварување, која покажува грануларна и порозна, но континуирана структура, површината по компресивниот тест демонстрира поизразена структурна дезорганизација, зголемена рапавост и јасно видливи фрактурни дефекти, што укажува на пониска структурна компактност под дејство на оптоварување.

Слика 11 Микрофотографии на изгледот на површината на алказитниот материјал Tetric EvoCeram® пред тестирање со компресивно оптоварување, при одредено зголемување

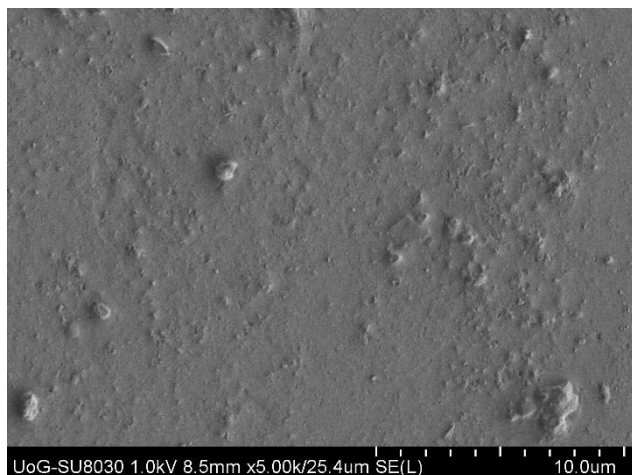
A) Tetric EvoCeram®, 100x



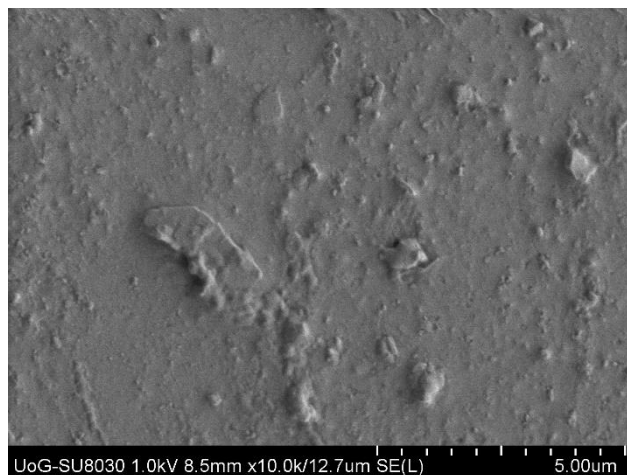
B) Tetric EvoCeram®, 1000x



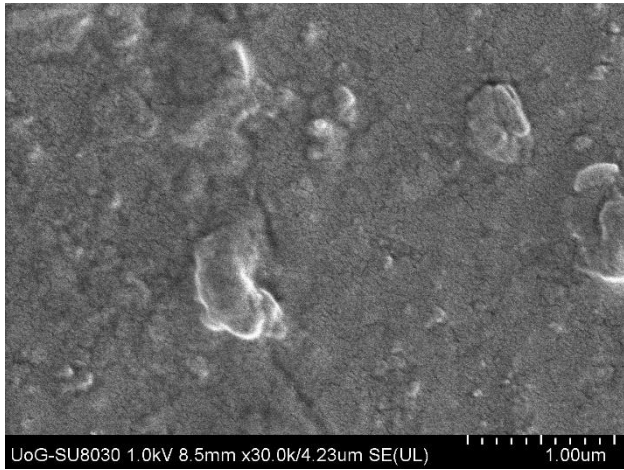
C) Tetric EvoCeram®, 5000x



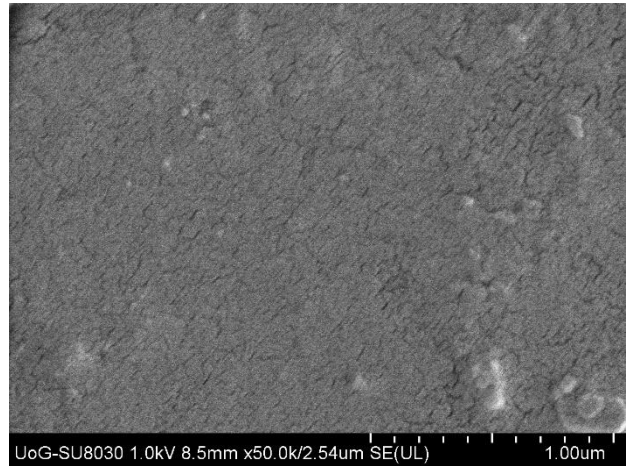
D) Tetric EvoCeram®, 10000x



E) Tetric EvoCeram[®], 30000x

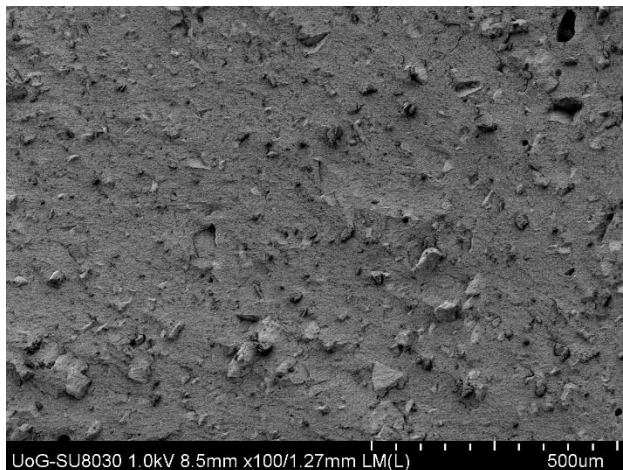


F) Tetric EvoCeram[®], 50000x

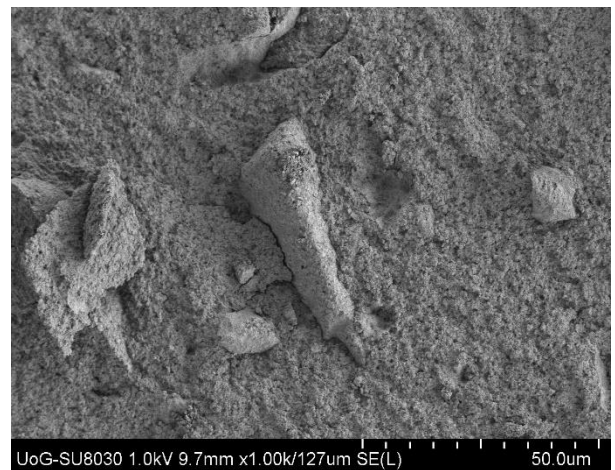


Слика 12 Микрофотографии на изгледот на површината на алказитниот материјал Tetric EvoCeram[®] по тестирање со компресивно оптоварување, при одредено зголемување

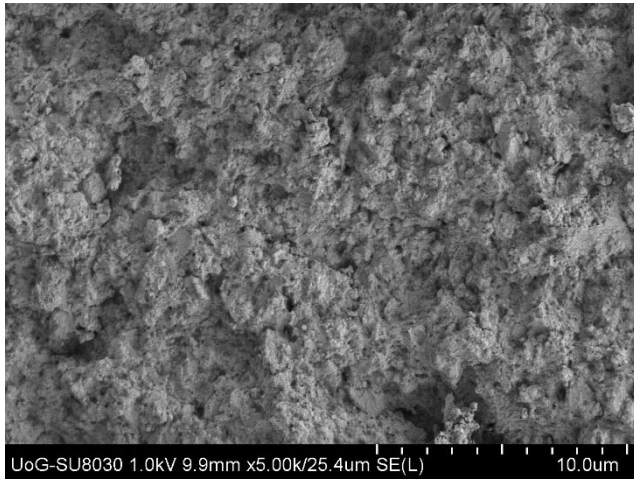
A) Tetric EvoCeram[®], 100x



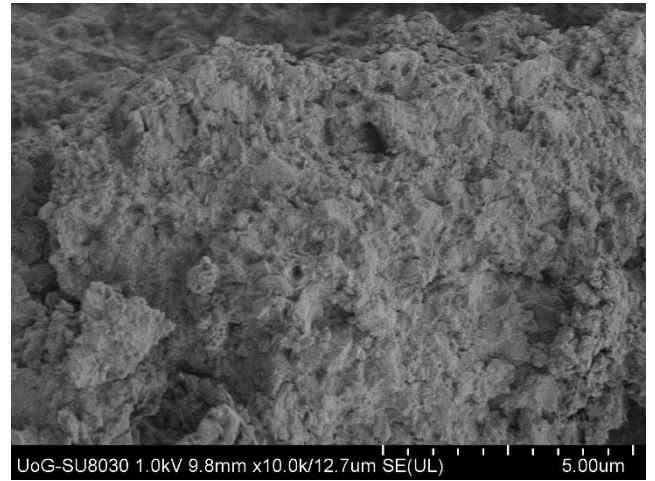
B) Tetric EvoCeram[®], 1000x



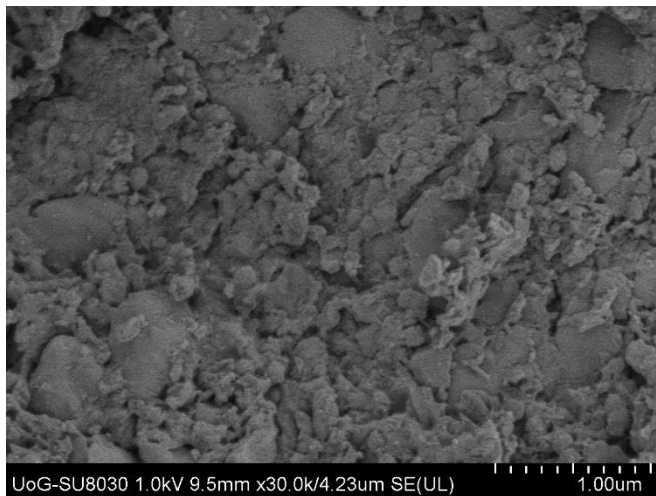
C) Tetric EvoCeram®, 5000x



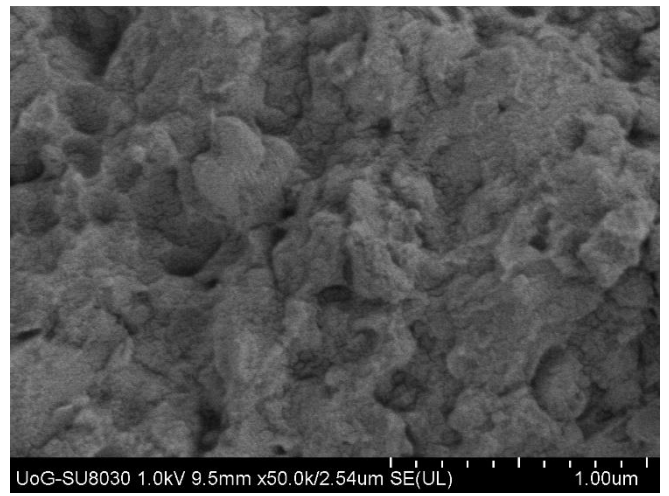
D) Tetric EvoCeram®, 10000



E) Tetric EvoCeram®, 30000x



F) Tetric EvoCeram®, 500000x



Микрофотографиите на композитниот реставративен материјал Tetric EvoCeram® пред изложување на компресивно оптоварување прикажуваат компактна и релативно хомогена површинска морфологија. При пониски зголемувања (100× и 1000×) се забележува рамномерна површина со фино дисперзирани честички од неорганско полнило вградени во органската смолеста матрица. Со зголемување на зголемувањето (5 000×–50 000×) појасно се диференцира микроструктурата, при што се воочуваат полнила со различна големина и форма, добро поврзани со матриксот и без видливи површински пукнатини или дисконтинуитети.

Микрофотографиите по тестирањето со компресивно оптоварување покажуваат променета фрактурна морфологија со присуство на неправилни фрактурни површини и локализиран пукнатински линии. На повисоки зголемувања се забележуваат зони со изложени честички од полнило, микродисконтинуитети во матриксот и локално одвојување на интерфејсот помеѓу полнилото и смолестата фаза. Површината по фрактурата е порапава и структурно нехомогена во однос на иницијалната состојба.

Во споредба со површината пред оптоварување, која се карактеризира со компактна и рамномерна микроструктура, површината по компресивниот тест покажува изразени фрактурни промени, со појава на пукнатини и експонирани полнила, што укажува на механички индуцирани структурни нарушувања на композитниот материјал.

Анализа со скенинг електронска микроскопија(SEM) на трите испитувани материјали: композитниот материјал Tetric EvoCeram® покажува најкомпактна и похомогена површинска микроструктура, алказитниот материјал Cention® Forte прикажува хетерогена структура со добро инкорпорирани полнила, додека глас-јономерниот цемент Fuji IX GP® се одликува со поизразена грануларност и повисок степен на порозност, при што по компресивното оптоварување кај сите материјали се регистрираат фрактурни површински промени со различен степен на изразеност.

ДИСКУСИЈА

Во овој магистерски труд беа испитани механичките и биоактивните карактеристики на Cention® Forte како нова генерација алказитен реставративен материјал, во споредба со традиционалниот стаклојонски цемент Fuji IX GP® и композитната смола Tetric EvoCeram®. Целта беше да се утврди дали Cention® Forte може да обезбеди клинички супериорни својства преку комбинација на висока механичка јачина, ослободување јони и потенцијална реминерализирачка и антимикуробна активност. Преку мерењето на компресивната јачина и анализа на елементниот состав со EDX беа добиени релевантни податоци кои овозможуваат детален увид во перформансите на материјалот. Со оглед на тоа што Cention® Forte претставува понова генерација алказитен реставративен материјал, достапните литературни податоци се ограничени, па затоа споредбата во дискусијата во најголем дел се базира на студии кои ги испитуваат својствата на претходната генерација – Cention® N.

Добиените резултати потврдија дека Cention® Forte покажува значително повисока компресивна јачина во однос на Fuji IX GP®, додека вредностите се приближни, но нешто пониски во споредба со композитот Tetric EvoCeram®, што е (65) во согласност со поголем број објавени истражувања (25, 26, 29). Овој тренд е во согласност со наодите на Naz и сор. (12), кои исто така укажуваат дека Cention® N има подобри механички својства од традиционалните ГЈЦ материјали. Ilie (42) дополнително го објаснува ова со фактот дека Cention® N и сродните алказитни материјали постигнуваат висока стабилност на полимерната мрежа, што води кон подобрена отпорност на притисок и флексибилност, додека Sharan и сор. (43) потврдуваат дека механичките перформанси се значајно подобри од оние на засилените ГЈЦ материјали. Претходните истражувања на Marović и соработниците (1–3) даваат дополнителна поддршка на овие резултати, истакнувајќи дека интегрирањето на биоактивни честички во смолестата матрица може значително да ја засили структурата без зголемена кршливост. Paг и сор. (5, 16, 18), исто така, нагласуваат дека UDMA-системите и биоактивните стаклени

полнила обезбедуваат хемиски стабилна, механички отпорна и нискоконтрактивна матрица, што го објаснува однесувањето на Cention® Forte.

Во поглед на хемискиот состав, EDX анализата во овој труд откри присуство на калциум, силициум и флуор во Cention® Forte, што потврдува дека материјалот има биоактивен потенцијал. Овие елементи се поврзани со реминерализација и антимикробно дејство според многубројни студии (8, 9, 16). Gonzalez и Fernandez (9) наведуваат дека присуството на калциум и флуор е директно поврзано со способноста за повторна минерализација на дентинските структури, додека Persson и сор. (8) покажуваат дека материјалите што ослободуваат хидроксилни јони можат да ја неутрализираат рН-вредноста на плакот. Резултатите од нашето истражување се совпаѓаат со овие наоди и дополнително се поткрепени со работата на Abdallah и Aref (41), кои демонстрираат дека алказитните материјали имаат стабилна оксидна мрежа способна за континуирано и контролирано ослободување јони во влажна средина. Истражувањата на Di Lauro et al. (44) покажуваат дека алказитните материјали (како Cention N) ослободуваат јони (калциум, флуор и хидроксид) при кисели услови и дека ова ослободување е поврзано со зголемување на рН-вредноста на околната средина (Di Lauro et al. 2023; Wiriyasatiankun et al. 2022).

Di Lauro A. и соработниците го испитуваа влијанието на рН-вредноста и температурата врз ослободувањето на флуоридни (F^-) и калциумови (Ca^{2+}) јони од материјал на база на смола со алкални полнила и од самостврднувачки високовискозен глас-јономерен цемент. Во студијата беа користени два материјала: Equia™ Forte HT (EF) и Cention® N (CN). Примероците беа потопени во пуферски раствори со различни рН-вредности (4,8; 6,8 и 8,8) и изложени на различни температури (0 °C, 18 °C, 37 °C и 44 °C).

Резултатите покажаа минимални промени во рН-вредноста кај двата материјали по 28 дена, што укажува на нивна хемиска стабилност. Во сите испитувани услови материјалот Equa™ Forte HT покажа повисок процент на ослободување јони во споредба со Cention® N. Дополнително, беше утврдена

статистички значајна зависност помеѓу температурата и ослободувањето на F^- јоните кај двата материјали.

Највисокото ослободување на Ca^{2+} јоните беше забележано по 28 дена, независно од рН-вредноста, при што температурата имаше значајно влијание кај двата материјали. Во рамките на ограничувањата на студијата може да се заклучи дека температурата на складирање значително влијае врз јонската активност, при што високовискозниот глас-јономерен цемент покажува најизразено ослободување на јони.

Покрај тоа, зголемена јонска активност беше забележана по 7 дена на инкубација во пуферските раствори. Во однос на влијанието на рН-вредноста, резултатите укажаа на зголемено ослободување на F^- јоните во кисела и базна средина, што е од клиничко значење бидејќи токму во вакви услови потребата од флуоридни јони е најизразена. (44)

Во контекст на овие наоди, резултатите од нашето истражување се надоврзуваат на студијата на Di Lauro и соработниците, иако методолошкиот пристап беше различен. Имено, преку EDX анализата беше потврдено присуство на калциум и флуор во Cention® Forte, што индиректно укажува на потенцијал за јонско ослободување во услови на кисела или базна средина, како што е опишано кај Cention® N и Equia™ Forte HT. Отсуството на значајни промени во рН кај материјалите во студијата на Di Lauro et al. е во согласност со стабилната механичка структура и хемиски состав на Cention® Forte утврдени во нашиот труд, што сугерира дека алказитните материјали можат да комбинираат хемиска стабилност со биоактивен потенцијал.

Ослободување на јони претставува фундаментална биолошка предност на Cention® Forte. Присуството на флуоридни, калциумови и силикатни јони, забележано и во нашата анализа, укажува на потенцијал за реминерализација, што е поддржано од многубројни студии на биоактивни композити (16, 18, 19). Wiriyasatiankun и сор. (20) потврдуваат дека Cention® N може значително да ја зголеми рН-вредноста на биофилмот на *Streptococcus mutans*, што укажува на

антикариоген ефект преку намалување на киселинската активност. Во согласност со наодите од Gupta и сор. (45) (2019), алказитните материјали како Cention® N покажуваат изразена биоактивност преку континуирано ослободување на флуоридни јони и значајна алкализирачка способност, особено во кисела средина. Авторите утврдиле дека Cention® N во самостврднувачки режим демонстрира највисоки вредности на флуоридно ослободување и најголем потенцијал за зголемување на рН во споредба со другите тестирани материјали, што е од суштинско значење за неутрализирање на киселините продуцирани од кариогените микроорганизми. Овие резултати директно ја поддржуваат тезата дека алказитните материјали имаат силен антикариоген ефект преку создавање алкална резерва и намалување на бактериската активност, што е во линија со целите на ова истражување за процена на биолошката ефикасност на Cention® Forte. Покрај тоа, резултатите се во согласност и со Tiskaya и сор. (17), кои покажуваат дека биоактивните материјали можат да формираат апатитен слој на површината, што претставува дополнителен механизам за заштита на забните ткива.

Banic Vidal и соработниците го споредија краткорочното ослободување на флуоридни јони од седум јон-ослободувачки стоматолошки реставративни материјали. Од испитуваните материјали, необложениот EQUIA™ Forte HT покажа (68) највисоко ослободување на флуориди во споредба со преостанатите материјали во сите временски интервали на мерење, по 6, 24 и 48 часа, како и по 5 недели.⁴⁷

Иницијалниот „burst effect“, кој се карактеризира со ослободување големи количини флуориди во првите 24 часа, е добро познато својство на глас-јономер цементите и беше забележано и кај глас-хибридните материјали. За разлика од нив, композитите продолжија да ослободуваат релативно ниски количини на флуоридни јони во текот на целиот период на испитување.

Материјалот Cention® Forte, кој припаѓа на групата алказитни материјали, покажа супериорни резултати во однос на преостанатите тестирани материјали по

период од 5 недели. Почетно ниските стапки на ослободување флуориди забележани кај Cention® Forte може да се припишат на фактот дека полнитата присутни во овој материјал подлежат на површинска модификација, што резултира со зголемена отпорност на деградација и потенцијално доведува до ослободување на помали количини флуоридни јони. Ова укажува дека е потребен одреден временски период за матурација на матрицата на материјалот за да се овозможи поинтензивно ослободување на флуориди (47).

Овие резултати може да се поврзат со наодите од нашето истражување, каде што EDX анализата покажа присуство на флуоридни и калциумови јони во Cention® Forte, особено на фрактурираните површини. Ова укажува дека иако иницијалното ослободување на флуориди кај Cention® Forte може да биде пониско во споредба со глас-јономерните материјали, материјалот поседува структурен потенцијал за одложено и континуирано јонско ослободување, што е во согласност со концептот на матурација на материјалната матрица опишан од Banic Vidal и соработниците 48. Слични наоди беа пријавени и од Sigbal и соработниците, кои при споредба на средната количина на ослободени флуоридни јони од Cention® N и EQUIA утврдија повисоко ослободување на флуориди кај Cention® N на 7-миот и 28-миот ден, меѓутоа, разликите не беа статистички значајни (48).

Иако во ова истражување не беше следена временската динамика на јонското ослободување, присуството на флуор и калциум утврдено со EDX анализата во Cention Forte укажува на можност за слично однесување и кај овој материјал. Овие наоди ја поддржуваат претпоставката дека алказитните материјали не се карактеризираат со изразен иницијален „burst effect“, туку обезбедуваат подолготрајна биоактивност, што може да има клиничка предност во превенцијата на секундарен кариес.

Слични наоди беа пријавени и од Sigbal и соработниците, кои при споредба на средната количина на ослободени флуоридни јони од Cention® N и EQUIA™ Forte HT утврдија повисоко ослободување на флуориди кај Cention® N на 7-миот и 28-миот ден, меѓутоа, разликите не беа статистички значајни (48).

Иако во ова истражување не беше следена временската динамика на ослободувањето јони, присуството на флуор и калциум утврдено со EDX анализа во Cention® Forte укажува на можност за слично однесување и кај овој материјал. Овие наоди ја поддржуваат претпоставката дека алказитните материјали не се карактеризираат со изразен иницијален „burst effect“, туку обезбедуваат подолготрајна биоактивност, што може да има клиничка предност во превенцијата на секундарен кариес.

Во однос на процесот на стврднување, Cention® Forte покажа стабилна механичка структура и при самостојно и при двојно стврднување, што е усогласено со наодите на Kumaran и сор. (35) и Fousiya и сор. (36). Ова е значајно бидејќи материјалот овозможува флексибилност во клиничка примена, особено во ситуации каде што изолацијата е тешка или ограничена. Студијата на Negovetić Mandić и сор. (46) дополнително го оценува однесувањето на Cention® Forte под различни услови на стареење и покажува дека материјалот ја задржува својата цврстина и еластичност во физиолошки средини, но може да претрпи намалување на механичките својства при изложување на агресивни медиуми, како кисела или алкална средина. Овие наоди укажуваат дека и покрај можната деградација во екстремни услови, Cention® Forte останува стабилен и клинички применлив материјал во вообичаени орални услови.

Важно е да се нагласи дека резултатите од ова истражување укажуваат на поволна рамнотежа помеѓу механичките и биоактивните својства на Cention® Forte. Додека глас-јономерните материјали, како Fuji IX GP®, покажуваат изразена јонска активност, но пониска механичка јачина, а композитните материјали, како Tetric EvoCeram®, обезбедуваат висока механичка стабилност, но ограничена биоактивност, Cention® Forte демонстрира комбиниран профил. Ова го потврдува неговиот потенцијал како материјал кој ја пополнува празнината помеѓу овие два системи, што е во согласност со литературните податоци и со резултатите добиени во овој труд.

Споредбата со ГЈЦ и композитните материјали, исто така, откри дека Cention® Forte комбинира својства од двата системи – биоактивност и алкална резерва слична на ГЈЦ, но со значително подобра механичка јачина, поголема отпорност на абразија и подобра маргинална интегритетност (25, 39). Battula и сор. (39) дополнително покажуваат дека алказитните реставративни материјали имаат повисока фрактурна јачина од високојаките ГЈЦ. Во споредба со конвенционалните композити, Cention® Forte нуди предност во вид на самостојно стврднување и алкална заштита од киселински напади, што го прави особено корисен за реставрации во постериорни региони каде што функционалните оптоварувања се зголемени (26, 28).

Несомнено, како и сите *in vitro* студии, и ова истражување има одредени ограничувања. Не беше можна симулација на долгорочно стареење, ниту термоциклично оптоварување, што претставува значаен фактор во клиничките услови (30, 31). Дополнително, EDX анализата не дозволува процена на динамиката на ослободување јони во повеќе временски интервали. За целосна процена на биолошката и механичката стабилност на Cention® Forte, потребни се и долгорочни клинички студии, како и лабораториски анализи кои ќе опфатат термички и механички стресови (8, 10, 16).

Сумирано, резултатите од ова истражување упатуваат дека Cention® Forte претставува високостабилен, механички издржлив и биолошки активен материјал, кој успешно ја пополнува празнината меѓу композитите и ГЈЦ материјалите. Комбинацијата од висока компресивна јачина, конзистентно јонско ослободување и алкална резерва ја потврдува неговата применливост во клинички услови, особено кај постериорни реставрации каде што се бара издржливост, долготрајност и биолошка сигурност.

ЗАКЛУЧОЦИ

Врз основа на спроведените испитувања на механичките и хемиските својства на испитуваните реставративни материјали, може да се изведат следните заклучоци:

- Испитуваните материјали — алказитниот материјал Cention® Forte, композитниот материјал Tetric EvoCeram® и глас-јономерниот цемент Fuji IX GP® — покажуваат јасни разлики во механичките својства изразени преку компресивната цврстина.
- Композитниот материјал Tetric EvoCeram® покажа највисоки вредности на компресивна сила меѓу испитуваните материјали.
- Алказитниот материјал Cention® Forte покажа средни вредности на компресивна сила, повисоки од глас-јономерниот цемент Fuji IX GP®.
- Глас-јономерниот цемент Fuji IX GP® покажа најниски вредности на компресивна сила во однос на преостанатите испитувани материјали.
- Разликите во компресивната сила помеѓу материјалите се статистички сигнификантни.
- SEM анализата пред компресивно оптоварување покажа различна површинска морфологија кај испитуваните материјали, со покомпактна и поуниформна структура кај композитот и алказитот, и поизразена грануларност и порозност кај глас-јономерниот цемент.
- SEM микрофотографиите по компресивното оптоварување покажаа фрактурни површински промени кај сите материјали, со појава на пукнатини, структурни дисконтинуитети и изложени полнила.
- Кај алказитниот материјал се забележува хетерогена микроструктура со добро инкорпорирани полнила пред оптоварување и изразена фрактурна морфологија по оптоварување.
- Кај композитниот материјал се регистрира компактна микроструктура пред тестирањето и фрактурни површини со локално одвојување на полнила по механичко оптоварување.
- Кај глас-јономерниот цемент се утврдува грануларна и порозна структура, со поизразена структурна дезорганизација по фрактура.
- Квалитативната EDX анализа потврди присуство на различни карактеристични елементи кај испитуваните материјали, што одговара на нивниот различен состав.
- Полуквантитативната EDX анализа покажа различна елементална застапеност помеѓу материјалите.

- Алказитниот материјал Cention® Forte се карактеризира со присуство на Ca, F, Na, Ba и Yb како дел од неорганската полнилна фаза.
- Кај Cention® Forte е утврдена разлика во елементалната распределба помеѓу мазната и фрактурираната површина, со зголемена релативна застапеност на Ca и F на фрактурните површини.
- Композитниот материјал Tetric EvoCeram® покажува доминантна застапеност на Si и O, со минимално присуство на Ca.
- Глас-јономерниот цемент Fuji IX GP® се одликува со повисока застапеност на F, Al, Na и Sr во однос на преостанатите материјали.
- Кај најголем дел од анализираниите елементи се утврдени статистички сигнификантни разлики помеѓу мазната и фрактурираната површина.
- Комбинираната анализа на механичките резултати, SEM морфологијата и EDX елементалниот состав покажуваат дека алказитниот материјал структурно и својствено се разликува од композитниот и глас-јономерниот.
- Добиените резултати обезбедуваат лабораториски податоци за механичките и структурните карактеристики на алказитниот материјал од понова генерација.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

1. Marovic D, Haugen HJ, Negovetic M, Par M, Zheng K, Tarle Z, Boccaccini A.R. Incorporation of Copper-Doped Mesoporous Bioactive Glass Nanospheres in Experimental Dental Composites: Chemical and Mechanical Characterization. *Materials* 2021, 14, 2611.
2. Marovic D, Tarle Z, Hiller K.A, Muller R, Ristic M, Rosentritt M, Skrtic D, Schmalz G. Effect of silanized nanosilica addition on remineralizing and mechanical properties of experimental composite materials with amorphous calcium phosphate. *Clin Oral Investig.* 2014, 18, 783–792.
3. Marovic D, Par M, Posavec K, Maric I, Stajdohar D, Muradbegovic A, Tauböck T.T, Attin T, Tarle Z. Long-Term Assessment of Contemporary Ion-Releasing Restorative Dental Materials. 2022 Jun;15. 4042.
4. Par M, Attin T, Tarle Z, Taubock TT. A New Customized Bioactive Glass Filler to Functionalize Resin Composites: Acid-Neutralizing Capability, Degree of Conversion, and Apatite Precipitation. *J Clin Med.* 2020;9, 1173.
5. Par M, Spanovic N, Mohn D, Attin T, Taubock TT, Tarle Z. Curing potential of experimental resin composites filled with bioactive glass: A comparison between Bis-EMA and UDMA based resin systems. *Dent Mater.* 2020;36, 711–723.
6. Funda Ozturk Bozkurt. Clinical Evaluation of "Cention Forte" Restorative Material Istanbul Medipol University Hospital, Clinical Trial 2022;NCT04796974
7. Todd J. Scientific documentation: Cention N. Schaan, Liechtenstein: Ivoclar-Vivadent Press 2016;p. 1–58.
8. Persson A, Lingstrom P, van Dijken JWV. Effect of a hydroxyl ion-releasing composite resin on plaque acidogenicity. *Caries Res.* 2005;39(3):201–6.
9. Gonzalez C, Fernandez CE. Recent advances in remineralization therapies for caries Lesions. *Adv Dent Res.* 2018;29(1):55–9.
10. Van Ende A, De Munck J, Lise DP, Van Meerbeek B. Bulk-fill composites: a review of the current literature. *J Adhes Dent.* 2017;19(2):95-109.
11. Soumita S, Kumar Das U, Mitra A. Comparison of microleakage in class V cavity restored with flowable composite resin, glass ionomer cement and cention N. *Imperial Journal of Inderdisciplinary Research* 2017;8;180-183,

12. Naz F, Samad Khan A, Kader MA, Al Gelban LOS, Mousa NMA, Asiri RSH, Hakeem AS. Comparative evaluation of mechanical and physical properties of a new bulk-fill alkasite with conventional restorative materials. *Saudi Dent J.* 2021; Nov;33(7):666-673.
13. Mazumdar P, Das A, Guha C. Comparative evaluation of hardness of different restorative materials (restorative gic, cention n, nanohybrid composite resin and silver amalgam). In vitro study. *Int J Adv Res.* 2018;6:826–832.
14. Pratap B, Gupta RK, Bhardwaj B, Nag M. Resin based restorative dental materials: characteristics and future perspectives. *Jpn Dent Sci Rev.* 2019 Nov;55(1):126-138.
15. Derchi G, Marchio V, Giuca, M.R, Lardani L. Clinical Performance of Cention™ Alkasite Restorative Material vs. Glass Ionomer Cement Used in Deciduous Teeth: One-Year Evaluation. *Applied Sciences.* 2022;12. 10845.
16. Par M, Gubler A, Attin T, Tarle Z, Tarle A, Taubock T.T. Ion release and hydroxyapatite precipitation of resin composites functionalized with two types of bioactive glass. *J. Dent.* 2022;118, 103950.
17. Tiskaya M, Al-Eesa NA, Wong FS., Hill RG. Characterization of the bioactivity of two commercial composites. *Dent. Mater.*2019;35, 1757–1768.
18. Par M, Gubler A, Attin T, Tarle Z, Taubock TT. Anti-demineralizing protective effects on enamel identified in experimental and commercial restorative materials with functional fillers. *Sci Rep.* 2021;11, 11806.
19. Par M, Gubler A, Attin T, Tarle Z, Tarle A, Taubock T.T. Experimental Bioactive Glass-Containing Composites and Commercial Restorative Materials: Anti-Demineralizing Protection of Dentin. *Biomedicines* 2021;9, 1616.
20. Wiriyasatiankun P, Sakoolnamarka R, Thanyasrisung, P. The impact of an alkasite restorative material on the pH of *Streptococcus mutans* biofilm and dentin remineralization: an in vitro study. *BMC Oral Health* 2022;22, 334
21. Motevasselian F, Kermanshah H, Rasoulkhani E, Mutlu E. Comparison of microleakage of an alkasite restorative material, a composite resin and a resin-modified glass ionomer. *Braz J Oral Sci.* 2021;20. e213981.
22. Alqarni MA, Mathew VB, Alsalhi IYA, Alasmari ASF, Alqisi AYA, Asiri RAH, et al. Rubber dam isolation in clinical adhesive dentistry: The prevalence and assessment of associated radiolucencies. *JDRR.* 2019;6(4):97-101.
23. Hatirli H, Boyraz S. Effect of Saliva Contamination on Microleakage of Alkasite Restorative Material. *Annals Med Res.* 2022;29. 192-197.

24. Patil H, Winnier J. Comparative evaluation of microleakage in class II cavity in primary molars restored with glass ionomer cement, zirconomer, and cention n using stereomicroscope: an in vitro study. *Avicenna J Dent Res.* 2021;13(1):6-12.
25. Afraaz A, Borugadda R, Mandava J, Chalasani U, Ravi R, Pamidimukkala S, Boddeda M.-R, Athukuri S. Evaluation of Marginal Adaptation and Wear Resistance of Nanohybrid and Alkasite Restorative Resins. *J Clin Diagn Res.* 2020;14.
26. Mishra A, Singh G, Singh S.K, Agarwal M, Qureshi R, Khurana N. Comparative Evaluation of Mechanical Properties of Cention N with Conventionally used Restorative Materials— An In Vitro Study. *Int J Prosthodont Restor Dent* 2018;8(4):120-124.
27. Singbal KS, Dutta S, Kacharaju KR. Cention N Compared to Other Contemporary Tooth-Colored Restorative Materials in Terms of Fluoride Ion Releasing Efficacy: Validation of a Novel Caries-Prevention-Initiative by the Ministry of Health, Malaysia. *Biomed Pharmacol J* 2022;15(2).
28. Mishra A, Singh G, Singh SK, Agarwal M, Qureshi R, Khurana N. Comparative Evaluation of Mechanical Properties of Cention N with Conventionally used Restorative Materials—An In Vitro Study. *Int J Prosthodont Restor Dent* 2018;8(4):120-124
29. Chole D, Shah HK, Kundoor S, Bakle S, Gandhi N, Hatte N. In Vitro Comparison of Flexural Strength of Cention-N, BulkFill Composites, LightCure Nanocomposites And Resin-Modified Glass Ionomer Cement||. *IOSR J Dent Med Sci.* 2018 oct; 17(10) :79-82.
30. Hirani RT, Batra R, Kapoor S. Comparative evaluation of postoperative sensitivity in bulk fill restoratives: A randomized controlled trial. *J Int Soc Prevent Communit Dent* 2018;8:534-9.
31. Mazumdar P, Das A and Guha C. Comparative evaluation of hardness of different restorative materials (Restorative GIC, Cention N, Nanohybrid Composite resin and Silver amalgam) – an in vitro study. *Int J Adv Res.*2018; 6(3):826-832.
32. Mazumdar P, Das A, Das UK. Comparative evaluation of microleakage of three different direct restorative materials (silver amalgam, glass ionomer cement, cention N), in Class II restorations using stereomicroscope: An in vitro study. *Indian J Dent Res* 2019; 30:277-81.
33. Gupta N, Jaiswal S, Nikhil V, Gupta S, Jha P, Bansal P. Comparison of fluoride ion release and alkalizing potential of a new bulk-fill alkasite. *J Conserv Dent* 2019; 22:296-9.
34. Pai D, Anirudhmaadhava PA, Ginjupalli K. In Vitro Evaluation of Mechanical Properties of Cention N and Its Comparison with Resin Modified Glass Ionomer Cement (RMGIC) Restorative Material as Used in Primary Teeth. *ScientificWorldJournal.* 2024

Jan2;2024;9420336. doi: 10.1155/2024/9420336. PMID: 38205145; PMCID: PMC10776193.

35. Kumaran, Parvathy & Xavier, Arun & Fousiya, Ks & Balagopal, VR & Suresh, KJ & Menon, Medhini. (2022). Comparative Evaluation of Compressive Strength and Flexural Strength of Self-cured Cention N with Dual-cured Cention N: An In Vitro Study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 15. 210-214. 10.5005/jp-journals-10005-2363.
36. Fousiya Ks, Balagopal VR, Suresh KJ, et al. Comparative Evaluation of Compressive Strength and Flexural Strength of Self-cured Cention N with Dual-cured Cention N: An In Vitro Study. *Int J Clin Pediatr Dent* 2022;15(2):210-214.
37. Firouzmandi M, Alavi AA, Jafarpour D, Sadatsharifee S. Fracture Strength and Marginal Adaptation of Conservative and Extended MOD Cavities Restored with Cention N. *Int J Dent*. 2021 Jul 6; 2021:5599042.
38. Birant S, Gümüştas B. The effect of thermal aging on microhardness and SEM/EDS for characterisation bioactive filling materials. *BMC Oral Health*. 2024 Sep 27;24(1):1142. doi: 10.1186/s12903-024-04643-6. PMID: 39334004; PMCID: PMC11438397.
39. Battula MS, Kaushik M, Mehra N, Raj V. A comparative evaluation of fracture toughness, flexural strength, and acid buffer capability of a bulk-fill alkasite with high-strength glass-ionomer cement: An *in vitro* study. *Dent Res J (Isfahan)*. 2022 Oct 20;19:90.
40. Donly KJ, Liu JA. Dentin and enamel demineralization inhibition at restoration margins of Vitremer, Z 100 and Cention N. *Am J Dent*. 2018;31:166–8.
41. Abdallah RM, Aref NS. Development of Newly Formulated Nanoalumina-/Alkasite-Based Restorative Material. *Int J Dent*. 2021 Jul 26;2021:9944909.
42. Ilie N. “Comparative Effect of Self- or Dual-Curing on Polymerization Kinetics and Mechanical Properties in a Novel, Dental-Resin-Based Composite with Alkaline Filler.” *Materials*. 2018;11(1):108.
43. Sharan RB, Keerthivasan MS, Venkatakrisnan CJ, Tamizhesai B. Comparative Evaluation of Compressive Strength and Diametral Tensile Strength of New Ceramic Reinforced GIC, Alkasite Restorative Material, and Conventional GIC in Simulated Saliva – An In vitro Study. *Int J Sci Stud*. 2024;11(12):52–57.
44. Di Lauro A, Di Duca F, Montuori P, et al. Fluoride and Calcium Release from Alkasite and Glass Ionomer Restorative Dental Materials: In Vitro Study. *J Funct Biomater*. 2023;14(2):109.

45. Gupta N, Jaiswal S, Nikhil V, et al. Comparison of fluoride ion release and alkalizing potential of a new bulk-fill alkasite. *J Conserv Dent*. 2019;22:296–299.
46. Negovetić Mandić V, Plancak L, Marović D, et al. Mechanical Properties of Alkasite Material with Different Curing Modes and Simulated Aging Conditions. *Materials*. 2024;17(11):2777. PMID: PMC11173928.
47. Banic Vidal LS, Veček NN, Šalinović I, Miletić I, Klarić E, Jukić Krmek S. Short-Term Fluoride Release from Ion- Releasing Dental Materials. *Acta Stomatol Croat*. 2023 Sep;57(3):229-237. doi: 10.15644/asc57/3/3. PMID: 37808411; PMID: PMC10557113.
48. Singbal K. Shan MKW, Dutta S, Kacharaju KR. Cention N Compared to Other Contemporary Tooth-Colored Restorative Materials in Terms of Fluoride Ion Releasing Efficacy: Validation of a Novel Caries-Prevention-Initiative by the Ministry of Health, Malaysia. *Biomed Pharmacol J*. 2022;15(2):669–76.
49. Lalovic M, Kolak V, Melih I, Nikitovic A, Trajkovic I, Milosevic M, Pejanovic D, Pesic D. Mechanical properties of ion-releasing restorative materials. *Am J Dent*. 2024 Feb;37(1):13-18. PMID: 38458977.
50. Yeslam HE, Hasanain FA. Comparative Analysis of Flexural and Compressive Strengths of Bioactive Alkasite Compared to Other Ion-Releasing Restorative Materials. *Biomimetics (Basel)*. 2025 Nov 7;10(11):751. doi: 10.3390/biomimetics10110751. PMID:41294423; PMID: PMC12649971.
51. Etiennot L, Cardoso MV, Degroote A, Meerbeek BV, Peumans M. Early Clinical Performance of Two Powder-Liquid Restoratives in Class-I/II Cavities. *J Adhes Dent*. 2025 Oct 17;27:195-207. doi: 10.3290/j.jad.c_2307. PMID: 41104522; PMID: PMC12532219.
52. Bonchev A, Bogovska-Gigova R. Alkasites in restorative dentistry: a review of their performance and properties. *J Dent*. 2025 Sep;160:105916. doi: 10.1016/j.jdent.2025.105916. Epub 2025 Jun 18. PMID: 40541917.
53. Ballal NV, Jalan P, Rai N, Al-Haj Husain N, Özcan M. Evaluation of New Alkasite Based Restorative Material for Restoring Non- Carious Cervical Lesions- Randomized Controlled Clinical Trial. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2023 Feb 28;31(1):72-77. doi: 10.1922/EJPRD_2410Ballalo6. PMID: 35659319.