

# Utjecaj biološke osnove, optičkih svojstava i debljine gradivnih i fiksacijskih materijala na boju nadomjeska od litij-disilikatne staklokeramike

---

**Milardović Ortolan, Slađana**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2014**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, School of Dental Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:127:003227>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-26**



*Repository / Repozitorij:*

[University of Zagreb School of Dental Medicine  
Repository](#)





SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
STOMATOLOŠKI FAKULTET

Sladana Milardović Ortolan

**UTJECAJ BIOLOŠKE OSNOVE, OPTIČKIH  
SVOJSTAVA I DEBLJINE GRADIVNIH I  
FIKSACIJSKIH MATERIJALA NA BOJU  
NADOMJESKA OD LITIJ-DISILIKATNE  
STAKLOKERAMIKE**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2014.



UNIVERSITY OF ZAGREB  
SCHOOL OF DENTAL MEDICINE

Slađana Milardović Ortolan

**INFLUENCE OF SUBSTRATE COLOR,  
OPTICAL PROPERTIES AND THICKNESS  
OF RESTORATIVE MATERIALS AND  
LUTING AGENTS ON THE FINAL COLOR  
OF LITHIUM DISILICATE RESTORATIONS**

DISSERTATION

Zagreb, 2014



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
STOMATOLOŠKI FAKULTET

Sladana Milardović Ortolan

**UTJECAJ BIOLOŠKE OSNOVE, OPTIČKIH  
SVOJSTAVA I DEBLJINE GRADIVNIH I  
FIKSACIJSKIH MATERIJALA NA BOJU  
NADOMJESKA OD LITIJ-DISILIKATNE  
STAKLOKERAMIKE**

DOKTORSKI RAD

Mentorica: Prof. dr. sc. Ketij Mehulić

Zagreb, 2014.

*„Korijeni znanja su gorki, ali su plodovi slatki.“  
Aristotel*

*Zahvaljujem svojoj dragoj mentorici, prof. dr. sc. Ketij Mehulić, na neizmjernoj pomoći, razumijevanju i znanju koje nesebično dijeli sa svima koji žele nešto naučiti.*

*Zahvaljujem svima koji su doprinijeli ostvarenju ovog rada, prije svega prof. dr. sc. Asji Čelebić na savjetima i pomoći pri statističkoj obradi podataka; doc. dr. sc. Igoru Majnariću na tome što mi je omogućio korištenje spektrofotometra i pomogao kad god je zatrebalo; dr. Gordani Poropat-Martiniš na materijalima koje mi je tvrtka Ivoclar Vivadent stavila na raspolaganje; zubotehničkom laboratoriju Andi-Dent na izradi uzoraka. Zahvaljujem Ministarstvu znanosti, obrazovanja i športa na financijskoj potpori u sklopu projekta Istraživanje keramičkih materijala i alergija u stomatološkoj protetici voditeljice prof. dr. sc. Ketij Mehulić.*

*Želim zahvaliti svojoj obitelji – majci, ocu i sestri – za svu podršku koja me gurala i još uvijek gura naprijed.*

*I na kraju ono najvrjednije:  
Marko, hvala Ti za svu ljubav i strpljenje,  
hvala što me uspijevaš pratiti!  
Draga moja Laura, hvala što si bila tako dobra bebica i  
što si mamu pustila da dovrši doktorat!  
“Sve moje pobjede i zlatne medalje  
ništa mi ne znače kad sam bez tebe -  
sve je drugačije kad si uz mene...”*

## SAŽETAK

Svrha je istraživanja bila odrediti utjecaj različitih boja podloge (Natural Die ND1, ND3, ND5, ND7 i ND9) i cementa (Variolink II transparentni, bijeli, opakno bijeli, žuti i smeđi) dviju debljina (80 i 150  $\mu\text{m}$ ) na boju uzoraka litij-disilikatne keramike ( $\text{LiS}_2$ ) IPS e.max Press u četiri debljine (0,5, 0,8, 1,0 i 1,2 mm) i tri stupnja translucencije (HT, LT i MO) sa ili bez obložne keramike IPS e.max Ceram, debljina 0,3, 0,5 i 0,8 mm.

Izrađeno je ukupno 120 uzoraka (pločice  $\varnothing$  11 mm)  $\text{LiS}_2$  keramike (10/skupina), 30 obložne keramike (10/skupina) i 55 ND podloga (11/boja). Na pet je podloga svake boje zalijepljen 80, a na drugih pet 150  $\mu\text{m}$  debeo sloj kompozitnog cementa u pet različitih boja. Po jedna pločica bez cementa služila je kao kontrola. Pločice  $\text{LiS}_2$  preklapane su u svim kombinacijama s podlogama bez pa sa cementom te su spektrofotometrom izmjerene  $L^*a^*b^*$  vrijednosti. Mjerenja su ponovljena i s obložnom keramikom. Izračunate su razlike u boji  $\Delta E^*$  te su podaci obrađeni u programu STATISTICA 10.0 primjenom ANOVA-e.

Utvrđeno je kako su boja podloge, debljina i stupanj translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike, boja i debljina cementa te debljina obložne keramike statistički značajno ( $p < 0,001$  za sve varijable) utjecali na parametre boje modela koji je simulirao  $\text{LiS}_2$  nadomjestak. Unatoč statistički značajnom utjecaju boje i debljine cementa, samo je opakno bijeli cement uzrokovao i klinički značajnije razlike u boji. Obložna keramika statistički je značajno utjecala na parametre boje, pri čemu je, osim posvjeteljenja uzoraka, njenim dodavanjem klinički utjecaj cementa smanjen.

Za uspješnu reprodukciju boje potrebno je uzeti u obzir debljinu nadomjeska, podlogu, a uvjetno i boju cementa.

## SUMMARY

### **Influence of substrate color, optical properties and thickness of restorative materials and luting agents on the final color of lithium disilicate restorations**

**Objectives:** The aim of the study was to evaluate the effect of different substrate colors, luting agent colors and thicknesses, different thicknesses and translucency levels of core ceramics, and different thicknesses of veneering ceramics on the final color of a model representing lithium-disilicate restorations.

**Materials and methods:** Cylindrical specimen of Natural Die material in the dimensions 11 x 5 mm were prepared in the colors ND1, ND3, ND5, ND7 and ND9 – 11 cylinders of each color. Disc specimen Ø 11 mm of IPS e.max Press LiS<sub>2</sub> ceramics in 4 different thicknesses (0.5, 0.7, 1.0 and 1.2 mm) and 3 translucency levels (HT, LT and MO) were heat-pressed, and 3 thicknesses (0.3, 0.5, 0.8 mm) of IPS e.max Ceram veneering ceramics were prepared. That resulted in a total of 120 e.max Press specimen (4 thicknesses x 3 translucency levels x n = 10), 30 IPS e.max Ceram specimen (3 thicknesses x n = 10), and 55 Natural Die specimen (5 colors x n = 11). One ND disc of each color served as control, while on the other 10 a layer of Variolink II resin cement in 5 different colors (transparent, white, white opaque, yellow and brown) and two thicknesses (80 or 150 µm) was applied. Different combinations of core discs with or without veneering ceramics were overlapped with the background discs with and without the cement layer to measure L\*a\*b\* values using a spectrophotometer. Color differences ΔE\* were calculated and data was statistically analyzed by means of STATISTICA 10.0. Analysis of variance (ANOVA) was applied.

**Results:** A significant influence of substrate color (p < 0,001), thickness (p < 0,001) and translucency level (p < 0,001) of LiS<sub>2</sub> ceramics, color (p < 0,001) and thickness (p < 0,001) of luting agent, and the thickness of veneering ceramics (p < 0,001) on the color parameters was found. Despite the fact that the color and thickness of the luting agent had a statistically significant effect, only the white opaque cement caused clinically significant, i.e. visible color shifts. Veneering ceramics of varying thickness had a statistically significant impact on the color parameters of the model which simulated an all ceramic restoration, whereby, besides increasing lightness of the samples, a decrease of the clinical impact of underlying colors (substrate and luting agent) was noticed.

**Conclusion:** For optimum color-matching results the thickness of the restoration, substrate, and conditionally luting agent color need to be taken into account.



## **KLJUČNE RIJEČI**

litij-disilikatna staklokeramika, boja, stupanj translucencije, debljina keramike, boja cementa

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Fenomen boje</b>	<b>3</b>
1.1.1. Fizikalna pozadina fenomena boje	4
1.1.2. Psihofiziološka pozadina fenomena boje	6
<b>1.2. Kolorimetrija</b>	<b>9</b>
1.2.1. Označavanje boja	9
1.2.2. Prostori boja	11
1.2.2.1. CIE prostori boja	13
1.2.3. Kvantifikacija razlika u boji	16
<b>1.3. Boja u dentalnoj medicini</b>	<b>18</b>
1.3.1. Boja zuba	18
1.3.1.1. Prostor boja prirodnih zubi	20
1.3.2. Sekundarna optička svojstva koja utječu na boju zuba	21
1.3.2.1. Translucencija i opacitet	21
1.3.2.2. Opalescencija	23
1.3.2.3. Fluorescencija	23
1.3.2.4. Površinska tekstura i sjaj	24
1.3.3. Vanjski čimbenici koji utječu na percepciju boje	25
1.3.3.1. Osvjetljenje	25
1.3.3.1.1. Standardni izvori svjetlosti	25
1.3.3.1.2. Metamerija	27
1.3.4. Čimbenici koji utječu na percepciju boje povezani s promatračem	28
1.3.4.1. Optičke varke i vizualni efekti	30
<b>1.4. Metode određivanja boje u dentalnoj medicini</b>	<b>34</b>
1.4.1. Vizualna metoda određivanja boje	34
1.4.1.1. Ključevi boja	35
1.4.2. Instrumentalne metode određivanja boje	38
1.4.2.1. Kolorimetar	39
1.4.2.2. Spektroradiometar	39
1.4.2.3. Spektrofotometar	40
1.4.2.4. Digitalna kamera	42

<b>1.5. Oponašanje boje zuba potpuno keramičkim nadomjeskom</b>	<b>44</b>
<b>1.5.1. Odabir gradivnog materijala</b>	<b>45</b>
<b>1.5.2. Dentalne keramike i njihova optička svojstva</b>	<b>46</b>
1.5.2.1. Litij-disilikatna staklokeramika IPS e.max Press	<b>53</b>
<b>1.5.3. Utjecaj translucencije i debljine keramike na boju nadomjeska</b>	<b>57</b>
<b>1.5.4. Utjecaj podloge na boju nadomjeska</b>	<b>58</b>
<b>1.5.5. Utjecaj cementa na boju nadomjeska</b>	<b>60</b>
<b>1.6. Svrha istraživanja</b>	<b>61</b>
1.6.1. Hipoteze	<b>61</b>
<b>2. MATERIJALI I POSTUPCI</b>	<b>62</b>
<b>2.1. Priprema uzoraka</b>	<b>63</b>
<b>2.2. Postupak mjerenja boje</b>	<b>71</b>
<b>2.3. Statistička analiza</b>	<b>76</b>
<b>3. REZULTATI</b>	<b>77</b>
<b>4. RASPRAVA</b>	<b>116</b>
<b>5. ZAKLJUČAK</b>	<b>124</b>
<b>6. LITERATURA</b>	<b>126</b>
<b>7. ŽIVOTOPIS</b>	<b>141</b>

## POPIS KRATICA I OZNAKA

Al	aluminij
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	aluminijev oksid
ANOVA	analiza varijanse
Df	stupanj slobode
HT	<i>high translucency</i>
itd.	i tako dalje
K	Kelvin
Li	litij
LiS <sub>2</sub>	litijev disilikat
LT	low translucency
lx	luks
Mg	magnezij
mm	milimeter
MO	<i>medium opacity</i>
MPa	megapaskal
MS	sredina kvadrata odstupanja
µm	mikrometar
ND 1 – 5	Natural Die 1 – 5
nm	nanometar
p	statistička značajnost
SS	suma kvadrata odstupanja
tj.	to jest
Zr	cirkonij
Ø	promjer
°C	Celzijusevi stupnjevi
<	manje od
>	više od

## **1. UVOD**

---

Jedan je od glavnih izazova suvremene dentalne medicine, posebice fiksne protetike, korištenjem umjetnih materijala oponašati savršena optička svojstva prirodnih zubi (1). Iako se već desetljećima metal-keramički nadomjesci smatraju standardom fiksnoprotetske terapije, očita su estetska ograničenja koja proizlaze iz metalne podloge jer je onemogućen prolaz upadne svjetlosti, što rezultira „beživotnim“ dojmom (2). Budući da je dentalna keramika odavno prepoznata kao materijal koji najbolje oponaša prirodna obilježja zubi, potpuno keramički sustavi u mnogim su se estetski zahtjevnijim situacijama nametnuli kao materijal izbora (3).

Na tržištu postoje brojni potpuno keramički sustavi. Među njima je unaprijeđeni sustav litij-disilikatne staklokeramike (IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenštajn) naišao na veliko zanimanje s obzirom na niz pozitivnih svojstava koja objedinjuje. Odlikuje se velikom savojnom čvrstoćom (350 – 450 MPa) (4), relativno jednostavnom tehnikom izrade poznatom od metal-keramičkih nadomjestaka (tehnika izgaranja voska), izvrsnom integracijom s tvrdim zubnim tkivima nakon adhezijskog cementiranja te superiornim estetskim svojstvima (5). Kad se govori o estetskim svojstvima, jedna od glavnih prednosti staklokeramike je semi-translucencija koja u određenoj mjeri dopušta prolaz svjetlosti kroz materijal. Upravo to svojstvo uvelike doprinosi onom što promatrač doživljava prirodnim.

Na estetski dojam također znatno utječe boja nadomjeska. Podudarnost boje nadomjeska sa susjednim zubima jedno je od prvih obilježja koje pacijenti procjenjuju, osobito ako se radi o prednjem segmentu zubnog niza. Stoga je uspješnost oponašanja boje jedna od ključnih odrednica uspjeha fiksnoprotetske terapije. Iako potpuno keramički sustavi unaprjeđuju optička svojstva nadomjeska, njima se ne može jamčiti potpuna usklađenost boje. U određenim situacijama boja bataljka može biti promijenjena ili je zub potrebno nadograditi umjetnim materijalima. Keramike većeg stupnja translucencije omogućuju prolaz veće količine svjetlosti koja se odbija o podlogu, zbog čega će podloga imati veći utjecaj na konačnu boju nadomjeska, čime reprodukcija postaje složenija.

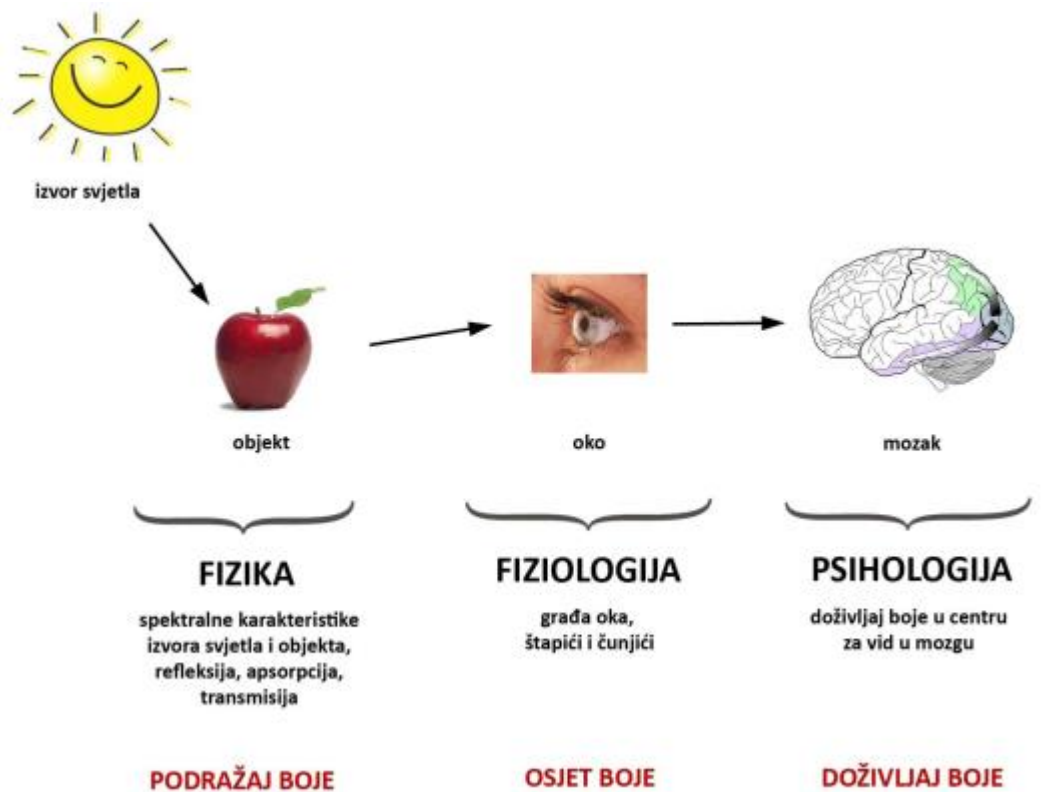
U kliničkoj situaciji nadomjestak nije samo zaseban sloj keramike, nego tvori cjelinu s dentinom brušenog zuba i sustavom za pričvršćenje, odnosno cementom (6). Stoga boja keramičkog nadomjeska u ustima nije određena samo bojom dentalne keramike, nego i njezinom debljinom, bojom i debljinom cementa te bojom bataljka (7). Posljedično, u nekim slučajevima i pravilno odabrana boja keramike u konačnici ne mora rezultirati željenom bojom nadomjeska jer nije usklađena s bojom podložećeg zubnog tkiva i sustavom za cementiranje.

## Fenomen boje

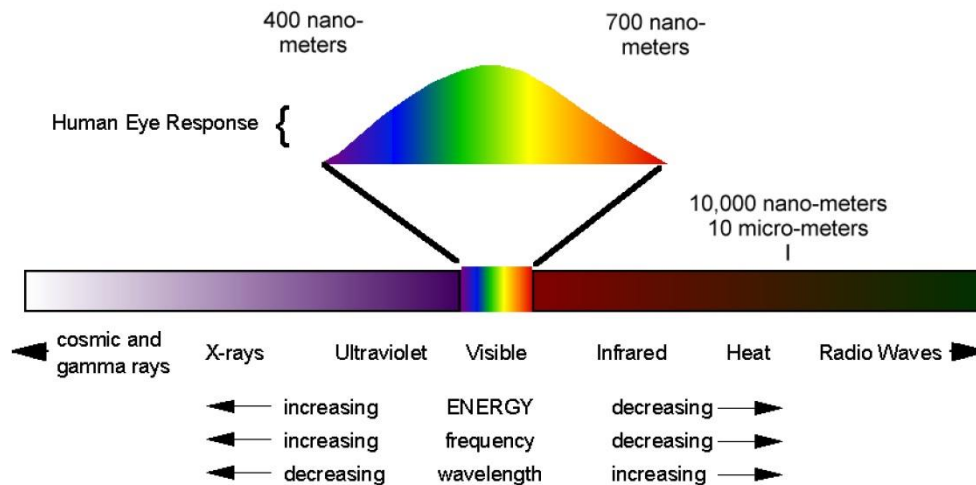
Boja se može definirati kao složen psihofizikalni fenomen induciran svjetlošću ili osjećaj koji u mozgu izaziva svjetlost koju emitira neki izvor, odnosno reflektira površina nekog tijela. Boja nije svojstvo objekta, nego svjetlosti koju on reflektira u oko promatrača (8). Stoga je za doživljaj boje nužna interakcija između triju elemenata: svjetlosti, objekta i promatrača (Slika 1.) (9). Točnije, doživljaj boje ovisi o:

- spektralnom sastavu svjetlosti koja pada na promatrani predmet
- molekularnoj strukturi materijala s kojeg se svjetlost reflektira ili prolazi kroz njega
- promatračevoj percepciji boje.

Izostavljanjem samo jednog elementa, boja ne postoji (9).



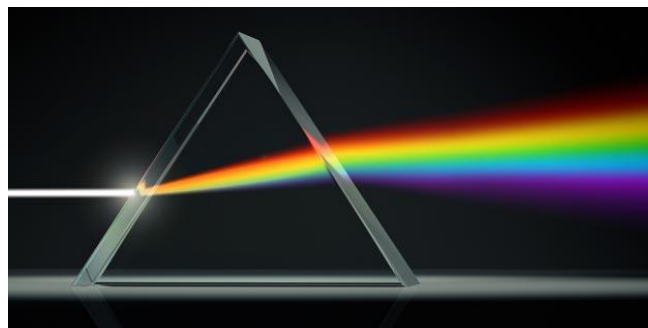
**Slika 1.** Elementi potrebni za doživljaj boje (preuzeto iz 10)



**Slika 2.** Vidljivi spektar elektromagnetskog zračenja (preuzeto iz 11)

### 1.1.1. Fizikalna pozadina fenomena boje

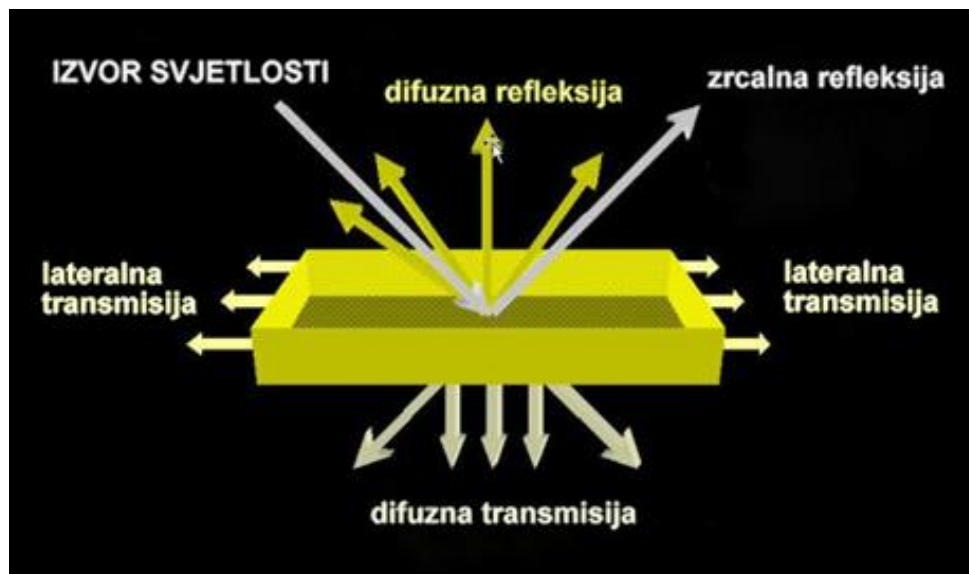
Svjetlost je elektromagnetsko zračenje koje se opaža vidnim osjetnim sustavom. To je energija zračenja nastala atomskim promjenama u fizikalnoj strukturi materije koja se rasprostire od svog izvora u svim smjerovima i širi u obliku valova. Oko može percipirati valne duljine u rasponu od 400 do 700 nm, stoga se taj dio naziva vidljivim dijelom spektra (Slika 2.). Ono na što se obično pomisli kada se kaže „svjetlost“ jest bijela svjetlost. Međutim, još je u 17. stoljeću Isaac Newton utvrdio da bijela svjetlost predstavlja mješavinu svih valnih duljina vidljivog spektra u približno jednakim omjerima (Slika 3.) (12). Ako nakon osvjetljenja objekta bijelom svjetlošću objekt izgleda kao da je određene boje, znači da je uslijed interakcije došlo do promjene svjetlosti koja dopire do promatračeva oka.



**Slika 3.** Snop bijele svjetlosti na prizmi se rastavlja na spektar boja (preuzeto iz 13)

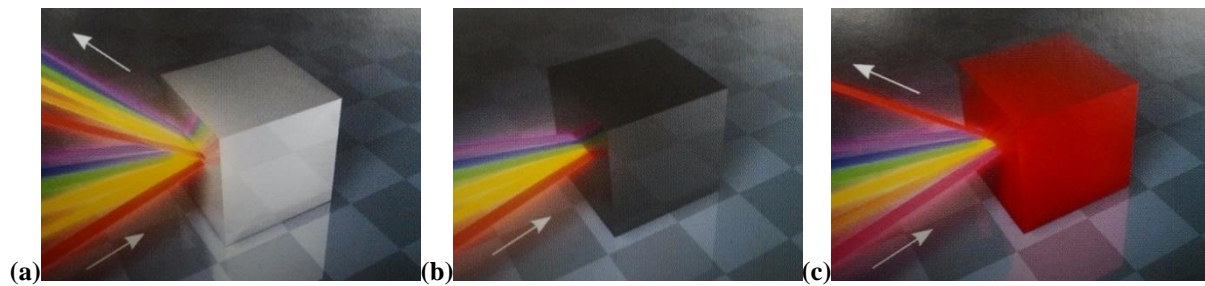


Svjetlost s objektom može interagirati na nekoliko načina – može se zrcalno ili difuzno reflektirati o površinu, apsorbirati unutar objekta ili proći kroz njega uz veći ili manji lom (Slika 4.). Pri tome je indeks loma koji označava promjenu smjera zrake svjetlosti na granici između dvaju materijala jednak omjeru sinusa upadnog kuta zrake svjetlosti i kuta loma svjetlosti. Transmisija ili propuštanje svjetlosti događa se kad je objekt proziran (transparentan) ili poluproziran (translucentan), odnosno ako njegova građa omogućuje prolaz zrake svjetla bez ili uz minimalnu interakciju.



**Slika 4.** Moguće interakcije zrake svjetlosti s objektom (preuzeto iz 14)

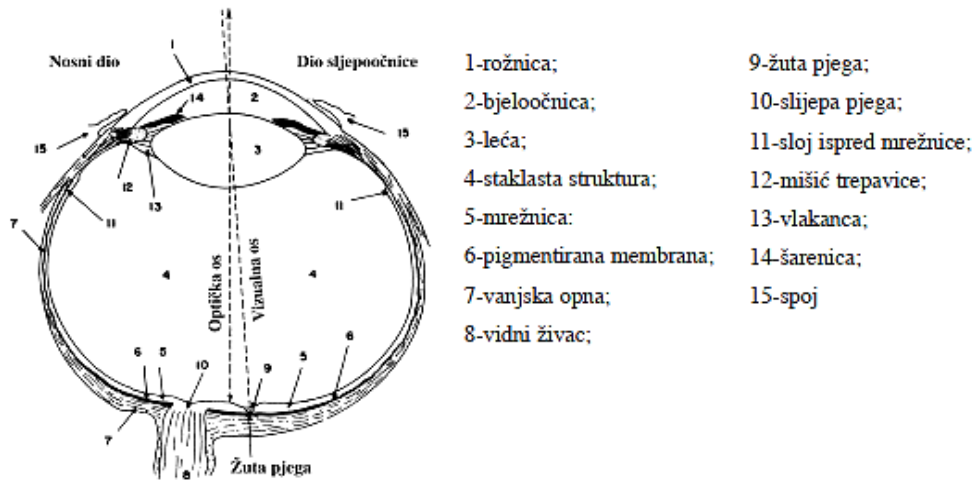
Kad zraka svjetlosti naiđe na veće čestice ili molekule unutar objekta, ovisno o strukturi i gustoći, može doći do apsorpcije ili refleksije zrake. Ako objekt reflektira sve valne duljine, doimat će se bijelim; ako apsorbira sve valne duljine, percipira se crnim. Apsorbira li neki predmet sve valne duljine, osim one koja predstavlja crvenu boju, a samo nju reflektira, u čovjekovim će osjetilima izazvati osjet crvenog (Slike 5.a, b i c). Koje će valne duljine svjetlosti biti apsorbirane, a koje reflektirane, ovisi o molekularnoj strukturi materijala na koje svjetlost pada. Klasični spektar razlikuje sedam boja: crvenu, narančastu, žutu, zelenu, plavozelenu, plavu i ljubičastu. Broj boja i njihovih nijansi u prirodi je neizmjeran, s obzirom na to da i najmanja promjena valne duljine stvara novu i drukčiju boju (15).



**Slika 5.** (a) Objekt koji reflektira svu svjetlost koja do njega dopire, doima se bijelim; (b) ako objekt apsorbira sve valne duljine, oko ga percipira crnim; (c) apsorbira li neki predmet sve valne duljine osim crvenog dijela spektra, a samo njega reflektira, izazvat će osjet crvenog (preuzeto iz 9).

### 1.1.2. Psihofiziološka pozadina fenomena boje

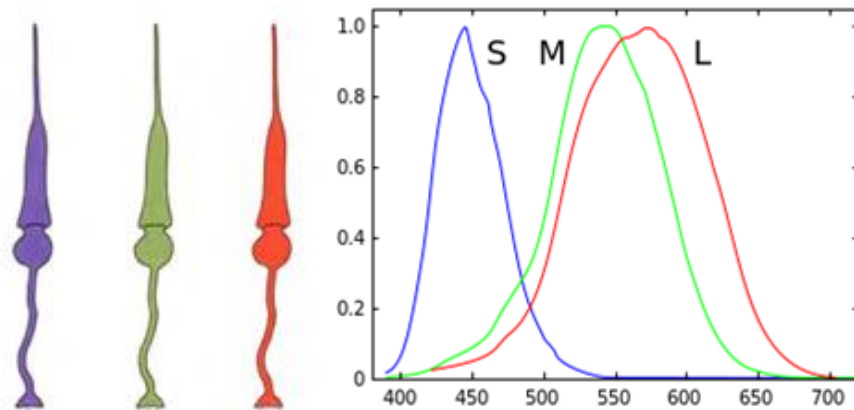
Boja je osjetilni doživljaj koji nastaje kada svjetlost određene valne duljine pobudi receptore u mrežnici oka. Ljudsko oko, kao vidni organ, upija svjetlost, tj. elektromagnetske valove. Sastoji se od leće koja fokusira ulazne zrake svjetlosti, promjenjivog otvora šarenice, tj. zjenice, koja regulira količinu primljene svjetlosti i milijuna svjetlosno osjetljivih receptora raspoređenih po unutarnjoj površini mrežnice na stražnjem dijelu oka (Slika 6.). Vidni receptori – štapići i čunjići – svjetlosnu energiju pretvaraju u živčane impulse koji se optičkim živcima prenose do zatiljnog dijela kore velikog mozga (16). U oku postoji oko 75 do 150 milijuna štapića i oko 5 do 8 milijuna čunjića. Štapići su pretežno raspoređeni po vanjskom rubu mrežnice i osjetljivi su osobito na niske svjetlosne razine, a neosjetljivi na boje. Čunjići omogućuju vidni osjet boje, a koncentrirani su na relativno malom, centralnom prostoru mrežnice, poznatom kao žuta pjega, dok im broj po jedinici površine opada prema periferiji.



**Slika 6.** Horizontalni presjek ljudskog oka (preuzeto iz 17...magisterij)

Gledanje s pomoću čunjića mnogo je jasnije i oštrije od gledanja štapićima, ali je moguće samo pri relativno visokim svjetlosnim razinama. Prema trikromatskoj teoriji gledanja, postoje tri vrste čunjića koji sadrže pigmente čija glavna apsorpcija leži u području kratkih valnih duljina vidljivog spektra za plave boje, u području srednjih valnih duljina vidljivog spektra za žuto-zelene boje i u području dugačkih valnih duljina vidljivog spektra za žuto-crvene boje. Za svaki od tih triju tipova receptora moguće je konstruirati teorijske krivulje spektralne osjetljivosti (Slika 7.). Te se krivulje međusobno preklapaju. Boja je percipirana podražajem receptora za plavo, zeleno i crveno. Smatra se da su oni nejednoliko, na mozaičan način raspoređeni po mrežnici oka. Postoji oko 3,5 milijuna čunjića za srednje i dugačke valne duljine vidljivog spektra i oni se nalaze u sredini mrežnice. Za kratke valne duljine vidljivog spektra postoji samo oko milijun čunjića raspoređenih prema rubu mrežnice. Iz toga proizlazi da čovjek lakše fokusira crvene, žute i zelene objekte, nego plave. Ako se podraže zeleni i crveni receptori, ali ne i plavi, doživjet će se osjet žutoga. Normalan promatrač može razlikovati svaku boju kao određenu mješavinu svih triju valnih duljina. Crvena, zelena i plava boja nazivaju se osnovnim ili primarnim bojama jer se njih ne može dobiti miješanjem drugih boja. Te se boje nazivaju i aditivni primari, jer zbrajanje svjetlosnih snopova tih boja daje bijelu i sve ostale boje vidljivog spektra. Takvim se zbrajanjem različitih boja svjetlosti u različitim omjerima mogu dobiti sve ostale boje, u svim nijansama i svjetlinama. Takav se način nastanka boja naziva aditivnim. Tim načinom nastaju boje na zaslonu televizora ili monitora. Međusobnim miješanjem snopova svjetlosti primarnih boja dolazi do pojave nekih novih boja. Crveni snop pomiješan sa zelenim snopom postaje žut. Crveni snop pomiješan s

plavim snopom postaje magenta (grimizan). Zeleni snop pomiješan s plavim snopom postaje cijan (plavozelen). Te su boje (žuta, magenta i cijan) nastale kao rezultat miješanja aditivnih primara, a nazivaju se suptraktivnim primarima. Doživljaj boje ovisi o reakciji mozga na određenu stimulaciju te se stoga smatra subjektivnim (17, 18).



**Slika 7.** Relativna spektralna osjetljivost čunjića: S – kratke (*short*) valne duljine – čunjići maksimalno osjetljivi na svjetlost valne duljine 445 nm (tj. plavi dio spektra); M – srednje (*medium*) valne duljine – maksimalno apsorbira zelenu svjetlost valne duljine 535 nm; L – duge (*long*) valne duljine – maksimalno apsorbira crvenu svjetlost valne duljine 570 nm (preuzeto iz 19)

## 1.2. Kolorimetrija

Kolorimetrija je znanost koja se bavi kvantitativnim vrednovanjem ili mjerenjem boja (20). Uvodno je objašnjeno kako boja nije svojstvo fizičkog svijeta, već psihički doživljaj izazvan fizičkim podražajem (stimulusom). Stoga je ono što se zapravo mjeri podražaj, tj. svjetlost koja je ušla u promatračevo oko i u njegovom mozgu proizvela doživljaj boje. Kolorimetrija danas ima dva važna zadatka – brojčano izražavanje razlike dviju boja te izradu normi i dopuštenih odstupanja. Točna reprodukcija boje komercijalno je vrlo značajna – mnogi se proizvodi identificiraju upravo bojom. Jezično se može opisati samo nekoliko boja, a uobičajeno je da se ljudi ne slažu prilikom razlikovanja i opisivanja boja. Stoga postoji težnja da se temeljem teorije boja razvije standard koji će omogućiti numeričko izražavanje boje na način kako se, primjerice, izražava duljina ili masa predmeta u svrhu što jednostavnije komunikacije.

### 1.2.1. Označavanje boja

Već su u dalekoj povijesti ljudi pokušali označiti boje, tj. dati im ime. Stari su narodi bili vrlo siromašni u imenovanju boja, ali se razvojem industrije boja i tkanina, tiskarstva, kozmetike itd. razvijao i taj smisao. Izvorno su boje nazivane prema predmetima za koje su bile karakteristične (ljubičica je ljubičasta, naranča narančasta itd.). Među prvima je terminologiju pokušao odrediti Aristotel (21), dok je točniju definiciju boja dao Newton (22) koji ih je rasporedio u zatvoreni krug te ih podijelio na sedam pojedinačnih boja. Prvi je opis boja, objavljen 1939. u „*National Bureau of Standards (ISCC-NBS)*,” dao *Inter-Society Color Council* (23), a taj je opis i nekoliko puta nadopunjavao i modificiran. Konačan način opisivanja boja predložili su Kelly i Jud 1955.(24)

Boje se mogu definirati svojim uobičajenim imenima ili opisnim, literarnim izvedenicama, ali to ne govori ništa o njihovim izražajnim vrijednostima. Stoga postoje tri atributa koji objektivnije definiraju svaku boju, a predložio ih je Albert H. Munsell (25):

- ton ili tonalnost
- svjetlina ili luminancija
- zasićenost ili saturacija.

Ton boje označava boju u užem smislu (žuta, zelena, plava itd.). Definira se kao kromatska kvaliteta boje, odnosno kvaliteta kojom se jedna boja razlikuje od druge. Da bi se objasnili pojmovi zasićenost i svjetlina, najprije je potrebno boje podijeliti u dvije osnovne skupine. U prvoj se skupini nalaze prave boje, kao što su crvena, narančasta, žuta, zelena, plava itd., koje se nazivaju kromatskim bojama, ili jednostavno bojama. U drugoj se skupini nalaze crna, siva i bijela, koje se nazivaju akromatskim bojama, ili jednostavno nebojama. One čine skalu koja seže od crne, preko sive, do bijele. Boje koje su vrlo blizu akromatskoj osi, a imaju vrlo mali udio kromatske komponente, opisuju se kao, primjerice, žućkasto bijela, plavkasto siva itd.

Neke od kromatskih boja tamnije su ili svjetlije od drugih i moguće je uspoređivati svaki stupanj njihove svjetline sa svjetlinom sive akromatske boje. To se svojstvo naziva svjetlinom ili luminancijom (Slika 8.). To je relativna količina svjetlosti (bilo koje valne duljine) koju boja prividno emitira. To je kvaliteta kojom se razlikuje svijetla boja od tamne. Ako se neka kromatska boja miješa s akromatskom bojom jednake svjetline, svjetlina ostaje jednaka. Nastala promjena u kvaliteti, odnosno čistoći boje, ovisi o relativnoj količini tih dviju komponenata. To se svojstvo zove zasićenost ili saturacija (Slika 9.), a označava stupanj do kojeg se boja čini čistom (26).



**Slika 8.** Svjetlina boje



**Slika 9.** Zasićenost boje

### 1.2.2. Prostori boja

Prostor ili model boja omogućuje definiranje i vizualizaciju boje. Boja je najčešće definirana trima koordinatama koje definiraju tri parametra boje. Ti parametri određuju položaj boje unutar korištenog prostora boja. Postoji mnogo prostora boja namijenjenih različitim područjima. Neki su prostori boja linearni (npr. RGB, CIE XYZ), što znači da će određeni iznos promjene podražaja izazvati jednak iznos promjene u percepciji određene boje, dok drugi nisu (npr. HSV). Neki su prostori boja intuitivni za korištenje, odnosno lako je s pomoću parametra u njima izabrati boju, dok je kod drugih to vrlo teško ili gotovo nemoguće. Neki prostori boja vezani su za uređaj na kojem su definirane boje i za njih se kaže da su ovisni o uređaju (engl. *device dependent*). Kad se boje definirane u tim prostorima koriste na nekom drugom uređaju, nisu jednake kao na uređaju gdje su izvorno definirane.

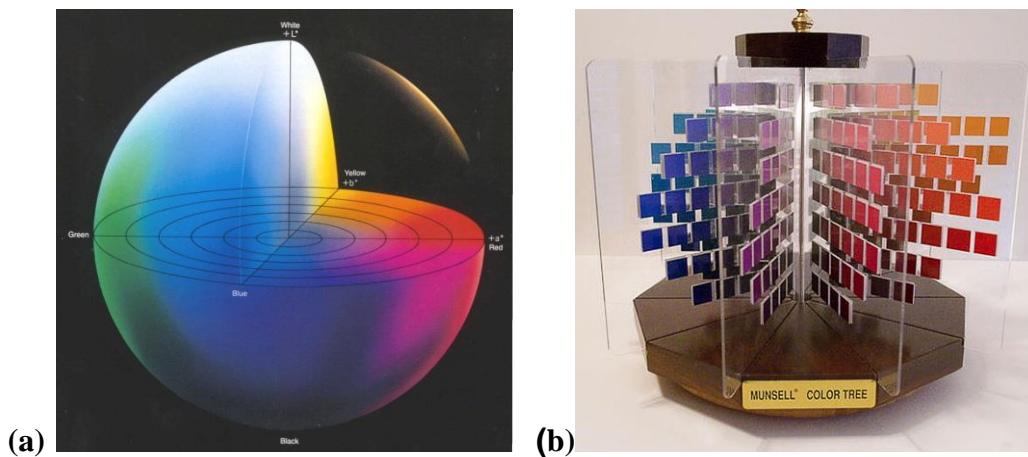
Najjednostavniji prikaz boja je dugin spektar. Ako se takva spektralna traka spoji na svojim krajevima, dobije se krug sličan onom kakvog je krajem 18. stoljeća konstruirao M. Harris (Slika 10.). Iz njega miješanjem (preklapanjem) osnovnih ili primarnih boja (crvene, plave i zelene) nastaju izvedene, sekundarne boje (cijan, magenta, žuta), a njihovim daljnjim miješanjem nastaju varijacije. Krug boja dovoljno dobro prikazuje dvije dimenzije – obojenost i zasićenost – ali ne može prikazati svjetlinu (27).



**Slika 10.** Harrisov krug boja (preuzeto iz 28)

Za prikazivanje svih triju dimenzija od kojih se boja sastoji potrebno je koristiti neki od složenijih modela. Prvi je takav model kreirao A. H. Munsell dodajući krugu treću dimenziju

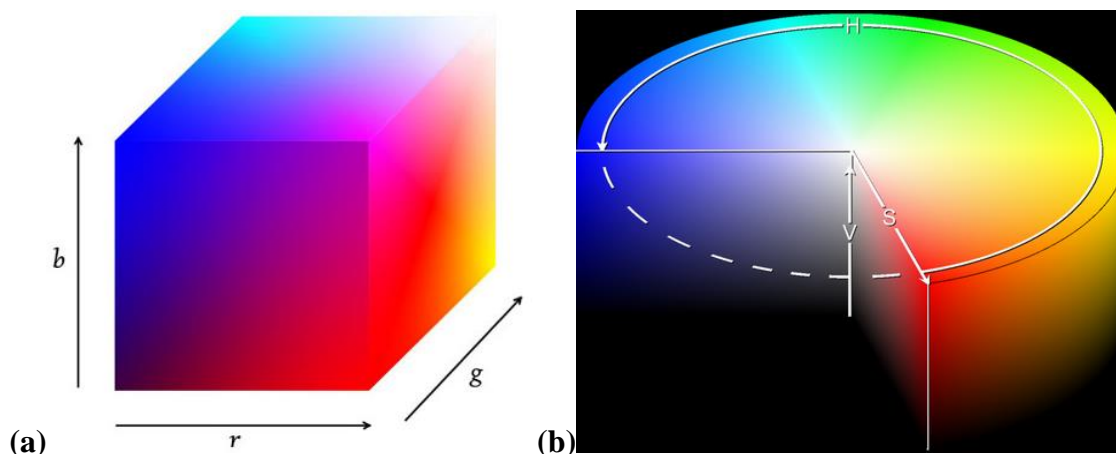
čime je stvorio model kugle. U njoj je bilo moguće prikazati ovisnost svih triju parametara koji čine boju (ton, svjetlina i zasićenost) (Slika 11.a) (25). Budući da je teško predočiti boje u unutrašnjosti kugle, Munsell je kreirao i stablo boja na kojem je moguće prikazati odnose svih triju spomenutih parametara (Slika 11.b).



**Slika 11.** Munsellovi prostori boja: **(a)** kugla (preuzeto iz 29) i **(b)** stablo (preuzeto iz 30)

**RGB prostor boja.** RGB prostor boja definiran je s pomoću triju aditivnih primara: crvene, zelene i plave boje. Svaka boja u tom prostoru nastaje zbrajanjem pojedinih komponenata tih triju boja. RGB model predstavljen je s pomoću kocke (Slika 12.a). Taj se prostor boja najčešće koristi u računalima, ali nije prikladan za čovjeka. Crvena, zelena i plava komponenta u međusobnoj su korelaciji tako da je čovjeku vrlo teško izborom tih komponenata definirati željenu boju u RGB prostoru boja. Stoga se najčešće koriste neki drugi modeli kao što je, primjerice, HSV prostor boja.





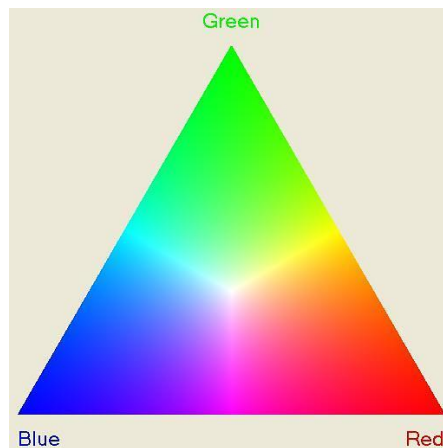
Slika 12. (a) Model RGB i (b) HSV prostora boja (preuzeto iz 31)

**HSV prostor boja.** HSV predstavlja skupinu sličnih prostora boja pod imenima HSI (*intensity*), HSV (*value*), HCI (*chroma/colourfulness*), HVC, TSD (*hue, saturation, darkness*). Definiran je trima parametrima: tonom boje (*hue*), zasićenjem (*saturation*) i svjetlinom (*value, luminance*). Ton boje predstavljen je kutom od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ . Zasićenost boje ima vrijednost od 0% do 100%. Svjetlina boje ima vrijednost od 0% do 100%. HSV prostor boja predstavljen je s pomoću valjka (Slika 12.b). Često se taj prostor boja prikazuje i kao stožac ili šesterostrana piramida jer je percipirana promjena zasićenja boje od 0% do 100% manja za tamne boje (one koje imaju manju vrijednost svjetline), nego za svijetle boje (one koje imaju veću vrijednost svjetline). Da bi se nadoknadila ta razlika u percepciji, valjak se izobličuje u stožac. Pokazalo se da je u ovom prostoru boja čovjeku daleko lakše (intuitivnije) definirati i izabrati boju nego u RGB prostoru boja.

#### 1.2.2.1. CIE prostori boja

Commission International de l'Eclairage (CIE), kao organizacija koja se bavi standardizacijom boja, definirala je 1931. standardni izvor svjetlosti, opisala standardnog promatrača te izmjerila tristimulusne vrijednosti na kojima se temelji teorija percepcije boje kod čovjeka. Temeljem toga predložila je prostore boja čiju osnovu čini Maxwellov trokut boja iz 1859. Maxwellov se trokut smatra pretečom kvantitativnog mjerenja boja (Slika 13.). Prema njegovoj teoriji, sve se boje mogu dobiti miješanjem triju osnovnih boja spektra: crvene, zelene i plave (RGB). One su postavljene na vrhove istostraničnog trokuta, dok bilo koja mješavina boja leži na sredini pravca koji povezuje boje od kojih je mješavina nastala

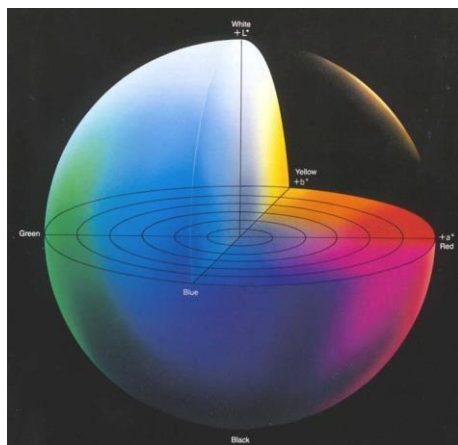
(33). Pretvorbom Maxwellovih trikromatskih RGB vrijednosti u tristimulusne varijable  $x$ ,  $y$  i  $z$  nastao je novi kolorimetrijski sustav CIE-1931 te dopunski standardni kolorimetrijski sustav CIE-1964. Sustavi se razlikuju po veličini vidnog polja promatrača ( $2^\circ$  ili  $10^\circ$ ).



**Slika 13.** Maxwellov trokut boja (preuzeto iz 34)

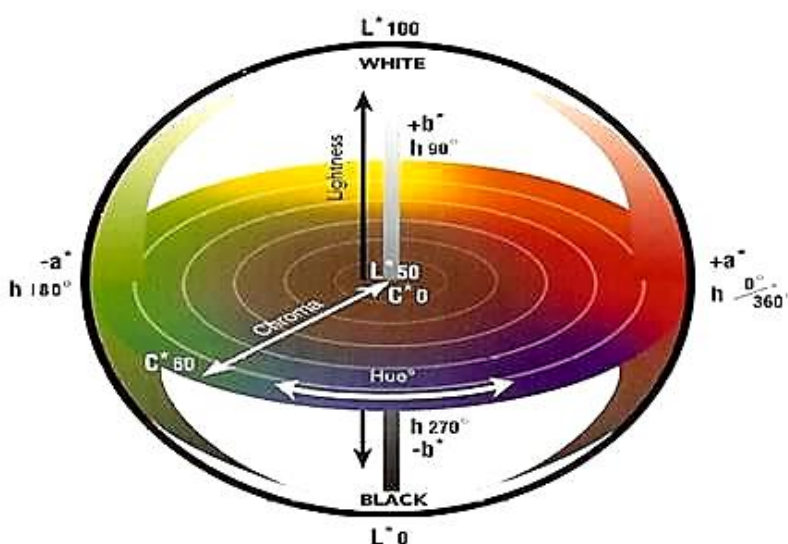
Kako bi se prevladala ograničenja standardnog kolorimetrijskog sustava, CIE je predložila istovrsne skale boja CIE  $L^*a^*b^*$  (1976.) i CIE  $L^*c^*h^\circ$ . Navedeni prostori gotovo su linearni s vizualnom percepcijom te razmaci između točaka odgovaraju razlici u percipiranim bojama.

CIE  $L^*a^*b^*$  je uniforman trodimenzionalni prostor boja dobiven pretvorbom  $x$ ,  $y$ ,  $z$  vrijednosti koordinatnog sustava u tri nove varijable:  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  ( $x$  i  $y = a^*$ ,  $z$  i  $y = b^*$ ,  $y = L^*$ ). U  $L^*a^*b^*$  koordinatnom sustavu os  $L^*$  predstavlja svjetlinu i ima raspon od 0 za potpuno crno do 100 za potpuno bijelo te je okomita na osi  $a^*$  i  $b^*$ . Osi  $a^*$  i  $b^*$  tvore ravninu „obojenih“ tonova, pri čemu se u ishodištu koordinatnog sustava nalaze akromatske boje, a prema rubu boje postaju zasićenije. Os  $a^*$  označava prijelaz od zelenog ( $-a^*$ ) prema crvenom ( $+a^*$ ), a os  $b^*$  od plavog ( $-b^*$ ) prema žutom ( $+b^*$ ) (Slika 14.). Sve tri varijable daju numerički opis položaja boje u trodimenzionalnom prostoru. S obzirom na povezanost s vizualnom percepcijom, taj prostor boja vrlo je popularan u istraživanjima koja se bave bojom (35).



Slika 14. CIE L\*a\*b\* prostor boja (preuzeto iz 36)

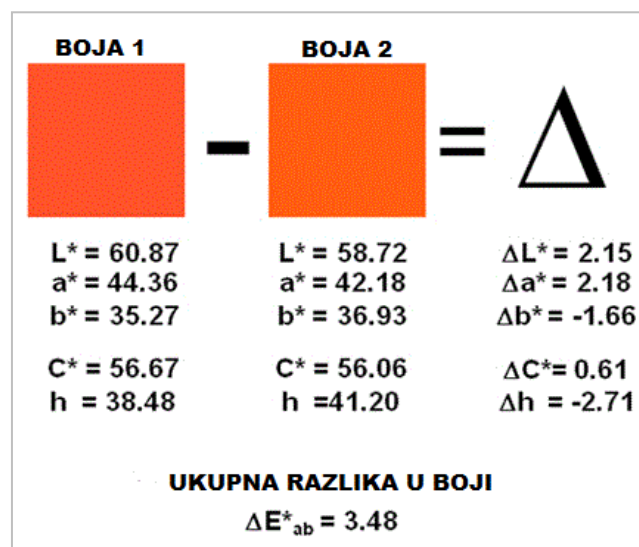
Dok CIE L\*a\*b\* sustav koristi kartezijeve koordinate za izračun boje u prostoru, CIE L\*c\*h° koristi polarne koordinate. Takvo izražavanje može se izvesti iz CIE L\*a\*b\* koordinatnog sustava pri čemu se ne mijenja distribucija boje, već se drugačije računa njezin položaj unutar koordinatnog sustava. U L\*a\*b\* sustavu položaj boje opisuje se u odnosu na udaljenost od varijabli L\*, a\* i b\*, dok se u CIE L\*c\*h° sustavu položaj boje opisuje u odnosu na udaljenost od varijable L\*, c\* (*chroma* – intenzitet boje, zasićenost) te kutom h° (*hue* – nijansa) koji položaj boje zatvara s osi a\*. Kut vektora h°a\*b\* (kut boje) definira ton boje u ravnini koju tvore osi a\* i b\*. Pri tome 0° označava crveno, a 90° žuto. Duljina vektora h°a\*b\* označava se kao zasićenost c, a ona se kreće od 0 do 60 pri čemu 60 označava potpunu zasićenost (Slika 15.) (27).



Slika 15. Odnos između CIE L\*a\*b\* i CIE L\*c\*h° prostora boja (preuzeto iz 37)

### 1.2.3. Kvantifikacija razlika u boji

Razlika između dviju boja predstavlja udaljenost između dvaju položaja koja zauzimaju te dvije boje u koordinatnom sustavu (prostoru boja), a izražava se parametrom  $\Delta E^*$  (njem. *Empfindung* – doživljaj, percepcija) (Slika 16.).



**Slika 16.** Prikaz izračuna razlike u boji  $\Delta E^*$  (preuzeto iz 38)

U većini istraživanja koja se bave bojom razlika između dviju boja kvantificira se unutar CIEL\*a\*b\* prostora boja, a  $\Delta E^*$  se računa s pomoću jednadžbe  $\Delta E^*_{ab}$  koja glasi (39):

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

U  $\Delta E^*_{ab}$  jednadžbi svjetlina, ton i zasićenost imaju jednaku težinu. Međutim, s obzirom na činjenicu da  $L^*a^*b^*$  prostor boja nije uniforman, javljaju se nepravilnosti. U težnji za što većom preciznosti predložene su alternativne jednadžbe poput  $CMC_{11}$  ili  $CIE_{94}$  koje se nisu pokazale dovoljno pouzdanima (40, 41) pa je 2001. predložena jednadžba  $\Delta E^*_{00}$  (42) kojoj su dodane korekcijske funkcije. Upravo tu jednadžbu trenutno preporučuje CIE (43):

$$\Delta E^*_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{S_C} \frac{\Delta H'}{S_H}}$$

I u istraživanjima koja se bave bojom u dentalnoj medicini  $\Delta E^*_{00}$  jednadžba se pokazala pouzdanijom (44).

Za praktičnu primjenu potrebno je utvrditi granice vizualne percepcije razlika u boji (45). Iako se s pomoću  $\Delta E^*$  vrijednosti približno mogu izraziti granice tolerancije razlika u boji, zbog individualnih razlika u percepciji moguća su značajna odstupanja. Tako neki pojednici uočavaju razliku od svega 0,5, dok drugi ne vide ni razliku od 4  $\Delta E^*$  jedinice (46). Stoga je određivanje razlike koja je klinički relevantna složen zadatak te se u literaturi predlažu različite granice.

Većina je autora složna da se vrijednost  $\Delta E^* < 1$  može smatrati neprimjetnom razlikom u boji (47, 48), pri čemu se  $\Delta E^* < 0,5$  može pripisati nepreciznost instrumenta s kojim se mjeri i stoga zanemarivom razlikom. Vrijednosti  $\Delta E^*$  između 1 i 2 uglavnom raspoznaju trenirani promatrači, dok razlike  $\Delta E^* > 2$  uočava i netrenirano oko, zbog čega se takva razlika smatra relevantnom (47 – 49).

Međutim, iako razlika između dviju boja može biti uočljiva, to ne znači da je ona istovremeno klinički neprihvatljiva kad je riječ o boji zuba. Najveća su odstupanja upravo kod utvrđivanja granice značajne ili neprihvatljive razlike u boji. Dok se u *in vitro* uvjetima često spominju vrijednosti poput  $\Delta E^* > 2,5$  (50) ili 2,72 (51), u kliničkim je uvjetima tolerancija veća jer se manja odstupanja u boji u nekontroliranim uvjetima teže zamjećuju (39, 52). Tako se klinički neprihvatljivima smatraju tek razlike veće od 3,7  $\Delta E^*$  jedinica (53, 54), a prema nekim se autorima penju čak i do  $\Delta E^* = 5,5$  (55). Navedene vrijednosti valja imati na umu prilikom spektrofotometrijske procjene boje ili vrednovanja razlika u boji.

### **1.3. Boja u dentalnoj medicini**

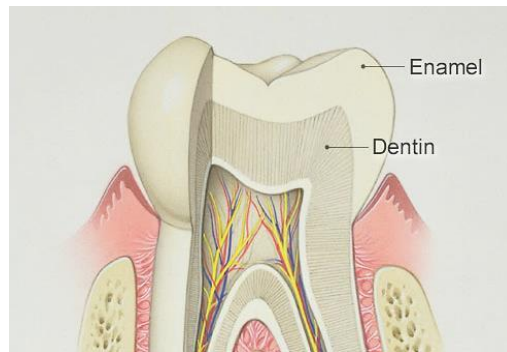
Uspjeh restaurativne ili protetske terapije u dentalnoj se medicini temelji na funkcijskom i estetskom rezultatu. Nadomjesci koji se svrstavaju u skupinu estetskih čine važan udio u svakodnevnom radu i prihodima suvremenih ordinacija dentalne medicine. Estetski uspjeh terapije ovisi o obliku, površinskoj teksturi i boji nadomjeska. Stoga je poznavanje koncepta boja važan preduvjet za postizanje predvidljivog estetskog rezultata (56, 57). Iako usklađenost boje nadomjeska s prirodnim zubima nije važna za funkcijski uspjeh restaurativnog ili protetskog nadomjeska, može biti odlučujući čimbenik za pacijentovo prihvaćanje terapije (58). Stoga je boja postala jedna od glavnih odrednica uspjeha terapija koje se bave nadoknadom izgubljenog zubnog tkiva (59). Poznato je kako je zadovoljstvo izgledom zubi neposredno povezano s pacijentovim samopouzdanjem (60 – 62). Današnji su pacijenti osvješteniji te su im informacije dostupnije nego prije (60, 61). Stoga dolaze s preciznim zahtjevima i visokim očekivanjima. Nisu im dovoljni samo zdravi zubi, nego traže i savršen osmijeh. Ta činjenica, kao i strelovit napredak dentalnih materijala zahtijevaju stalno usavršavanje svakog terapeuta.

Kod izrade indirektnih nadomjestaka rad s bojom obuhvaća njezino određivanje i prenošenje informacije zubnom tehničaru koji je nadomjeskom nastoji što vjernije oponašati. Međutim, u slučaju neuspjeha važno je uočiti zašto boja nije pogođena i znati ispraviti pogrešku. Paravina kaže kako boju u dentalnoj medicini ne treba izmišljati kao toplu vodu – treba samo razumjeti i primijeniti odavno poznata temeljna načela znanosti o boji (56).

#### **1.3.1. Boja zuba**

Boja zuba složen je fenomen koji ovisi o histološkoj građi, optičkim svojstvima i vitalnosti zuba, dobi osobe, vanjskim utjecajima (pigmentaciji, konzumiranju crnog vina i kave itd.) i kakvoći izvora svjetlosti (63 – 65).

Prirodni je zub slojevite građe pri čemu je dentinska jezgra u području krune obavijena slojem cakline (Slika 17.). S obzirom na nehomogenu građu, moguće su četiri vrste interakcije sa zrakom svjetlosti koja padne na zub, čime se posljedično stječe dojam boje: 1) propuštanje zrake kroza zub, 2) zrcalna refleksija zrake o površinu, 3) difuzna refleksija zrake te 4) apsorpcija zrake unutar zubnih tkiva (Slika 18.) (67, 68).



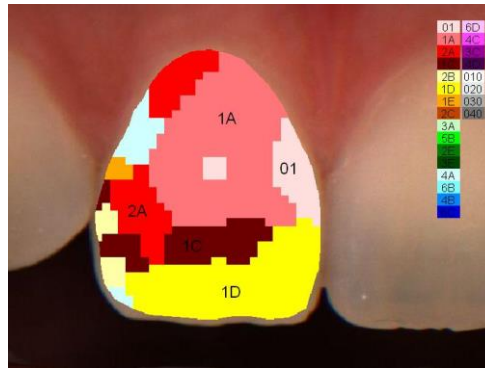
**Slika 17.** Shematski prikaz slojevite građe zuba (preuzeto iz 66)

Dentin je visoko kalcificirano tkivo uglavnom žućkaste boje, pri čemu je relativno visok stupanj mutnoće ili opaciteta posljedica tubularne građe (69). Caklina je poluprozirna, sive do plavkasto bijele boje (70). Najdeblja je na žvačnoj plohi postraničnih zubī i griznim bridovima prednjih zubi, a postupno se stanjuje prema vratu zuba i završava u caklinsko-cementnom spojištu. Smatra se da na optička svojstva cakline uglavnom utječu kristali hidroksilapatita (71). Zbog velikog se stupnja translucencije cakline smatra da je boja zuba uglavnom određena bojom dentina, dok je caklina samo modificira. To je potvrdilo i istraživanje u kojem je s 28 zubī različitih pacijenata odstranjen sloj cakline. Boja dentina značajno je korelirala s bojom zuba prije uklanjanja cakline (64).

Nijedan zub nije jednolične boje, već ga obilježavaju različite nijanse i stupnjevi translucencije koje ljudsko oko teško zamjećuje i razlikuje (Slika 19.) (70, 73). Centralni dio obično je najsvjetliji, dok prema incizalnom bridu, a osobito cervikalnom dijelu dominiraju tamnije nijanse (74, 75). Osim toga, međusobno se razlikuju i boje zubī unutar zubnog niza, pri čemu su prednji zubi svjetliji od stražnjih (76). Nadalje, boja zuba se mijenja se kroz život pri čemu s dobi postaje tamnija zbog odlaganja sekundarnog dentina, vanjskih obojenja i postupnog trošenja cakline zbog čega podložeci dentin ima sve veći utjecaj na boju (63).



**Slika 18.** Moguće interakcije zrake svjetlosti s tvrdim zubnim tkivima (preuzeto iz 72)

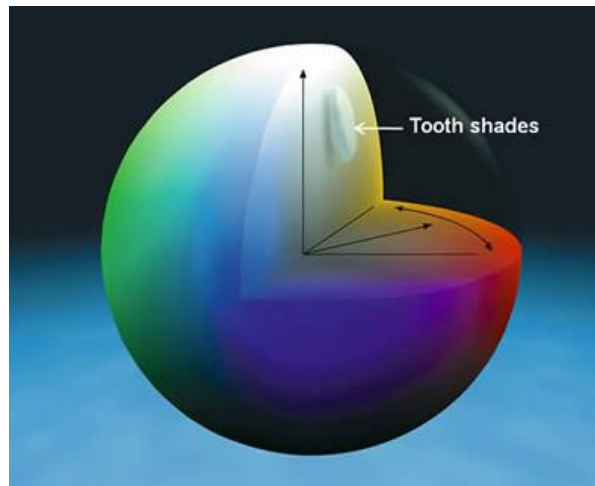


**Slika 19.** Spektrofotometrijska analiza (spektrofotometar MHT Spectroshade Micro, MHT, Verona, Italija) boje gornjeg desnog sjekutića. Boje su izražene u kodovima ključa boja Chromascope (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenštajn). Uočava se osam različitih tonova boje na istom zubu.

#### 1.3.1.1. Prostor boja prirodnih zubi

Unutar  $L^*a^*b^*$ , ali i  $L^*c^*h^\circ$  dijagrama, prostor boja prirodnih zubi opisan je kao prostor sličan obliku banane (Slika 20.). Smješten je između svijetlo crvene i svijetlo žute uzduž osi  $L^*$ . Unutar tog prostora nalaze se sve nijanse prirodnih zubi, a zauzima 4 – 5% ukupnog prostora boja (77). Prema dijagramu, svjetliji su zubi smješteni u gornjim, a tamniji u donjim dijelovima „banane“; intenzivnije boje zubi nalaze se na vanjskim rubovima, dalje od akromatičnog centra koordinatnog sustava; zubi koji sadrže i crvene nijanse nalaze se bliže osi  $a^*$ , dok se oni žućkastih tonova nalaze bliže osi  $b^*$  (33). Ukoliko se parametri boje, odnosno položaj boje u koordinatnom sustavu najsvjetlijeg prirodnog zuba usporedi s onom najtamnijeg, dobivaju se sljedeće varijable: 78/1/12 i 62/6/31 u  $L^*a^*b^*$  te 78/12/86 i 61/33/78 u  $L^*c^*h^\circ$  koordinatnom sustavu. To znači da se vrh „banane“ na osi  $L^*$  nalazi na visini 78%, zasićenost ( $c^*$ ) iznosi 12%, a kut  $h$  (nijansa) iznosi  $86^\circ$ , jako je udaljen od osi  $+a^*$  pa gotovo u potpunosti leži na žutoj osi  $+b^*$ . Tamniji je kraj „banane“ smješten je u visini 62% na osi  $L^*$ , zasićenost mu je do triput veća od njegovog vrha i iznosi 33% te je bliži crvenoj osi  $+a^*$ ; kut mu iznosi  $78^\circ$  (27, 33). Poznavanje prostora boja prirodnih zubi osobito je značajno za kliničku dentalnu medicinu jer se na taj način daju smjernice za stvaranje umjetnih materijala kojima će se moći jednostavnije oponašati boje prirodnih zubi (78, 79).





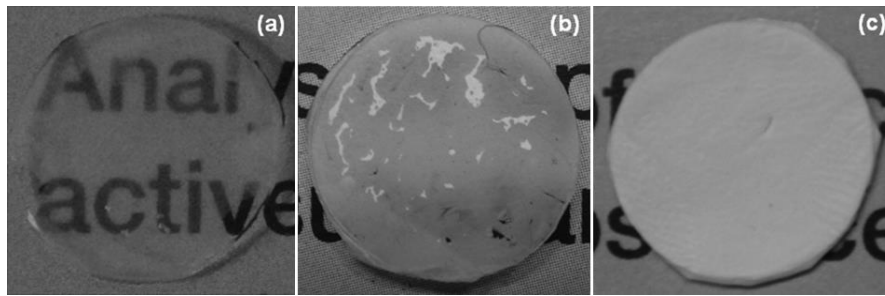
**Slika 20.** Prostor boja prirodnih zubī (preuzeto iz 80)

### 1.3.2. Sekundarna optička svojstva koja utječu naboju zuba

Kod određivanja boje zuba potrebno je uzeti u obzir njegovu slojevitú strukturu s različitim debljinama i stupnjevima translucencije pojedinih slojeva (81). Dodatno i različita površinska tekstura može utjecati na percepciju boje. Zubi se često opisuju kao „polikromatski“ s različitim tonovima, svjetlinama i zasićenosti (vidi Sliku 19.). Za uspješno prepoznavanje boje potrebno je razumjeti kako ostala optička svojstva objekta utječu na boju. Ta svojstva uključuju translucenciju/opacitet, opalescenciju, fluorescenciju, površinsku teksturu i sjaj (82).

#### 1.3.2.1. Translucencija i opacitet

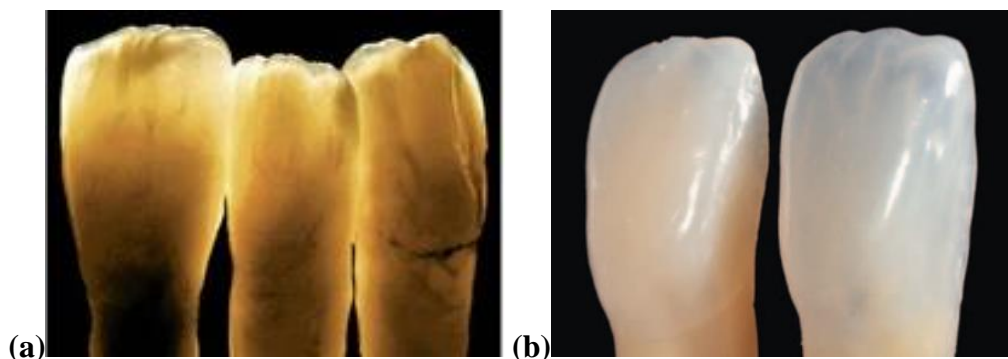
Translucencija i opacitet međusobno su povezani pojmovi, a opisuju zamućenost ili prozirnost nekog objekta (Slika 21.a do c). Transparencija predstavlja maksimalni stupanj translucencije, poput stakla. S druge je strane potpuno opak ili neproziran materijal, primjerice, metal. Stupanj translucencije ovisi o interakciji s upadnom svjetlosti. Ako se veći dio svjetlosti propušta, objekt se doima translucentnijim, a ako dominira refleksija, objekt će biti neprozirniji ili opakniji (9).



**Slika 21.** Različiti stupnjevi translucencije materijala: (a) transparentan materijal; (b) translucentan materijal; (c) neproziran ili opak materijal (preuzeto iz 83)

Smatra se da ta optička obilježja imaju najveći utjecaj na boju zuba (82). Kod prednjih se zubi svjetlost na rubovima gdje dominira caklina lomi gotovo linerano, što daje translucentan dojam tog područja. Za razliku od toga, u centralnom dijelu dominiraju refleksija i apsorpcija pa je taj dio zuba zamućeniji (Slika 22.a) (84, 85). Općenito, što se veći dio svjetlosti reflektira o površinu i vraća u oko, objekt će se doimati svjetlijim, dok translucetniji objekti izgledaju tamnije jer se veći dio svjetlosti „gubi“. U praksi to znači da će se opakni zubi percipirati svjetlijima, a translucetniji tamnijima (Slika 22.b). S obzirom na to da se prirodni zubi odlikuju većim ili manjim stupnjem translucencije, važno je naglasiti da pretjeran opacitet prilikom izrade nadomjestaka ostavlja neprirodan i „beživotan“ dojam.

Translucencija ljudskih zubi ovisi i o sadržaju vlage tako da se može bitno mijenjati dehidracijom ili vratiti u izvorno stanje rehidracijom (86, 87). Isušeni se zubi doimaju neprozirnijima i svjetlijima (88, 89). Opisani fenomen posljedica je nadomještanja vode oko caklinskih prizmi zrakom čiji se indeksa loma svjetlosti razlikuje. Indeks loma cakline iznosi 1,7, vode 1,33, a zraka 1. Zbog veće razlike dolazi do jačeg loma zrake na prijelazu između cakline i zraka (86).



**Slika 22.** (a) Uočava se kako incizalni bridovi zubi pokazuju najveći stupanj translucencije koji se smanjuje prema cervikalno gdje je zub gotovo potpuno nepropustan za svjetlost (preuzeto iz 90). (b) Desni, translucetniji zub doima se tamnijim (preuzeto iz 91).

### 1.3.2.2. Opalescencija

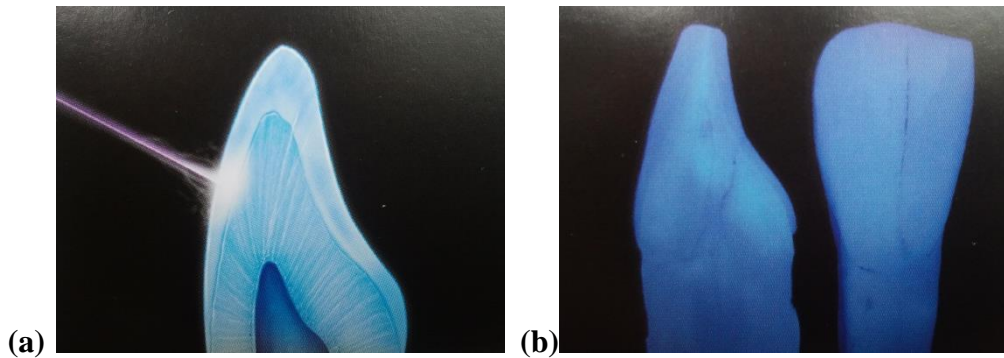
Opalescencija se javlja zbog čestica unutar translucenatnog materijala koje imaju značajno veći indeks loma od same matrice i djeluju kao prizme. Zbog toga dolazi do različite disperzije svjetlosti crvenog i plavog dijela spektra pri čemu se crvena svjetlost propušta, a plava lomi (Slika 23.) (92). U caklini ulogu prizmi imaju kristali hidroksilapatita. Stoga se caklina pod određenim kutovima doima plavkastom, iako je zapravo bezbojna (64). Opalescencija pridonosi svjetlini zuba tako što svjetlost ne propušta kroz svoju strukturu, nego je reflektira o površinu. Istovremeno ostavlja dojam optičke dubine i vitalnosti (93).



**Slika 23.** Opalescencija – svjetlosne zrake crvenkastih valnih duljina se propuštaju, dok se plave lome i reflektiraju (preuzeto iz 94)

### 1.3.2.3. Fluorescencija

Fluorescencija nastaje kao posljedica apsorpcije zraka nevidljivog dijela spektra (ultraljubičaste zrake) i njihove spontane emisije u zrake veće valne duljine iz vidljivog dijela spektra, obično plavog (95) (Slike 24.a i b). Dentin je fluorescentniji od cakline zbog većeg sadržaja organskih tvari (82, 96, 97). Povećanjem fluorescencije smanjuje se zasićenost boje (98). Isto tako se povećava svjetlina jer se veća količina svjetla vraća u oko. Zanimljivo je da tako postignuta svjetlina nema negativan utjecaj na stupanj translucencije, što je od osobitog značaja kod izrade nadomjestaka i oponašanja boje prirodnih zubi (56).



**Slika 24.** (a) Ilustracija koja prikazuje interakciju ultraljubičaste svjetlosti i stanica u dentinskom sloju koje reflektiraju vidljivu svjetlost – fenomen poznat kao fluorescencija; (b) prirodni zubi pod ultraljubičastom svjetlosti reflektiraju plavu svjetlost (preuzeto iz 9)

#### 1.3.2.4. Površinska tekstura i sjaj

Na percepciju boje objekta mogu utjecati i površinska tekstura i sjaj. Štoviše, uspješnost oponašanja izgleda prirodnog zuba, osim o obliku, ponajviše ovisi o uspješnoj reprodukciji površinske teksture (99, 100). Tekstura površine utječe na refleksiju svjetlosti – hrapave površine dovode do difuzne refleksije, dok kod glatkih površina dominira zrcalna refleksija. Na Slici 25. prikazana je ista boja na uzorcima koji se razlikuju samo po teksturi površine. Upravo razlike u teksturi izazivaju različitu percepciju boje jer dolazi do različitog loma svjetlosti. Sjajne, glatke površine doimaju se tamnijima i zasićenijima od mat i hrapavih površina. Veći sjaj zuba doprinosi vitalnom izgledu s obzirom na činjenicu da se s godinama trošenjem površine gubi i sjaj (101). U tom kontekstu treba naglasiti važnost nanošenja glazure i završnog poliranja nadomjestaka kako bi se postigao što prirodniji izgled.



**Slika 25.** Ista se boja na uzorcima koji se razlikuju po teksturi površine doima različitom (preuzeto iz 102)

### 1.3.3. Vanjski čimbenici koji utječu na percepciju boje

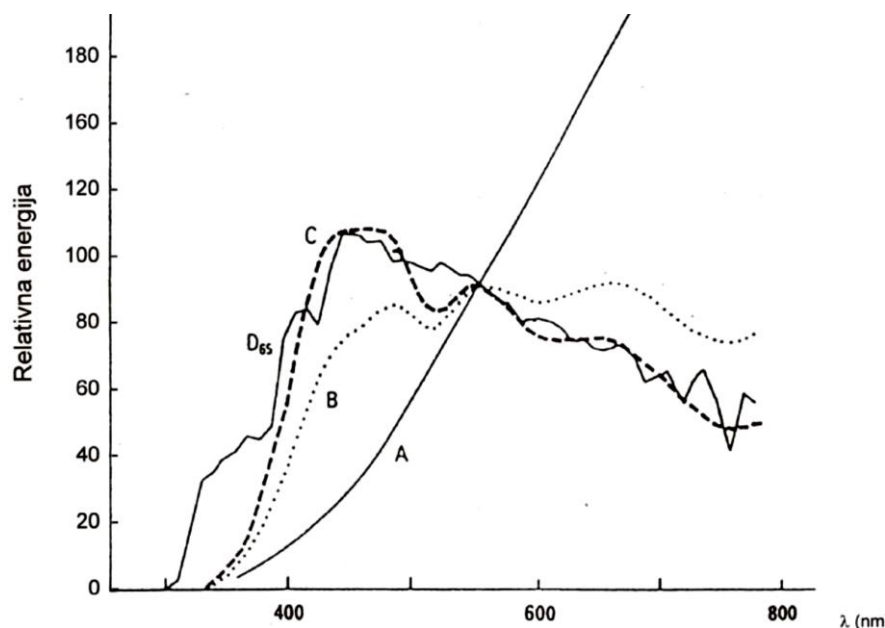
#### 1.3.3.1. Osvjetljenje

Bez odgovarajućeg osvjetljenja boja se ne može ispravno percipirati ni interpretirati. Svjetlost se procjenjuje prema intenzitetu i kakvoći. Intenzitet svjetlosti utječe na promjer zjenice oka. Da bi se omogućilo pravilno razlučivanje boja, intenzitet svjetlosti kojem štapići moraju biti izloženi iznosi oko 1600 do 2100 lx (103). Osim toga, za percepciju boje ključnu ulogu igra kakvoća svjetlosti. Svaki izvor svjetlosti ima definiranu krivulju spektralne energije zračenja. U skladu s primljenom svjetlosnom energijom objekt je reflektira ili apsorbira. Krivulja spektralne refleksije predstavlja grafički prikaz reflektirane (ili apsorbirane) energije i omogućuje numeričku kvantifikaciju boje (Slika 26.). Objekt ne može reflektirati energiju koju nije primio jer je izvor svjetlosti ne sadrži. Stoga se optimalnim izvorom svjetlosti smatra dnevno svjetlo s jednakom omjerom svih valnih duljina. Međutim, valja napomenuti da se energija zračenja tijekom dana mijenja te je na početku dana drugačija od energije sredinom ili krajem dana. Energija zračenja prirodnog svjetla ovisna je i o promjeni klimatskih uvjeta u prirodi, kao i godišnjem dobu. Nijedan umjetni izvor nema krivulju remisije kao idealna svjetlost. U prostorima u kojima se boravi koriste se različiti umjetni izvori svjetlosti (volframove žarulje, fluorescentne lampe, visokotlačne ksenonske cijevi) različitih proizvođača. Budući da su u takvim uvjetima određene valne duljine dominantnije, one će prije interagirati s osvijetljenim objektom te odigrati presudnu ulogu u karakteristikama emisije reflektirane svjetlosti s površine objekta. Stoga je u modernoj industriji postala važna temperatura boje zračenja izvora svjetlosti. Problem opisa temperature boje zračenja izvora svjetlosti definirala je CIE 1970.: „Temperatura boje zračenja izvora svjetlosti je učinak koji izvor svjetlosti ima na izgled objekta u usporedbi s izgledom objekta pod referentnim izvorom svjetlosti“ (23).

##### 1.3.3.1.1. Standardni izvori svjetlosti

Kod umjetnih izvora svjetlosti energija zračenja ovisna je o vrsti izvora. CIE izvore svjetlosti je klasificirao prema točno definiranim spektralnim energijama zračenja (104). Za definiciju je služila užarena željezna kugla čije je isijavanje na različitim temperaturama uspoređeno s raznim izvorima svjetlosti. U skladu s tim, izvori svjetlosti dijele se na standardne izvore A, B, C, D, E i F. *CIE standardni izvor A* predstavlja izvor s volframovom žarnom niti i ima

energiju zračenja od 2856 K. Svjetlost je žućkasto crvena. *CIE standardni izvor B* ima temperaturu od 4878 K i simulira direktnu Sunčevu svjetlost, dok *CIE standardni izvor C* predstavlja indirektnu Sunčevu svjetlost ili prosječnu dnevnu svjetlost s temperaturom zračenja od 6774 K. *CIE standardni izvor D* predstavlja seriju izvora koji simuliraju različite vrste dnevne svjetlosti. Spektralna energija zračenja slična je zračenju prirodne svjetlosti u intervalu od direktne Sunčeve svjetlosti do oblačnog dana. Razlikuju se temperaturama te se označavaju kao, npr.  $D_{50}$  (temperatura 5000 K),  $D_{65}$  (temperatura 6500 K). U dentalnoj se medicini za određivanje boje zuba preporučuju izvori svjetlosti s temperaturom od 5500 K ( $D_{55}$  izvori) (Slika 27.). *CIE standardni izvor E* predstavlja teoretski izvor svjetlosti koji je idealan, tj. na svim valnim duljinama zrači jednaku količinu energije, dok *CIE standardni izvor F* predstavlja različite izvore fluorescentne svjetlosti. Budući da spektralne krivulje fluorescentne svjetlosti imaju oštre maksimume, takvo osvjetljenje nije povoljno za procjenu boje (9, 17).



**Slika 26.** Spektralne krivulje refleksije za različite temperature izvora svjetlosti:

A – umjetna svjetlost (volframova žarulja); B – sunčeva svjetlost (podnevno);

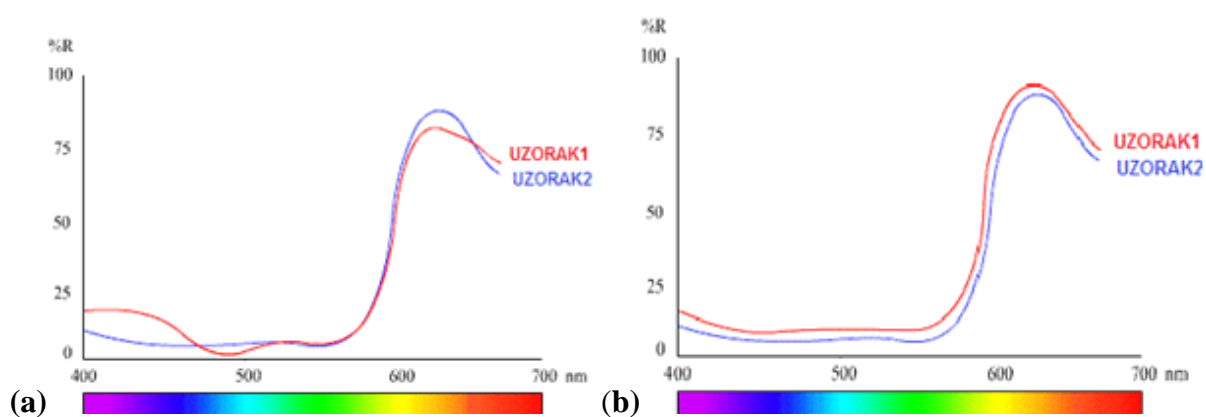
C – prosječna dnevna svjetlost;  $D_{65}$  – prosječna dnevna rasvjeta (preuzeto iz 17)



**Slika 27.** Percepcija boje istih zubī pod različitim uvjetima osvjetljenja – (a) pod dnevnom svjetlosti; (b) pod izvorom s volframovom žarnom niti zubi se doimaju žućkastima; (c) pod fluorescentnom svjetlosti dojam je plavkast (preuzeto iz 9)

### 1.3.3.1.2. Metamerija

Metamerija se pojavljuje kada dvije boje ostvaruju jednake stimuluse u određenim uvjetima, a različite u promijenjenim uvjetima. Najpoznatiji oblik metamerije je onaj izazvan različitim vrstama osvjetljenja. Već je objašnjeno kako se svjetlost različitih valnih duljina koja dopire do nekog objekta selektivno reflektira ili apsorbira. Percipirana boja zapravo ovisi o spektralnom sastavu svjetlosti koja se reflektira o površinu objekta. Smatra se da se krivulje spektralne refleksije dvaju objekata koji stvaraju metamerne stimuluse moraju preklapati u najmanje trima različitim valnim duljinama vidljivog dijela spektra (Slike 28. a i b) (17).



**Slika 28.** Krivulje spektralne refleksije (a) metamernih parova pri čemu krivulje teku gotovo paralelno, ali se presijecaju u trima točkama; (b) uzoraka jednake boje gdje krivulje teku paralelno (preuzeto iz 105)

Ako se, primjerice, uzmu dva objekta koja reflektiraju zelenu svjetlost na približno jednak način, dok plavu svjetlost jedan reflektira, a drugi apsorbira, te se ta dva objekta stave pod umjetni izvor svjetlosti, izgledat će kao da su približno jednake boje. Razlog je što svjetlost koja obasjava objekte ne sadrži valne duljine plavog spektra te se zbog toga ne uočava razlika u refleksiji plave svjetlosti. Međutim, jednaka dva objekta na dnevnoj će se svjetlosti oko podne razlikovati jer takva svjetlost sadrži sve valne duljine pa će objekt koji reflektira plavu svjetlost biti plav, dok će onaj koji je apsorbira ostati zelen (Slika 29.). Metamerija predstavlja problem zbog različitih izvora svjetlosti kojima smo okruženi, a može smanjiti korištenjem standardnih izvora svjetlosti prilikom određivanja boje (17).

Osim metamerije izazvane različitim vrstama osvjetljenja, postoje i drugi oblici, poput metamerije izazvane promatračem (zbog individualnih razlika u percepciji boje) ili promjenom geometrije promatranja uzorka (različiti kutovi promatranja, udaljenost itd.).



**Slika 29.** Primjer metamerije: Dva objekta pod umjetnim izvorom svjetlosti izgledaju kao da su jednake boje, dok se tek pod Sunčevom svjetlosti, koja sadrži sve valne duljine vidljivog spektra, uočava razlika (preuzeto iz 106).

#### 1.3.4. Čimbenici koji utječu na percepciju boje povezani s promatračem

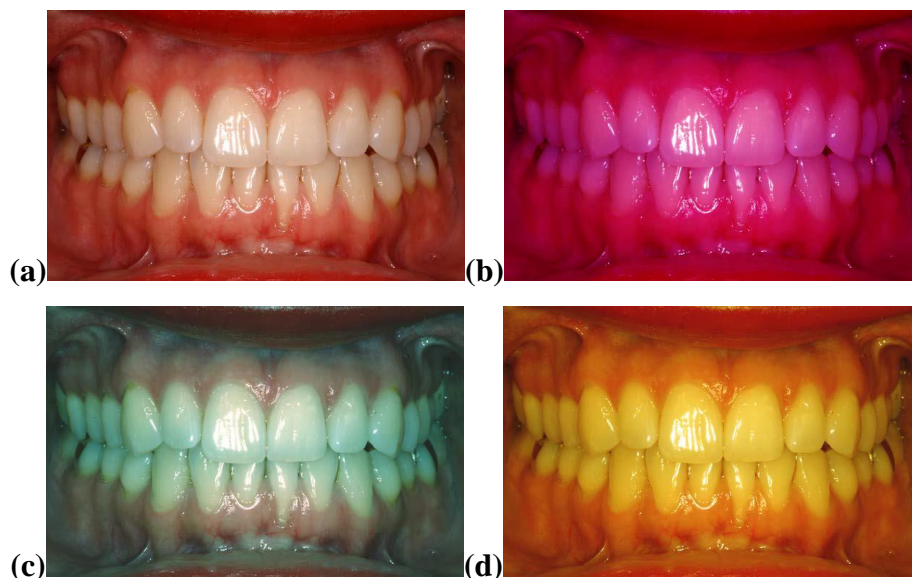
Iako je oko kod svih ljudi jednake građe, zbog socioloških, psiholoških i nasljednih osobina te različitih karakteristika boja, različiti promatrači jednake boje mogu doživljavati drukčijima ili jedan promatrač različite boje jednakima. Takve se situacije u interpretaciji vizualnih informacija nazivaju vizualnim efektima. Oni nastaju zato što djelovanje boje ovisi o njezinoj okolini, susjednoj boji, pozadini na kojoj se nalazi, o kutu promatranja, vrsti i intenzitetu izvora svjetlosti, ali i o samom promatraču (107, 108).



Doživljaj boje individualan je i subjektivan. Dartnall i suradnici utvrdili su da se osjetljivost čunjića u srednjim i dugim valnim duljinama među pojedincima razlikuje i do 20 nm (109). Razlike u spektralnoj apsorpciji pojedinih vrsta čunjića najčešće se događaju zbog kemijskih reakcija na mrežnici oka koje urokuje različita koncentracija vitamina A. Pokazalo se kako na raspoznavanje boja utječu i čimbenici poput dobi promatrača, njegovih prethodnih iskustava, umora, raspoloženja, čak i spola, iako literatura oko toga nije jedinstvena (107, 110). Navedene se varijacije mogu smatrati normalnima, svojstvenima prosječnom promatraču. Međutim, određeni dio populacije nije u stanju razlikovati boje. Iako se u tom slučaju često govori o sljepoći za boje, zapravo je ispravnije reći da postoji poremećaj kolornog vida jer se defektno viđenje odnosi samo na određene, a tek kod vrlo malog dijela populacije na sve boje (111).

Uzrok tome je nedostatak nekih vrsta čunjića na mrežnici oka. Poremećaj kolornog vida može biti urođen ili stečen. Stečeni poremećaj može biti posljedica bolesti oka ili normalnog procesa starenja. U tom slučaju, osim čunjića, mogu biti pogođeni i drugi dijelovi vidnog organa (112).

Različiti tipovi prirodnih sljepoća za boje mogu varirati od potpune do djelomične sljepoće za boje s disfunkcijom različitih sustava čunjića. Nasljeđuju se X-vezano, pogađajući češće muškarce (oko 7% muškaraca i 2% žena) (111). Kada je jedan sustav čunjića oštećen, pojavljuje se dikromazija. Najčešći oblik sljepoće za boje predstavljaju protanopija i deuteranopija.

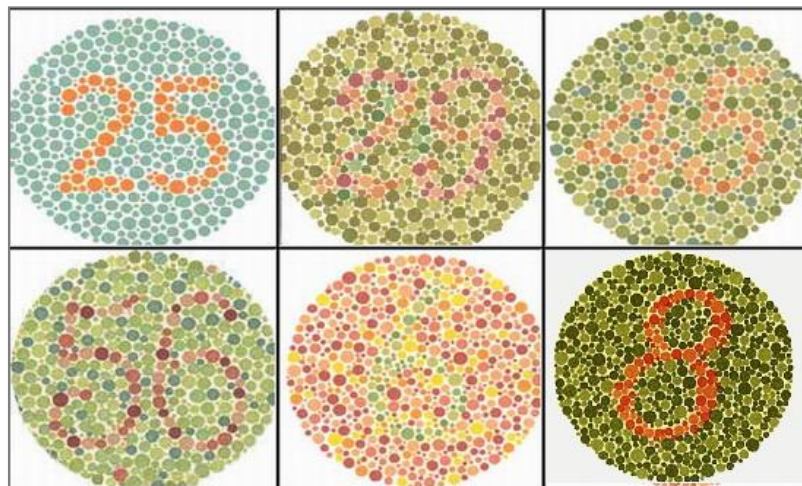


**Slika 30.** Klinički odraz poremećaja kolornog vida: (a) normalno raspoznavanje boja; (b) deuteranopija; (c) protanopija; (d) tritanopija (preuzeto iz 113)

Protanopija je oblik dikromazije uzrokovan potpunim nedostatkom crvenog fotoreceptora. Deuteranopija je poremećaj uzrokovan nedostatkom zelenog fotoreceptora. Posljedica je defektno viđenje crvenog i zelenog spektra. Tritanopija je iznimno rijedak oblik dikromazije karakteriziran nemogućnošću raspoznavanja plave i žute boje (Slike 30. a do d).

Monokromazija opisuje rijetku, neprogresivnu nesposobnost raspoznavanja bilo koje boje. Oboljeli u tom slučaju ne može razlikovati nijednu boju od sive. Anomalna trikromazija učestali je tip nasljednog poremećaja raspoznavanja boja koji se javlja kada je jedan od triju pigmentata promijenjen. Rezultat je oštećenje, a ne gubitak trikromazije (112).

Poremećaji kolornog vida otkrivaju se raznim vizualnim testovima, a jedan od najpoznatijih je Ishiharin test kolornog vida (Slika 31.) (114).



**Slika 31.** Ishiharin test kolornog vida (preuzeto iz 115)

#### 1.3.4.1. Optičke varke i vizualni efekti

Optičke varke ili iluzije (lat. *illudere* 'igrati se, varati') pogrešne su interpretacije osjeta, odnosno interpretacije koje objektivno ne odgovaraju podražajnoj situaciji. Promatrač percipira nešto što ne odgovara onome što postoji u stvarnosti. Iluzije su univerzalne, na jednak ih način percipiraju svi ljudi, a temelje se na podražajima i osjetima koji se percipiraju u određenim uvjetima. Povezane su s načinom na koji mozak procesuiru informacije. Čimbenici kao što su prijašnje znanje i iskustvo, kontekst u kojem se javlja objekt koji se promatra, kao i stupanj pažnje usmjerene na njega igraju određenu ulogu u nastajanju iluzija (116). Mozak uvijek traži model ili uzor, tj. traži sličnosti s kojima bi povezo ono što mu oko prenosi. To često pomaže u svakodnevnom životu jer je mozak u mogućnosti djeliće

informacije spojiti u cjelinu u slučajevima nepotpune slike. Međutim, ponekad su posljedica optičke iluzije zbog kojih čovjek vidi stvari na pogrešan način. Najčešće optičke iluzije uključuju boje i oblike. Mnoge od njih temelje se na kontrastu, tj. suprotnosti, odnosno naglašenoj različitosti.

Simultani kontrast nastaje istovremenim gledanjem dviju boja. Mozak u tom slučaju pokušava stvoriti ravnotežu između tih dviju boja, tj. ne vidi doslovno boju koja je pred nama, već je simultano modificira tražeći joj vizualni par. Percepcija boje pri tome ovisi o: 1) svjetlini okoline – boja će se doimati svjetlijom u tamnom okruženju i obrnuto; 2) boji okoline – doći će do pomaka boje prema komplementarnom paru boje okruženja; 3) relativnoj zasićenosti okoline – boja će se doimati intenzivnijom u manje kromatičnom okruženju i obrnuto (Slika 32.) (117).



**Slika 32.** Dva "iksa" su jednake boje, ali zbog okruženja gornji se doima svjetlijim (preuzeto iz 117)

Kontrast svijetlo-tamno opisuje fenomen da se objekt u tamnom okruženju doima svjetlijim, a u svijetlom tamnijim. Na Slici 33. uočava se kako isti sivi krug naizgled mijenja svjetlinu, ovisno o svjetlini pozadine. Na Slikama 34.a i b prikazan je isti zub koji se na crnoj podlozi doima svjetlijim, a na svijetloj tamnijim. Uzrok je prilagođavanje šarenice intenzitetu svjetlosti. Ako je pozadina tamnija od objekta, šarenica se prilagođava relativno svjetlijem objektu, što u konačnici rezultira još svjetlijim dojmom, nego da se objekt promatra zasebno. Iako će instrumentalno izmjereni parametri boje u ovim situacijama biti identični, boje će se vizualno percipirati različitima.



**Slika 33.** Isti sivi krug naizgled mijenja svjetlinu ovisno o svjetlini pozadine (preuzeto iz 118)

Klinički je primjer promatranje nadomjeska uz upaljenu gingivu. Crvenilo gingive dovodi do toga da nadomjestak izgleda svjetlije nego što stvarno jest te se u težnji da se uskladi boja odabere tamniji. Pogreška se očituje tek kad gingiva ozdravi nakon čega se nadomjestak čini tamnijim od ostalih zubī (Slika 35.).

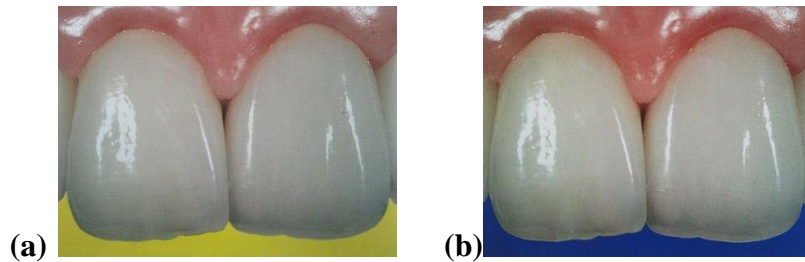


**Slika 34. (a)** Isti se zub na crnoj podlozi doima svjetlijim, **(b)** a na svijetloj podlozi tamnijim (preuzeto iz 9)

Kontrast tona ili kontrast boje prema boji označava usporedbu različitih tonova, tj. boja u užem smislu. Ako se istovremeno promatraju dvije boje, dolazi do prividnog izjednačavanja prve boje s komplementarnom bojom druge boje. Primjerice, zub će se ispred žute pozadine doimati plavkastim, dok će ispred plave pozadine izgledati žuće (Slika 36.). Većina tonova prirodnih zubī spada u narančasti spektar (119). Stoga se radi postizanja što bolje razlučivosti,



**Slika 35.** Zbog jačeg kontrasta, zubi se uz upaljenu gingivu doimaju svjetlijima (preuzeto iz 9)



**Slika 36.** Isti se zubi ispred žute pozadine doimaju plavkastima, dok ispred plave pozadine naginju prema žućkasto-narančastom tonu (preuzeto iz 9)

prije određivanja boje zuba, preporučuje oči pripremiti gledanjem u svijetlo plavu površinu. Na taj će način komplementarne boje, u ovom slučaju boje zubi, biti naglašenije.

Veličina objekta također može utjecati na vizualnu percepciju boje. Veći će se objekt doimati svjetlijim od manjeg objekta jednake boje. Recipročno će svjetliji objekt izgledati veći od tamnijeg objekta jednake veličine (9). Analogno tome, objekti koji se nalaze bliže promatraču činit će se većima i svjetlijima, dok će udaljeniji objekti izgledati manje i tamnije. Taj se fenomen često opaža kod rotiranih ili zbijenih zubi kad uvučeni zubi izgledaju tamnije (Slika 37.). Kako bi se kompenzirala ta pojava, uvučeni se zubi mogu izraditi svjetlijima, a izbočeni tamnijima. Također je važno prilikom vizualnog određivanja boje održavati konstantan razmak između očiju i zubi koji se promatraju (9).

Poznavanje mogućih interakcija među bojama u dentalnoj medicini omogućuje jednostavniji odabir ispravne boje nadomjeska. Ako je promatrač svjestan kako okolne boje mogu utjecati na boju koja se promatra, točnost odabira značajno se poboljšava.



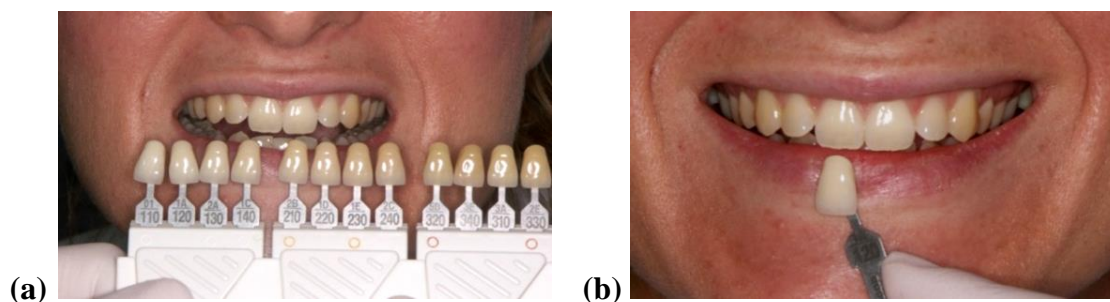
**Slika 37.** Zbog relativno uvučenog položaja, zub 22 izgleda tamnije od ostalih sjekutića

## 1.4. Metode određivanja boje u dentalnoj medicini

Postoje različite metode određivanja i mjerenja boje u dentalnoj medicini, ali se sve mogu svrstati u dvije osnovne skupine: vizualne i instrumentalne.

### 1.4.1. Vizualna metoda određivanja boje

Vizualna se metoda temelji na usporedbi s nekim poznatim fizičkim standardom koji je prihvaćen kao referentan. U dentalnoj se medicini u tu svrhu koriste ključevi boja (Slike 38.a i b). Budući da percepcija boje predstavlja zbroj fiziološkog i psihološkog odgovora na podražaj, nepredvidljiva je i subjektivna (120, 121). Neki od mogućih čimbenika za koje se navodi da utječu na odabir boje su dob, spol, uvjeti osvjetljenja (metamerija), kut promatranja, temeljna sposobnost razlikovanja boja promatrača, njegovo iskustvo i pristranost, psihofizičko stanje, umor i uzimanje određenih lijekova (107, 110, 111, 122 – 125). Stoga je važno prilikom vizualnog određivanja boje standardizirati uvjete u što većoj mogućoj mjeri (Tablica 1.) (126, 127). Dodatan problem predstavlja ograničena mogućnost komunikacije, odnosno opisivanja vizualno određene boje (128). Unatoč stanovitim nedostacima, vizualna se metoda najčešće koristi u svakodnevnoj praksi jer je jednostavna i jeftina (129).



**Slika 38.** Vizualno određivanje boje zuba s pomoću ključa boja – (a) određivanje osnovnog tona; (b) odabir uzorka boje koji najbolje odgovara referentnom zubu

**Tablica 1.** Smjernice za vizualno određivanje boje (sastavljeno iz 126 i 127)

- boju bi trebalo određivati u što neutralnijem okruženju (zidovi sive boje)
- boju treba određivati prije početka zahvata kako ne bi došlo do zamora oka, ali i isušivanja zubī – zub mora biti vlažan
- ako pacijent nosi odjeću jarkih boja, prekriti je neutralnim sivim pokrovom
- ako s radi o pacijentici, ukloniti ruž s usana
- zube očistiti od eventualnih naslaga
- zub kojem se određuje boja trebao bi biti u visini očiju promatrača na udaljenosti oko 50 cm
- ograničiti se na što kraće fokusiranje zuba u trajanju od 5 do 10 sekundi, nakon toga kratko odmoriti oči gledajući u neutralnu boju kako bi se spriječio zamor; produženo promatranje napreže vidne receptore zbog čega se percipira smanjena svjetlina i zasićenost – prvi dojmovi obično su najpouzdaniji
- svjetlinu određivati kroz poluzatvorene oči čime se smanjuje količina svjetlosti koja dopire u oko zbog čega se inaktiviraju čunjići pa se štapićima omogućuje razlučivanje svjetline
- u slučaju dvojbe odabrati boju veće svjetline i manje zasićenosti
- očnjaci se mogu koristiti kao referenca jer imaju najveću zasićenost dominantnog tona zubnog luka
- boju najbolje određivati pri dnevnoj svjetlosti između 10 i 15 sati, ali određenu boju provjeriti i na drugim izvorima svjetlosti kako bi se mogućnost metamerije svela na minimum

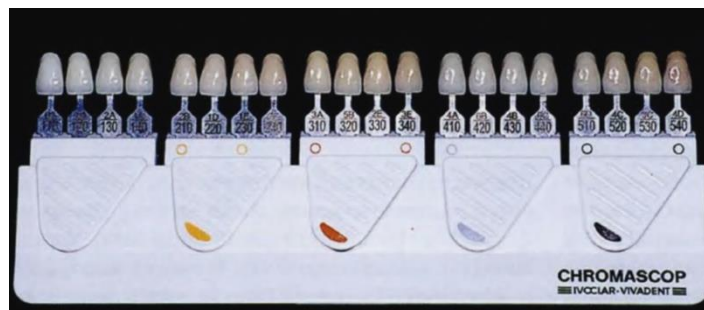
#### 1.4.1.1. Ključevi boja

Uvriježeni pristup određivanja boje zuba s pomoću ključeva boja konceptualno je jednostavan i nije se mijenjao od samih početaka. Popularnost ključeva boja temelji se prije svega na njihovoj dostupnosti. Koncipirani su na način da objedinjuju dvadesetak nevezanih boja koje prikazuju izbor boja raspoloživih nadomjesnih materijala, ali nikako i sve moguće boje zubi.



**Slika 39.** Ključ boja Vitapan Classical (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Njemačka) – najstariji i jedan od najpopularnijih ključeva boja u dentalnoj medicini

Vitapan Classical ključ boja (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Njemačka) desetljećima je u dentalnoj medicini predstavljao zlatni standard (Slika 39.). Uzorci boja podijeljeni su na četiri skupine. Skupina A obuhvaća crvenkasto smeđe, skupina B crvenkasto žute, skupina C sive i skupina D crvenkasto sive nijanse. Unutar skupina uzorci su poslagani prema rastućoj zasićenosti boje – što je veća zasićenost, to je veći broj kojim je uzorak označen. Skupina A sastoji se od pet uzoraka (A1, A2, A3, A3,5 i A4); skupine B i C od po četiri uzorka (B1, B2, B3 i B4 te C1, C2, C3 i C4); skupinu D čine tri uzorka (D2, D3 i D4). Alternativni pristup slaganja uzoraka boja je prema svjetlini (56).



**Slika 40.** Ključ boja Chromascop (Ivoclar Vivadent)

Chromascop ključ boja (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenštajn) (Slika 40.) uzorke prema osnovnim tonovima dijeli na pet skupina: skupina 100 – bijela, skupina 200 – žuta, skupina 300 – svijetlo smeđa, skupina 400 – siva i skupina 500 – tamno smeđa. Unutar skupina uzorci su poslagani prema rastućoj zasićenosti boje. Svaka se skupina sastoji od četiriju uzoraka označenih brojem koji predstavlja zbroj oznake skupine i oznake zasićenosti 10, 20, 30 i 40. Tako su u prvoj skupini uzorci boja označeni brojevima 110, 120, 130 i 140. Dodatno su uzorci označeni i kombinacijom broja i slova (osim prvog uzorka) kako slijedi: skupina 100 –



01, 1A, 2A, 1C; skupina 200 – 2B, 1D, 1E, 2C; skupina 300 – 3A, 5B, 2E, 3E; skupina 400 – 4A, 6B, 4B, 6C; skupina 500 – 6D, 4C, 3C, 4D. Ključ je naknadno nadopunjen „bleaching” bojama (010, 020, 030, 040) (56).

Vitapan 3D Master ključ boja (Vita Zahnfabrik) sastoji se od 26 uzoraka boja koji su prema svjetlini podijeljeni u pet skupina. Unutar tih skupina uzorci su poredani vertikalno prema zasićenosti i horizontalno prema tonu boje. U prvoj skupini nalaze se dva uzorka, u drugoj, trećoj i četvrtoj skupini po sedam, a u petoj tri (Slika 41.). Brojevi od 1 do 5 ispred slova označavaju skupinu, a time i svjetlinu; što je manji broj, veća je svjetlina. Broj koji se nalazi ispod oznake skupine (1, 1,5, 2, 2,5, 3) označava zasićenost; veći broj znači veću zasićenost. Slovo M označava srednju vrijednost zasićenosti unutar svake skupine, dok slova L (*left* = lijevo) i R (*right* = desno) označavaju zelenije (L) i crvenije (R) tonove u usporedbi sa srednjim tonom (M) (56).

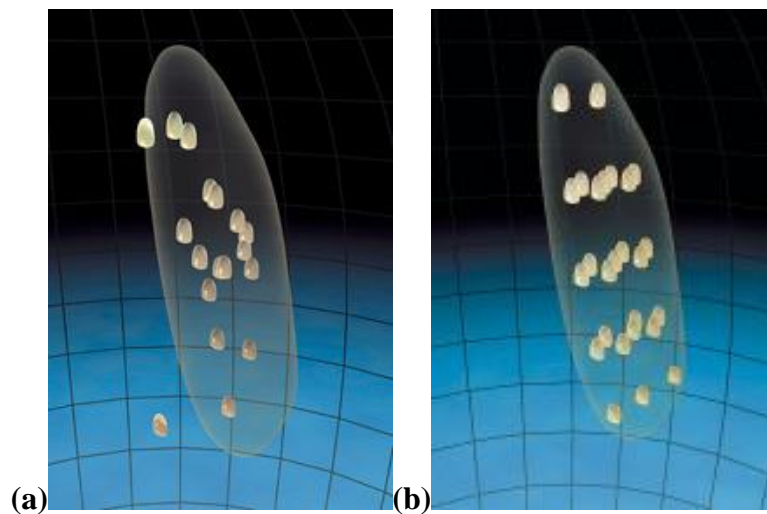


**Slika 41.** Ključ boja Vitapan 3D Master (Vita Zahnfabrik)

Često se navodi kako komercijalni ključevi boja pokazuju niz manjkavosti, poput nepokrivanja spektra boja prirodnih zubi u adekvatnoj mjeri. Budući da se ograničenim brojem uzoraka boja pokušava pokriti oko 6000 nijansi prirodnih zubi, jasno se uočava nesklad (130). Tako se navodi da Vitapan Classical pokriva samo 6% boja zubi koji se javljaju u prirodi uz veću koncentraciju na određene boje (Slika 42.a) (131). Zbog toga je određivanje boja koje se nalaze u nepokrivenom prostoru vrlo subjektivno. Pokazalo se kako veliki dio terapeuta ima „omiljene boje” te boju zuba određuje prema predvidljivom obrascu. Tako je s 25% boja A3 ključa Vitapan Classical najčešće odabrana boja, A3,5 je zastupljena s 22%, B3 s 15% i A2 s 14%. Ostatak od 24% otpada na sve ostale boje (132).

Kao nedostatak komercijalnih ključeva boja navodi se i nelogičan redoslijed uzoraka boja (133), čemu se pokušalo doskočiti Vitapan 3D Master ključem boja. Na Slici 42.b prikazan je raspored uzoraka boja 3D Master ključa unutar prostora boja koji zauzimaju prirodne boje zubī. Uočava se sistematiziran rapored s povoljnijom pokrivenošću boja (56).

Kao važan nedostatak komercijalnih ključeva boja valja navesti činjenicu da su uzorci rijetko izrađeni od materijala od kojih se izrađuju nadomjesci te su deblji od konačne debljine nadomjeska, zbog čega se boja doima zasićenijom (134). Problem predstavlja i činjenica da različiti ključevi nisu usklađeni s bojama materijala svih proizvođača.



**Slika 42.** Raspored uzoraka boja ključa (a) Vitapan Classical i (b) Vitapan 3D Master unutar prostora boja koji zauzimaju sve boje prirodnih zubī (preuzeto iz 80)

#### 1.4.2. Instrumentalne metode određivanja boje

U težnji za što objektivnijim i točnijim određivanjem boje zuba razvijeni su instrumenti koji se koriste u tu svrhu. Instrumentalnom metodom pokušava se isključiti moguća pogreška zbog subjektivnosti te omogućiti ponovljivost mjerenja (128, 135). Ponovljivost rezultata kod instrumentalnog je mjerenja oko 80%, dok kod vizualne metode iznosi tek 40% (136). Unatoč dobrim rezultatima i velikoj točnosti, uređaji za mjerenje boje još uvijek nisu značajnije zastupljeni u kliničkoj praksi – ponajviše zbog relativno visoke cijene (137). Točnost je osobito velika za ravne i neprozirne površine. Budući da su zubi zakrivljeni i relativno translucetni, bilo je potrebno uređaje prilagoditi primjeni u dentalnoj medicini. Postoje uređaji koji boju zuba mjere točkasto ili segmentalno – zasebno za cervikalnu, srednju i

incizalnu trećinu. Stoga je za obuhvaćanje cijelog zuba potrebno provesti nekoliko mjerenja. Drugi uređaji jednim mjerenjem obuhvaćaju cijeli zub i generiraju prosječnu boju ili zub raščlanjuju na segmente s detaljnom analizom boje. Time se ubrzava postupak. Sofisticiraniji uređaji istovremeno daju slikovni prikaz zuba.

Instrumenti koji se koriste za mjerenje boje uključuju kolorimetre, spektroradiometre, spektrofotometre i digitalne kamere (56).

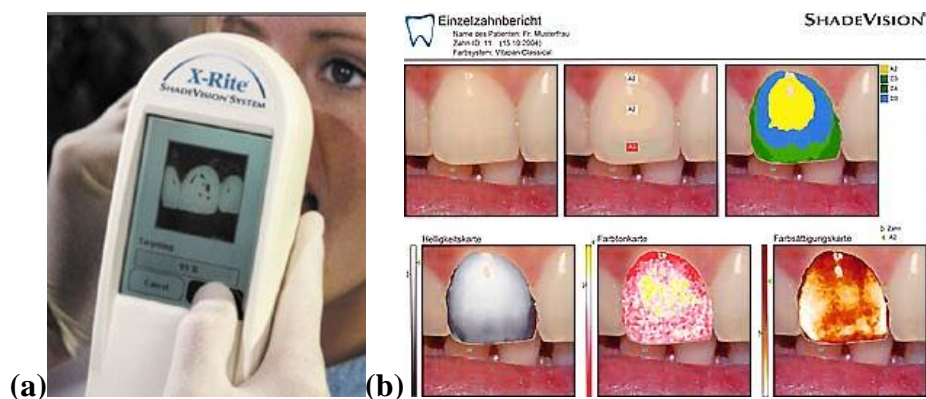
#### 1.4.2.1. Kolorimetar

Kolorimetar je uređaj koji mjeri tristimulusne vrijednosti boja na način sličan ljudskom doživljaju boja. Tristimulusne vrijednosti filtrira u crveni, zeleni i plavi dio vidljivog spektra. Mjerenje boja kolorimetrom temelji se na uspoređivanju ispitivane boje s bojom nastalom u kolorimetru miješanjem osnovnih boja aditivne sinteze (138). Većina kolorimetara prikazuje vrijednosti u jednom od CIE prostora boja (XYZ, Lab ili Luv). Jedna je od najvažnijih prednosti kolorimetra da omogućava izračunavanje  $\Delta E^*$  razlike boja na temelju razlika u svjetlini, tonu i kromatičnosti. Oni ne mjere spektralnu refleksiju, ograničeni su na standardnog promatrača i na samo jedan standardni izvor svjetla te se smatraju manje preciznima od spektrofotometara ili spektroradiometara (139).

Klinički primjer kolorimetra je ShadeVision (X-Rite, Grandville, SAD) koji uključuje i slikovni prikaz zuba. Mjerenje se provodi segmentalno – zasebno za cervikalnu, srednju i incizalnu trećinu (Slike 43.a i b).

#### 1.4.2.2. Spektroradiometar

Spektroradiometri su instrumenti koji se koriste za mjerenje radiometrijskih parametara: iradijacije ili radijacije. Radiometrijska se energija mjeri kod vidljivog spektra u intervalima od 5, 10 ili 20 nm. Telespektroradiometar se koristi za reprodukciju boje, a sastoji se od teleskopa, monokromatora i fotoreceptora. Omogućuje mjerenje boje bez kontakta, gdje su boje mjerene pod jednakim uvjetima kao da su gledane ljudskim okom. Međutim, male promjene položaja iz kojeg se mjeri mogu dovesti do pogrešaka u rezultatima (56).



**Slika 43.** (a) Shade Vision (X-Rite, Grandville, SAD) kompaktni bežični kolorimetar za segmentalno mjerenje boje. Za obuhvaćanje cijelog zuba potrebno je provesti nekoliko mjerenja; (b) pripadajući softver za analizu boje.

#### 1.4.2.3. Spektrofotometar

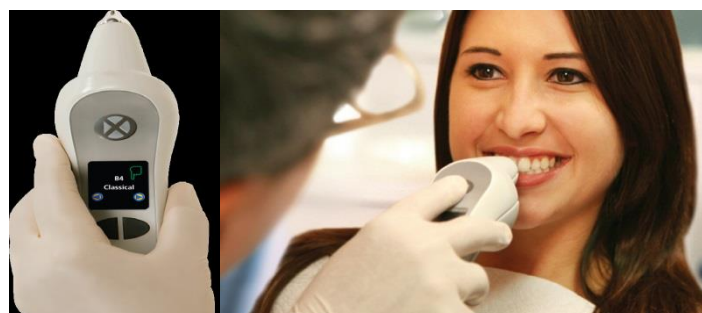
Spektrofotometri mjere količinu reflektirane svjetlosti od površine objekta u svim intervalima valnih duljina. Kao rezultat mjerenja faktora refleksije ili transmisije u pojedinim valnim područjima (intervalima) dobiva se spektrofotometrijska krivulja (138). Rad uređaja temelji se na rastavljanju bijele svjetlosti na pojedinačne valne duljine (ili intervale valnih duljina) s pomoću monokromatora. Kao monokromator služi prizma ili optička rešetka. Pojedinačnim valnim duljinama izdvojenim monokromatorom se osvjetljava ispitivani uzorak boje i bijeli standard (najčešće magnezij-oksidi, MgO). Postupak se provodi redom s monokromatskim svjetlima duž čitavog spektra. Reflektirana svjetlost dolazi do fotoćelije, koja je pretvara u električne impulse. Impulsi se dalje preračunavaju tako da se na skali može očitati faktor refleksije ili transmisije pri određenoj valnoj duljini, u odnosu na bijeli standard. Kao grafički prikaz mjerenja dobije se spomenuta spektrofotometrijska krivulja. Suvremeni spektrofotometri sadrže informacije o CIE standardnom promatraču, krivuljama spektralne emisije za mnoge standardne izvore svjetla i mikroračunalo za izračunavanje CIE tristimulusnih vrijednosti (140, 141).

Kod dentalnih spektrofotometara dobiveni se podaci prevode u jezik razumljiv svakom praktičaru jer je u uređaj ugrađen softver koji izmjerene vrijednosti pretvara u ekvivalentne šifre odabranih ključeva boja (142). Neki od najpoznatijih predstavnika su Crystaleye (Olympus, Tokyo, Japan) koji kombinira prednosti spektrofotometra i digitalne

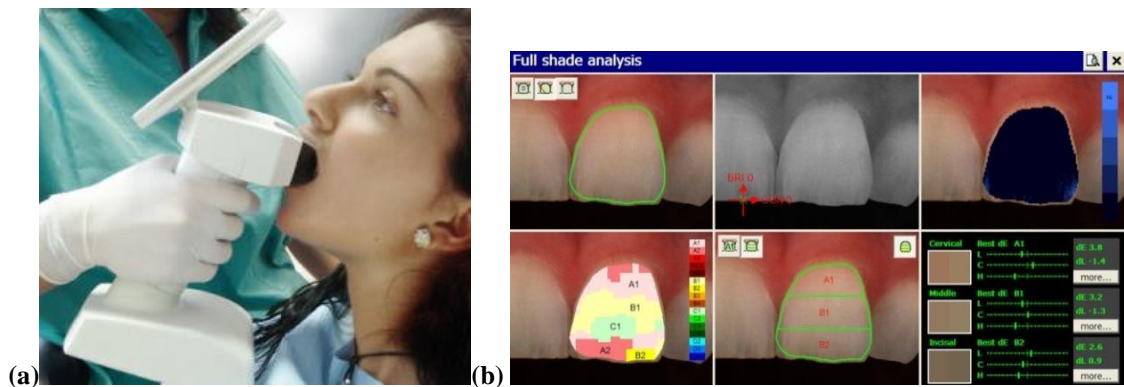
fotografije (137); Vita Easyshade Compact (Vita Zahnfabrik), bežični, prijenosni spektrofotometar koji boju mjeri točkasto ili segmentalno (cervikalna, srednja i incizalna trećina) (Slika 44.) (143); Shade-X (X-Rite) također je kompaktni bežični spektrofotometar za točkasto mjerenje (promjer vrha 3 mm) (Slika 45.) (144); SpectroShade Micro (MHT, Verona, Italija) je spektrofotometar koji daje i slikovni prikaz, a sadrži unutarnje računalo s analitičkim softverom (Slika 46.a i b) (145).



**Slika 44.** Dentalni spektrofotometar VITA Easyshade Compact (VITA Zahnfabrik) za točkasto mjerenje boje (promjer vrha 5 mm) i prikaz izmjenjenih parametara boje (preuzeto iz 143)



**Slika 45.** Shade X (X-Rite) spektrofotometar za točkasto mjerenje – promjer vrha 3 mm. Za obuhvaćanje cijelog zuba potrebno je provesti nekoliko mjerenja (preuzeto iz 144)



**Slika 46.** (a) Dentalni spektrofotometar MHT Spectroshade Micro (MHT) i (b) detaljna analiza boje zuba s pomoću pripadajućeg softvera. Taj uređaj jednim mjerenjem obuhvaća cijelu površinu zuba (preuzeto iz 146)

Uz kliničku primjenu, spektrofotometri se često koriste u znanstvenim istraživanjima koja se bave bojom. Najčešće se primjenjuju za ispitivanje preciznosti samih uređaja, usporedbu vizualne i instrumentalne metode određivanja boje, ispitivanje granica percepcije razlika u boji, podudarnosti boje prirodnih zubī i umjetnih materijala, stabilnosti boje materijala koji se koriste u dentalnoj medicini itd. Ovisno o postavkama istraživanja, mogu se koristiti dentalni spektrofotometri ili oni koji su namijenjeni primjeni u nekim drugim granama industrije, npr. grafičkoj.

#### 1.4.2.4. Digitalna kamera

Najnoviji uređaji za mjerenje boje zasnivaju se na tehnologiji digitalnih kamera. Oni, umjesto da fokusiraju svjetlost na filmu kako bi se stvorila kemijska reakcija, stvaraju slike s pomoću takozvanih CCD (*Color Capture Device*) koje se sastoje od velikog broja sićušnih elemenata osjetljivih na svjetlost (fotodioda) (147).

Digitalna fotografija predstavlja vrlo popularan način prijenosa informacija o boji zuba zubotehničkom laboratoriju. Međutim, kakvoća fotografije u velikoj mjeri ovisi o kakvoći osvjetljenja, ali i vještini fotografa (148). Problem predstavlja i činjenica da fotografiju interpretira čovjek, čime nije otklonjena subjektivnost. Zbog toga su u novije vrijeme razvijeni posebni softveri za analizu boje zubī i usporedbu s poznatim standardima (ključevima boja), npr. ClearMatch (Smart Technology, Hood River, SAD). Potrebno je

naglasiti kako fotografija može predstavljati izvrsnu nadopunu verbalno prenesenim informacijama (Slike 47. a do d).



**Slika 47. (a) do (d)** Fotografije s različitim uzorcima ključa boja koje omogućuju prijenos informacija o boji do udaljenog zubotehničkog laboratorija

## 1.5. Oponašanje boje zuba potpuno keramičkim nadomjeskom

Postizanje što prirodnijeg izgleda nadomjeska predstavlja jedan od najvećih izazova suvremene stomatološke protetike. Intergradacija nadomjeska s biološkim tkivima i uspostavljanje normalne funkcije glavni su ciljevi terapeuta i zubnog tehničara.

Estetska vrijednost nadomjeska ovisi o odabranom materijalu, anatomskom obliku, površinskoj teksturi, translucenciji i boji (149). Pravilna analiza i razumijevanje optičkih svojstava prirodnih zubī, poput boje i translucencije te razlika u svojstvima prirodnih zubī i restaurativnih materijala vrlo su važni za pravilan odabir gradivnog materijala i njegove boje te postizanje kliničkog uspjeha (150 – 152). Potpuno keramički nadomjesci sastoje se od slojeva keramike različitih debljina, stupnjeva translucencije i boja. Pri tome osnovu najčešće čini jezgrena keramika koja osigurava čvrstoću, dok se estetski dojam usavršava obložnom keramikom kako bi se postigao što prirodniji izgled (153, 154).

Keramički nadomjestak u kliničkoj situaciji nije samo zaseban sloj keramike, nego tvori cjelinu s dentinom izbrušenog zuba i cementom (6). Stoga je pri odabiru keramičkog sustava važno uzeti u obzir razne čimbenike poput stupnja translucencije keramike, boje dentina prepariranog zuba, ali i sile kojima će nadomjestak biti izložen (155, 156).

Poželjna interakcija između boje zubī i dentalnih materijala ili između različitih dentalnih materijala takozvani je “kameleonski učinak” ili učinak stapanja (engl. *blending effect*). Time se opisuje smanjenje razlike u boji između dentalnih materijala i okolnih tvrdih tkiva nakon stavljanja nadomjeska u usta u odnosu na razliku u boji kad se materijal i tvrda zubna tkiva promatraju zasebno (Slika 48.) (56). Taj je učinak poželjan u dentalnoj medicini jer se time u određenoj mjeri kompenzira neusklađenost boje koja se javlja zbog ljudske pogreške ili zbog nepostojanja odgovarajuće boje u ključu boja. Utvrđeno je kako na kameleonski učinak utječu veličina nadomjeska, inicijalna razlika u boji i translucencija (157, 158).

Reprodukcija boje zuba predstavlja izazov za kliničara i zubnog tehničara (159) jer je ljudski zub sačinjen od različitih boja, površinskih tekstura i stupnjeva translucencije. U praksi se pokazalo da je uspješno oponašanje boje često kombinacija znanosti i umjetnosti, ali i sreće. Postignuta boja nadomjeska nerijetko predstavlja kompromis, a ne izbor. Nedostaju posebni sustavi koji pomažu pri odabiru boje u radu s potpuno keramičkim nadomjescima. Najčešće se koriste klasični ključevi boja izvorno namijenjeni metal-keramičkim nadomjescima. Istraživanja su se bavila različitim pristupima određivanja boje i posljedičnom



uspješnosti njezine reprodukcije u nadomjesku. Zaključeno je kako je oponašanje boje izazovan zadatak i da ne postoji pouzdana metoda predviđanja konačne boje potpuno keramičkog nadomjeska (6). Stoga bi bilo korisno razviti smjernice za odabir boje keramike u svakoj kliničkoj situaciji.



**Slika 48.** „Kameleonski učinak“ dentalnih materijala – pločica kompozita boje A1 (gore lijevo), A3 (gore desno) i A3 sa središnjim dijelom ispunjenim A1 (dolje); razlika među bojama mnogo je uočljivija kod zasebnih pločica, nego kad je jedna boja neposredno okružena drugom, kao na trećoj pločici (preuzeto iz 9)

### 1.5.1. Odabir gradivnog materijala

Prije nekoliko desetljeća izbor materijala za nadoknadu tvrdih zubnih tkiva bio je vrlo ograničen (160). Budući da su dugo isključivim odrednicama kliničkog uspjeha smatrane čvrstoća i strukturna trajnost nadomjeska, metal-keramika se nametnula kao standard fiksno-protetske terapije zahvaljujući velikoj čvrstoći, strukturnoj trajnosti i prihvatljivoj estetici u usporedbi s do tada dominantnim metalima (161). Međutim, estetski je potencijal takvih nadomjestaka ograničen zbog prisustva metalne osnove koja djeluje kao barijera i u potpunosti sprječava propuštanje svjetlosti čime izostaje jedno od osnovnih optičkih obilježja prirodnih zubi – translucencija. To nadomjesku daje mutan, „beživotan“ izgled sa sivkastim prosijavanjem u cervikalnom poručju, što je osobito problematično u vidljivom segmentu zubnog niza (Slika 49.) (162).

Valja naglasiti da su i očekivanja pacijenata tada bila drukčija zbog čega su, unatoč navedenim problemima, ti materijali predstavljali revoluciju u dentalnoj medicini. Međutim, s vremenom su estetski zahtjevi pacijenata i terapeuta sve više rasli pa je nastavljena potraga za novim materijalima koji bi objedinili što veći broj zadanih kriterija. Pri tome su optička

svojstva dentalnih materijala od posebne važnosti jer je danas osnovni cilj i umjetnost postići što prirodniji izgled nadomjeska.



**Slika 49.** Primjer loše metal-keramičke krunice s vidljivim sivim rubom u cervikalnom području i nepogođenom bojom, osobito u cervikalnoj trećini

Pri odabiru najprikladnijeg gradivnog materijala za određenu situaciju, u obzir bi trebalo uzeti sljedeće čimbenike (163):

- stanje nosača (vitalitet, količina i kakvoća cakline i dentina)
- sile koje se javljaju u tom području (savojne, vlačne i smične sile)
- mogućnost izvođenja cementiranja (procjena mogućnosti postizanja apsolutno suhog radnog polja, rizik od odljepljivanja).

O tome će ovisiti potrebna čvrstoća gradivnog materijala i njegov stupanj translucencije, položaj ruba preparacije te količina izbrušenog tkiva.

Kad je riječ o estetskim materijalima, dodatno se mora voditi računa o (9):

- kompatibilnosti boje gradivnog materijala i prirodnog zuba
- stabilnosti boje tijekom izrade nadomjeska i nakon postavljanja u usta, tj. starenja
- interakciji boja što uključuje učinak stapanja, translucenciju i sposobnost maskiranja podloge.

### **1.5.2. Dentalne keramike i njihova optička svojstva**

Iako su tek u zadnjim dvama desetljećima doživjele procvat, keramike ne predstavljaju novootkriven materijal u stomatološkoj protetici. Već je početkom 18. stoljeća Pierre Fauchard opisao presvlačenje tadašnjih metalnih zubnih nadomjestaka keramikom (164). Francuski stomatolog de Chemant izradio je prvi keramički zub za protezu 1789., dok je

Charles Land 1903. izradio prvu keramičku krunicu (165). Iako su se keramičke krunice odlikovale biokompatibilnošću i dotad nedostižnim estetskim svojstvima, manjak im je bila krhkost i niska savojna čvrstoća od svega 50 MPa što je za posljedicu imalo lomove nadomjestaka. Zbog toga ti materijali nisu ušli u rutinsku kliničku primjenu.

Međutim, s obzirom na činjenicu da je odavno prepoznato kako keramike najbolje oponašaju optička svojstva prirodnih zubī (166), interes nije jenjavao, osobito kad se uzme u obzir sve veći naglasak na estetski aspekt fiksno protetske terapije. Zahvaljujući tehnološkom napretku razvijeni su suvremeni potpuno keramički sustavi (167). Potpuno keramički sustavi omogućili su potpuno novi koncept protetske terapije. Izostavljanjem metalne podloge omogućeno je stvaranje iluzije prirodnog zuba (166). Tako je u zadnjih nekoliko desetljeća razvijen niz potpuno keramičkih sustava koji se uspješno primjenjuju u prednjem i stražnjem segmentu zubnog niza s primarnim ciljem oponašanja oblika, funkcije i estetike. Svaki nosi određene prednosti i nedostatke. Spektar indikacija seže od neinvazivnih „*non-prep*“ ljuskica do višočlanih mostova.

Klasifikacija tih materijala često je zbunjujuća, a može se temeljiti na kemijskom sastavu, mikrostrukturi, tehnološkom postupku izrade, temperaturi pečenja, savojnoj čvrstoći, indikacijama primjene, translucenciji, abrazivnosti itd. Za analizu optičkih svojstava važno je naglasiti da su keramike složeni materijali kod kojih je veći ili manji udio kristala uklopljen u staklenu matricu. U skladu s tim keramike mogu biti (168):

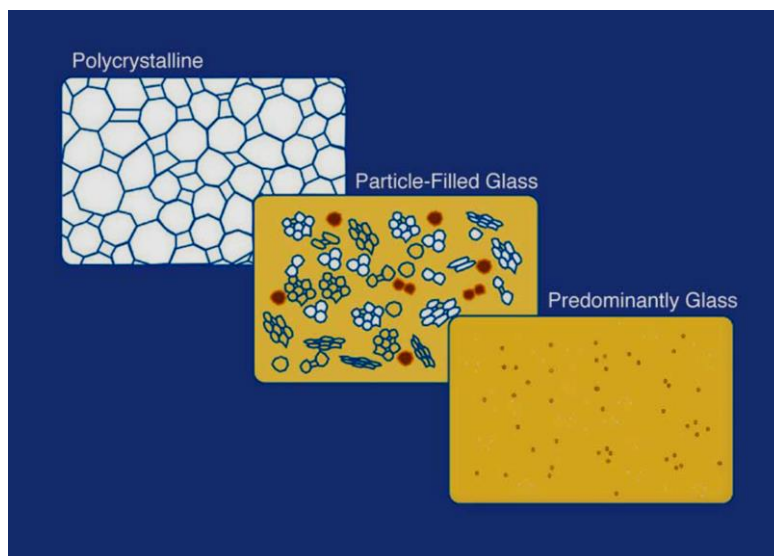
- silikatne
  - konvencionalne (glinične)
  - staklokeramike
- polikristalične.

Osnovnu strukturnu komponentu **silikatnih keramika**, odnosno stakla, čine silicijevi tetraedri. Dijejele se na:

**Konvencionalne (glinične) keramike** imaju velik udio stakla što ih čini visoko estetskima zbog optičkog ponašanja najsličnijeg caklini i dentinu. Proizvođač kontrolira optička svojstva dodavajući pigmente i sredstva za zamućivanje. Ova skupina keramike ujedno ima najmanju savojnu čvrstoću.

**Staklokeramike** sadrže 35 do 70% čestica punila koja se dodaju staklenoj matrici kako bi se poboljšala mehanička svojstva. Punila obično čine kristali poput leucita i litijeva disilikata i drugih. U ovoj skupini keramika postignut je kompromis između estetskih svojstava i čvrstoće.

**Polikristalične keramike** sadrže minimalan udio stakla ili ga uopće ne sadrže. Atomi su gusto i pravilno raspoređeni u kristalnu rešetku što ih čini čvršćima i manje podložnima širenju pukotina. Nazivaju se još i oksidnim keramikama jer su pretežito građene od metalnih oksida (aluminijev oksid, cirkonijev dioksid). S obzirom na činjenicu da metalni oksidi djeluju kao sredstva za zamučivanje, ove su vrste keramika gotovo potpuno neprozirne. Stoga se gotovo uvijek moraju koristiti u kombinaciji s obložnim keramikama kako bi se postigla zadovoljavajuća estetika. Iz navedenog se može zaključiti da visoko estetski keramički materijali sadrže pretežno staklo, dok su keramike velike čvrstoće pretežno kristalične građe (Slika 50.). Drugu skupinu keramika s većim udjelom kristala, ali i određenim udjelom stakla čine infiltracijske keramike, tj. oksidne keramike infiltrirane staklom (aluminijev oksid infiltriran staklom, Al-Mg-spinel i Al-Zr oksid infiltriran staklom) (169).



**Slika 50.** Shematski prikaz osnovnih skupina dentalnih keramika (preuzeto iz 170)

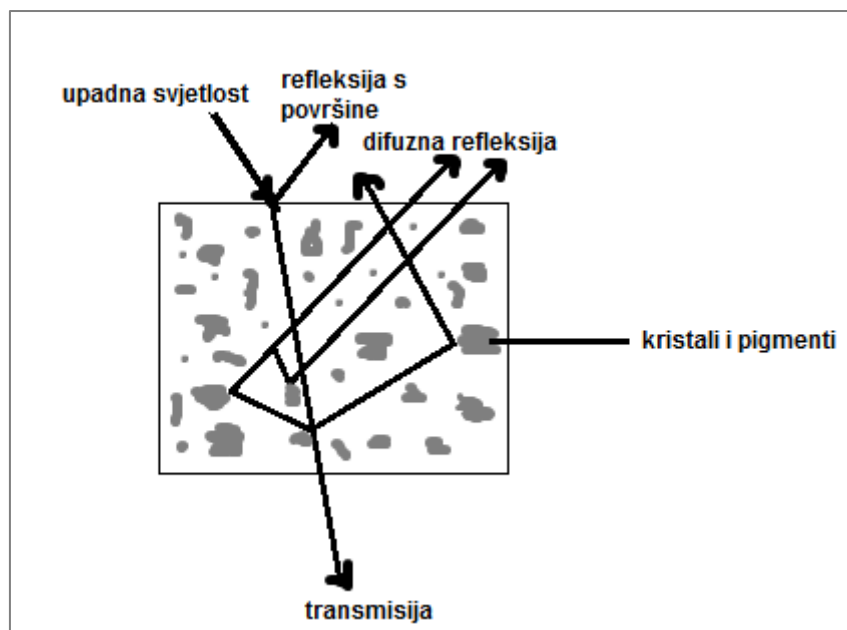
Uočljivo je da postoji cijeli niz keramičkih sustava (Slika 51.) različitog sastava i mikrostrukture pa se i optička svojstva bitno razlikuju od sustava do sustava (161). Kako je već višestruko naglašeno, optička svojstva ovise o interakciji upadne svjetlosti i objekta. Osim interakcije koja se odvija na samoj površini materijala gdje se dio svjetlosti reflektira zrcalno ili difuzno, ovisno o glatkoći, valja naglasiti da su keramike heterogeni materijali koji se sastoje od osnovne matrice i uklopljenih čestica ili kristala s indeksom loma različitim od matrice. Valne se duljine vidljive svjetlosti nalaze u rasponu od 0,4 do 0,7  $\mu\text{m}$ , a keramički materijali mogu sadržavati čestice veće ili manje od tih valnih duljina. Na česticama većim od valne duljine svjetlosti dolazi do loma i refleksije svjetlosti što uzrokuje njezino raspršivanje,

tj. promjenu smjera. Sličan se fenomen javlja kao posljedica poroznosti keramičkog materijala. Dakle, količina apsorbirane, reflektirane i propuštene svjetlosti ovisi o količini kristala uklopljenih u matricu, veličini čestica u usporedbi s valnom duljinom upadne svjetlosti, razlikama u indeksu loma i poroznosti (171).



**Slika 51.** Podjela keramičkih sustava s najpoznatijim tvorničkim imenima

Veličina i volumen čestica ili kristala utječu na stupanj zamućenosti, pri čemu velik broj čestica veličine veće od valne duljine vidljive svjetlosti povećava opacitet (172). Jednak učinak ima i razlika između indeksa loma osnovne matrice i uklopljenih kristala – što je veća razlika, to su više izraženi lom i refleksija svjetlosti što ostavlja dojam većeg opaciteta.



**Slika 52.** Shematski prikaz interakcije upadne svjetlosti i kristala, odnosno čestica pigmenta unutar keramičkog materijala

Smanjen udio kristala i sličan indeks loma svjetlosti kristala i matrice dovode do manjeg loma svjetlosti, a većeg propuštanja, što rezultira većim stupnjem translucencije. Općenito, što je veći udio staklene komponente, keramika je translucetnija, tj. više „staklastog“ izgleda. Povećanjem sadržaja kristala, povećava se i stupanj замуćenja. Određena količina kristala na kojima će se svjetlost lomiti poželjna je kako bi se postiglo optičko ponašanje slično caklinskim prizmama (171, 172) (Slika 52.).

Osim o navedenim čimbenicima, boja i translucencija keramike ovise i o pigmentima koji se dodaju materijalu (171, 172). Tako željezovi oksidi djeluju kao smeđi pigment, bakreni oksidi kao zeleni pigment, titanijevi oksidi kao žučkasti pigment, dok je kobaltov oksid plave boje. Neke dentalne keramike sadrže fluorescentne tvari kako bi što bolje reproducirale optička svojstva prirodnih zubī. Budući da je mikrostruktura odlučujući čimbenik koji određuje optička svojstva keramika, u nastavku će se dati kratki pregled mikrostrukture najzastupljenijih keramičkih sustava (Tablica 2.).

Konvencionalne keramike pretežno su građene od glinice, kaolina i kvarca. Čine amorfnu trodimenzionalnu strukturu, tipičnu za stakla. S obzirom na visok udio stakla, propuštaju velik dio svjetlosti te se ubrajaju u translucetne materijale.

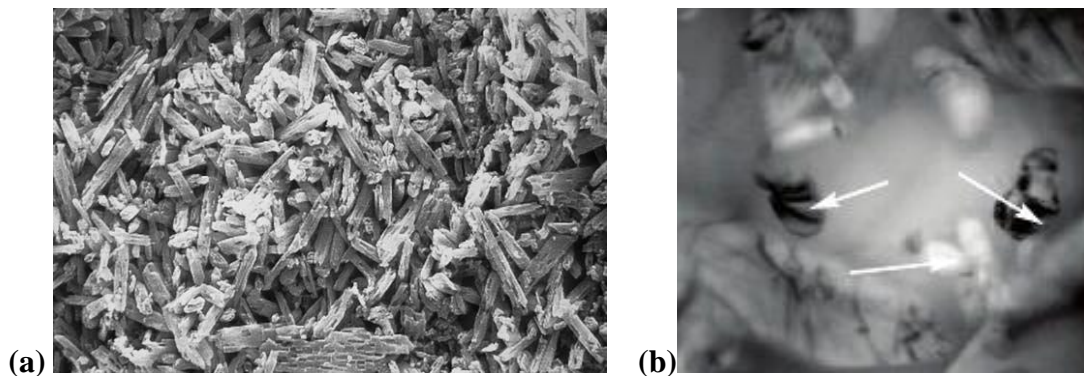
**Tablica 2.** Vrste jezgrenih keramika, minimalne debljine i komponente očvršnuća

(sastavljeno prema 171)

Jezgrena keramika	Preporučena debljina (mm)	Proizvođač	Komponenta očvršnuća	Veličina čestica i volumni udio
IPS Empress Esthetic	0,8	Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenštajn	leuciti	1 – 5 $\mu\text{m}$ , 40 %
IPS Empress 2	0,8	Ivoclar Vivadent	litijev disilikat	0,5 – 4,0 $\mu\text{m}$ , 60% (sekundarna faza litijev ortofosfat 0,1 – 0,3 $\mu\text{m}$ )
IPS e.max Press		Ivoclar Vivadent	litijev disilikat	3,0 – 6,0 $\mu\text{m}$ , 70% (sekundarna faza litijev ortofosfat)
In Ceram Alumina	0,5	Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Njemačka	aluminijev oksid	0,5 – 5,0 $\mu\text{m}$ , 85%
In Ceram Spinell	0,5	Vita Zahnfabrik	magnezijev aluminijev oksid (spinel)	1 – 5 $\mu\text{m}$ , > 85%
In Ceram Zirconia	0,5	Vita Zahnfabrik	aluminijev oksid (67%), cirkonijev oksid (33%)	1–5 $\mu\text{m}$ , > 75 – 80%
Procera AllCeram	0,5	Nobel Biocare AB, Göteborg, Švedska	aluminijev oksid	4 $\mu\text{m}$ , 99,5%

Kod staklokeramika dodaju se kristalne komponente kako bi se postigla veća čvrstoća. U slučaju leucitima ojačane staklokeramike (IPS Empress Esthetic, Ivoclar Vivadent) dodani su kristali leucita ( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ ) koji čine 40 – 50% volumena. Nisu međusobno isprepleteni te im je gustoća ukupno mala. Dodavanjem leucita nije postignuta zadovoljavajuća čvrstoća keramike (173). Kod litij-disilikatne staklokeramike glavnu kristalnu komponentu čine igličasti kristali litijeva disilikata ( $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ) koji su proizvoljno orijentirani te se isprepliću tvoreći nakupine (Slika 53.a). Sekundarnu kristalnu fazu čini litijev ortofosfat ( $\text{Li}_3\text{PO}_4$ ) koji zauzima mnogo manji volumen (Slika 53.b) (173, 174). U slučaju IPS Empress 2 (Ivoclar Vivadent) keramike veličina čestica litijeva disilikata se kreće između 0,5 i 4,0  $\mu\text{m}$  i oni čine oko 60% volumena (173). Kod unaprijeđene IPS e.max Press keramike (Ivoclar Vivadent)

isprepleteni igličasti kristali litijeva disilikata dugi su između 3 i 6  $\mu\text{m}$  te zauzimaju oko 70% volumena (175). Proizvođač navodi kako su, osim toga, u staklenoj matrici sadržani i oksidi poput  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZnO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Indeks loma leucita iznosi 1,51, a litijeva disilikata 1,55, što je slično staklenoj matrici čiji indeks loma iznosi 1,50 (176). U praksi to znači da su takvi materijali relativno translucetni (177).



**Slika 53.** (a) Mikrostruktura litij-disilikatne staklokeramike pod SEM mikroskopom prikazuje isprepletene igličaste kristale (b) sekundarna kristalna faza – litijev ortofosfat (preuzeto iz 178)

U usporedbi sa staklokeramikama, infiltracijske keramike InCeram (Vita Zahnfabrik) sadrže veći udio kristala unutar matrice (179). Indeks loma svjetlosti Alumine iznosi 1,76, a Al-Mg Spinella 1,72 (180). Iz toga se može zaključiti da se radi o relativno neprozirnim materijalim. S obzirom na razmjerno nepovoljna optička svojstva, ta se skupina materijala koristi za izradu jezgre koja je tanka čime se donekle kompenzira veći indeks loma.

Oksidne keramike poput aluminijeva i cirkonijeva oksida građene su od kristala koji su tako gusto raspoređeni da zauzimaju gotovo 100% volumena. Iz tog razloga cirkonijev oksid ima indeks loma od 2,20 (180) što ga čini potpuno neprozirnim. Stoga se i ta skupina keramika koristi isključivo kao jezgri materijal na koji se nanose obložne keramike radi poboljšanja optičkih svojstava.



### 1.5.2.1. Litij-disilikatna staklokeramika IPS e.max Press

Staklokeramike se ubrajaju među najčešće korištene sustave potpune keramike jer pružaju izvrsnu estetiku, dostatnu čvrstoću te osiguravaju dugotrajnost nadomjestaka, posebice kada je riječ o prednjem segmentu zubnog niza. Nastaju kontroliranom kristalizacijom stakla na visokoj temperaturi pri čemu se stvaraju kristali raspršeni unutar staklene matrice. Time se modificiraju mehanička i optička svojstva. Dodavanjem litijeva disilikata postignuta je čvrstoća od oko 400 MPa uz zadržavanje relativno visokog stupnja translucencije, što omogućuje širok spektar indikacija (Slika 54.) (6, 171, 173, 181).



**Slika 54.** Spektar indikacija litij-disilikatne staklokeramike (preuzeto iz 182)

Unaprijeđeni sustav litij-disilikatne staklokeramike IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent) za toplo-tlačnu tehniku izrade, koji je na tržište izbačen 2005., naišao je na veliko zanimanje s obzirom na niz pozitivnih svojstava koja objedinjuje. Osim relativno velike savojne čvrstoće za tu skupinu materijala, tehnika izrade jednostavna je i poznata od metal-keramičkih nadomjestaka (tehnika izgaranja voska). Jednak materijal raspoloživ je i za strojnu obradu (IPS e.max CAD).

Sustav se temelji na keramičkim valjčićima („*ingots*“) različitih boja. S vremenom je sustav nadopunjavan valjčićima različitih stupnjeva translucencije, odnosno opaciteta. Tako se danas nude keramički valjčići dviju veličina i četiriju stupnjeva translucencije: *high translucency* (HT), *low translucency* (LT), *medium opacity* (MO) i *high opacity* (HO) (Slika 55.). Ovisno o kliničkoj situaciji bira se odgovarajući stupanj translucencije kao i odgovarajuća boja. Tako danas ni diskolorirani zubi ne predstavljaju kontraindikaciju za primjenu staklokeramičkih sustava.



**Slika 55.** Keramički valjčići IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent) u dvije veličine i četiri stupnja translucencije, odnosno opaciteta (preuzeto iz 178)

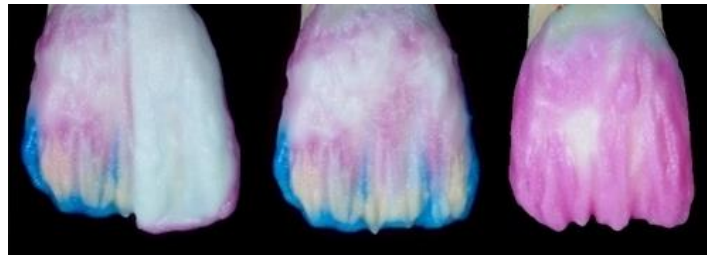
Ponuđene su tri mogućnosti postizanja konačnog oblika i boje nadomjeska od IPS e.max Press keramike: 1) tehnika slojevanja; 2) „*cut back*“ tehnika; 3) tehnika bojenja.

Kod **tehnike slojevanja** modelira se jezgra reduciranog anatomskog oblika kako bi se ostavilo dovoljno prostora za individualno slojevanje obložnim keramikama (Slike 56. i 57.). Jezgra osigurava čvrstoću cijele konstrukcije pri čemu proizvođač preporučuje minimalnu debljinu od 0,5 mm, a da pri tome čini barem polovicu ukupne debljine nadomjeska. Nakon toplo-tlačnog postupka na dobivenu se osnovu slojevito nanosi fluorapatitna keramika (IPS e.max Ceram, Ivoclar Vivadent) koja oponaša dentin, caklinu i prema potrebi služi za postizanje posebnih učinaka. Navedenom tehnikom osiguravaju se najpovoljnija estetska svojstva jer se nadomjestak izrađuje sloj po sloj, analogno slojevitoj građi prirodnog zuba. Na taj se način postiže dojam „dubine“. Stoga je ta tehnika najprikladnija za prednji segment zubnog niza. Isto tako, za keramiku većeg stupnja opaciteta, tj. MO i HO valjčiće preporučuje



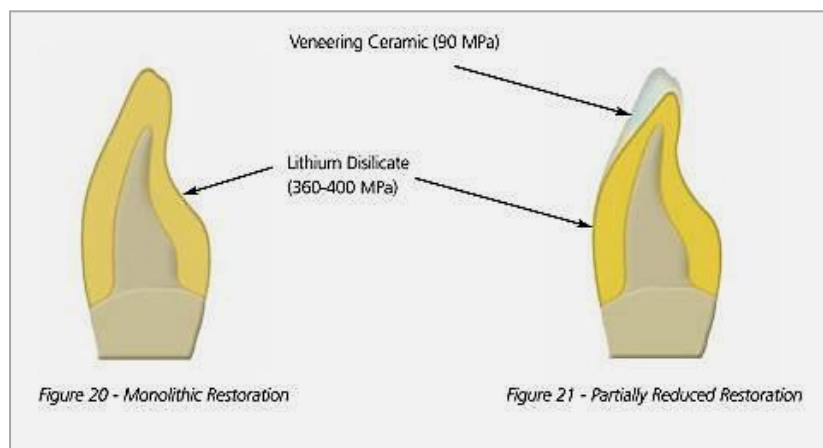
**Slika 56.** Obrazac slojevanja potpuno keramičkog nadomjeska (preuzeto iz 178)

se koristiti tehniku slojevanja. Problem kod te tehnike može predstavljati vezna čvrstoća između jezgrene i obložne keramike (178).

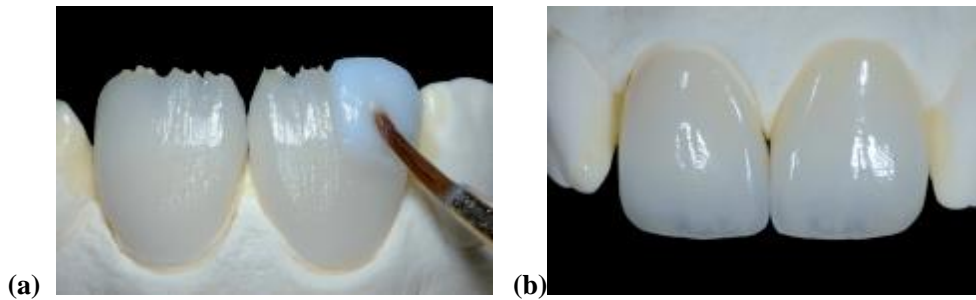


**Slika 57.** Nanošenje obložne keramike (preuzeto iz 178)

„*Cut back*“ tehnika podrazumijeva modeliranje nadomjeska pune morfologije da bi se nakon postupka tlačenja nadomjestak na strateškim mjestima selektivno reducirao brusnim sredstvima kako bi se stvorio prostor za obložnu keramiku (Slika 58.). To je najčešće incizalno područje koje obično mora biti translucentnije od ostatka krunice (Slike 59.a i b). „*Cut back*“ tehnika predstavlja kompromisno rješenje za postizanje dovoljne čvrstoće i zadovoljavajuće estetike. Preporučuje se u kombinaciji s LT keramičkim valjčićima.



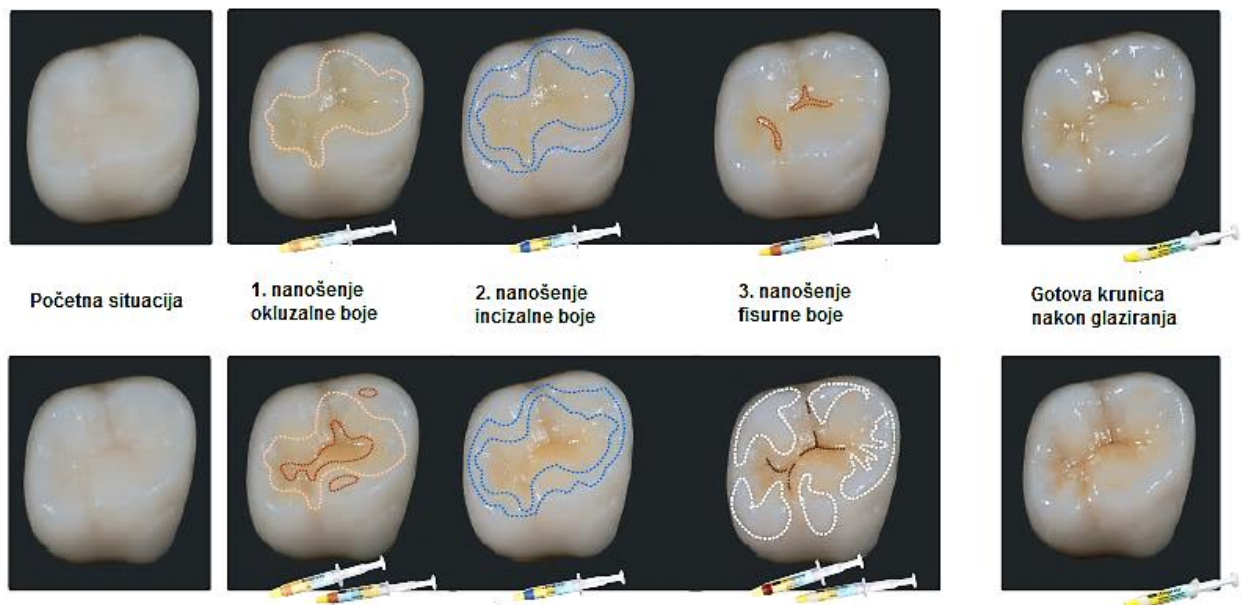
**Slika 58.** Shematski prikaz – usporedba monolitne krunice i „*cut back*“ tehnike s redukcijom incizalnog područja radi nanošenja obložne keramike (preuzeto iz 183)



**Slika 59.** Izrada prednjih krunica „cut back“ tehnikom (preuzeto iz 178)

Kod **tehnike bojenja** izrađuje se monolitna krunica koja je u potpunosti građena od jednog materijala u jednom komadu. Takva krunica završno se individualizira bojama (Slika 60.). Monolitne krunice odlikuju se velikom čvrstoćom, ali im je estetska vrijednost često upitna jer jedan materijal sam po sebi ne može objediniti potrebne varijacije translucencije svojstvene prirodnom zubu. Korištenje površinskih pigmenata u svrhu korekcije boje dodatno pojačava opacitet. Stoga nadomjesci izrađeni tom tehnikom mogu izgledati neprirodno. Iz tog razloga je tehnika bojenja najprikladnija za stražnji segment zubnog niza. Optimalan rezultat postiže se u kombinaciji s HT ili LT keramikom.

Istraživanja su pokazala kako su gradivni materijali po pitanju tona, svjetline i zasićenosti uglavnom usklađeni s bojom prirodnih zubi. Međutim, zbog značajnih razlika u krivuljama spektralne refleksije kao posljedice sadržaja organskih komponenti u prirodnim zubima, često



**Slika 60.** Prikaz tehnike bojenja korak po korak (preuzeto iz 178)

dolazi do metamerije u različitim uvjetima osvjetljenja (67, 184). Korištenje neprozirnih površinskih pigmenata u svrhu korekcije boje pojačava fenomen metamerije. Tehnikom slojevanja, pri čemu se koriste materijali što sličnijih optičkih svojstava prirodnom zubu, može se smanjiti taj problem (185).

Na boju keramike mogu utjecati brojni čimbenici pri čemu je pravilan tehnološki proces izrade jedan od odlučujućih. Zubni se tehničar mora strogo pridržavati proizvođačevih uputa. Primjerice, povećanje temperature pečenja može promijeniti boju keramike (186). Različite metode kondenzacije također se mogu odraziti na optička svojstva (187, 188). Osim navedenog, na boju keramike, odnosno nadomjeska, mogu utjecati i određeni klinički čimbenici o kojima će biti riječ u nastavku.

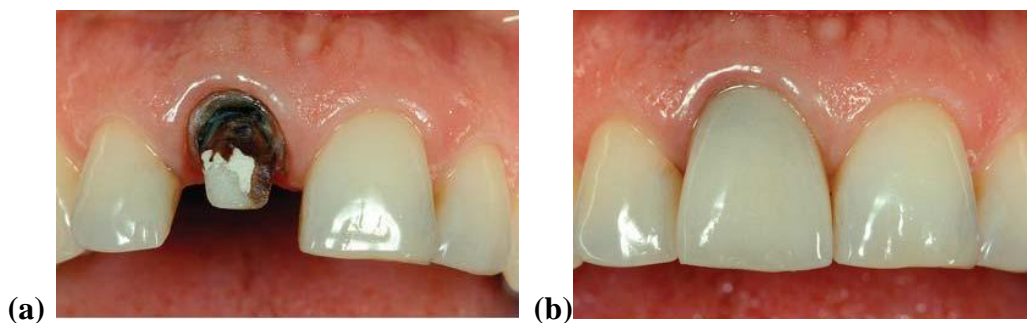
### **1.5.3. Utjecaj translucencije i debljine keramike na boju nadomjeska**

Za optimalan estetski dojam nije važno samo pogoditi boju, nego je potrebno reproducirati i stupanj translucencije prirodnog zuba (70). Neusklađen stupanj translucencije smatra se jednim od glavnih čimbenika za estetski neuspjeh (189 – 191). Stupanj translucencije keramike ovisi o njezinoj debljini (171), kristalnoj komponenti (192), broju pečenja i ponavljanju bojenja (193, 194) veličini čestica, sadržanim pigmentima, broju, veličini i distribuciji defekata te poroznosti. Iako veći stupanj translucencije keramike može unaprijediti optička svojstva nadomjeska i doprinijeti njegovoj prirodnosti, ujedno usklađivanje boje čini složenijim jer i tkiva koja se nalaze u podlozi mogu utjecati na boju (195).

Valja napomenuti da na optička svojstva utječe i debljina jezgrenih materijala (196). Što je veća debljina, manji je stupanj translucencije (197). U kliničkim uvjetima raspoloživi je prostor često ograničen. Preporučena debljina većine potpuno keramičkih krunica je oko 1,5 mm što u pravilu podrazumijeva redukciju tvrdog zubnog tkiva upravo za sloj te debljine (198). Sve popularniji minimalno invazivni pristup u prvi plan stavlja tanke nadomjeske poput ljuskica (199, 200). Međutim, kako bi se osigurala potrebna čvrstoća materijala, potrebno je pridržavati se minimalnih tvornički zadanih debljina. Veći stupanj opaciteta može se kompenzirati tanjim slojem keramike čime se izbjegava neproziran, „beživotan“ dojam (201), ali se pri tome ne smije ugroziti strukturna trajnost nadomjeska.

#### 1.5.4. Utjecaj podloge na boju nadomjeska

Svrha je korištenja potpuno keramičkih, posebice staklokeramičkih sustava za izradu fiksnih nadomjestaka što bolje oponašati optička svojstva prirodnih zubi. U to se ubraja i veći ili manji stupanj translucencije zbog čega konačni ishod može ovisiti o brojnim čimbenicima. Pri odabiru potpuno keramičkog sustava od kojeg će se izraditi nadomjestak potrebno je uzeti u obzir boju dentina uporišnog zuba, odnosno materijala za nadograđivanje. Ako se staklokeramička krunica izrađuje na potamnjelom, endodontski liječenom zubu ili zubu nadograđenom metalnom nadogradnjom, učinak podloge može se negativno odraziti na boju nadomjeska (7, 156, 166). Drugim riječima, unatoč pravilno odabranoj boji keramike, nadomjestak će u ustima poprimiti sasvim drugu boju. To je osobito izraženo u cervikalnom području (Slika 61.a i b) (202).



**Slika 61.** (a) Izbrušeni zub značajno promijenjene boje; (b) kroz gotovu potpuno keramički krunicu cervikalno prosijava potamnjeli dentin što se negativno odražava na estetiku

Navodi se kako se takav nepoželjan utjecaj može kontrolirati debljinom keramike, njezinim stupnjem opaciteta i bojom cementa (181, 203). Također se preporučuje korištenje materijala za nadogradnje u boji zuba (204, 205). Neki smatraju kako se kod nadomjestaka tanjih od 1,5 mm svakako mora voditi računa o boji podloge (202), dok se debljinom keramike od 2 mm navodno u potpunosti eliminira utjecaj podloge na boju nadomjeska (7, 206). Ako nije moguće debljom keramikom zamaskirati boju podloge ili je raspoloživi prostor ograničen, kliničar bi trebao odabrati keramičke sustave manjeg stupnja translucencije (155, 156, 202). Međutim, s keramikama većeg stupnja opaciteta postizanje prirodnog i estetskog rezultata može predstavljati veći izazov (7, 155, 207). Iako proizvođači navode kako se boja podloge može maskirati i cementima, istraživanja su pokazala da to nije uvijek moguće (7, 207).



**Slika 62.** Određivanje boje bataljka u ustima pacijenta s pomoću odgovarajućeg ključa boja

Mogući problemi mogli bi se izbjeći kad bi se već u fazi izrade uzela u obzir boja bataljka te prema potrebi poduzele mjere za njezino maskiranje. U tu svrhu proizvođači su na tržište izbacili materijale za oponašanje boje bataljka u zubotehničkom laboratoriju, izvan usta pacijenta. Radi se o svjetlosno polimerizirajućim kompozitima s pomoću kojih zubni tehničar izrađuje model bataljka odgovarajuće boje. Taj model tijekom cijeloga postupka izrade potpuno keramičkog nadomjeska omogućuje provjeru utjecaja boje podloge na boju keramike te olakšava reprodukciju željene boje krunice i odabir keramičkog valjčića u skladu s kliničkim postavkama. Kako bi se izradio takav model, kliničar nakon preparacije zuba određuje boju bataljka s pomoću ključeva boja koji dolaze uz odgovarajuće materijale (Slika 62.). Zubni tehničar na temelju određene boje odabire odgovarajuću boju iz seta i izrađuje model. Najpoznatiji materijali iz te skupine su IPS Natural Die Material (Ivoclar Vivadent) (Slika 63.) i VITA Simulate Preparation Material (VITA Zahnfabrik).



**Slika 63.** IPS Natural Die Material (Ivoclar Vivadent) materijali za izradu modela boje bataljka u zubotehničkom laboratoriju s pratećim ključem boja (preuzeto iz 178)

### 1.5.5. Utjecaj cementa na boju nadomjeska

Za cementiranje potpuno keramičkih nadomjestaka preporučuje se korištenje kompozitnih cemenata kako bi se: 1) unaprijedila mehanička svojstva nadomjeska povezujući ga u jednu cjelinu sa zubom; 2) smanjila topljivost cementa u oralnom okruženju; 3) modificirala konačna boja nadomjeska i omogućila adekvatna estetika (199). Kompozitni cementi ubrajaju se u aktivne cemente koji sa zubom stvaraju kemijsku vezu, a odlikuju se boljim mehaničkim i fizikalnim svojstvima od konvencionalnih cemenata (208). Većina vodećih proizvođača kompozitne cemente nudi u različitim bojama (Tablica 3.) navodeći kako se pravilnim odabirom može modificirati boja nadomjeska i postići bolja usklađenost boje nadomjeska s prirodnim zubima (209). Moguće je da se kod translucenijih keramičkih sustava boja cementa odrazi na boju keramike. Međutim, kontroverzne su rasprave oko stvarnog utjecaja cementa na boju potpuno keramičkog nadomjeska i jesu li uočene razlike uopće klinički relevantne. Sloj cementa u kliničkim je uvjetima vrlo tanak te u idealnim uvjetima nije deblji od 120  $\mu\text{m}$  (210). Stoga je upitno u kolikoj se mjeri tako tanak sloj može odraziti na boju keramike. Podebljavanje sloja cementa rezultira beživotnim dojmom nadomjeska zbog gubitka osjećaja dubine (211). S obzirom na mnoštvo keramičkih materijala na tržištu i kontroverzne rezultate relevantnih istraživanja, nameće se pitanje je li svrsishodno i u kojim situacijama koristiti različite boje kompozitnih cemenata.

**Tablica 3.** Primjeri raspoloživih boja kompozitnih cemenata različitih proizvođača

Naziv cementa	Proizvođač	Raspoložive boje
<b>Calibra</b>	Dentsply, Konstanz, Njemačka	svijetla, srednja, tamna, opakna i transparentna
<b>Nexus Universal Luting system</b>	Kerr Dental, Rastatt, Njemačka	svijetla, tamna i neutralna
<b>RelyX- Unicem Veneer</b>	3M Espe, Seefeld, Njemačka	transluentna, opakna/žutoopakna, bijelo opakna, A5 opakna/tamna, A1/svijetlo žuta i B0.5/bijela
<b>Variolink II</b>	Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenštajn	transparentna, bijela, žuta, smeđa, opakno bijela, <i>bleach</i>



## 1.6. Svrha istraživanja

Svrha je istraživanja kvantitativno, instrumentalnim mjerenjem  $L^*a^*b^*$  vrijednosti i razlika u boji  $\Delta E^*$ , odrediti utjecaj različitih boja podloga (bataljka) te boja i debljina cementa na konačnu boju litij-disilikatne staklokeramike različitih debljina i stupnjeva translucencije. Također se želi odrediti utjecaj obložne keramike različitih debljina na boju modela koji simulira potpuno keramički, litij-disilikatni, nadomjestak. Dodatno je cilj utvrditi kojim kombinacijama keramika i podloga sa i bez cementa je moguće postići željenu boju nadomjeska.

### 1.6.1. Hipoteze

Testirat će se sljedeće nulte hipoteze:

- (1) boja podloge (bataljka) ne utječe na konačnu boju modela koji simulira potpuno keramički nadomjestak;
- (2) debljina i stupanj translucencije keramike ne utječu na boju modela koji simulira potpuno keramički nadomjestak;
- (3) boja i debljina cementa ne utječu na boju modela koji simulira potpuno keramički nadomjestak;
- (4) obložna keramika različitih debljina ne utječe na konačnu boju modela koji simulira potpuno keramički nadomjestak.

## **2. MATERIJALI I POSTUPCI**

---

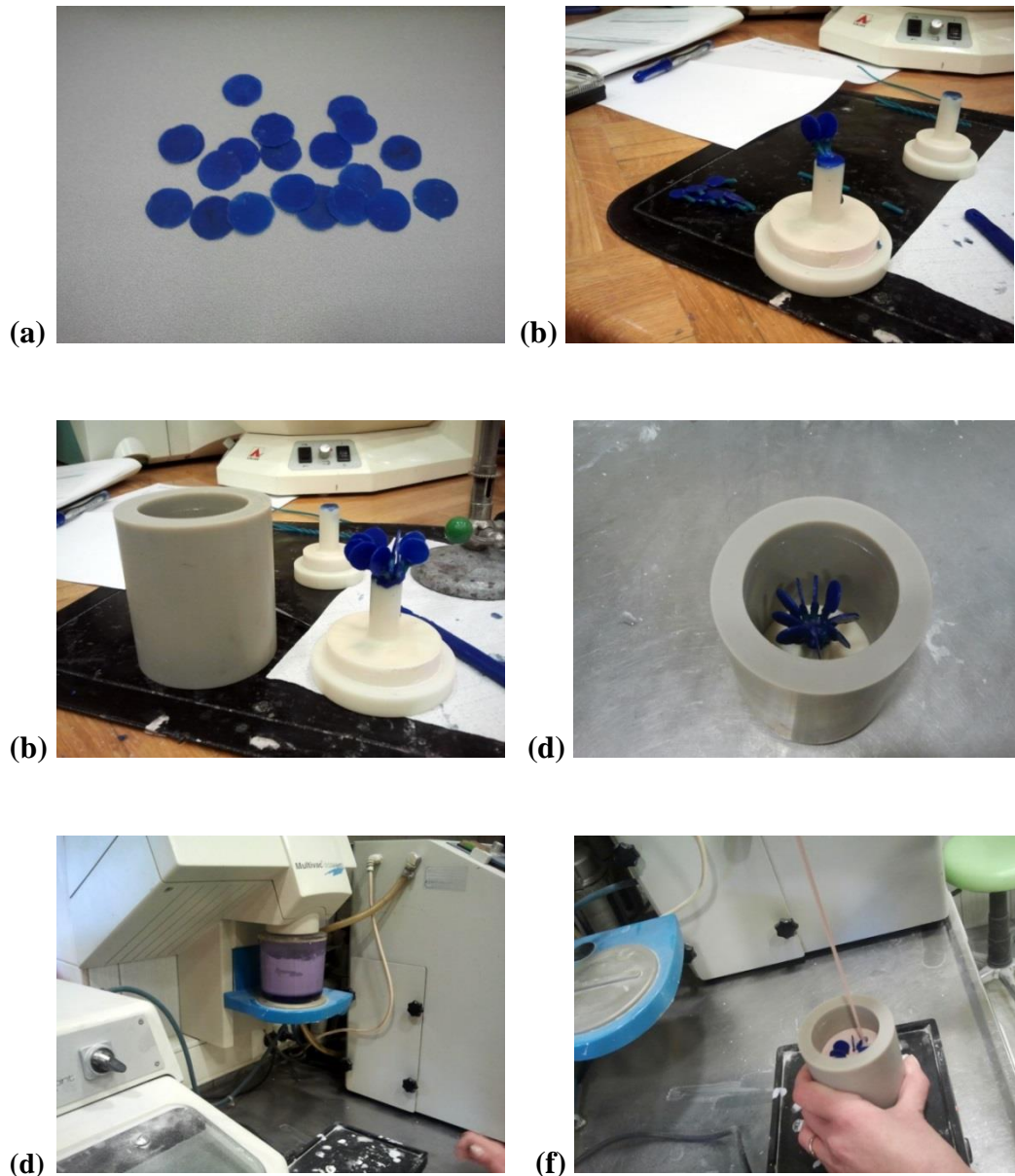
## 2.1. Priprema uzoraka

### *Pločice jezgrene keramike*

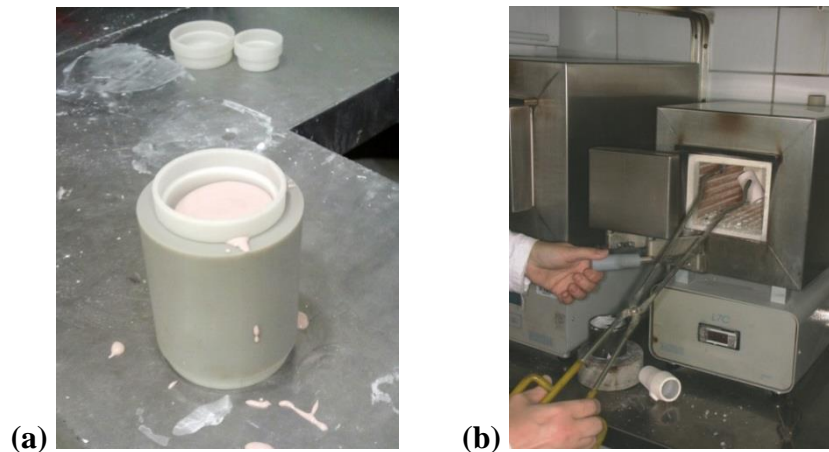
Izrađene su pločice od litij-disilikatne ( $\text{LiS}_2$ ) staklokeramike IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent). Korištena su tri stupnja translucencije – HT = *high translucency*, LT = *low translucency* i MO = *medium opacity* te boja A2, odnosno MO1 s obzirom na to da MO valjčići ne prate ključ boja, nego dolaze u pet boja zbirnih boja (MO0 – 5) od kojih je MO1 najbliža boji A2. Svaki je stupanj translucencije izrađen u četiri debljine – 0,5, 0,8 i 1,0 i 1,2 mm, dok je promjer svake pločice iznosio 11 mm. U svakoj je skupini bilo 10 uzoraka što je ukupno činilo 120 pločica jezgrene keramike (4 stupnja translucencije x 3 debljine x 10 uzoraka).

Sve su pločice modelirane od voska za modeliranje *inlaya* (Inlay Wax Medium, GC Europe, Leuven, Belgija) (Slika 64.a) s pomoću posebno pripremljenih silikonskih kalupa zadanih dimenzija, u blagom suvišku. Voštane su pločice uložene u silikonske kivete koristeći uložni materijal IPS PressVEST Speed (Ivoclar Vivadent) (Slike 64.b do f). Nakon stvrdnjavanja uložnog materijala u peći za predgrijavanje vosak je izgoren bez ostataka (Slike 65.a i b). Odabrani su odgovarajući keramički valjčići te je u skladu s uputama proizvođača proveden toplo-tlačni postupak u za to predviđenoj peći (Programat EP 600, Ivoclar Vivadent) (Slike 66.a i b)

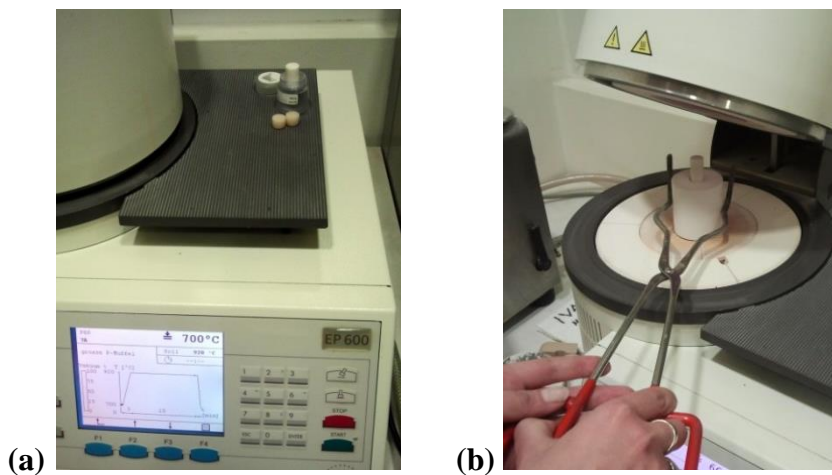
Nakon hlađenja je otvorena kiveta (Slike 67.a do d) te su keramički objekti pažljivo oslobođeni pjeskarenjem ( $50\text{-}\mu\text{m Al}_2\text{O}_3$ , tlak 0,2 MPa) (Slika 67.e), a potom uronjeni u 1%-tnu fluorovodičnu kiselinu (IPS e.max Press Invex Liquid, Ivoclar Vivadent) kako bi se odstranio reaktivni sloj s površine (Slika 67.f). Zatim su odrezani odljevni kanalići te su dobivene keramičke pločice prema potrebi stanjene silikon-karbidnim vodobrusnim papirom gruboće 400 dok nije dobivena željena debljina koja je potvrđena digitalnim mikrometromu pet točaka mjerenja (IP-65 Digimatic, Mitutoyo, Kawasaki, Japan). Odstupanja  $\pm 5\%$  su se smatrala prihvatljivima. Uslijedilo je poliranje pločica slijedom vodobrusnih papira gruboće 600, 800 i 1200, nakon čega su završno očišćene u ultrazvučnoj kupelji (Ultrasound Vita-Sonic II, Vita Zahnfabrik) i osušene, čime su bile spremne za provođenje mjerenja (Slika 68.).



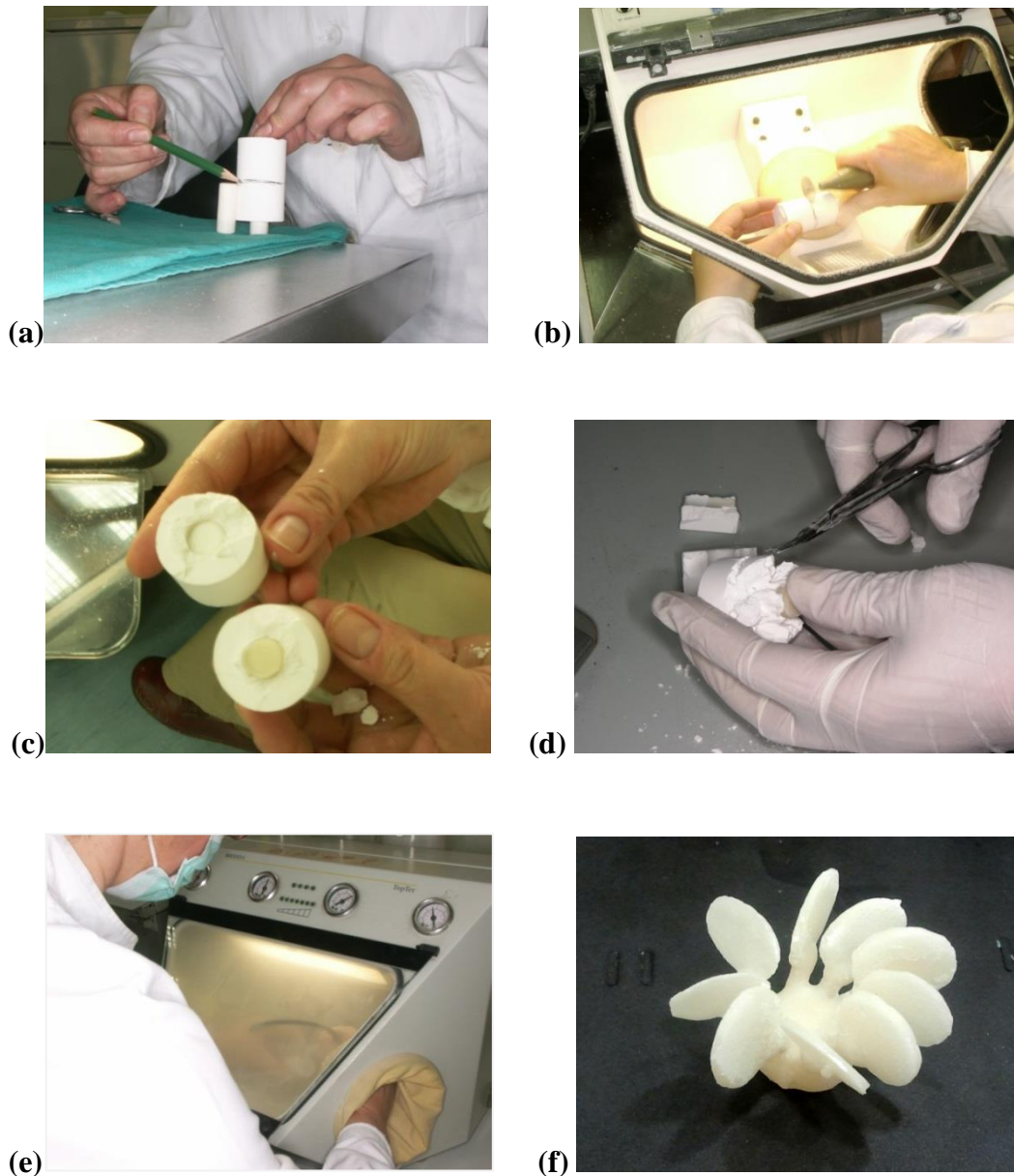
**Slika 64.** (a) Pločice odgovarajućih dimenzija suizmodelirane od voska; (b) pozicioniranje pločica s odljevnim kanalićima na postolje kivete; (c) voštani objekti spremni za ulaganje u odabranu silikonsku kivetu; (d) voštani objekti u silikonskoj kiveti; (e) miješanje uložnog materijala u vakuumskoj mješalici; (f) ulaganje voštanih objekata.



**Slika 65.** (a) Stvrdnjavanje uložnog materijala; (b) predgrijavanje kivete kako bi vosak u potpunosti izgorio



**Slika 66.** (a) Peć za tlačjenje Programat EP 600 (Ivoclar Vivadent); (b) stavljanje predgrijanog uložnog valjka u peć za tlačjenje



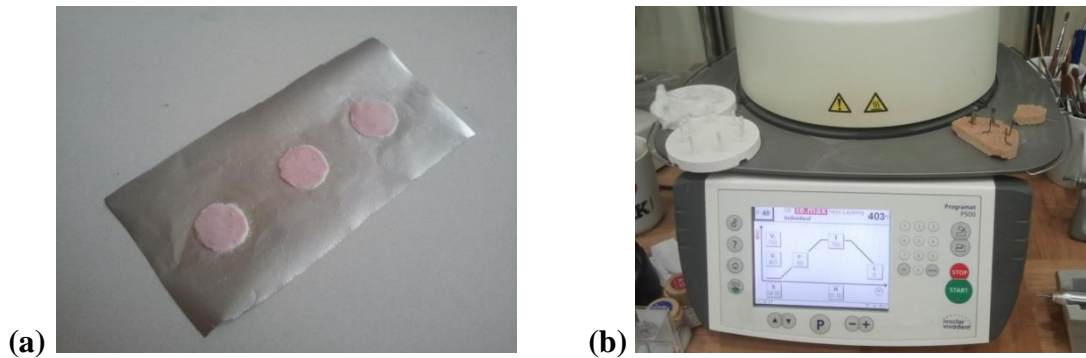
**Slika 67.** Otvaranje kivete: **(a)** označavanje mjesta rezanja prema duljini Alox čepa; **(b)** rezanje uložnog valjka na označenom mjestu; **(c)** razdvajanje na mjestu rezanja; **(d)** pažljivo uklanjanje uložnog materijala pazeći da se ne ošteti keramički objekt; **(e)** oslobađanje keramičkog objekta pjeskarenjem česticama  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; **(f)** pločice  $\text{LiS}_2$  jezgrene keramike nakon otvaranja kivete i uklanjanja reaktivnog sloja, prije separacije odljevnih kanala.



**Slika 68.** Gotove pločice  $\text{Li}_2\text{S}_2$  jezgrene keramike IPS e.max Press

#### *Pločice obložne keramike*

Od obložne keramike IPS e.max Ceram (Ivoclar Vivadent) izrađene su pločice promjera 11 mm i debljina 0,3, 0,5 i 0,8 mm. Izrađeno je 10 pločica od svake debljine, ukupno njih 30. Keramički prah IPS e.max Ceram Dentin u boji A2 u zadanom je omjeru zamiješan s pripadajućom tekućinom. S pomoć silikonskih kalupa  $\varnothing$  13 mm oblikovane su pločice otprilike 20% deblje od željenih konačnih debljina kako bi se kompenzirala kontrakcija za vrijeme pečenja. Višak tekućine upijen je papirnatom maramicom kako bi se smanjila poroznost. Pločice su pečene na platinskoj foliji (Jensen Dental, Metzingen, Njemačka) u Programatu P500 G2 (Slike 69.a i b) na  $760^\circ\text{C}$ . Nakon pečenja, pločice obložne keramike obrađene su vodobrusnim papirom gruboće 400 do željenih dimenzija (11 x 0,3 mm; 11 x 0,5 mm i 11 x 0,8 mm). Debljine su potvrđene digitalnim mikrometrom u pet točaka mjerenja pri čemu su se odstupanja  $\pm 5\%$  smatrala prihvatljivima. Pločice su ispolirane slijedom finijih brusnih papira (600 do 1200). Završno je gornja površina pločica glazirana tankim slojem IPS e.max Ceram Glaze paste (Ivoclar Vivadent). Sve keramičke pločice očišćene su u ultrazvučnoj kupelji u trajanju od 5 minuta i osušene prije spektrofotometrijskog mjerenja (Slika 70.).



**Slika 69.** (a) Pločice obložne keramike pripremljene za pečenje na platinskoj foliji; (b) Programat P500 G2 (Ivoclar Vivadent)



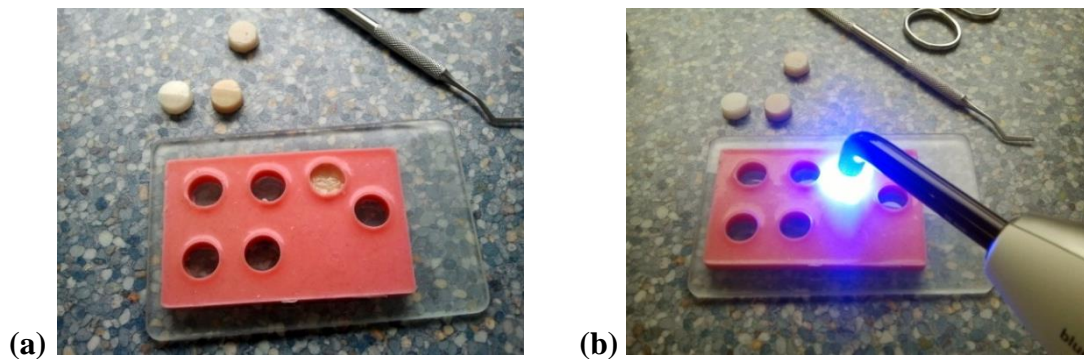
**Slika 70.** Gotove pločice obložne keramike IPS e.max Ceram (Ivoclar Vivadent) – boja A2; promjer 11 mm i debljine 0,3 mm, 0,5 mm i 0,8 mm

### *Podloge*

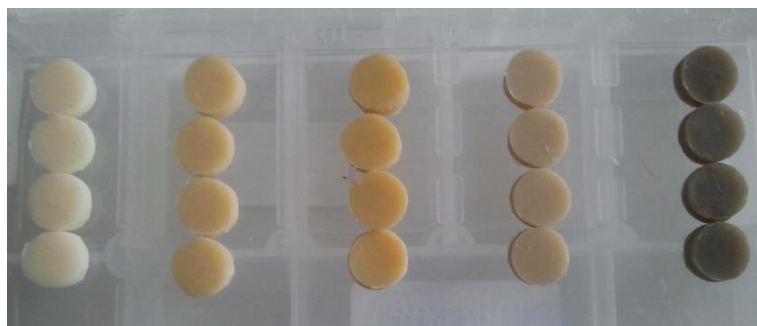
Podlogu (boju izbrušenog zuba) oponašali su cilindri svjetlosno polimerizirajućeg Natural Die materijala (Ivoclar Vivadent) (u nastavku: ND). Dimenzije cilindara iznosile su 11 x 5 mm. Debljina od 5 mm trebala je u potpunosti spriječiti utjecaj podloge na kojoj su se provodila mjerenja na boju cilindara, a time i na boju keramike. Odabrane su boje ND1, ND3, ND5, ND7 i ND9. Podloga ND1 predstavljala je relativno svijetao izbrušeni zub, tj. bataljak, ND3 je oponašala nešto tamniji bataljak, ND 5 bataljak blago promijenjene boje u žućkastom tonu, ND7 bataljak blago promijenjene boje u sivkastom tonu, dok je ND9 oponašao znatno promijenjenu boju bataljka. U posebno pripremljenim silikonskim kalupima zadanih dimenzija izrađeno je po 11 cilindara u svakoj od pet boja. Materijal je Heidelbergovom špatulom apliciran u tankim slojevima debljine do 2 mm (Slika 71.a) te je svaki sloj zasebno polimeriziran lampom Bluephase (Ivoclar Vivadent) u trajanju od 60 sekundi (Slika 71.b). Za vrijeme polimerizacije zadnjeg sloja na površinu je prislonjena staklena pločica debljine 1



mm kako bi se dobila glatka ploha bez mjehurića. Dimenzije su provjerene s pomoću digitalnog mikrometra u pet točaka mjerenja i prema potrebi prilagođene brušenjem vodobrusnim papirom s donje strane kako bi se sačuvala postignuta gornja glatka ploha (Slika 72.).



**Slika 71.** Priprema cilindričnih uzoraka podloga koje oponašaju različite boje dentina izbrušenog zuba u kliničkoj situaciji; **(a)** slojevita aplikacija svjetlosno polimerizirajućeg materijala IPS Natural Die (Ivoclar Vivadent) u silikonski kalup zadanih dimenzija; **(b)** svjetlosna polimerizacija svakog sloja

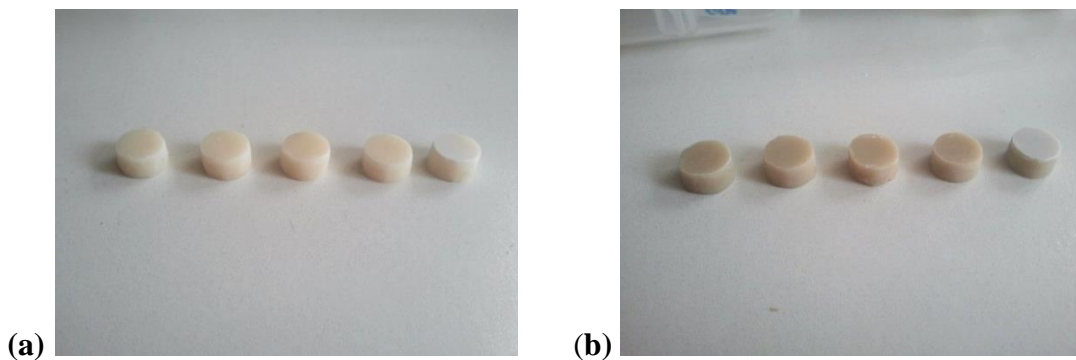


**Slika 72.** Gotove podloge Natural Die materijala u bojama ND1, ND3, ND5, ND7 i ND9

### *Cement*

Na 5 ND cilindara u svakoj prethodno izrađenoj boji zalijepljen je 80  $\mu\text{m}$  debeo sloj kompozitnog cementa Variolink II (Ivoclar Vivadent) u 5 različitih boja – transparentnoj, bijeloj, opakno bijeloj, žutoj i smeđoj, dok je na drugih 5 cilindara apliciran 150  $\mu\text{m}$  debeo sloj istog cementa u navedenim bojama (Slika 73.a i b). Jedan ND cilindar od svake boje služio je kao kontrola pri mjerenjima te na njega nije apliciran cement. Debljina cementa kontrolirana je posebno izrađenim tvrdim silikonskim kalupima čiji je promjer bio 11 mm, dok im je dubina iznosila 5,12, odnosno 5,20 mm. U kalupe su umetnuti cilindri ND. S

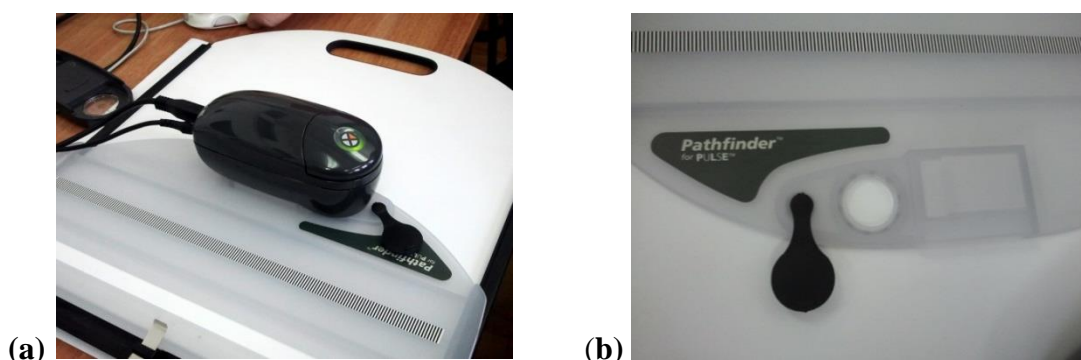
obzirom na to da je njihova debljina iznosila 5 mm, u kalupima iznad cilindra dobiven je prazan prostor od 120  $\mu\text{m}$ , odnosno 200  $\mu\text{m}$  koji je ispunjen odgovarajućim cementom. Za vrijeme polimerizacije na površinu je prislonjena staklena pločica debljine 1 mm kako bi se dobila glatka ploha bez zračnih mjehurića. Svjetlosna polimerizacija provedena je Bluephase lampom trajanju od 60 sekundi. Potom je sloj cementa ubrušavanjem vodobrusnim papirom sveden na željenu debljinu što se kontroliralo mjerenjem ukupne debljine uzoraka digitalnim mikrometrom. Ona je iznosila 5,08, odnosno 5,15 mm. S obzirom na to da su bila moguća manja odstupanja u debljinama ND cilindara, svaki je prije aplikacije cementa još jednom izmjeren te se pri usklađivanju debljine cementa vodilo računa o izmjerenoj vrijednosti kako bi se osiguralo da se u konačnici dobiju što standardiziranije dimenzije.



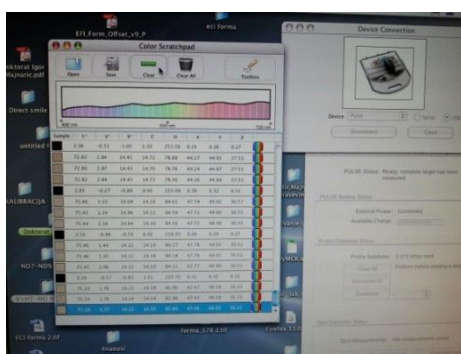
**Slika 73.** (a) Podloga ND3 s površinski apliciranim cementom Variolink II (Ivoclar Vivadent) debljine 0,15 mm u pet boja – transparentnoj, bijeloj, žutoj, smeđoj i opakno bijeloj; (b) Podloga ND7 s površinski apliciranim cementom debljine 0,15 mm u pet boja

## 2.2. Postupak mjerenja boje

Mjerenja boje provedena su instrumentalno, kalibriranim spektrofotometrom (DTP 20 Pulse, X-Rite, Neu Isenburg, Njemačka) (Slike 74.a i b). To je spektrofotometar koji se inače koristi u grafičkoj industriji i ne bi bio prikladan za određivanje boje u dentalnoj medicini koje se provodi intraoralno. Međutim, s obzirom na činjenicu da se u ovom slučaju radilo o *in vitro* istraživanju u kojem su korišteni uzorci u obliku pločica, upravo je takav uređaj za mjerenje boje ravnih površina bio pogodan. Cilj je bio kvantitativno izraziti boje u CIE  $L^*a^*b^*$  sustavu kako bi se dobile objektivne vrijednosti koje bi se mogle međusobno uspoređivati. Mjerenja su praćena s pomoću posebnog računalnog programa ColorShop X (X-Rite) (Slika 75.). Provedene su različite serije zasebnih mjerenja.



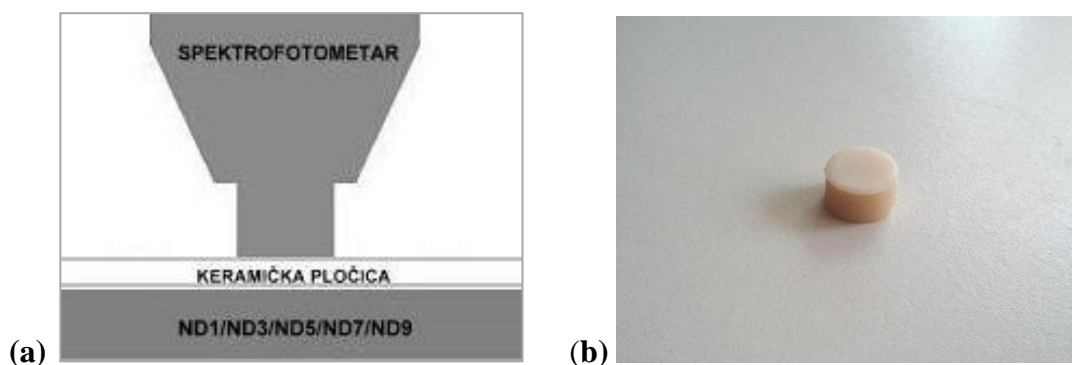
**Slika 74.** (a) Spektrofotometar DTP 20 Pulse (X-Rite, Neu Isenburg, Njemačka); (b) bijela podloga za kalibraciju uređaja



**Slika 75.** Praćenje i analiza izmjerenih  $L^*a^*b^*$  s pomoću računalnog programa ColorShop X (X-Rite)

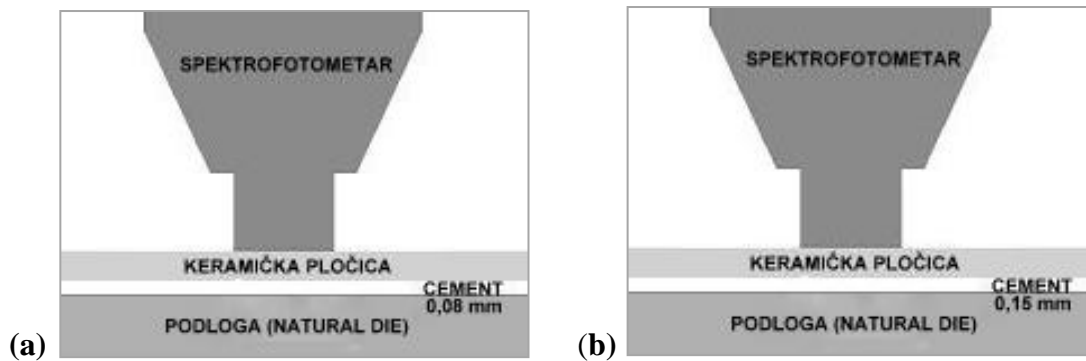
Kako bi se odredio utjecaj boje podloge na boju keramike, svaka je pločica jezgrene keramike različitih debljina i stupnjeva translucencije postavljena na cilindre ND bez cementa u pet različitih boja te je provedeno mjerenje (Slike 76.a i b). Kako bi se dobila kontrolna skupina,

iste su pločice spektrofotometrom izmjerene i na potpuno bijeloj standardnoj podlozi. Prilikom preklapanja pločica korištena je destilirana voda kao kontaktni medij kako bi se spriječilo raspršivanje svjetla zbog zračnih inkluzija. Mjerenje svake kombinacije ponovljeno je tri puta, uvijek u srednjem dijelu uzorka kako bi se utjecaj vanjskih čimbenika sveo na minimum i smanjio rubni gubitak svjetlosti (*edge loss effect*) te su u analizi korištene prosječne vrijednosti svakog uzorka. Dobivene prosječne  $L^*a^*b^*$  vrijednosti za svaku pločicu na određenoj ND podlozi uspoređene su s  $L^*a^*b^*$  vrijednostima iste te pločice na standardnoj bijeloj podlozi tako što su uvrštene u jednadžbu  $\Delta E^*_{00}$ . Na taj su način dobivene razlike u boji  $\Delta E^*$  među jezgrenim keramikama na različitim podlogama.



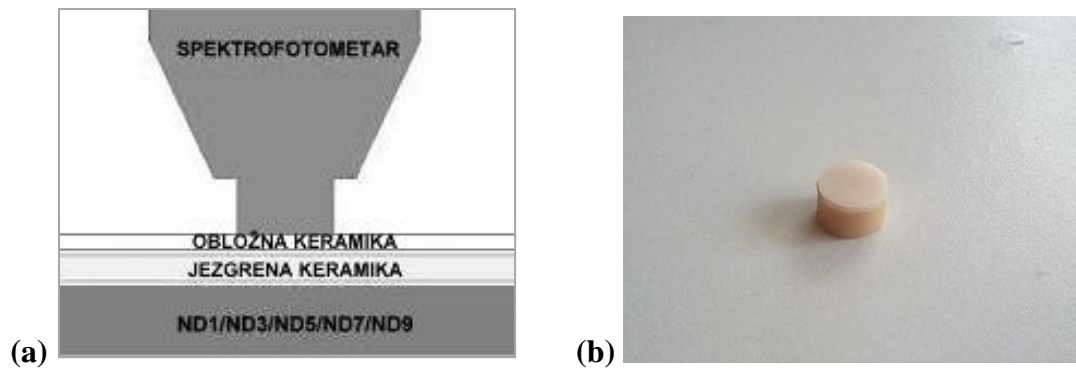
**Slika 76.** (a) Shematski prikaz ispitivanja utjecaja boje podloge na boju jezgrene keramike; (b) uzorak pripremljen za mjerenje boje – podloga ND3 preklapljen pločicom jezgrene keramike

Utjecaj boje i debljine cementa ispitan je na način da je svaka pojedina pločica jezgrene keramike različitih debljina i stupnjeva translucencije preklapljena preko svake ND podloge s cementom (pet različitih boja i dvije debljine cementa) te je za svaku kombinaciju spektrofotometrom izmjerena boja (Slike 77.a i b). Mjerenje svake kombinacije ponovljeno je tri puta te su u analizi korištene prosječne vrijednosti svakog uzorka. Dobivene prosječne  $L^*a^*b^*$  vrijednosti za svaku pločicu na određenoj ND podlozi s cementom uspoređene su s prosječnim  $L^*a^*b^*$  vrijednostima iste pločice na istoj ND podlozi bez cementa, koja je u ovom slučaju služila kao kontrola.  $L^*a^*b^*$  vrijednosti uvrštene su u jednadžbu  $\Delta E^*_{00}$  te su dobivene razlike u boji  $\Delta E^*$  uzrokovane cementom.

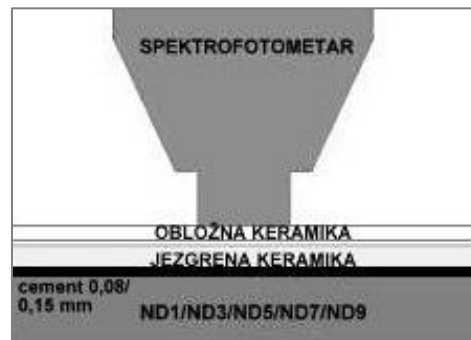


**Slika 77.** Shematski prikaz ispitivanja utjecaja boje i debljine cementa na boju jezgrene keramike; **(a)** mjerenje boje keramičke pločice na podlozi ND sa cementom debljine 0,08 mm i **(b)** mjerenje boje keramičke pločice na podlozi ND sa cementom debljine 0,15 mm

Kako bi se ispitaio utjecaj različitih debljina obložne keramike na boju, pločice  $\text{LiS}_2$  i obložne keramike međusobno su preklapane u različitim kombinacijama. Budući da su ispitivanja provedena na deset pločica jezgrene i istom broju pločica obložne keramike, broj mogućih kombinacija bio bi prevelik. Stoga su za svaku skupinu jezgrene keramike izračunate prosječne  $L^*a^*b^*$  vrijednosti te je za daljnja mjerenja kao predstavnik skupine odabrana pločica koja je bila najbliža toj prosječnoj vrijednosti, tj. boji. Pločice jezgrene keramike kombinirane su s pločicama obložne keramike do maksimalne debljine od 2 mm u skladu s omjerom koji zadaje proizvođač, a to znači da jezgrene keramike mora činiti barem 50% ukupne debljine stijenke nadomjeska. Pločice su kombinirane kako slijedi (debljina jezgrene keramike/debljina obložne keramike): 0,5 mm/0,3 mm, 0,5 mm/0,5 mm, 0,8 mm/0,3 mm, 0,8 mm/0,5 mm, 0,8 mm/0,8 mm, 1,0 mm/0,3 mm, 1,0 mm/0,5 mm, 1,0 mm/0,8 mm, 1,2 mm/0,3 mm, 1,2 mm/0,5 mm i 1,2 mm/0,8 mm. S tako iskombiniranim pločicama ponovljena su sva mjerenja kao što je opisano u prvim dvjema serijama, tj. na ND podlogama bez cementa i ND podlogama sa cementom (Slike 78.a,b i 79.). Kod izračuna  $\Delta E^*$  vrijednosti u modelu bez cementa kao kontrola je služila bijela standardna podloga, a u modelu sa cementom kontrolu su predstavljale prosječne  $L^*a^*b^*$  vrijednost istovjetne kombinacije (s istom  $\text{LiS}_2$  keramikom na istoj podlozi) bez cementa.



**Slika 78.** (a) Shematski prikaz ispitivanja utjecaja različitih debljina obložne keramike na boju modela koji simulira potpuno keramički nadomjestak; (b) uzorak pripremljen za mjerenje boje – podloga ND3 s preklopljenim pločicama jezgrene i obložne keramike



**Slika 79.** Shematski prikaz ispitivanja utjecaja cementa na boju kod različitih debljina obložne keramike u kombinaciji s jezgrenim keramikama

U drugom se dijelu istraživanja pokušalo utvrditi kojim je kombinacijama jezgrene  $\text{LiS}_2$  keramike i podloga sa i bez cementa te kombinacijama jezgrene i obložne keramike i podloga sa i bez cementa moguće postići željenu boju nadomjeska. Budući da je korištena samo boja keramike A2, iz ključa boja Vitapan Classical odabran je uzorak boje s tom oznakom koji je služio kao referentna boja. U tu svrhu boja uzorka je izmjerena dentalnim spektrofotometrom MHT Spectroshade Micro kako bi se dobile  $L^*a^*b^*$  vrijednosti ( $L^* = 75,20$ ,  $a^* = 1,60$  i  $b^* = 16,10$ ) (Slika 80.). Te su vrijednosti služile kao referentne vrijednosti prema kojima su izračunate  $\Delta E^*$  razlike u boji za sve moguće kombinacije  $\text{LiS}_2$  keramike i podloga sa i bez cementa te jezgrenih i obložnih keramika na svim podlogama sa i bez cementa. Za izračun su uvijek uzete prosječne  $L^*a^*b^*$  vrijednosti svake kombinacije koje su uvrštene u jednadžbu  $\Delta E^*_{00}$ .



**Slika 80.** Uzorak boje A2 iz ključa boja Vitapan Classical (Vita Zahnfabrik) izmjereno dentalnim spektrofotometrom MHT Spectroshade Micro (MHT) kako bi se dobile  $L^*a^*b^*$  vrijednosti

Prilikom vrednovanja rezultata dobivene vrijednosti  $\Delta E^*$  grupirane su kako slijedi:  $\Delta E^* < 1$  = neprimjetna razlika u boji,  $\Delta E^* 1 - 2$  = klinički prihvatljiva razlika u boji,  $\Delta E^* > 2$  = jasno vidljiva razlika u boji,  $\Delta E^* > 3,7$  = loša usklađenost boje (6, 128).

### 2.3. Statistička analiza

Statistička analiza provedena je korištenjem programa STATISTICA verzija 10 (StatSoft, Inc., Tulsa, SAD). Izmjerene vrijednosti  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  te izračunate vrijednosti  $\Delta E^*$  prikazane su kao aritmetička sredina, standardna devijacija (SD) i standardna pogreška (SE). Promjene parametara boje ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  i  $\Delta E^*$ ) ovisno o boji podloge, boji i debljini cementa, debljini i translucenciji jezgrene keramike te debljini obložne keramike testirane su korištenjem faktorske analize varijance (ANOVA). Analizirana su četiri modela: 1) utjecaj boje podloge, stupnja translucencije i debljine litij-disilikatne staklokeramike ( $LiS_2$ ) na njenu boju (bez cementa), 2) utjecaj različitih boja i debljina cementa na boju  $LiS_2$  staklokeramike različitih debljina i stupnjeva translucencije uz različite boje podloge, 3) utjecaj obložne keramike na boju uz različite boje podloge (bez cementa), stupnjeve translucencije i debljine  $LiS_2$  staklokeramike te 4) utjecaj različitih boja i debljina cementa na boju uz različite debljine obložne keramike, različite boje podloge, debljine i translucencije  $LiS_2$  staklokeramike. Razina značajnosti postavljena je na  $p < 0,05$ .

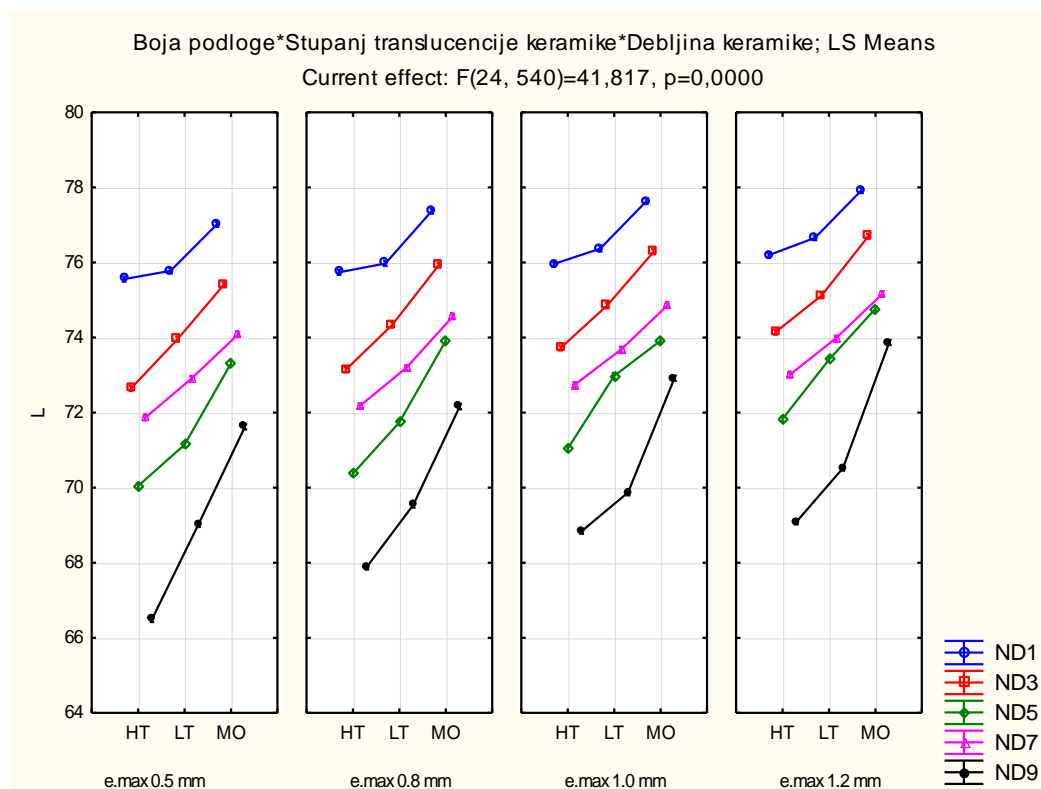


### **3. REZULTATI**

---

Zbog opsežnosti i veličine tablica koje bi premašile okvire ovog rada, aritmetičke sredine sa standardnim devijacijama (SD) i standardnim pogreškama (SE) za sve  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  i  $\Delta E^*$  vrijednosti priložene u elektroničkom obliku.

Na Slici 81. prikazane su aritmetičke sredine za  $L^*$  prema boji podloge, debljini keramike i stupnju translucencije za uzorke jezgrene keramike IPS e.max Press.  $L^*$  vrijednosti (svjetlina) uzoraka na različitim ND podlogama kretale su se između 66,49 i 77,92. Analizom varijance utvrđeno je da je boja podloge statistički značajno utjecala na svjetlinu uzoraka ( $p < 0,001$ ) (Tablica 4). Povećanjem debljine jezgrene keramike uočeno je ravnomjerno povećanje svjetline na svim podlogama (vidi Sliku 81.).  $L^*$  vrijednosti su rasle i sa smanjenjem translucencije – tako je za HT uzorke svjetlina općenito bila manja nego za MO uzorke, na svim podlogama. Utjecaj stupnja translucencije keramike i njene debljine na svjetlinu uzoraka pokazao se statistički značajnim ( $p < 0,001$  za svaki parametar). Osim kao zasebni parametri, boja podloge, stupanj translucencije keramike i njena debljina i u svim su međusobnim interakcijama statistički značajno utjecale na svjetlinu keramike ( $p < 0,001$  za sve interakcije) (vidi Tablicu 4.).



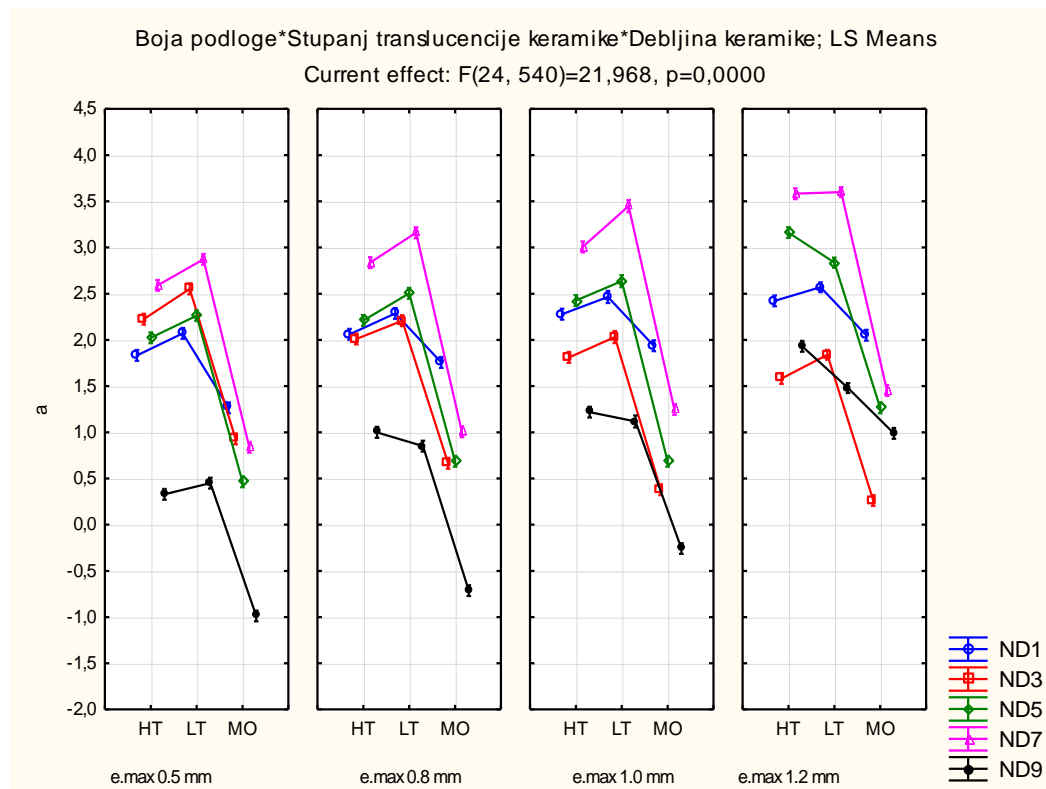
**Slika 81.** Prikaz aritmetičkih sredina za  $L^*$  prema boji podloge, debljini keramike i stupnju translucencije ( $p < 0,001$  za model, ANOVA)

**Tablica 4.** Rezultati analize varijance za L\* vrijednosti za Model 1 – utjecaj boje podloge, stupnja translucencije i debljine LiS<sub>2</sub> keramike na njezinu boju (bez cementa) (SS = suma kvadrata odstupanja; Df = stupnjevi slobode; MS = sredina kvadrata odstupanja)

	SS	Df	MS	F	p
Intercept	3214614	1	3214614	257919364	<0,001
Boja podloge	2737	4	684	54904	<0,001
Stupanj translucencije keramike	821	2	411	32943	<0,001
Debljina keramike	178	3	59	4747	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike	105	8	13	1056	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	20	12	2	131	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	2	6	0	24	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	13	24	1	42	<0,001
Error	7	540	0		

Kod a\* vrijednosti uočen je porast s povećanjem debljine LiS<sub>2</sub> keramike za sve podloge osim za ND3 gdje je došlo do pada. Smanjenjem stupnja translucencije s HT na LT uglavnom je došlo do blagog porasta a\* vrijednosti, nakon čega je prema MO došlo do naglog pada. Različito od toga ponašala se podloga ND9 gdje je osim za najmanju debljinu LiS<sub>2</sub> keramike zabilježen konstantni pad a\* vrijednosti. Općenito su najveće vrijednosti zabilježene na podlozi ND7, praćene podlogom ND5, ND1, ND i ND9 (Slika 82.). Utjecaji boje podloge, stupnja translucencije LiS<sub>2</sub> keramike i njezine debljine na a\* vrijednost pokazali su se statistički značajnima, kako kao zasebni parametri (p < 0,001 za svaki parametar), tako i u svim međusobnim interakcijama (p < 0,001 za sve interakcije) (Tablica 5.).

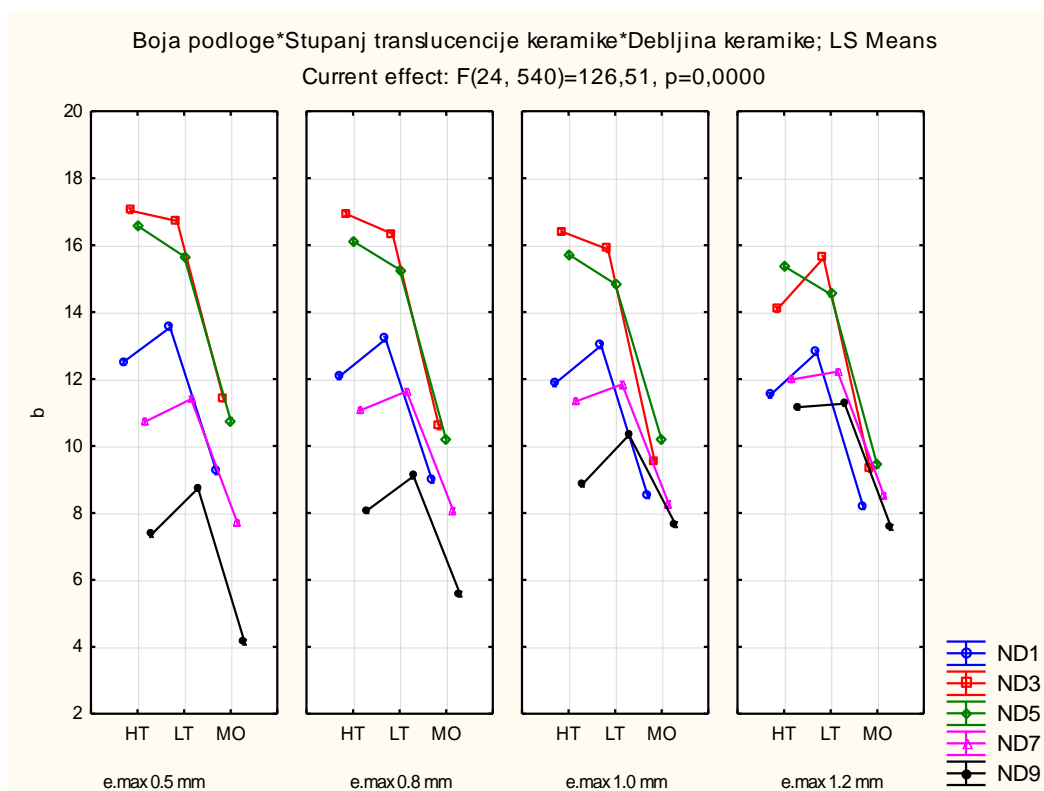
Na podlogama ND1, ND5 i ND7 b\* vrijednost je blago rasla smanjenjem translucencije LiS<sub>2</sub> keramike prema LT nako čega je zabilježen nagli pad prema MO. Kod podloga ND3 i ND5 došlo je do blagog pada prema LT (osim kod debljine keramike 1,2 mm na podlozi ND3), dok je prema MO pad bio znan. Na podlogama ND1, ND3 i ND5 uočen je blagi pad b\* vrijednosti povećanjem debljine keramike, dok je na podlozi ND7 zabilježen blaži, a na ND9 značajniji porast (Slika 83.). Boja podloge, stupanj translucencije LiS<sub>2</sub> keramike i njezina debljina statistički su značajno utjecali na b\* vrijednost – i samostalno (p < 0,001 za svaki parametar) i u svim međusobnim interakcijama (p < 0,001 za sve interakcije) (Tablica 6.).



**Slika 82.** Prikaz aritmetičkih sredina za  $a^*$  vrijednosti prema boji podloge, debljini keramike i stupnju translucencije ( $p < 0,001$  za model, ANOVA)

**Tablica 5.** Rezultati analize varijance za  $a^*$  vrijednosti za Model 1 – utjecaj boje podloge, stupnja translucencije i debljine jezgrene keramike na njenu boju (bez cementa)

	SS	Df	MS	F	p
<b>Intercept</b>	1778,784	1	1778,784	199837,4	<b>&lt;0,001</b>
<b>Boja podloge</b>	236,760	4	59,190	6649,7	<b>&lt;0,001</b>
<b>Stupanj translucencije keramike</b>	261,458	2	130,729	14686,7	<b>&lt;0,001</b>
<b>Debljina keramike</b>	31,613	3	10,538	1183,8	<b>&lt;0,001</b>
<b>Boja podloge*Stupanj translucencije keramike</b>	36,950	8	4,619	518,9	<b>&lt;0,001</b>
<b>Boja podloge*Debljina keramike</b>	43,753	12	3,646	409,6	<b>&lt;0,001</b>
<b>Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike</b>	2,088	6	0,348	39,1	<b>&lt;0,001</b>
<b>Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike</b>	4,693	24	0,196	22,0	<b>&lt;0,001</b>
<b>Error</b>	4,807	540	0,009		

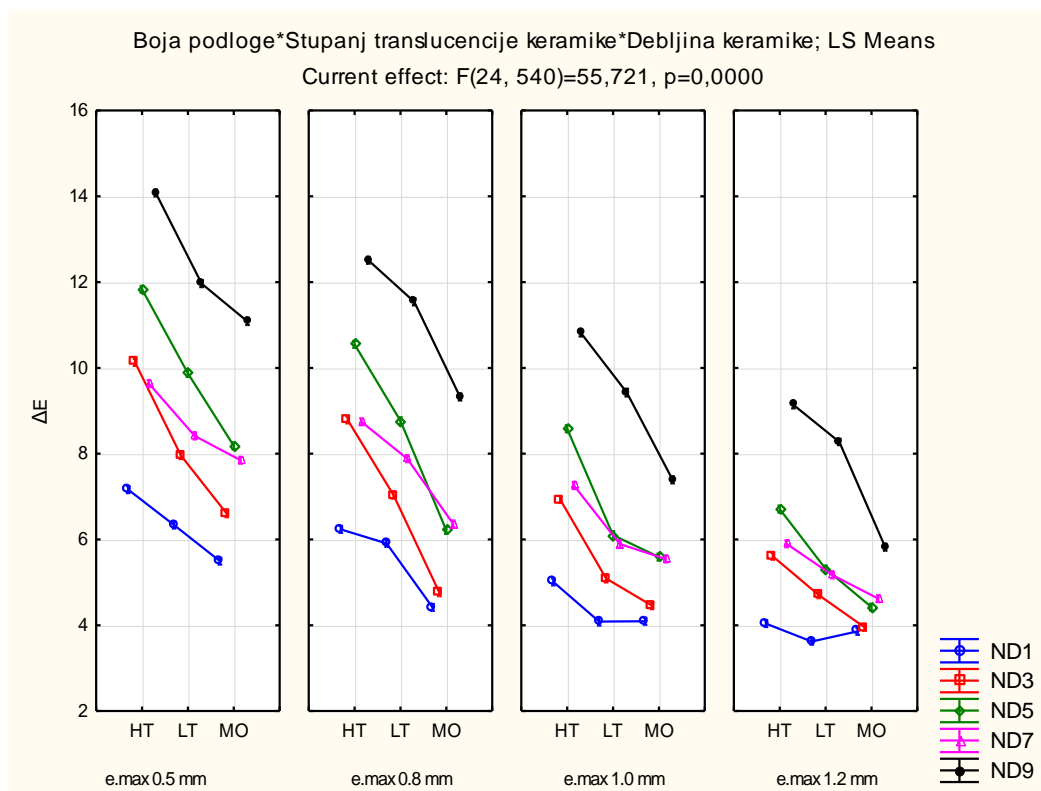


**Slika 83.** Prikaz aritmetičkih sredina za  $b^*$  vrijednosti prema boji podloge, debljini keramike i stupnju translucencije ( $p < 0,001$  za model, ANOVA)

**Tablica 6.** Rezultati analize varijance za  $b^*$  vrijednosti za Model 1 – utjecaj boje podloge, stupnja translucencije i debljine jezgrene keramike na njenu boju (bez cementa)

	SS	Df	MS	F	p
Intercept	79807,42	1	79807,42	5606948	<0,001
Boja podloge	2781,76	4	695,44	48859	<0,001
Stupanj translucencije keramike	2498,33	2	1249,17	87761	<0,001
Debljina keramike	0,39	3	0,13	9	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike	218,60	8	27,32	1920	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	319,01	12	26,58	1868	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	2,03	6	0,34	24	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	43,22	24	1,80	127	<0,001
Error	7,69	540	0,01		

Aritmetičke sredine  $\Delta E^*$  vrijednosti prema boji podloge, debljini  $\text{LiS}_2$  keramike i stupnju translucencije prikazane su na Slici 84. Vrijednosti su se kretale između 3,62 i 14,07. Najveća  $\Delta E^*$  vrijednost zabilježena je kod podloge ND9 u kombinaciji s HT keramikom debljine 0,5 mm, a najmanja kod podloge ND1 u kombinaciji s LT i MO keramikama debljine 1,2 mm. Što je podloga bila tamnija, to su  $\Delta E^*$  vrijednosti bile veće. Razlike u boji gotovo su linearno padale smanjenjem stupnja translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike, a pad je zabilježen i povećanjem debljine keramike. Rezultati faktorske analize varijance pokazali su da su boja podloge, stupanj translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike i njezina debljina imali statistički značajan utjecaj na razlike u boji ( $p < 0,001$  za svaki parametar). Osim zasebno, navedeni su parametri i u međusobnim interakcijama statistički značajno utjecali na  $\Delta E^*$  vrijednosti ( $p < 0,001$  za sve interakcije) (Tablica 7.).

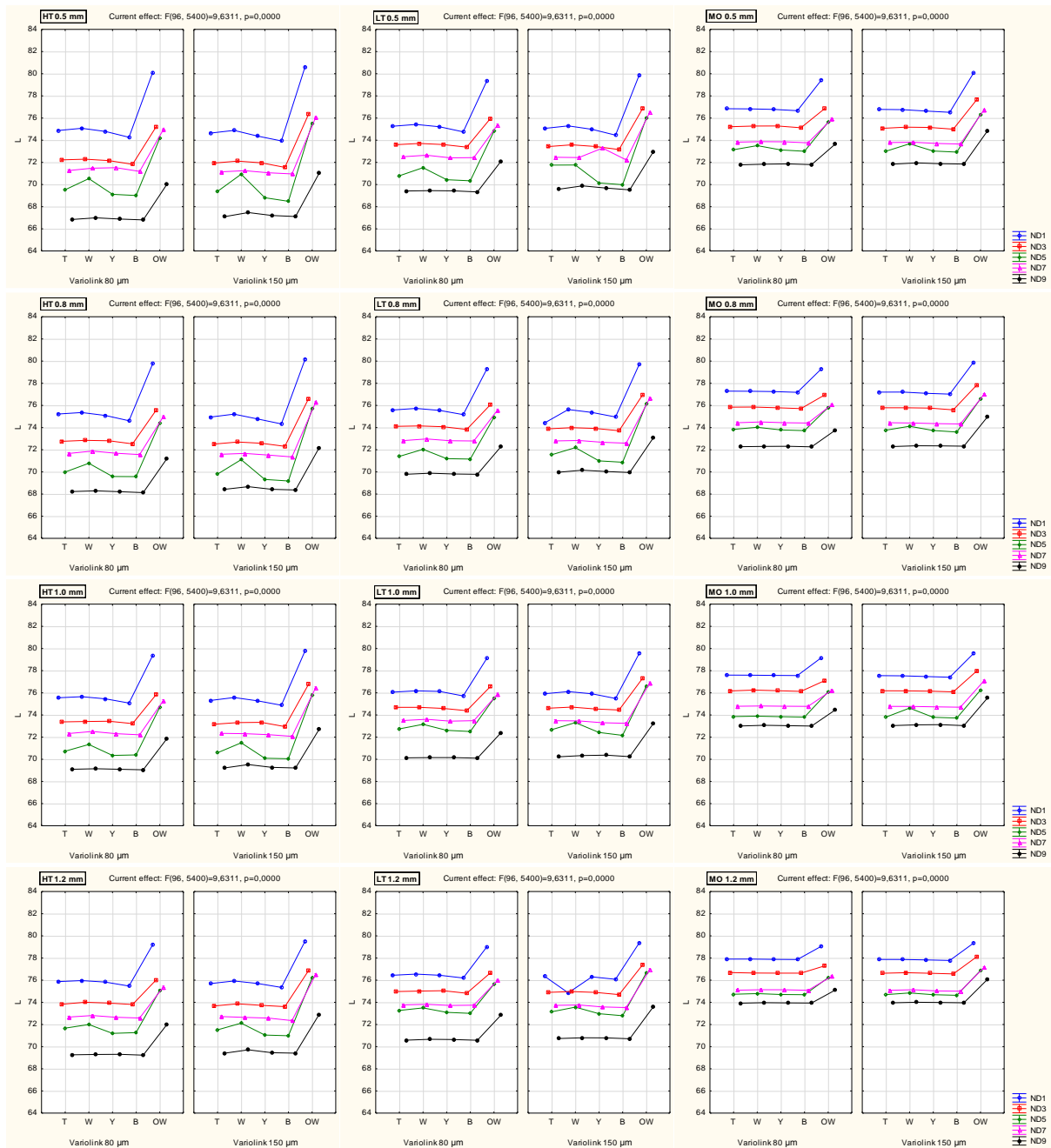


**Slika 84.** Prikaz aritmetičkih sredina za  $\Delta E^*$  vrijednosti prema boji podloge, debljini keramike i stupnju translucencije ( $p < 0,001$  za model, ANOVA)

**Tablica 7.** Rezultati analize varijance za  $\Delta E^*$  vrijednosti za Model 1 – utjecaj boje podloge, stupnja translucencije i debljine jezgrene keramike na njezinu boju (bez cementa)

	SS	Df	MS	F	p
<b>Intercept</b>	31035,91	1	31035,91	1841264	<0,001
<b>Boja podloge</b>	1700,59	4	425,15	25223	<0,001
<b>Stupanj translucencije keramike</b>	615,99	2	307,99	18272	<0,001
<b>Debljina keramike</b>	1219,36	3	406,45	24114	<0,001
<b>Boja podloge*Stupanj translucencije keramike</b>	78,96	8	9,87	586	<0,001
<b>Boja podloge*Debljina keramike</b>	56,63	12	4,72	280	<0,001
<b>Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike</b>	41,59	6	6,93	411	<0,001
<b>Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike</b>	22,54	24	0,94	56	<0,001
<b>Error</b>	9,10	540	0,02		

L\* vrijednosti za LiS<sub>2</sub> keramiku uz različite boje i debljine cementa prikazane na Slici 85. Svi su cementi uzrokovali relativno konstantnu i iznosom malu promjenu svjetline, dok je opakno bijeli cement izazvao znatan skok. Opakno bijeli cement na ND1 podlozi u kombinaciji s HT keramikom debljine 0,5 mm imao je najveću L\* vrijednost (80,11 za debljinu cementa 0,08 mm i 80,61 za debljinu cementa 0,15 mm). Općenito je u svim kombinacijama opakno bijeli cement rezultirao najvećom svjetlinom uzoraka. Najmanja L\* vrijednost kod cemenata debljine 0,08 mm zabilježena je kod smeđeg cementa na ND9 podlozi u kombinaciji s keramikom HT 0,5 mm, a iznosila je 66,8, dok je među debljinama cementa 0,15 mm transparentni cement na ND9 podlozi u kombinaciji s keramikom HT 0,5 mm s L\* = 67,1 bio najtamniji. Kod svih sustava podloga + cement + jezgrene keramika svjetlina je rasla povećanjem debljine keramike, bez obzira na boju i debljinu cementa. Jedinu je iznimku činio opakno bijeli cement na ND1 podlozi gdje je povećanjem debljine keramike došlo do pada L\* vrijednosti. I boja i debljina cementa uzrokovale su statistički značajne promjene svjetline (p < 0,001) (Tablica 8.). Osim kao zasebni parametri, boja i debljina cementa i u međusobnoj su interakciji, ali i u interakciji s bojom podloge i debljinom keramike statistički značajno utjecale na L\* vrijednosti. U interakciji debljine keramike i stupnja translucencije nije zabilježena statistički značajna razlika (vidi Tablicu 8.).



**Slika 85.** Prikaz aritmetičkih sredina za L\* prema boji i debljini cementa, boji podloge, debljini i stupnju translucencije Li<sub>2</sub>S<sub>2</sub> keramike (p < 0,001 za model, ANOVA)



**Tablica 8.** Rezultati analize varijance za L\* vrijednosti za Model 2 – utjecaj različitih boja i debljina cementa na boju LiS<sub>2</sub> staklokeramike različitih debljina i stupnjeva translucencije uz različite boje podloge

	SS	Df	MS	F	p
Intercept	32487553	1	32487553	2,130908E+09	<0,001
{1}Boja podloge	22103	4	5526	3,624444E+05	<0,001
{2}Stupanj translucencije keramike	7550	2	3775	2,476057E+05	<0,001
{3}Debljina keramike	1573	3	524	3,438226E+04	<0,001
{4}Boja cementa	8921	4	2230	1,462821E+05	<0,001
{5}Debljina cementa	22	1	22	1,442349E+03	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike	708	8	88	5,801874E+03	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	119	12	10	6,489870E+02	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	22	6	4	2,425373E+02	<0,001
Boja podloge*Boja cementa	290	16	18	1,189957E+03	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Boja cementa	630	8	79	5,165430E+03	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa	172	12	14	9,405166E+02	<0,001
Boja podloge*Debljina cementa	25	4	6	4,124982E+02	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina cementa	0	2	0	2,202894E+00	0,110582 NS
Debljina keramike*Debljina cementa	0	3	0	9,284482E+00	<0,001
Boja cementa*Debljina cementa	205	4	51	3,361651E+03	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	109	24	5	2,978666E+02	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Boja cementa	63	32	2	1,291040E+02	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Boja cementa	38	48	1	5,207835E+01	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Boja cementa	5	24	0	1,411676E+01	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina cementa	4	8	0	2,954985E+01	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina cementa	1	12	0	5,098009E+00	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina cementa	1	6	0	1,518967E+01	<0,001
Boja podloge*Boja cementa*Debljina cementa	14	16	1	5,726884E+01	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Boja cementa*Debljina cementa	3	8	0	2,527814E+01	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa*Debljina cementa	3	12	0	1,449246E+01	<0,001
1*2*3*4	19	96	0	1,277270E+01	<0,001
1*2*3*5	2	24	0	4,964472E+00	<0,001
1*2*4*5	12	32	0	2,379871E+01	<0,001
1*3*4*5	6	48	0	8,110179E+00	<0,001
2*3*4*5	3	24	0	6,846131E+00	<0,001
1*2*3*4*5	14	96	0	9,631078E+00	<0,001
Error	82	5400	0		

Tablica 9. prikazuje utjecaj različitih boja cementa na  $a^*$  i  $b^*$  parametre boje za  $\text{LiS}_2$  uzorke bez obložne keramike na različitim podlogama (Model 2). Kod opakno bijelog cementa na svim je podlogama zabilježen je znatan pad  $a^*$  i  $b^*$  vrijednosti. Povećanjem debljine cementa obrazac kretanja  $a^*$  i  $b^*$  vrijednosti nije promijenjen, nego je samo naglašen utjecaj kakav je zabilježen kod tanjeg sloja cementa. Debljina i stupanj translucencije imali su jednak utjecaj na  $a^*$  i  $b^*$  vrijednosti kao i na podlogama bez cementa (Tablica 10.).

Rezultati analize varijance za  $a^*$  vrijednosti za Model 2 prikazani su u Tablici 11., a za  $b^*$  vrijednosti u Tablici 12. Razlike  $a^*$  i  $b^*$  vrijednosti uzrokovane cementima pokazale su se statistički značajnima ( $p < 0,001$  za oba parametra).

**Tablica 9.** Utjecaj različitih boja cementa na  $a^*$  i  $b^*$  parametre boje za  $\text{LiS}_2$  uzorke bez obložne keramike na različitim podlogama (Model 2); ↓ = pad vrijednosti; ↑ = porast vrijednosti; ↓↓ = jak pad vrijednosti

	transparentni		bijeli		žuti		smeđi		opakno bijeli	
	$a^*$	$b^*$	$a^*$	$b^*$	$a^*$	$b^*$	$a^*$	$b^*$	$a^*$	$b^*$
ND1	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↓↓	↓↓
ND3	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓↓	↓↓
ND5	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↓↓	↓↓
ND7	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↓↓	↓↓
ND9	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↓↓	↓↓

**Tablica 10.** Utjecaj različitih debljina i stupnjeva translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike bez obložne keramike na  $a^*$  i  $b^*$  parametre boje na različitim podlogama (Model 2); ↓ = pad vrijednosti; ↑ = porast vrijednosti; ↓↓ = jak pad vrijednosti

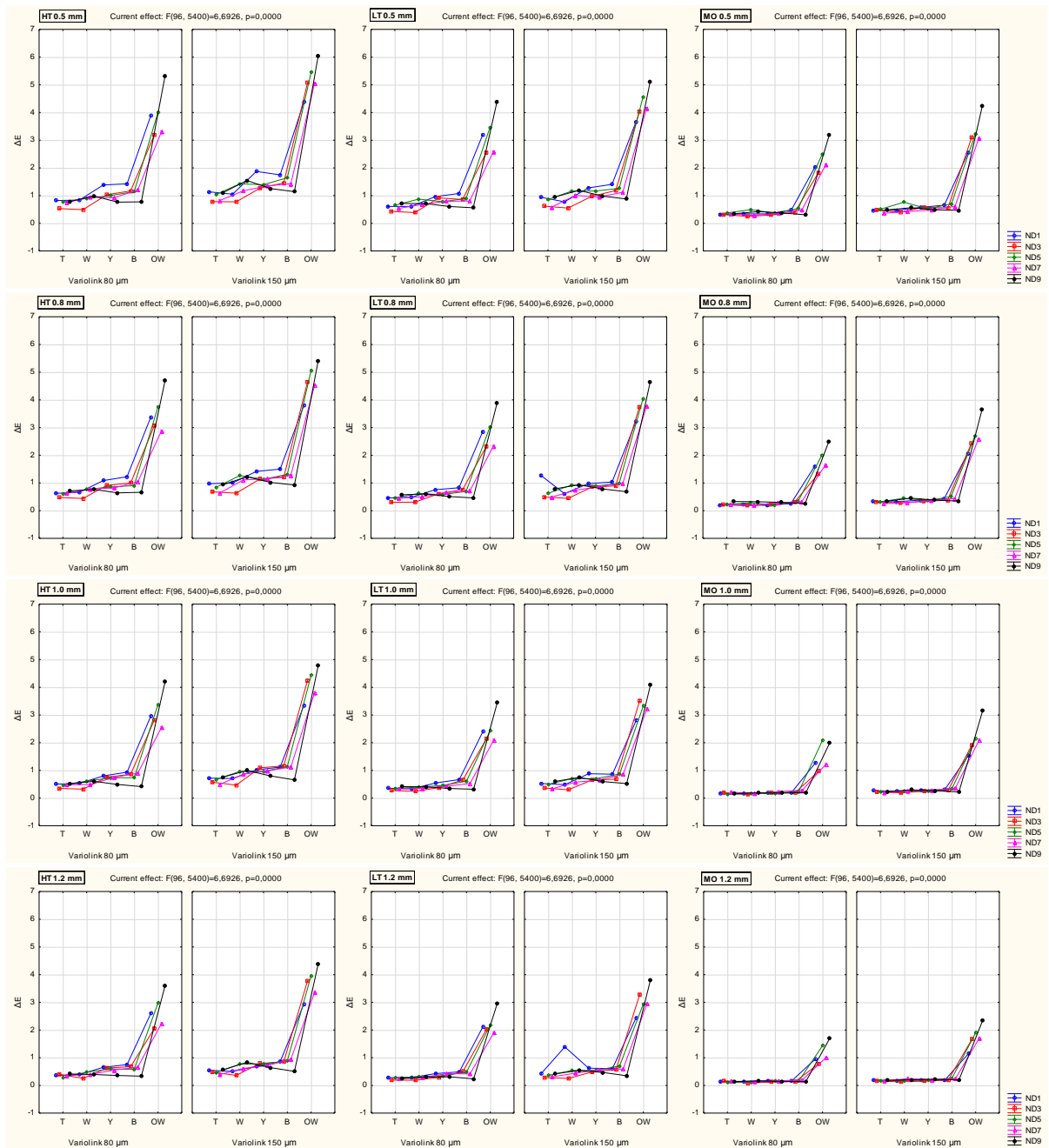
	Debljina e.max ↑		HT → LT		MO	
	$a^*$	$b^*$	$a^*$	$b^*$	$a^*$	$b^*$
ND1	↑	↓	↑	↑	↓↓	↓↓
ND3	↓	↓	↑	↓	↓↓	↓↓
ND5	↑	↑	↑	↓	↓↓	↓↓
ND7	↑	↑	↑	↑	↓↓	↓↓
ND9	↑	↑	↑	↑	↓↓	↓↓

**Tablica 11.** Rezultati analize varijance za a\* vrijednosti za Model 2 – utjecaj različitih boja i debljina cementa na boju LiS<sub>2</sub> staklokeramike različitih debljina i stupnjeva translucencije uz različite boje podloge

	SS	Df	MS	F	p
Intercept	18368,89	1	18368,89	2002299	<0,001
{1}Boja podloge	2439,09	4	609,77	66468	<0,001
{2}Stupanj translucencije keramike	2891,02	2	1445,51	157568	<0,001
{3}Debljina keramike	270,63	3	90,21	9833	<0,001
{4}Boja cementa	1142,12	4	285,53	31124	<0,001
{5}Debljina cementa	0,64	1	0,64	70	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike	453,06	8	56,63	6173	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	391,82	12	32,65	3559	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	21,06	6	3,51	383	<0,001
Boja podloge*Boja cementa	133,26	16	8,33	908	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Boja cementa	160,81	8	20,10	2191	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa	72,56	12	6,05	659	<0,001
Boja podloge*Debljina cementa	6,80	4	1,70	185	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina cementa	0,01	2	0,01	1	0,532427 NS
Debljina keramike*Debljina cementa	0,06	3	0,02	2	0,105137 NS
Boja cementa*Debljina cementa	63,55	4	15,89	1732	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	49,63	24	2,07	225	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Boja cementa	28,14	32	0,88	96	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Boja cementa	17,57	48	0,37	40	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Boja cementa	2,32	24	0,10	11	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina cementa	0,96	8	0,12	13	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina cementa	0,59	12	0,05	5	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina cementa	0,06	6	0,01	1	0,415185 NS
Boja podloge*Boja cementa*Debljina cementa	14,41	16	0,90	98	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Boja cementa*Debljina cementa	3,68	8	0,46	50	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa*Debljina cementa	2,34	12	0,19	21	<0,001
1*2*3*4	4,01	96	0,04	5	<0,001
1*2*3*5	0,23	24	0,01	1	0,385963 NS
1*2*4*5	2,39	32	0,07	8	<0,001
1*3*4*5	0,95	48	0,02	2	<0,001
2*3*4*5	0,47	24	0,02	2	<0,001
1*2*3*4*5	0,90	96	0,01	1	0,436681 NS
Error	49,54	5400	0,01		

**Tablica 12.** Rezultati analize varijance za b\* vrijednosti za Model 2 – utjecaj različitih boja i debljina cementa na boju LiS<sub>2</sub> staklokeramike različitih debljina i stupnjeva translucencije uz različite boje podloge

	SS	Df	MS	F	p
Intercept	725420,7	1	725420,7	42994239	<0,001
{1}Boja podloge	31959,7	4	7989,9	473548	<0,001
{2}Stupanj translucencije keramike	22018,2	2	11009,1	652487	<0,001
{3}Debljina keramike	42,8	3	14,3	846	<0,001
{4}Boja cementa	8364,1	4	2091,0	123930	<0,001
{5}Debljina cementa	33,7	1	33,7	1997	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike	2328,1	8	291,0	17247	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	3520,2	12	293,4	17386	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	23,5	6	3,9	232	<0,001
Boja podloge*Boja cementa	516,1	16	32,3	1912	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Boja cementa	683,8	8	85,5	5066	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa	195,2	12	16,3	964	<0,001
Boja podloge*Debljina cementa	11,1	4	2,8	164	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina cementa	1,7	2	0,9	51	<0,001
Debljina keramike*Debljina cementa	0,6	3	0,2	12	<0,001
Boja cementa*Debljina cementa	144,0	4	36,0	2133	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	378,9	24	15,8	936	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Boja cementa	81,8	32	2,6	152	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Boja cementa	30,0	48	0,6	37	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Boja cementa	6,5	24	0,3	16	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina cementa	1,8	8	0,2	13	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina cementa	2,2	12	0,2	11	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina cementa	0,3	6	0,1	3	0,003613**
Boja podloge*Boja cementa*Debljina cementa	64,0	16	4,0	237	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Boja cementa*Debljina cementa	10,8	8	1,3	80	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa*Debljina cementa	3,8	12	0,3	19	<0,001
1*2*3*4	16,8	96	0,2	10	<0,001
1*2*3*5	2,8	24	0,1	7	<0,001
1*2*4*5	22,9	32	0,7	42	<0,001
1*3*4*5	8,1	48	0,2	10	<0,001
2*3*4*5	3,0	24	0,1	7	<0,001
1*2*3*4*5	11,5	96	0,1	7	<0,001
Error	91,1	5400	0,0		



**Slika 86.** Prikaz aritmetičkih sredina za  $\Delta E^*$  prema te boji i debljini cementa, boji podloge, debljini i stupnju translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike ( $p < 0,001$  za model, ANOVA)

**Tablica 13.** Rezultati analize varijance za  $\Delta E^*$  vrijednosti za Model 2 – utjecaj različitih boja i debljina cementa na boju  $\text{LiS}_2$  staklokeramike različitih debljina i stupnjeva translucencije uz različite boje podloge

	SS	Df	MS	F	p
Intercept	6890,094	1	6890,094	837349,3	<0,001
{1}Boja podloge	49,779	4	12,445	1512,4	<0,001
{2}Stupanj translucencije keramike	645,080	2	322,540	39198,1	<0,001
{3}Debljina keramike	295,858	3	98,619	11985,2	<0,001
{4}Boja cementa	5862,817	4	1465,704	178126,2	<0,001
{5}Debljina cementa	175,192	1	175,192	21291,0	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike	3,592	8	0,449	54,6	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	4,238	12	0,353	42,9	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	7,862	6	1,310	159,3	<0,001
Boja podloge*Boja cementa	246,635	16	15,415	1873,3	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Boja cementa	268,350	8	33,544	4076,6	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa	101,739	12	8,478	1030,4	<0,001
Boja podloge*Debljina cementa	3,392	4	0,848	103,1	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina cementa	10,633	2	5,316	646,1	<0,001
Debljina keramike*Debljina cementa	4,799	3	1,600	194,4	<0,001
Boja cementa*Debljina cementa	128,055	4	32,014	3890,6	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	2,357	24	0,098	11,9	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Boja cementa	15,445	32	0,483	58,7	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Boja cementa	8,399	48	0,175	21,3	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Boja cementa	4,066	24	0,169	20,6	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina cementa	1,689	8	0,211	25,7	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina cementa	0,324	12	0,027	3,3	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina cementa	0,215	6	0,036	4,4	<0,001
Boja podloge*Boja cementa*Debljina cementa	34,242	16	2,140	260,1	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Boja cementa*Debljina cementa	1,226	8	0,153	18,6	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa*Debljina cementa	1,665	12	0,139	16,9	<0,001
1*2*3*4	9,218	96	0,096	11,7	<0,001
1*2*3*5	0,983	24	0,041	5,0	<0,001
1*2*4*5	8,577	32	0,268	32,6	<0,001
1*3*4*5	3,215	48	0,067	8,1	<0,001
2*3*4*5	1,201	24	0,050	6,1	<0,001
1*2*3*4*5	5,287	96	0,055	6,7	<0,001
Error	44,434	5400	0,008		

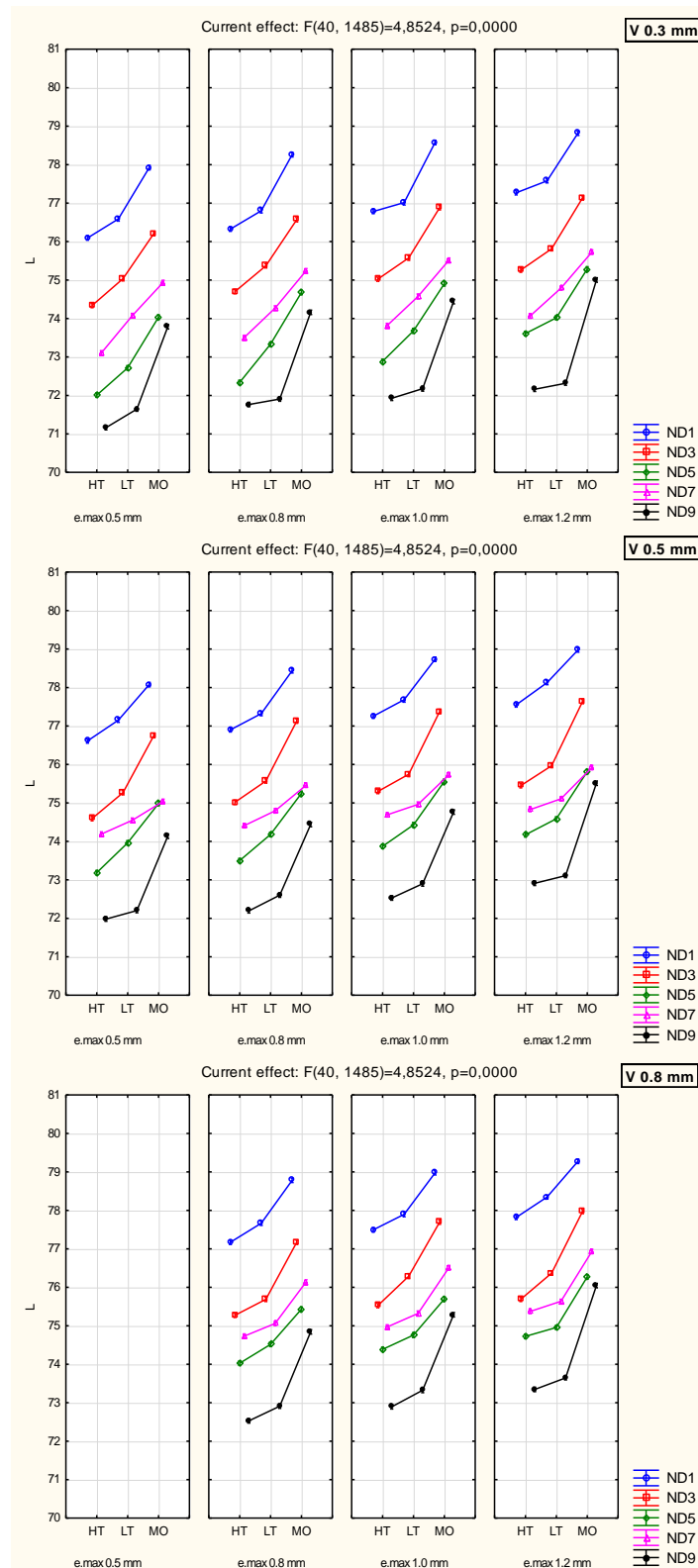
Aritmetičke sredine  $\Delta E^*$  vrijednosti za različite boje i debljine cementa prema boji podloge, debljini  $\text{LiS}_2$  keramike i stupnju translucencije prikazane su na Slici 86. Vrijednosti su se kretale između 0,03 i 6,33. Promjena  $\Delta E^*$  vrijednosti bila je relativno konstantna za sve boje i debljine cementa, dok je znatan skok uzrokovao opakno bijeli cement, u svim kombinacijama. Debljina cementa 0,15 mm uzrokovala je blagi porast  $\Delta E^*$  vrijednosti u odnosu na debljinu 0,08 mm. Razlike u boji padale su smanjenjem stupnja translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike, a pad je

zabilježen i povećanjem debljine keramike. Rezultati faktorske analize varijance pokazali su da su boja i debljina i cementa imali statistički značajan utjecaj na razlike u boji ( $p < 0,001$  za svaki parametar). Osim zasebno, navedeni su parametri i u međusobnim interakcijama, kao i u interakcijama s bojom podloge, debljinom i stupnjem translucencije keramike statistički značajno utjecali na  $\Delta E^*$  vrijednosti ( $p < 0,001$  za sve interakcije) (Tablica 13.).

**Tablica 14.** Rezultati analize varijance za  $L^*$  vrijednosti za Model 3 – utjecaj obložne keramike na boju uz različite boje podloge (bez cementa), stupnjeve translucencije i debljine  $LiS_2$  staklokeramike

	SS	Df	MS	F	p
Intercept		0			
{1}Boja podloge		0			
{2}Stupanj translucencije keramike		0			
{3}Debljina keramike	93,06652	2	46,53326	5429,215	<0,001
{4}Debljina obložne keramike	82,46868	1	82,46868	9621,939	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike		0			<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	2,20688	8	0,27586	32,186	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	0,84332	4	0,21083	24,598	<0,001
Boja podloge*Debljina obložne keramike	9,16375	4	2,29094	267,292	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	3,63819	2	1,81910	212,241	<0,001
Debljina keramike*Debljina obložne keramike	1,29959	5	0,25992	30,326	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	3,85348	16	0,24084	28,100	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	6,98269	8	0,87284	101,837	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	3,81097	20	0,19055	22,232	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	0,83472	10	0,08347	9,739	<0,001
1*2*3*4	1,66357	40	0,04159	4,852	<0,001
Error	12,72779	1485	0,00857		

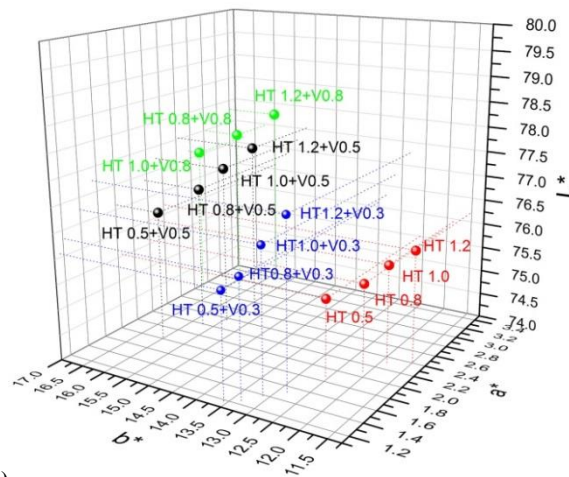
Kod ispitivanja utjecaja obložne keramike na boju uz različite boje podloge (bez cementa), stupnjeve translucencije i debljine  $LiS_2$  staklokeramike (Model 3),  $L^*$  vrijednosti kretale su se između 71,05 i 79,34. Najveće su vrijednosti izmjerene na podlozi ND1, a najmanje na podlozi ND9. Zabilježen je porast svjetline s porastom debljine obložne keramike. Blagi je porast zabilježen i povećanjem debljine  $LiS_2$  keramike, dok je nagli, gotovo linearni porast uočen smanjenjem stupnja translucencije jezgrene keramike (Slika 87.).



**Slika 87.** Prikaz aritmetičkih sredina za L\* prema debljini obložne keramike, boji podloge, debljini i stupnju translucencije LiS<sub>2</sub> keramike (p < 0,001 za model, ANOVA)

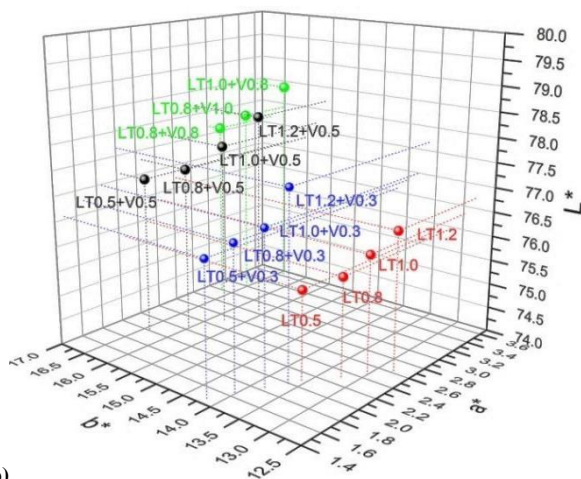


Zabilježen je porast svjetline dodavanjem obložne keramike u odnosu na istovjetnu kombinaciju  $\text{LiS}_2$  keramika + podloga (Slike 88. i 89. a do c). Debljina obložne keramike imala je statistički značajan utjecaj na boju modela ( $p < 0,001$ ). U interakciji s ostalim čimbenicima također je zabilježena statistički značajna promjena ( $p < 0,001$  za sve interakcije) (Tablica 14.).

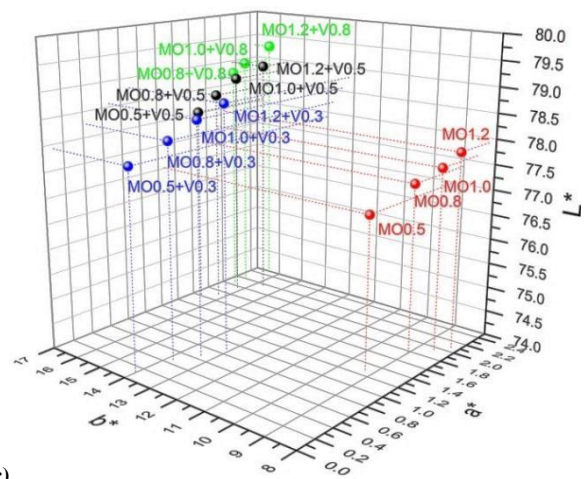


(a)

**Slika 88. (a)** Prostorni prikaz  $L^*a^*b^*$  vrijednosti za sve kombinacije HT  $\text{LiS}_2$  i obložne keramike na podlozi ND1

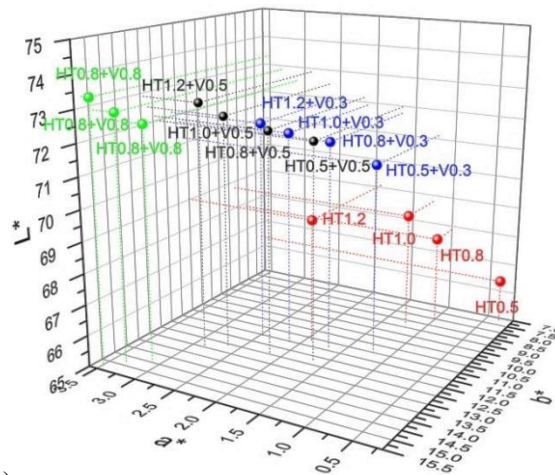


(b)



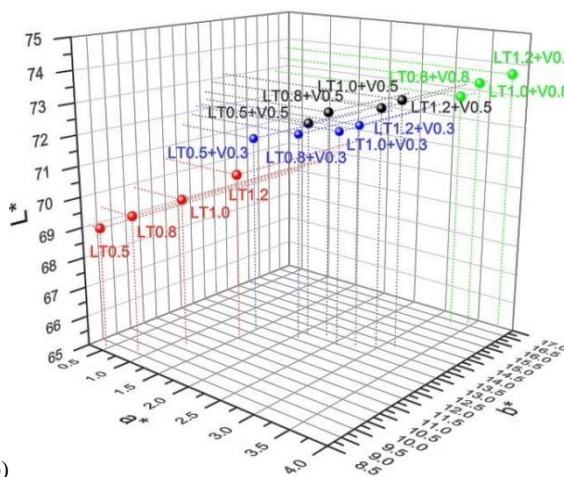
(c)

**Slika 88. (b)** Prostorni prikaz  $L^*a^*b^*$  vrijednosti za sve kombinacije LT i (c) MO  $\text{LiS}_2$  i obložne keramike na podlozi ND1

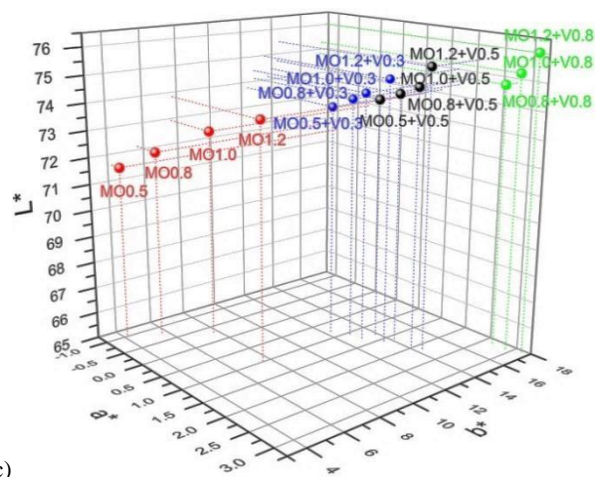


(a)

**Slika 89. (a)** Prostorni prikaz  $L^*a^*b^*$  vrijednosti za sve kombinacije HT  $\text{Li}_2\text{S}_2$  i obložne keramike na podlozi ND9



(b)



(c)

**Slika 89. (b)** Prostorni prikaz  $L^*a^*b^*$  vrijednosti za sve kombinacije LT i (c) MO  $\text{Li}_2\text{S}_2$  i podložne keramike na podlozi ND9

Rezultati analize varijance za  $a^*$  vrijednosti za ispitivanje utjecaja obložne keramike na boju uz različite boje podloge (bez cementa), stupnjeve translucencije i debljine  $\text{Li}_2\text{S}_2$  staklokeramike prikazani su u Tablici 15. Debljina obložne keramike statistički je značajno utjecala na  $a^*$  vrijednost modela koji je oponašao potpuno keramički nadomjestak, i kao zasebni parametar ( $p < 0,001$ ) i u svim interakcijama s ostalim čimbenicima ( $p < 0,001$ ).

Rezultati analize varijance za  $b^*$  vrijednosti za ispitivanje utjecaja obložne keramike na boju uz različite boje podloge (bez cementa), stupnjeve translucencije i debljine  $\text{Li}_2\text{S}_2$  staklokeramike prikazani su u Tablici 16. Debljina obložne keramike statistički je značajno utjecala na  $b^*$  vrijednost modela koji je oponašao potpuno keramički nadomjestak ( $p <$

0,001). Sve su interakcije također imale statistički značajan utjecaj ( $p < 0,001$  za sve interakcije).

**Tablica 15.** Rezultati analize varijance za  $a^*$  vrijednosti za Model 3 – utjecaj obložne keramike na boju uz različite boje podloge (bez cementa), stupnjeve translucencije i debljine  $LiS_2$  staklokeramike

	SS	Df	MS	F	p
Intercept		0			
{1}Boja podloge		0			
{2}Stupanj translucencije keramike		0			
{3}Debljina keramike	23,4435	2	11,7217	2260,49	<0,001
{4}Debljina obložne keramike	134,6688	1	134,6688	25970,33	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	26,5053	8	3,3132	638,93	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	0,1187	4	0,0297	5,72	<0,001
Boja podloge*Debljina obložne keramike	15,4760	4	3,8690	746,12	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	1,6914	2	0,8457	163,09	<0,001
Debljina keramike*Debljina obložne keramike	0,2343	5	0,0469	9,04	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	0,4805	16	0,0300	5,79	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	9,3973	8	1,1747	226,53	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	2,1910	20	0,1095	21,13	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	0,6421	10	0,0642	12,38	<0,001
1*2*3*4	1,9550	40	0,0489	9,43	<0,001
Error	7,7004	1485	0,0052		

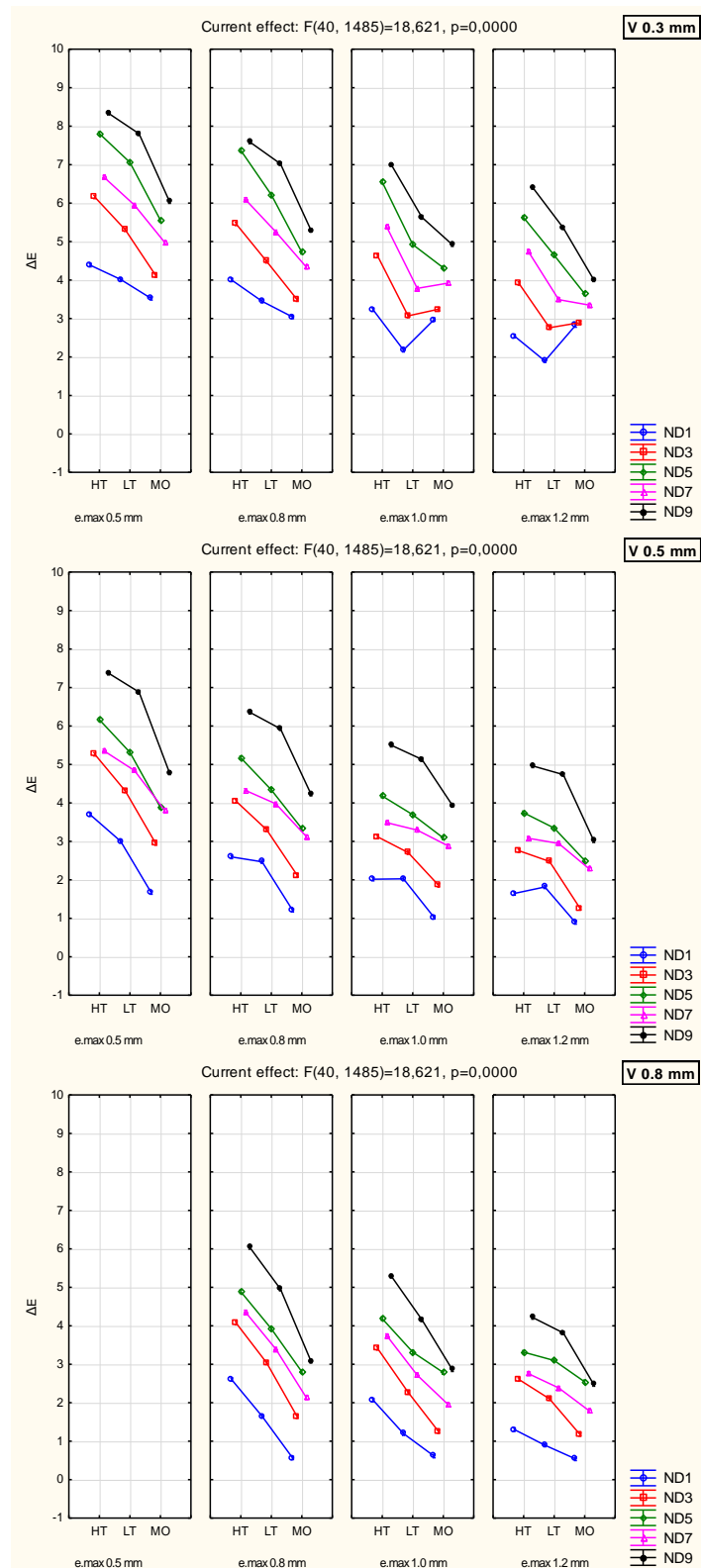
**Tablica 16.** Rezultati analize varijance za  $b^*$  vrijednosti za Model 3 – utjecaj obložne keramike na boju uz različite boje podloge (bez cementa), stupnjeve translucencije i debljine  $LiS_2$  staklokeramike

	SS	Df	MS	F	p
Intercept		0			
{1}Boja podloge		0			
{2}Stupanj translucencije keramike		0			
{3}Debljina keramike	17,944	2	8,972	1414,7	<0,001
{4}Debljina obložne keramike	1051,704	1	1051,704	165836,0	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	35,037	8	4,380	690,6	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	0,116	4	0,029	4,6	0,0011**
Boja podloge*Debljina obložne keramike	69,391	4	17,348	2735,5	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	13,220	2	6,610	1042,3	<0,001
Debljina keramike*Debljina obložne keramike	0,349	5	0,070	11,0	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	1,139	16	0,071	11,2	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	4,410	8	0,551	86,9	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	1,228	20	0,061	9,7	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	0,197	10	0,020	3,1	<0,001
1*2*3*4	2,227	40	0,056	8,8	<0,001
Error	9,418	1485	0,006		

Aritmetičke sredine  $\Delta E^*$  vrijednosti prema debljini obložne keramike, boji podloge te debljini i stupnju translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike prikazani su na Slici 90. Povećanjem debljine obložne keramike došlo je do pada razlike u boji u odnosu na kontrolnu skupinu. Pad je zabilježen i povećanjem debljine  $\text{LiS}_2$  keramike te smanjenjem stupnja njene translucencije. Najveće  $\Delta E^*$  vrijednosti dobivene su na podlozi ND9 (najveći  $\Delta E^* = 8,44$ , a najmanje na podlozi ND1 (najmanji  $\Delta E^* = 0,50$ ). Rezultati analize varijance pokazali su da je obložna keramika statistički značajno utjecala na  $\Delta E^*$  vrijednosti ( $p < 0,001$ ). Sve interakcije također su bile statistički značajne ( $p < 0,001$ ) (Tablica 17.).

**Tablica 17.** Rezultati analize varijance za  $\Delta E^*$  vrijednosti za Model 3 – utjecaj obložne keramike na boju uz različite boje podloge (bez cementa), stupnjeve translucencije i debljine  $\text{LiS}_2$  staklokeramike

	SS	Df	MS	F	p
Intercept		0			
{1}Boja podloge		0			
{2}Stupanj translucencije keramike		0			
{3}Debljina keramike	274,2550	2	137,1275	27537,10	<0,001
{4}Debljina obložne keramike	454,7367	1	454,7367	91317,41	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	5,9821	8	0,7478	150,16	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	30,0729	4	7,5182	1509,76	<0,001
Boja podloge*Debljina obložne keramike	13,0573	4	3,2643	655,52	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	18,2933	2	9,1466	1836,77	<0,001
Debljina keramike*Debljina obložne keramike	6,9742	5	1,3948	280,10	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	2,6328	16	0,1645	33,04	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	18,8088	8	2,3511	472,13	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	1,3040	20	0,0652	13,09	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	18,2131	10	1,8213	365,74	<0,001
1*2*3*4	3,7091	40	0,0927	18,62	<0,001
Error	7,3949	1485	0,0050		

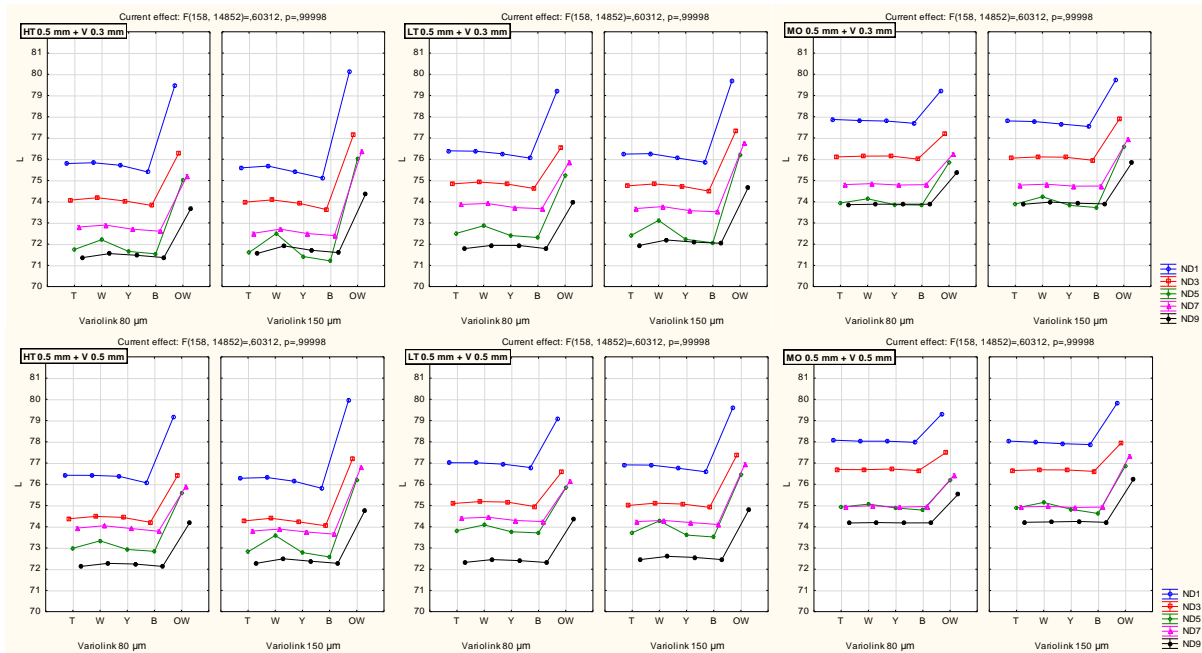


**Slika 90.** Prikaz aritmetičkih sredina za  $\Delta E^*$  prema debljini obložne keramike, boji podloge, debljini i stupnju translucencije Li<sub>2</sub>S<sub>2</sub> keramike ( $p < 0,001$  za model, ANOVA)

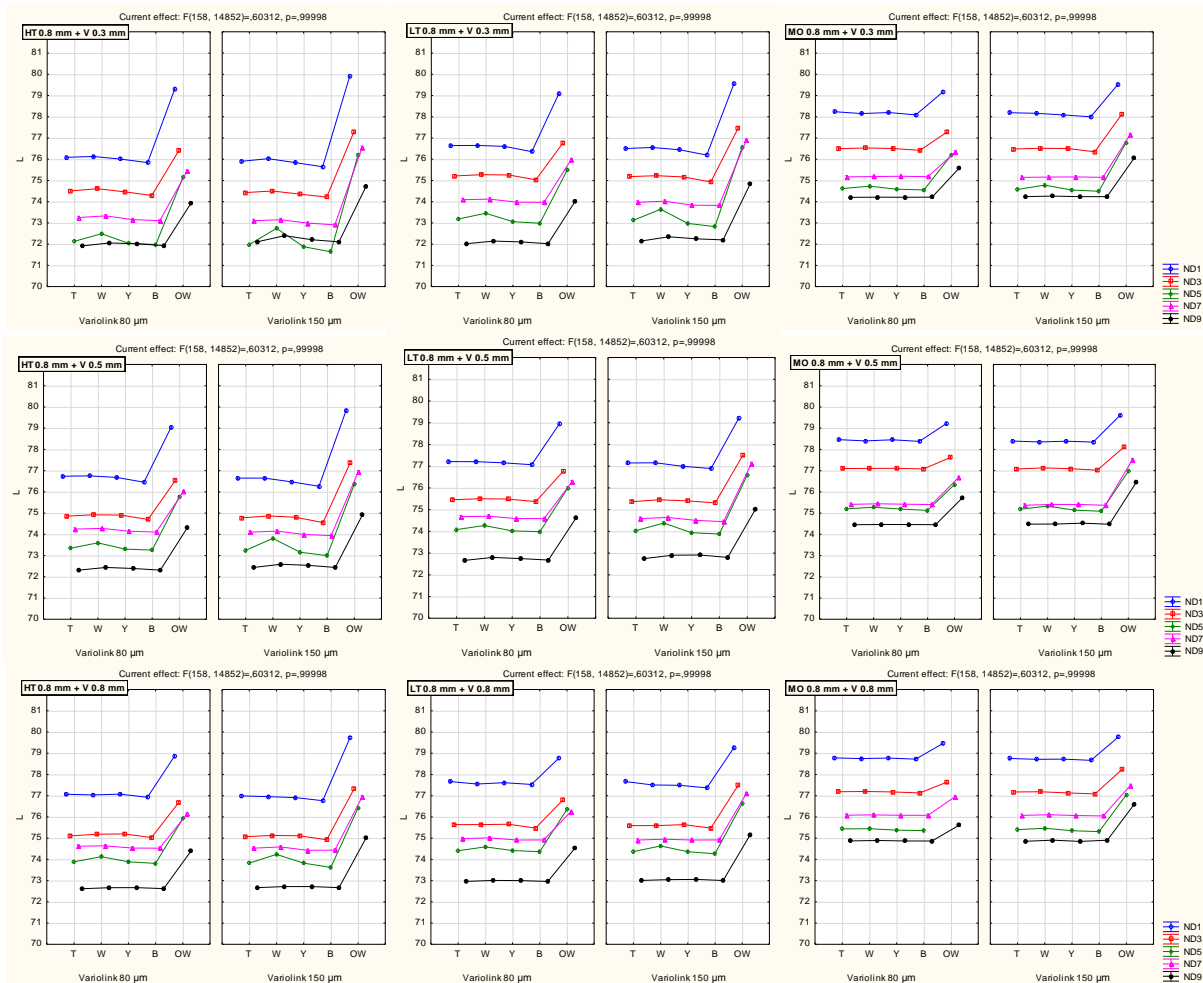
Kod ispitivanja utjecaja različitih boja i debljina cementa uz različite debljine obložne keramike, boje podloge, stupnjeve te translucencije i debljine LiS<sub>2</sub> staklokeramike na boju (Model 4) L\* vrijednosti kretale su se između 71,17 i 79,60. Svi su cementi uzrokovali relativno konstatnu i iznosom malu promjenu svjetline, dok je opakno bijeli cement izazvao znatan skok. Najveće su vrijednosti izmjerene na podlozi ND1 s opakno bijelim cementom u kombinaciji s obložnom keramikom debljine 0,3 mm i LS<sub>2</sub> keramika HT debljine 0,5 mm. Općenito je u svim kombinacijama opakno bijeli cement rezultirao najvećom svjetlinom uzoraka. Najmanje su vrijednosti zabilježene na podlozi ND9 sa smeđim cementom u kombinaciji s obložnom keramikom debljine 0,3 mm i LS<sub>2</sub> keramikom HT debljine 0,5 mm. Dodavanje obložne keramike i povećanje njezine debljine na svim je podlogama u kombinaciji s bilo kojim cementom dovelo do porasta svjetline. Jedinu je iznimku činila podloga ND1 s opakno bijelim cementom gdje je porastom debljine obložne keramike došlo do pada L\* vrijednosti (Slika 91.a do d). I boja i debljina cementa uzrokovale su statistički značajne promjene svjetline ( $p < 0,001$ ) (Tablica 18.). Značajnosti interakcija prikazane su u Tablici 18.

Rezultati analize varijance za a\* vrijednosti za obložne keramike uz različite boje i debljine cementa uz različite boje podloge, debljine i translucencije LiS<sub>2</sub> staklokeramike na boju prikazani su u Tablici 19. Obložna keramika imala je statistički značajan utjecaj na promjenu a\* vrijednosti ( $p < 0,001$ ). Rezultati analize interakcija prikazani su u Tablici 19.

Rezultati analize varijance za b\* vrijednosti za utjecaj različitih boja i debljina cementa na boju uz različite debljine obložne keramike, različite boje podloge, debljine i translucencije LiS<sub>2</sub> staklokeramike prikazani su u Tablici 20. Obložna keramika imala je statistički značajan utjecaj na promjenu b\* vrijednosti ( $p < 0,001$ ). Rezultati analize interakcija prikazani su u Tablici 20.

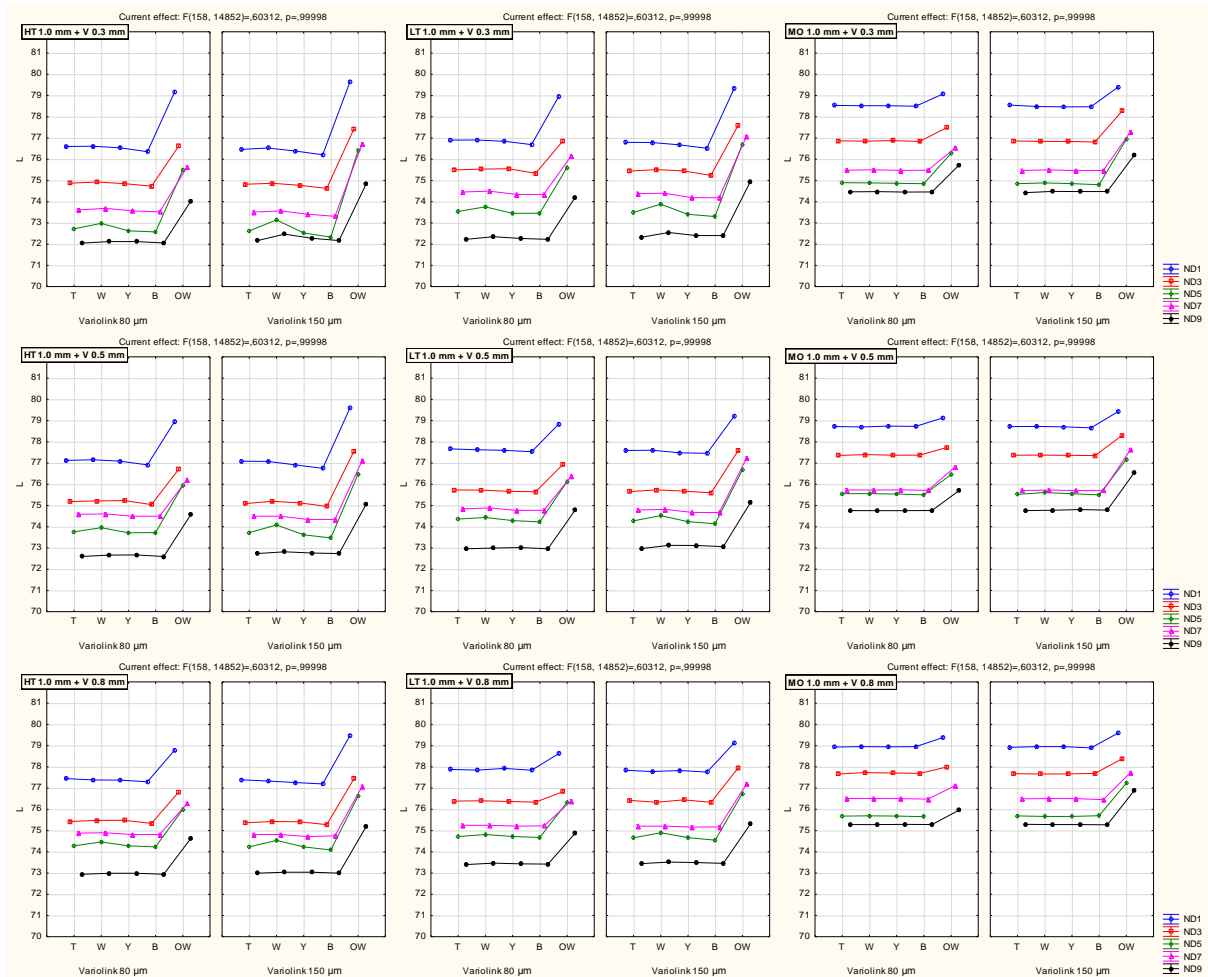


**Slika 91. (a)** Prikaz aritmetičkih sredina za  $L^*$  prema boji i debljini cementa, debljini obložne keramike, boji podloge te debljini i stupnju translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike ( $p = 0,99998$  za model, ANOVA)

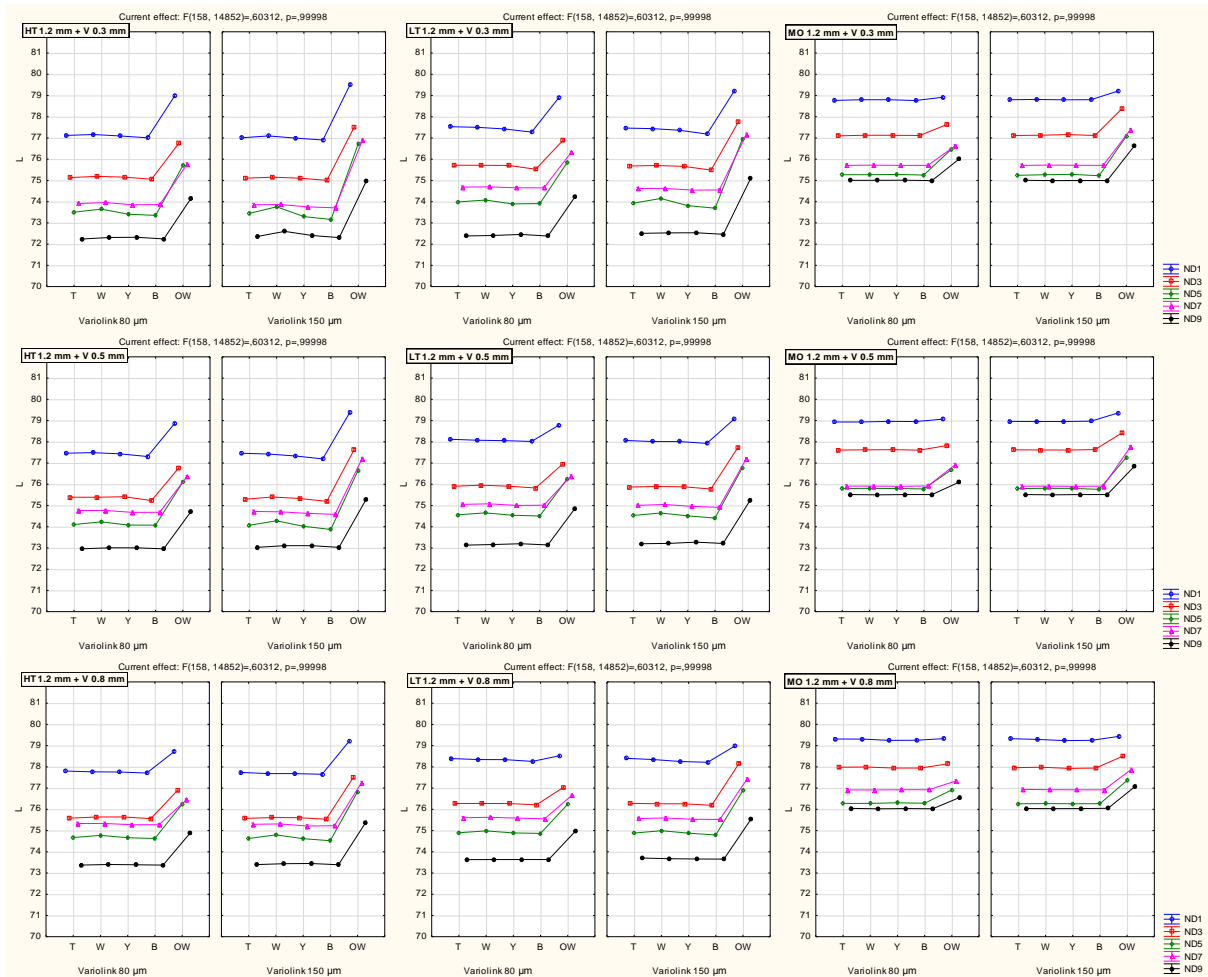


**Slika 91. (b)** Prikaz aritmetičkih sredina za  $L^*$  prema boji i debljini cementa, debljini obložne keramike, boji podloge te debljini i stupnju translucencije  $LiS_2$  keramike ( $p = 0,99998$  za model, ANOVA)





**Slika 91. (c)** Prikaz aritmetičkih sredina za  $L^*$  prema boji i debljini cementa, debljini obložne keramike, boji podloge te debljini i stupnju translucencije  $LiS_2$  keramike ( $p = 0,99998$  za model, ANOVA)



**Slika 91. (d)** Prikaz aritmetičkih sredina za  $L^*$  prema boji i debljini cementa, debljini obložne keramike boji podloge te debljini i stupnju translucencije  $LiS_2$  keramike ( $p = 0,99998$  za model, ANOVA)

**Tablica 18.** Rezultati analize varijance za L\* vrijednosti za Model 4 – utjecaj različitih boja i debljina cementa na boju uz različite debljine obložne keramike, različite boje podloge, debljine i translucencije LiS<sub>2</sub> staklokeramike

	SS	Df	MS	F	p
Intercept		0			
{1}Boja podloge		0			
{2}Stupanj translucencije keramike		0			
{3}Debljina keramike		0			
{4}Boja cementa		0			
{5}Debljina cementa		0			
{6}Debljina obložne keramike	712,0277	1	712,0277	66590,03	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	7,2116	6	1,2019	112,41	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	4,7460	2	2,3730	221,93	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa	2,2585	6	0,3764	35,20	<0,001
Boja podloge*Debljina obložne keramike	69,1503	4	17,2876	1616,76	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	28,9409	2	14,4705	1353,30	<0,001
Debljina keramike*Debljina obložne keramike	8,5855	3	2,8618	267,64	<0,001
Boja cementa*Debljina obložne keramike	68,9299	4	17,2325	1611,61	<0,001
Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,2605	1	0,2605	24,37	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	35,2035	14	2,5145	235,16	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Boja cementa	33,8871	30	1,1296	105,64	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Boja cementa	0,9119	14	0,0651	6,09	<0,001
Boja podloge*Debljina cementa	0,4120	6	0,0687	6,42	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina cementa	0,0061	2	0,0030	0,28	0,752914 NS
Debljina keramike*Boja cementa*Debljina cementa	0,1240	6	0,0207	1,93	0,071574 NS
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	53,4947	8	6,6868	625,36	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	29,8727	18	1,6596	155,21	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	3,9648	8	0,4956	46,35	<0,001
Boja podloge*Boja cementa*Debljina obložne keramike	15,5563	16	0,9723	90,93	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Boja cementa*Debljina obložne keramike	7,4558	8	0,9320	87,16	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa*Debljina obložne keramike	1,1033	18	0,0613	5,73	<0,001
Boja podloge*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,7285	4	0,1821	17,03	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,2804	2	0,1402	13,11	<0,001
Debljina keramike*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,0321	3	0,0107	1,00	0,391010 NS
Boja cementa*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	1,5828	4	0,3957	37,01	<0,001
1*2*3*4	4,6822	62	0,0755	7,06	<0,001
1*2*3*5	0,1357	14	0,0097	0,91	0,550979 NS
1*3*4*5	0,7004	30	0,0233	2,18	<0,001
2*3*4*5	0,2908	14	0,0208	1,94	<0,001
1*2*3*6	12,6905	38	0,3340	31,23	<0,001
1*2*4*6	11,3789	32	0,3556	33,26	<0,001
1*3*4*6	3,9273	78	0,0504	4,71	<0,001
2*3*4*6	0,9626	38	0,0253	2,37	<0,001
1*2*5*6	1,0365	8	0,1296	12,12	<0,001
1*3*5*6	0,0397	18	0,0022	0,21	0,999863 NS
2*3*5*6	0,0426	8	0,0053	0,50	0,858449 NS
1*4*5*6	1,6009	16	0,1001	9,36	<0,001
2*4*5*6	1,0877	8	0,1360	12,72	<0,001
3*4*5*6	0,0889	18	0,0049	0,46	0,973540 NS
1*2*3*4*5	0,5978	62	0,0096	0,90	0,693197 NS
1*2*3*4*6	2,5376	158	0,0161	1,50	<0,001
1*2*3*5*6	0,3246	38	0,0085	0,80	0,806293 NS
1*2*4*5*6	2,5189	32	0,0787	7,36	<0,001
1*3*4*5*6	0,6416	78	0,0082	0,77	0,934721 NS
2*3*4*5*6	0,1874	38	0,0049	0,46	0,998169 NS
1*2*3*4*5*6	1,0189	158	0,0064	0,60	0,999979 NS
Error	158,8081	14852	0,0107		

**Tablica 19.** Rezultati analize varijance za a\* vrijednosti za Model 4 – utjecaj različitih boja i debljina cementa na boju uz različite debljine obložne keramike, različite boje podloge, debljine i translucencije LiS<sub>2</sub> staklokeramike

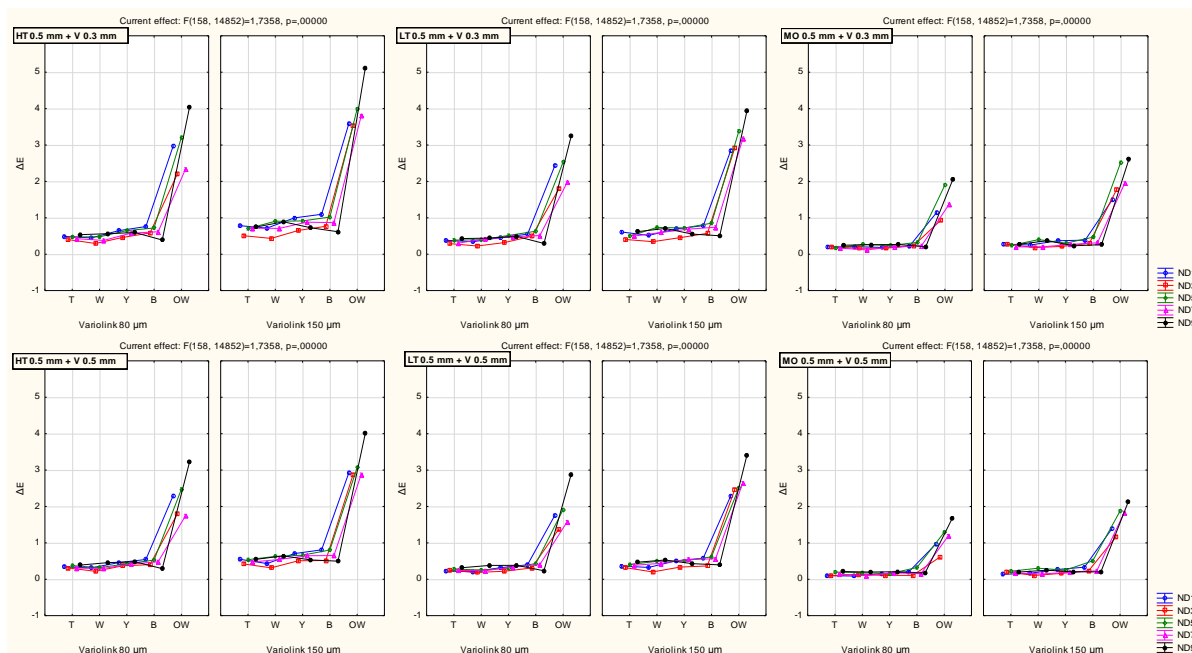
	SS	Df	MS	F	p
Intercept		0			
{1}Boja podloge		0			
{2}Stupanj translucencije keramike		0			
{3}Debljina keramike		0			
{4}Boja cementa		0			
{5}Debljina cementa		0			
{6}Debljina obložne keramike	1363,076	1	1363,076	180298,0	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	238,891	6	39,815	5266,5	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	0,249	2	0,124	16,5	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa	2,389	6	0,398	52,7	<0,001
Boja podloge*Debljina obložne keramike	183,931	4	45,983	6082,3	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	18,579	2	9,289	1228,7	<0,001
Debljina keramike*Debljina obložne keramike	1,263	3	0,421	55,7	<0,001
Boja cementa*Debljina obložne keramike	14,614	4	3,653	483,3	<0,001
Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,014	1	0,014	1,8	0,176769 NS
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	4,813	14	0,344	45,5	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Boja cementa	3,439	30	0,115	15,2	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Boja cementa	0,355	14	0,025	3,4	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina cementa	0,058	6	0,010	1,3	0,258270 NS
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina cementa	0,038	2	0,019	2,5	0,078435 NS
Debljina keramike*Boja cementa*Debljina cementa	0,093	6	0,016	2,1	0,055249 NS
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	85,632	8	10,704	1415,9	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	16,083	18	0,893	118,2	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	6,473	8	0,809	107,0	<0,001
Boja podloge*Boja cementa*Debljina obložne keramike	2,418	16	0,151	20,0	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Boja cementa*Debljina obložne keramike	1,060	8	0,133	17,5	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa*Debljina obložne keramike	0,175	18	0,010	1,3	0,183742 NS
Boja podloge*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,237	4	0,059	7,8	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,122	2	0,061	8,1	<0,001
Debljina keramike*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,021	3	0,007	0,9	0,429886 NS
Boja cementa*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,874	4	0,218	28,9	<0,001
1*2*3*4	0,924	62	0,015	2,0	<0,001
1*2*3*5	0,218	14	0,016	2,1	0,010994*
1*3*4*5	0,598	30	0,020	2,6	<0,001
2*3*4*5	0,178	14	0,013	1,7	0,051989 NS
1*2*3*6	20,281	38	0,534	70,6	<0,001
1*2*4*6	0,960	32	0,030	4,0	<0,001
1*3*4*6	0,759	78	0,010	1,3	0,044906*
2*3*4*6	0,510	38	0,013	1,8	0,002290**
1*2*5*6	0,104	8	0,013	1,7	0,089348 NS
1*3*5*6	0,160	18	0,009	1,2	0,273373 NS
2*3*5*6	0,060	8	0,007	1,0	0,441422 NS
1*4*5*6	1,072	16	0,067	8,9	<0,001
2*4*5*6	0,040	8	0,005	0,7	0,732081 NS
3*4*5*6	0,059	18	0,003	0,4	0,980763 NS
1*2*3*4*5	1,070	62	0,017	2,3	<0,001
1*2*3*4*6	1,717	158	0,011	1,4	<0,001
1*2*3*5*6	0,331	38	0,009	1,2	0,241368 NS
1*2*4*5*6	0,276	32	0,009	1,1	0,266640 NS
1*3*4*5*6	0,591	78	0,008	1,0	0,475317 NS
2*3*4*5*6	0,283	38	0,007	1,0	0,497380 NS
1*2*3*4*5*6	1,082	158	0,007	0,9	0,795684 NS
Error	112,283	14852	0,008		

\* značajno na razini p < 0,05; \*\* značajno na razini p < 0,01

**Tablica 20.** Rezultati analize varijance za b\* vrijednosti za Model 4 – utjecaj različitih boja i debljina cementa na boju uz različite debljine obložne keramike, različite boje podloge, debljine i translucencije LiS<sub>2</sub> staklokeramike

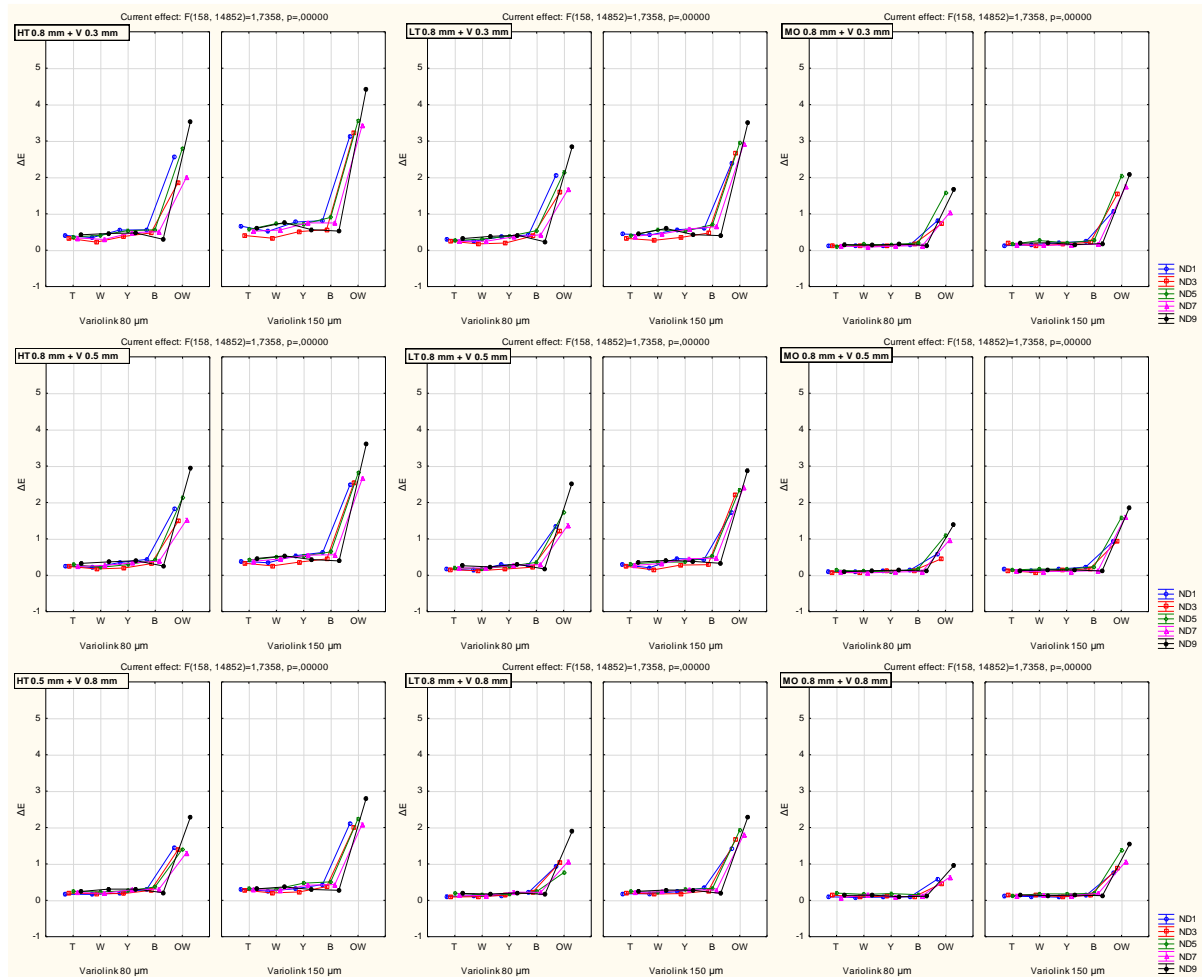
	SS	Df	MS	F	p
Intercept		0			
{1}Boja podloge		0			
{2}Stupanj translucencije keramike		0			
{3}Debljina keramike		0			
{4}Boja cementa		0			
{5}Debljina cementa		0			
{6}Debljina obložne keramike	11421,51	1	11421,51	1060236	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	358,52	6	59,75	5547	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	0,55	2	0,27	25	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa	5,26	6	0,88	81	<0,001
Boja podloge*Debljina obložne keramike	595,67	4	148,92	13824	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	121,02	2	60,51	5617	<0,001
Debljina keramike*Debljina obložne keramike	2,39	3	0,80	74	<0,001
Boja cementa*Debljina obložne keramike	100,92	4	25,23	2342	<0,001
Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,05	1	0,05	5	0,024247*
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	11,49	14	0,82	76	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Boja cementa	6,70	30	0,22	21	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Boja cementa	1,61	14	0,12	11	<0,001
Boja podloge*Debljina cementa	0,38	6	0,06	6	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina cementa	0,05	2	0,03	2	0,083357 NS
Debljina keramike*Boja cementa*Debljina cementa	0,22	6	0,04	3	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	49,39	8	6,17	573	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	9,46	18	0,53	49	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	3,84	8	0,48	45	<0,001
Boja podloge*Boja cementa*Debljina obložne keramike	7,75	16	0,48	45	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Boja cementa*Debljina obložne keramike	6,74	8	0,84	78	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa*Debljina obložne keramike	2,53	18	0,14	13	<0,001
Boja podloge*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,93	4	0,23	22	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,11	2	0,05	5	0,006961**
Debljina keramike*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,06	3	0,02	2	0,149146 NS
Boja cementa*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,14	4	0,04	3	0,010108*
1*2*3*4	1,96	62	0,03	3	<0,0010
1*2*3*5	0,24	14	0,02	2	0,078140 NS
1*3*4*5	0,72	30	0,02	2	<0,001
2*3*4*5	0,18	14	0,01	1	0,276546 NS
1*2*3*6	18,25	38	0,48	45	<0,001
1*2*4*6	2,54	32	0,08	7	<0,001
1*3*4*6	4,27	78	0,05	5	<0,001
2*3*4*6	2,63	38	0,07	6	<0,001
1*2*5*6	0,17	8	0,02	2	0,048970*
1*3*5*6	0,41	18	0,02	2	0,003655**
2*3*5*6	0,14	8	0,02	2	0,108268 NS
1*4*5*6	3,07	16	0,19	18	<0,001
2*4*5*6	0,28	8	0,04	3	<0,001
3*4*5*6	0,29	18	0,02	1	0,084997 NS
1*2*3*4*5	1,47	62	0,02	2	<0,001
1*2*3*4*6	4,83	158	0,03	3	<0,001
1*2*3*5*6	0,68	38	0,02	2	0,007116**
1*2*4*5*6	0,82	32	0,03	2	<0,001
1*3*4*5*6	1,93	78	0,02	2	<0,001
2*3*4*5*6	0,38	38	0,01	1	0,585549 NS
1*2*3*4*5*6	3,75	158	0,02	2	<0,001
Error	159,99	14852	0,01		

\* značajno na razini p < 0,05; \*\* značajno na razini p < 0,01

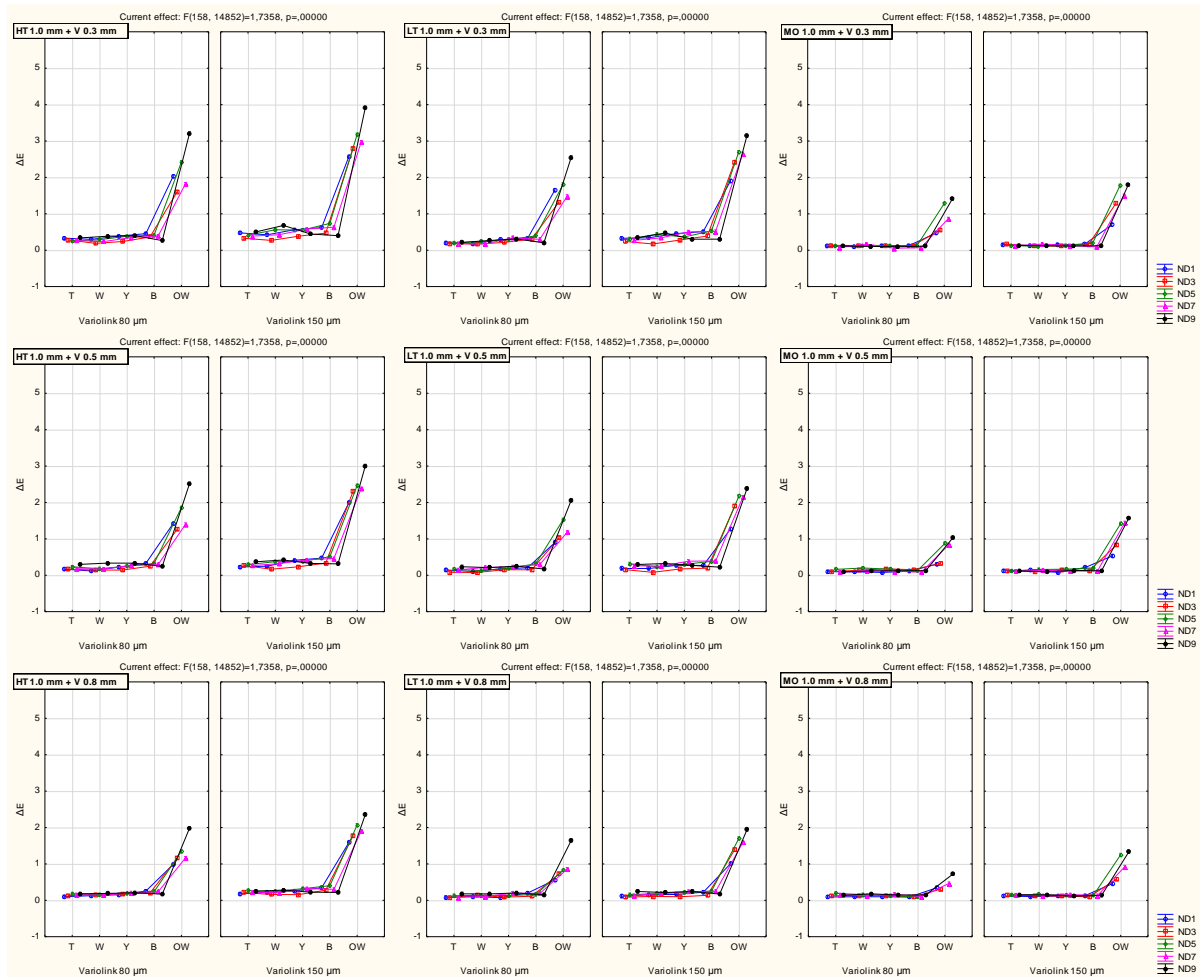


**Slika 92. (a)** Prikaz aritmetičkih sredina za  $\Delta E^*$  prema različitim debljinama obložne keramike, boji podloge, boji i debljini cementa, debljini i stupnju translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike ( $p < 0,001$  za model, ANOVA)

Aritmetičke sredine  $\Delta E^*$  vrijednosti prema različitim debljinama obložne keramike, boji podloge, boji i debljini cementa, debljini i stupnju translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike prikazane su na Slici 92.a do d. Uočljivo je da su se za sve cimente, osim za opakno bijeli, vrijednosti razlika u boji kretale između 0 i 1. Promjena  $\Delta E^*$  vrijednosti bila je relativno konstantna za sve boje i debljine cementa, dok je znatan skok uzrokovao opakno bijeli cement, u svim kombinacijama. Debljina cementa 0,15 mm uzrokovala je blagi porast  $\Delta E^*$  vrijednosti u odnosu na debljinu 0,08 mm. Razlike u boji padale su smanjenjem stupnja translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike, a pad je zabilježen i povećanjem debljine obložne keramike, kao i  $\text{LiS}_2$  keramike. Rezultati faktorske analize varijance pokazali su da je debljina obložne keramike imala statistički značajan utjecaj na razlike u boji ( $p < 0,001$  za svaki parametar). Analize interakcija prikazane su u Tablici 21. Budući da je nedostajala kombinacija  $\text{LiS}_2$  keramike debljine 0,5 mm i obložne keramike debljine 0,8 mm, značajnost utjecaja boje i debljine cementa ispitana je izbacivanjem obložne keramike debljine 0,8 mm iz modela. Rezultati su pokazali da je utjecaj cementa bio statistički značajan ( $p < 0,001$ ).

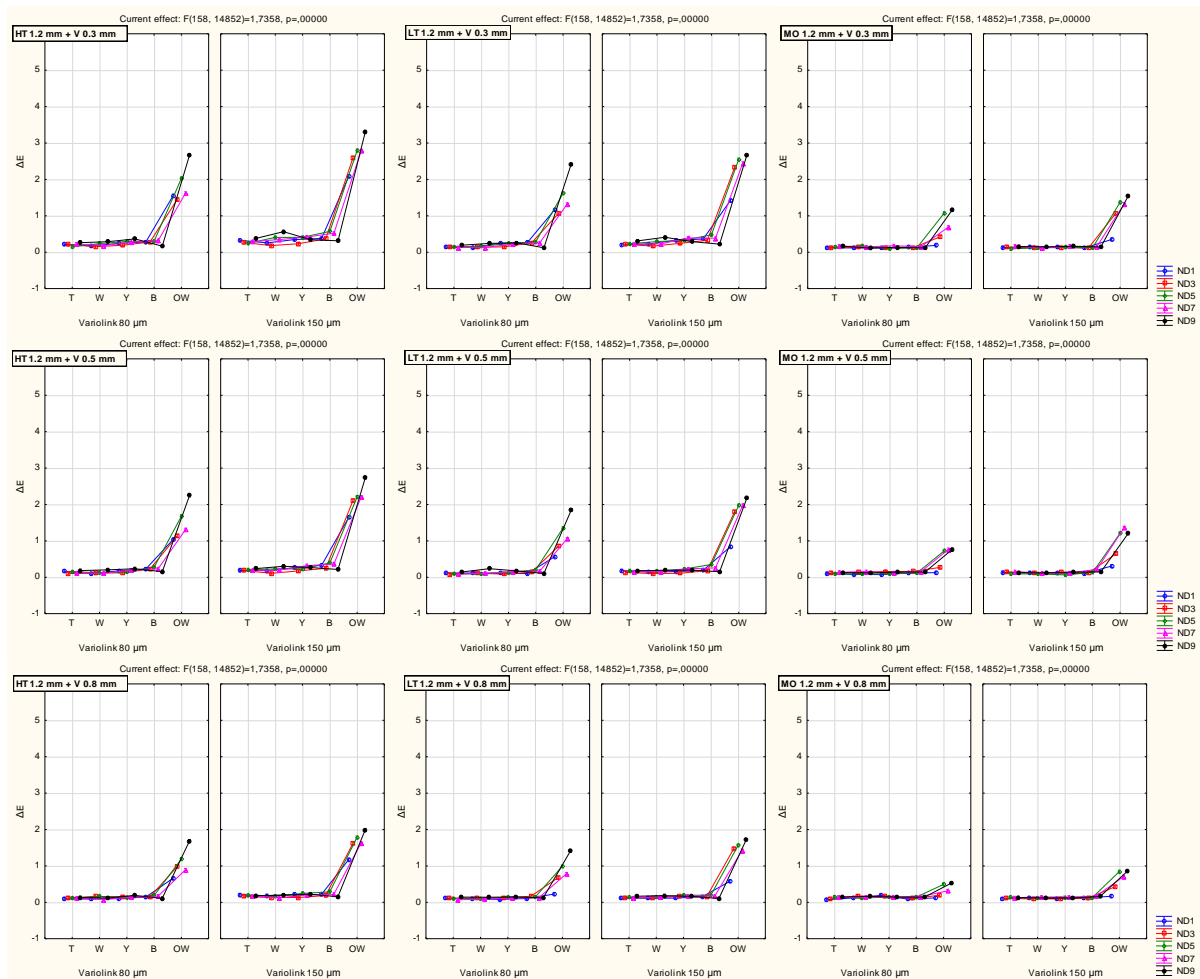


**Slika 92. (b)** Prikaz aritmetičkih sredina za  $\Delta E^*$  prema različitim debljinama obložne keramike, boji podloge, boji i debljini cementa, debljini i stupnju translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike ( $p < 0,001$  za model, ANOVA)



**Slika 92. (c)** Prikaz aritmetičkih sredina za  $\Delta E^*$  prema različitim debljinama obložne keramike, boji podloge, boji i debljini cementa, debljini i stupnju translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike ( $p < 0,001$  za model, ANOVA)





**Slika 92. (d)** Prikaz aritmetičkih sredina za  $\Delta E^*$  prema različitim debljinama obložne keramike, boji podloge, boji i debljini cementa, debljini i stupnju translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike ( $p < 0,001$  za model, ANOVA)

**Tablica 21.** Rezultati analize varijance za  $\Delta E^*$  vrijednosti za Model 4 – utjecaj različitih boja i debljina cementa na boju uz različite debljine obložne keramike, različite boje podloge, debljine i translucencije LiS<sub>2</sub> staklokeramike

	SS	Df	MS	F	p
Intercept		0			
{1}Boja podloge		0			
{2}Stupanj translucencije keramike		0			
{3}Debljina keramike		0			
{4}Boja cementa		0			
{5}Debljina cementa		0			
{6}Debljina obložne keramike	79,76880	1	79,76880	19174,33	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike	4,09922	6	0,68320	164,22	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	1,97007	2	0,98503	236,78	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa	0,45217	6	0,07536	18,11	<0,001
Boja podloge*Debljina obložne keramike	1,18884	4	0,29721	71,44	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	13,00924	2	6,50462	1563,54	<0,001
Debljina keramike*Debljina obložne keramike	3,25168	3	1,08389	260,54	<0,001
Boja cementa*Debljina obložne keramike	65,93337	4	16,48334	3962,16	<0,001
Debljina cementa*Debljina obložne keramike	1,98720	1	1,98720	477,67	<0,001
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike	0,71911	14	0,05136	12,35	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Boja cementa	8,58219	30	0,28607	68,76	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Boja cementa	0,48273	14	0,03448	8,29	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina cementa	0,04983	6	0,00830	2,00	0,062543 NS
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina cementa	0,03606	2	0,01803	4,33	0,013134*
Debljina keramike*Boja cementa*Debljina cementa	0,02888	6	0,00481	1,16	0,326338 NS
Boja podloge*Stupanj translucencije keramike*Debljina obložne keramike	1,34829	8	0,16854	40,51	<0,001
Boja podloge*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	0,74741	18	0,04152	9,98	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina keramike*Debljina obložne keramike	0,34016	8	0,04252	10,22	<0,001
Boja podloge*Boja cementa*Debljina obložne keramike	3,02995	16	0,18937	45,52	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Boja cementa*Debljina obložne keramike	4,60814	8	0,57602	138,46	<0,001
Debljina keramike*Boja cementa*Debljina obložne keramike	1,08282	18	0,06016	14,46	<0,001
Boja podloge*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,21366	4	0,05342	12,84	<0,001
Stupanj translucencije keramike*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,55050	2	0,27525	66,16	<0,001
Debljina keramike*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,02388	3	0,00796	1,91	0,124948 NS
Boja cementa*Debljina cementa*Debljina obložne keramike	0,78083	4	0,19521	46,92	<0,001
1*2*3*4	1,33588	62	0,02155	5,18	<0,001
1*2*3*5	0,17544	14	0,01253	3,01	<0,001
1*3*4*5	0,31840	30	0,01061	2,55	<0,001
2*3*4*5	0,07453	14	0,00532	1,28	0,210891 NS
1*2*3*6	0,56786	38	0,01494	3,59	<0,001
1*2*4*6	3,66065	32	0,11440	27,50	<0,001
1*3*4*6	1,41169	78	0,01810	4,35	<0,001
2*3*4*6	0,70432	38	0,01853	4,46	<0,001
1*2*5*6	0,23594	8	0,02949	7,09	<0,001
1*3*5*6	0,05550	18	0,00308	0,74	0,770824 NS
2*3*5*6	0,10759	8	0,01345	3,23	0,001116**
1*4*5*6	1,26637	16	0,07915	19,03	<0,001
2*4*5*6	0,22911	8	0,02864	6,88	<0,001
3*4*5*6	0,04041	18	0,00224	0,54	0,940807
1*2*3*4*5	0,45647	62	0,00736	1,77	<0,001
1*2*3*4*6	1,73663	158	0,01099	2,64	<0,001
1*2*3*5*6	0,20579	38	0,00542	1,30	0,101157 NS
1*2*4*5*6	0,71342	32	0,02229	5,36	<0,001
1*3*4*5*6	0,49700	78	0,00637	1,53	0,001827**
2*3*4*5*6	0,18246	38	0,00480	1,15	0,237394 NS
1*2*3*4*5*6	1,14097	158	0,00722	1,74	<0,001
Error	61,78710	14852	0,00416		

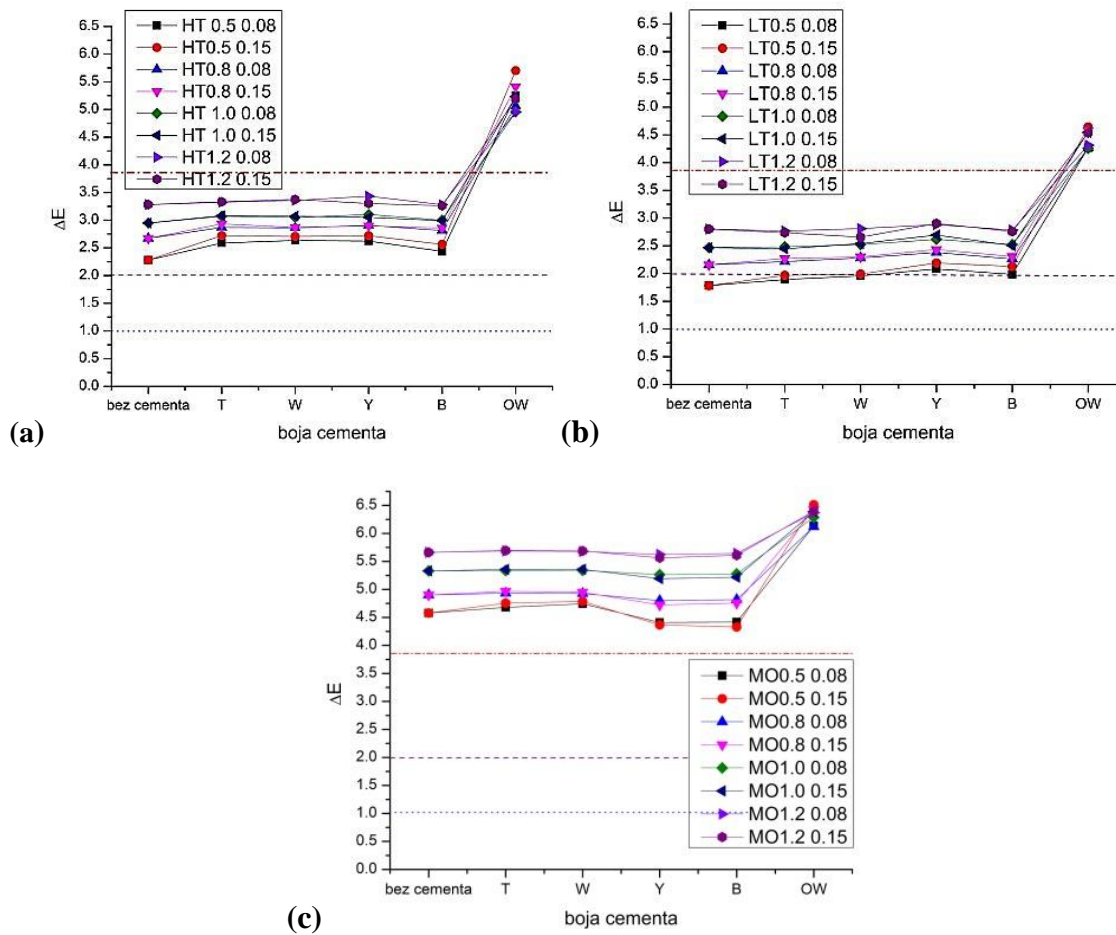
\* značajno na razini p < 0,05; \*\* značajno na razini p < 0,01

U drugom dijelu istraživanja cilj je bio utvrditi kojim je kombinacijama jezgrene LiS<sub>2</sub> keramike i podloga sa i bez cementa te kombinacijama jezgrene i obložne keramike i podloga sa i bez cementa moguće postići željenu boju nadomjeska, u ovom slučaju boju A2 prema ključu boja Vitapan Classical. Naj taj način se dodatno analizirala klinička relevantnost dobivenih razlika u boji.

Kod uzoraka LiS<sub>2</sub> keramike bez obložne keramike, na podlogama ND7 i ND9 sve su  $\Delta E^*$  vrijednosti premašile zadanu granicu za klinički neprihvatljivu razliku u boji od 3,7 jedinica. Vrijednosti su bile osobito visoke na podlozi ND9 gdje je zabilježena i najveća razlika u boji od 12,32. Prema stupnju translucencije, najveće i gotovo svim slučajevima klinički neprihvatljive  $\Delta E^*$  vrijednosti zabilježene su za MO LiS<sub>2</sub> keramiku. HT i LT keramikom zadovoljavajuća podudarnost boje u većini je slučajeva postignuta na ND1, ND3 i ND5 podlogama. Cementi uglavnom nisu klinički značajno utjecali na pomak razlike u boji, međutim, opakni bijeli cement većinom je uzrokovao znatan skok  $\Delta E^*$  vrijednosti (Slike 93.a do c). Jedino je na podlogama ND3 i ND5 opakno bijelim cementom obiju debljina postignuta zadovoljavajuća podudarnost boje, iako su  $\Delta E^*$  vrijednosti bile relativno visoke i kretale su se između 2.01 i 3.67.  $\Delta E^*$  vrijednosti manje od 1, dakle neprimjetna razlika u boji, zabilježena je isključivo kod LT keramika, i to na ND3 podlozi. Općenito je u ovom slučaju LT uzorcima na podlozi ND3 postignuta najbolja podudarnost boje, tj. najniže  $\Delta E^*$  vrijednosti. Problem su ovdje predstavljale jedino MO keramike veće debljine kojima su premašene dozvoljene razlike, kao i opakno bijeli cement u kombinaciji s MO keramikama. Nije uočena opće važeća pravilnost kretanja  $\Delta E^*$  vrijednosti.

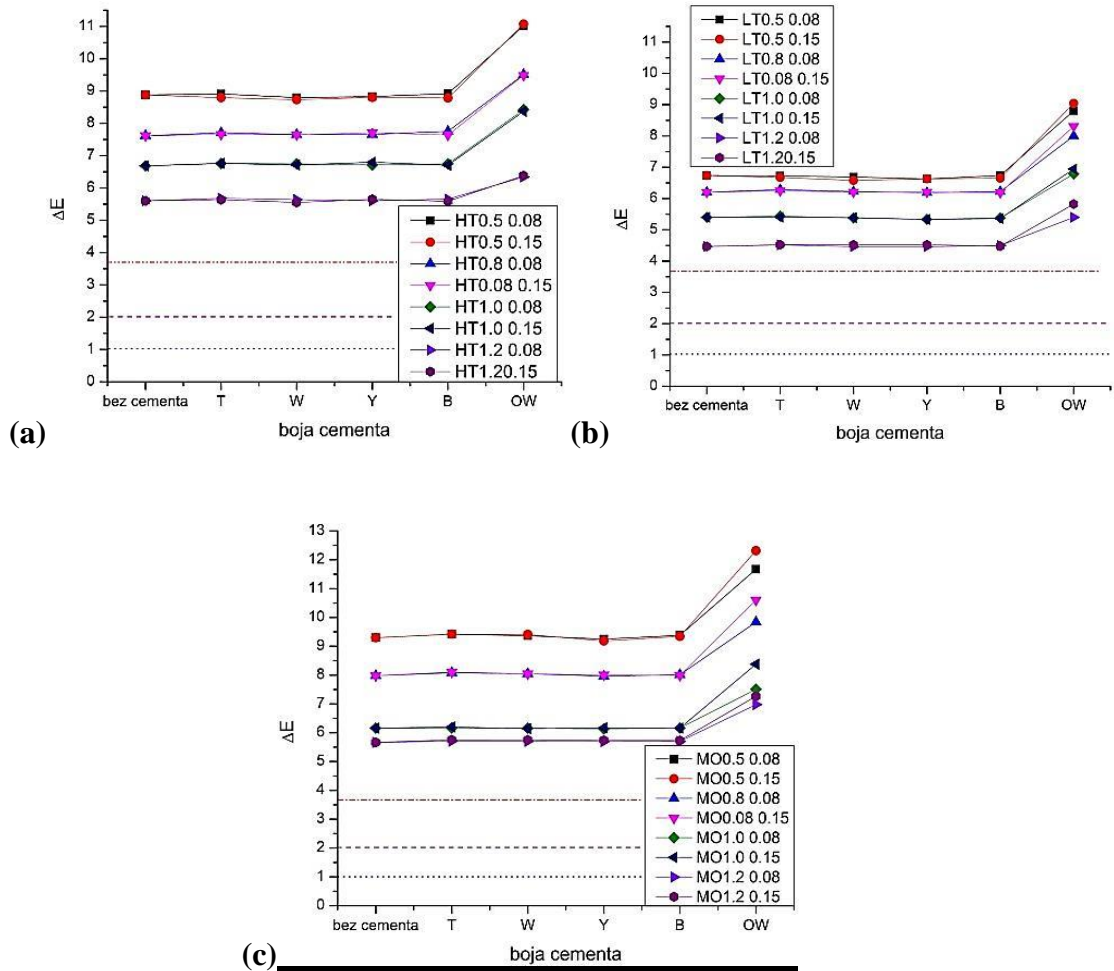
Nakon dodavanja obložne keramike debljine 0,3 mm većim brojem kombinacija postignuta je zadovoljavajuća podudarnost boje. Problem je i dalje u nekim slučajevima predstavljao opakno bijeli cement, osobito na podlogama ND1, ND5 i ND9. Kod ostalih cemenata uglavnom nisu zabilježene značajnije kretnje  $\Delta E^*$  vrijednosti. Razlike manje od 1 nisu pronađene ni za jednu kombinaciju, dok su najniže vrijednosti koje su se kretale između 1 i 2 uočene na podlozi ND1 te kod viših stupnjeva opaciteta podloga ND3 i ND7.

Dodavanjem obložne keramike debljine 0,5 mm, gotovo su sve dobivene razlike u boji postale klinički prihvatljive. Problematičan je ostao opakno bijeli cement na ND9 podlozi gdje su  $\Delta E^*$  vrijednosti i dalje prelazile dozvoljene granice, ali su bile značajno manje u odnosu na istovjetne kombinacije bez ili s tanjim slojem obložne keramike (Slike 94.a do c).

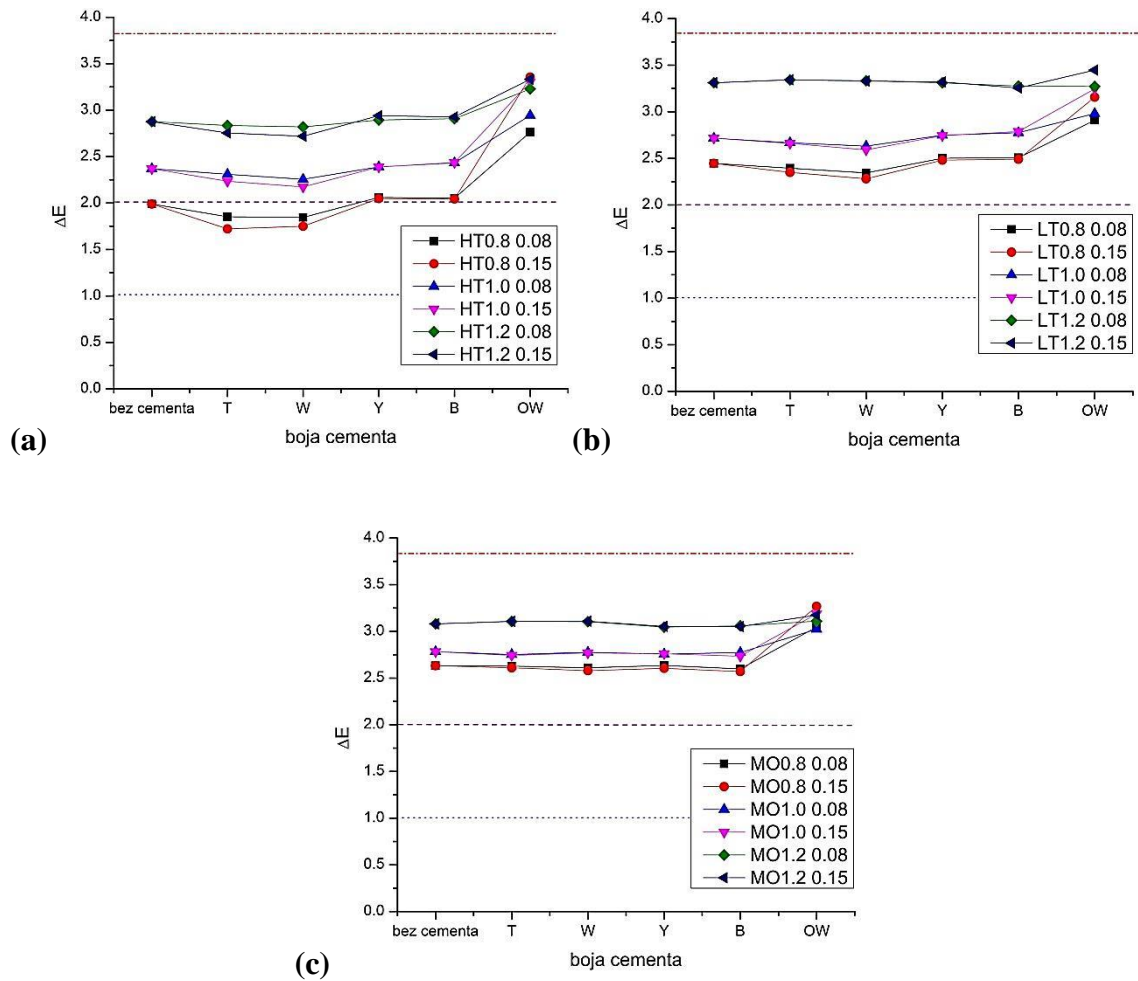


**Slika 93.(a) do (c)** Prikaz  $\Delta E^*$  vrijednosti u odnosu na boju A2 za različite boje cementa prema debljini cementa, stupnju translucencije te debljini  $\text{LiS}_2$  keramike na podlozi ND1

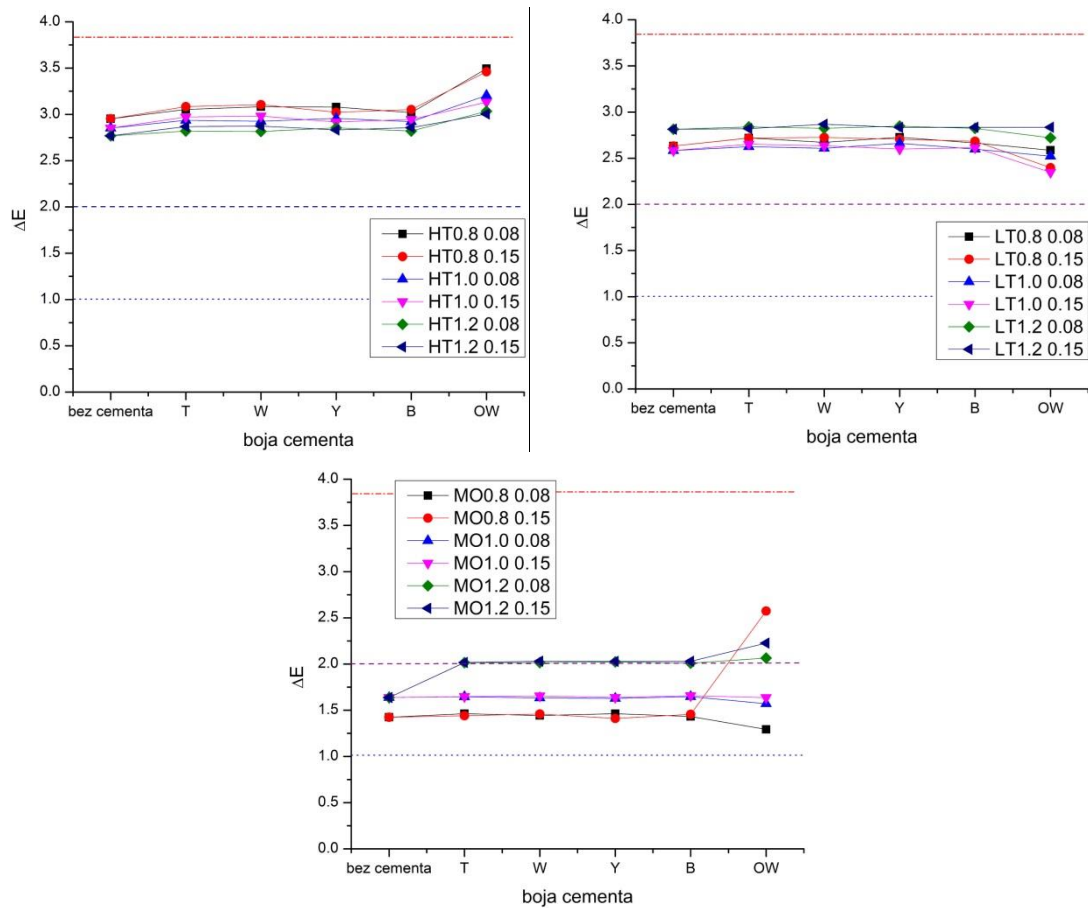
Kombiniranjem obložne keramike debljine 0,8 mm s  $\text{LiS}_2$  keramikom, sve su  $\Delta E^*$  vrijednosti postale klinički prihvatljive. Međutim, vrijednosti su uglavnom bile relativno velike te su se pretežno kretale iznad 2, dakle, radilo se o jasno uočljivim, iako prihvatljivim razlikama u boji (Slike 95. a do c). Što se tiče cemenata, ni s obzirom na boje ni na debljine nije uočen značajniji utjecaj na  $\Delta E^*$  vrijednosti. Čak je i pomak uzrokovan opakno bijelim cementom bio znatno manji. Prvi su put i za kombinacije s podlogom ND9 postignute zadovoljavajuće razlike u boji (Slike 96.a do c). Nijednom kombinacijom nije postignuta razlika u boji manja od 1. Kombinacijom MO  $\text{LiS}_2$  keramike i obložne keramike debljine 0,8 mm zabilježena je najbolja podudarnost boje za ND9 podlogu dotad (vidi Sl. 96.a do c).



**Slika 94.** (a) do (c) Prikaz  $\Delta E^*$  vrijednosti u odnosu na boju A2 za različite boje cementa prema debljini cementa, stupnju translucencije te debljini  $\text{Li}_2\text{S}_2$  keramike na podlozi ND9



**Slika 95. (a) do (c)** Prikaz  $\Delta E^*$  vrijednosti u odnosu na boju A2 za kombinaciju HT, LT i MO  $\text{LiS}_2$  keramike te obložne keramike debljine 0,8 mm prema različitim bojama i debljini cementa na podlozi ND1



**Slika 96. (a) do (c)** Prikaz  $\Delta E^*$  vrijednosti u odnosu na boju A2 za kombinaciju HT, LT i MO  $\text{LiS}_2$  keramike te obložne keramike debljine 0,8 mm prema različitim bojama i debljini cementa na podlozi ND9

## **4. RASPRAVA**

---



Potpuno keramičkim sustavima obično se pripisuju iznimna estetska svojstva (181) s mogućnošću približavanja optičkim svojstvima prirodnih zubi (212). Međutim, zadovoljavajuće kliničke rezultate nije uvijek lako postići jer različiti čimbenici utječu na estetski ishod protetske terapije (155). Stoga se brojna istraživanja bave postizanjem optimalne boje nadomjeska koja će se neprimjetno uklopiti u prirodni zubni niz. Većina njih dolazi do zaključka kako je usklađivanje boje iznimno teška zadaća i da ne postoji potpuno siguran način predviđanja konačne boje potpuno keramičkog nadomjeska (6). Međutim, malo istraživanja sustavno ispituje utjecaj čimbenika koji čine nadomjestak (podležeće zubno tkivo, sustav za pričvršćenje i keramika) na završnu estetiku, uzimajući u obzir činjenicu da će svi oni djelovati kao jedna cjelina. S obzirom na obično višeslojnu prirodu keramičkih nadomjestaka, njihov je konačni izgled određen translucencijom, bojom i debljinom svakog sloja. Stoga je za klinički uspjeh važno da kliničar i zubni tehničar budu upoznati s optičkim svojstvima materijala koji koriste te utjecajem svakog pojedinog čimbenika na završni rezultat.

U ovom je istraživanju oponašana klinička situacija u kojoj se potpuno keramički nadomjestak cementira na brušeni zub te se procjenjuje koliki utjecaj na konačnu boju nadomjeska imaju boja bataljka, debljina i translucencija keramike, obložna keramika te boja i debljina cementa. Uzorci su izrađeni u obliku pločica ( $\varnothing$  11 mm) koje su simulirale glavne elemente koji čine potpuno keramički nadomjestak. Nekoliko drugih dosad objavljenih istraživanja koriste istu metodologiju (7, 213) jer je na taj način jednostavnije kontrolirati i standardizirati dimenzije, a istovremeno se uz manji broj uzoraka može provesti veći broj mjerenja. U konkretnom je slučaju s pomoću ukupno 150 keramičkih uzoraka i 55 uzoraka podloga ND obavljeno 198 000 mjerenja. Prethodno provedeno pilot istraživanje pokazalo je da nema razlike u rezultatima usporedbe boje između zasebnih pločica koje se slažu jedna na drugu i slojevanih uzoraka, što je u skladu s rezultatima drugih autora (213).

Temeljem rezultata provedenog istraživanja odbacuju se nulte hipoteze; boja podloge, stupanj transucencije i debljina keramike, boja i debljina cementa te različite debljine obložne keramike imali su statistički značajan utjecaj na konačnu boju modela koji je simulirao potpuno keramički nadomjestak. Međutim, valja naglasiti da statistički značajan utjecaj nije nužno značio i klinički značajan utjecaj.

Sve ND podloge značajno su utjecale na boju LiS<sub>2</sub> keramike (IPS e.max Press) što je u skladu s rezultatima drugih autora (214). U istraživanje je uključena isključivo keramika boje A2. Čini se da su sve ND podloge bile tamnije od korištene keramike jer je L\* vrijednost kod svih kombinacija ND podloga + pločica jezgrene keramike bila veća nego kod same podloge,

s tim da su očekivano najviše  $L^*$  vrijednosti zabilježene kod svjetlijih podloga (ND1 i ND3), dok su prema tamnijima (ND5, ND7 i ND9) padale. Mijenjanjem boje podloge od svjetlije prema tamnijoj rasle su i  $\Delta E^*$  vrijednosti. Naime, kao kontrola je služila potpuno bijela podloga. Stoga je razlika u boji bila veća što je podloga bila tamnija, tj. različitija od bijele. Gotovo sve vrijednosti  $\Delta E^*$  bile su veće od razlike koja se smatrala jasno vidljivom razlikom u boji ( $\Delta E^* > 2$ ). Štoviše, većina je kombinacija imala  $\Delta E^*$  vrijednosti veće od 3,7 što se smatralo neprihvatljivom razlikom u boji. Jedino su kod LT i MO keramike debljine 1,2 mm na podlozi ND1 zabilježene razlike u boji oko te granične vrijednosti ili nešto niže.

Poznato je da povećanjem debljine keramike raste i njezin opacitet (215). Što je deblji sloj keramike to se veći dio difuzne refleksije odvija u samoj krunici, a sve manje refleksije izaziva podležće zubno tkivo. U ovom je istraživanju potvrđeno da povećanje debljine keramike može utjecati na boju nadomjeska, kao što pokazuju dobivene  $\Delta E^*$  te  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  vrijednosti. Najmanje  $\Delta E^*$  vrijednosti zabilježene su za jezgrenu keramiku debljine 1,2 mm. Razlog tomu je što povećanjem debljine keramike njezina prozirnost opada pa su se sve manje očitovale razlike između kontrolne i ispitanih podloga, a sve je dominantniji bio utjecaj boje same keramike. Međutim, valja naglasiti da se povećanjem debljine nadomjeska kompromitira integritet zuba nosača i ugrožava vitalitet pulpe pa se s tog aspekta nametnuo konzervativniji pristup. Tako su zadnjih nekoliko godina “u modi” tanji nadomjesci poput ljuskica koji su samim time i prozirniji (181, 200). Kako bi se unatoč tome postigla željena optička svojstva, neki proizvođači keramike nude u različitim stupnjevima translucencije. U ovo su istraživanje uključeni stupnjevi translucencije HT = *high translucency*, LT = *low translucency* i MO = *medium opacity* IPS e.max Press LiS<sub>2</sub> staklokeramike. Proizvođač nudi i HO = *high opacity*, dakle potpuno neprozirnu keramiku. Međutim, s obzirom na to da se kod nje ne očekuje nikakav utjecaj podležćih struktura na optička svojstva, ona nije uključena u istraživanje. Očekivano je smanjenjem prozirnosti keramike utjecaj podloge na njezinu boju bio sve manji, pri čemu su se razlike pokazale i statistički značajnima. Osim zbog utjecaja podležćih struktura, svjetlina je kod uzoraka većeg stupnja translucencije bila manja jer se veći dio upadne svjetlosti propuštao, što znači da se manje svjetlosti reflektiralo u mjerni uređaj. Na podlozi ND1, primjerice, za HT e.max pločice debljine 0,8 mm izmjerene su slične  $L^*$  vrijednosti kao kod LT keramike debljine 0,5 mm što pokazuje da se jednaka svjetlina može postići odabirom odgovarajućeg stupnja translucencije, unatoč tanjoj keramici. Kod MO pločica došlo je do porasta svjetline za jednu do dvije jedinice u odnosu na HT keramiku debljine 0,5 mm na ND1 podlozi; još veće razlike (oko tri jedinice) uočene su kod tamnijih podloga dok je najveći skok od pet jedinica zabilježen na ND9 podlozi. Tako je najdebljom

MO keramikom postignuta svjetlina usporediva s vrijednostima dobivenim s debljim HT ili tanjim LT pločicama na daleko svjetlijoj podlozi ND3.  $\Delta E^*$  vrijednosti padale su smanjenjem stupnja translucencije, što znači da su razlike u boji izazvane podlogom bile manje zamjetne što je keramika bila manje prozirna.

U prošlosti je znatna promjena boje podležećeg zubnog tkiva bila razlog za nekorištenje potpuno keramičkih sustava. Razvojem suvremenih materijala donekle se doskočilo tom problemu jer je pravilnim odabirom prozirnosti keramike moguće postići željeni estetski ishod. Dobiveni rezultati ukazuju na važnost prenošenja informacije o boji prepariranog dentina u laboratorij kako bi zubni tehničar mogao izraditi model bataljka odgovarajuće boje na kojem može provjeravati učinak podloge na boju nadomjeska. U slučaju jako diskoloriranog uporišnog zuba mogućnost je primjene litij-disilikatne staklokeramike većeg stupnja translucencije (HT i LT) ograničena, što potvrđuju i rezultati ovog istraživanja. U takvim je situacijama prikladnije odabrati keramičke valjčice većeg stupnja opaciteta (MO i HO). Međutim, tada se gotovo u potpunosti gube optičke prednosti koje nude potpuno keramički sustavi. Naime, za optimalan estetski dojam nije važno samo pogoditi boju nadomjeska, nego je potrebno reproducirati i stupanj translucencije prirodnog zuba jer se time postiže vitalnost (70). Neusklađen stupanj translucencije smatra se jednim od glavnih čimbenika za estetski neuspjeh (189 – 191). Stoga je u slučaju primjene keramika većeg stupnja opaciteta svakako preporučljivo tehnikom slojevanja unaprijediti završnu estetiku.

U slučaju kad gotovi nadomjestak vizualno nije u potpunosti prilagođen susjednim zubima, terapeut često očekuje da će primjenom određene boje kompozitnog cementa modificirati njegovu boju (216), kao što tvrde proizvođači. Međutim, o utjecaju cementa na boju keramičkog nadomjeska u literaturi ne vlada jedinstven stav. Neka istraživanja pokazuju kako boja cementa može značajno utjecati na konačnu boju keramičkog nadomjeska (216). Za razliku od toga, u drugim istraživanjima nije pronađen značajan utjecaj cementa (7, 217). Nepodudarnost rezultata može biti posljedica neujednačenosti uvjeta istraživanja poput korištenja različitih vrsta i boja keramike, materijala koji su oponašali podlogu, cemenata i uređaja kojima su mjerene boje, ali i različito postavljenih granica percepcije razlika u boji. Razlike u boji posljedica su optičkih svojstava cemenata koja su direktno povezana s njihovom unutarnjom strukturom (218). Anorganska punila unutar materijala imaju različit indeks loma od matrice u koju su uklopljeni što za posljedicu ima različit lom svjetlosti kao i stupnjeve translucencije (219). Nadalje, zasićenost boje utječe na stupanj translucencije cementa, što u konačnici opet može imati utjecaj na boju keramike (220).

U ovom se istraživanju utjecaj boje cementa na boju litij-disilikatne keramike pokazao statistički značajnim, međutim razlike među  $L^*$  i  $\Delta E^*$  vrijednostima klinički su bile male i dijelom beznačajne. Vichi i sur. u svom su istraživanju također pronašli minimalan utjecaj boje cementa na konačnu boju nadomjeska koju je bilo moguće instrumentalno utvrditi, ali klinički nije bila relevantna (7). Tako su se za transparentnu, bijelu, žutu i smeđu boju cementa  $\Delta E^*$  vrijednosti kretale između 0 i 2 što je smatrano klinički prihvatljivim ili čak nevidljivim razlikama u boji. Samo opakno bijela boja cementa imala je značajniji klinički utjecaj na konačnu boju nadomjeska te su najveće svjetline koje su se penjale i do 6 jedinica zabilježene upravo za taj cement. Pomak prema svjetlijem uzrokovan tim cementom uglavnom je bio vidljiv i golim okom. Do sličnih su spoznaja došli i drugi autori (221). Istovremeno, potamnjenja koja su zabilježena za većinu ostalih cemenata nisu imala klinički značaj. Nijednom bojom cementa ni na jednoj podlozi nije zabilježena razlika u boji  $\Delta E^* > 2$ , odnosno 3,7 u odnosu na ekvivalentnu kombinaciju bez cementa.

Valja naglasiti da neka istraživanja prilikom ispitivanja utjecaja cementa na boju nadomjeska ne vode računa o kontroli debljine sloja cementa (218, 222, 223), iako povećanjem debljine raste i zasićenost njegove boje. U ovom su istraživanju ispitane dvije debljine cementa. Navedene su debljine izabrane jer se vrijednost od 80  $\mu\text{m}$  nalazi unutar klinički prihvatljivih okvira dimenzije marginalne pukotine koja iznosi 50 do 120  $\mu\text{m}$  (210), dok je 150  $\mu\text{m}$  prema istraživanjima prosječna vrijednost na koju se nailazi *in vivo* (224). Neka istraživanja pokazuju da bi optimalna rubna pukotina trebala iznositi oko 0,1 mm jer se u tom slučaju najbolje prenose sile na spoju između keramike i kompozitnog cementa (225, 226). U ovom je istraživanju debljina cementa imala statistički značajan utjecaj na parameter boje. Međutim, pokazalo se da su razlike klinički bile od malog značaja. Ponovno se utjecaj osobito očitovao kod debljeg sloja opaknog cementa što je rezultiralo neprirodno svijetlom bojom keramike, kao što su već pokazali i drugi autori (206).  $L^*$  vrijednosti pokazuju da je cementom većeg opaciteta moguće zamaskirati podlogu i time značajno posvijetliti keramički nadomjestak, međutim, na taj se način gubi dojam “dubine” i nadomjestak gubi vitalnost (219). Podatak o svjetlini iznimno je važan jer se pokazalo da su pacijenti mnogo osjetljiviji na razlike u svjetlini, nego na razlike u tonu i zasićenosti boje. Tako se u jednom istraživanju pokazalo da su prilikom izrade nadomjeska točna usklađenost zasićenja i tona, dakle, boje u užem smislu, tek na petom i šestom mjestu kao odrednice uspješne reprodukcije (227). Potrebno je sugovorniku doći jako blizu da bi se uočile male razlike u zasićenju boje, dok se blage razlike oblika, površinske teksture, svjetline i translucencije uočavaju i s udaljenosti od dva do tri metra ili više. Svjetlina je parametar koji ljudsko oko najlakše percipira zbog većeg

broja štapića (vidnih receptora koji u mozak prenose signal potaknut monokromatskom svjetlošću), nego čunjića (vidnih receptora za razlikovanje boja) na mrežnici. Stoga će odstupanja tog parametra imati veći utjecaj na percipiranu boju nadomjeska (228). U slučaju dvojbe bolje će se uklopiti manje zasićena i svjetlija boja. Stoga je već pri odabiru keramike važno voditi računa o tome jer je iznimno teško vanjskim bojenjem smanjiti zasićenje i povećati svjetlinu bez stvaranja većeg opaciteta. Osim toga, pacijent će lakše prihvatiti svjetliji nadomjestak (137, 229).

Što je keramika bila deblja, utjecaj cementa na  $L^*$  i  $\Delta E^*$  vrijednosti linearno je opadao, bez obzira na debljinu cementa. Drugi autori također nisu pronašli značajnije razlike u boji keramike uzrokovane različitim bojama cementa, bez obzira na njenu debljinu (220, 230).

Dodavanjem pločice obložne keramike podležeće su strukture imale sve manji utjecaj na boju modela koji je oponašao potpuno keramički nadomjestak. Obložna keramika u svim je debljinama statistički značajno i vidljivo utjecala na parametre boje. Litij-disilikatna keramika, poput IPS e.max Press ili Empress 2, može se koristiti i zasebno, bez obložnih keramika, kao monolitni nadomjestak. Međutim, postupkom slojevanja obložnih keramika unaprjeđuju se estetska svojstva (166). Boja slojevitih nadomjestaka, osim o debljini jezgrene i obložne keramike, ovisi i njihovoj međusobnoj interakciji (231). Autori navode kako kod većine suvremenih potpuno keramičkih sustava jezgrene keramika, čija je uloga osiguravanje čvrstoće nadomjeska, najviše utječe na konačnu boju (153) i stupanj translucencije nadomjeska (154). U ovom su istraživanju tri debljine obložne keramike (0,3 mm, 0,5 mm i 0,8 mm) kombinirane s četiri debljine jezgrene (0,5 mm, 0,8 mm, 1,0 mm i 1,2 mm) LiS<sub>2</sub> keramike u svim mogućim kombinacijama. Budući da proizvođač preporučuje da jezgrene keramika čini barem 50% ukupne debljine nadomjeska kako se ne bi ugrozila čvrstoća nadomjeska, najtanja pločica obložne keramike (0,5 mm) nije kombinirana s najdebljom pločicom obložne keramike (0,8 mm). Ukupna debljina simuliranog nadomjeska kretala se između 0,8 mm, što bi odgovaralo keramičkim ljuskama, i 2 mm što bi bio ekvivalent keramičkim krunicama. Na taj se način najviše približilo dimenzijama u stvarnoj kliničkoj situaciji, iako debljina keramičkog nadomjeska nije uniformna, nego postepeno raste od cervikalnog dijela prema incizalnom bridu ili plohi. Neki autori navode kako se debljinom nadomjeska preko 2 mm u potpunosti eliminira utjecaj podležećih struktura na njegovu boju (181, 206, 213). U ovom je istraživanju uočeno kako je, unatoč statističkoj značajnosti, utjecaj boje cementa imao malu kliničku vrijednost kad je dodana obložna keramika. Naime,  $\Delta E^*$  vrijednosti za transparentni, bijeli, žuti i smeđi cement kretale su se između 0 i 1 što je

smatrano zanemarivim razlikama u boji. Jedino je opakno bijeli cement uzrokovao nešto veće  $\Delta E^*$  vrijednosti koje, međutim, nisu prelazile granicu neprihvatljive razlike u boji od 3,7 jedinica.

Obložne keramike uglavnom su dovele do povećanja svjetline ispitanih kombinacija. Druga istraživanja pokazuju suprotan učinak (206, 213), međutim, u ovom istraživanju valja naglasiti učinak podloga koje su bile tamnije od korištene A2 keramike pa je njenim dodavanjem došlo do posvjetljenja cijelog modela.

Analizom razlika u boji u odnosu na boju A2 iz ključa Vitapan Classical dodatno se provjerila klinička relevantnost dobivenih razlika u boji.

Kod uzoraka  $\text{LiS}_2$  keramike bez obložne keramike, na podlogama ND7 i ND9 sve su  $\Delta E^*$  vrijednosti premašile zadanu granicu za klinički neprihvatljivu razliku u boji od 3,7 jedinica što je očekivano jer se radilo o relativno tamnim podlogama pa tankom keramikom nije bilo moguće ublažiti njihov utjecaj. Prema stupnju translucencije, najveće i gotovo svim slučajevima klinički neprihvatljive  $\Delta E^*$  vrijednosti zabilježene su za MO  $\text{LiS}_2$  keramiku. Budući da MO keramike ne prate ključeve boja, nego dolaze u pet tonova, tek je dodavanjem obložne keramike u boji A2, čak i u najtanjem sloju od 0,3 mm, postignuta zadovoljavajuća podudarnost boje, dok je 0,5 mm debelim slojem obložne keramike u kombinaciji s MO uzorcima na podlozi ND7 postignuta čak nevidljiva razlika u boji. Cementi uglavnom nisu klinički značajno utjecali na pomak razlike, vrijednosti su bile pretežno ujednačene, različito se ponašao samo opakno bijeli cement. Rezultati ukazuju da ga nije preporučljivo koristiti kod tanjih slojeva keramike. Jedino je na podlogama ND3 i ND5 opakno bijelim cementom obiju debljina postignuta zadovoljavajuća podudarnost boje, iako su  $\Delta E^*$  vrijednosti bile veće od 2, dakle jasno uočljive. U svim kombinacijama, jedino su za LT keramike na ND3 podlozi zabilježene  $\Delta E^*$  vrijednosti manje od 1, dakle neprimjetna razlika u boji. Dodavanjem obložne keramike debljine 0,3 mm većim brojem kombinacija postignuta je zadovoljavajuća podudarnost boje, a dodavanjem obložne keramike debljine 0,5 mm, gotovo su sve dobivene razlike u boji postale klinički prihvatljive. Problemi su i dalje dijelom uočeni kod opakno bijelog. Kombiniranjem obložne keramike debljine 0,8 mm s  $\text{LiS}_2$  keramikom, sve su  $\Delta E^*$  vrijednosti postale klinički prihvatljive, dakle, manje od 3,7. Međutim, uglavnom se radilo o jasno uočljivim razlikama. S obzirom na sve, može se zaključiti da je tanjim slojevima keramike teže postići ciljanu boju u slučaju nepovoljne boje podloge. Optimalnom debljinom nadomjeska lakše je pogoditi boju jer se smanjuje utjecaj podležećih struktura, a sve veći utjecaj na konačnu boju ima sama keramika.

Provedeno istraživanje ima i određena ograničenja koja je potrebno uzeti u obzir prilikom evaluacije rezultata. Kako bi se jednostavnije standardizirale dimenzije, što je od osobitog značaja za ovu vrstu istraživanja, izrađeni su uzorci u obliku pločica i valjčića. Međutim, potrebno je uzeti u obzir ograničenje da se ravni uzorci keramike ponašaju optički različito od zaobljenih keramičkih krunica. Istraživanje je provedeno u laboratorijskim uvjetima koji se znatno razlikuju od kliničkih. Međutim, intraoralno je mnogo teže postići standardne uvjete koje omogućuju donošenje valjanih zaključaka. Reich i Homberger čak navode da u kliničkoj situaciji nije moguće precizno odrediti boju instrumentalnim mjerenjem jer je ona pod utjecajem fluorescencije, metamerije, translucencije, nepravilnog oblika te nejednakosti površine (232). Boja zubi i zubnih nadomjestaka kompleksna je i nejednolična (70), stoga se i prihvatljive razlike u boji u kliničkim i laboratorijskim uvjetima ne moraju podudarati (39, 52).

Budući da se debljina keramičkog nadomjeska postepeno povećava od incizalnog prema cervikalnom dijelu, utjecaj podložećih struktura također je u svakom dijelu različit pa je donošenje zaključka o tome što doprinosi konačnoj boji i u kojoj mjeri kompleksno.

Odabran je samo jedan proizvođač keramike te je korištena samo jedna boja jezgrene i jedna boja obložne keramike, tj. A2 koja je služila kao model. Na jezgrene keramiku obično se nanosi nekoliko slojeva različitih obložnih keramika. Moguće je da bi se druge vrste i druge boje keramika ponašale različito, međutim, nemoguće je obuhvatiti sve možebitne kombinacije. Isto tako, korištena je samo jedna vrsta cementa jednog proizvođača različitih boja. Međutim, i uz tako ograničen odabir materijala, broj varijabli i mjerenja bio je iznimno velik. Uključivanjem većeg broja materijala obrada podataka postala bi teško izvediva. Potrebna su dodatna istraživanja u kliničkim i laboratorijskim uvjetima kako bi se što pouzdanije procijenio utjecaj relevantnih čimbenika na konačnu boju nadomjeska, ali dobiveni rezultati ukazuju na to da je za uspješnu reprodukciju boje potrebno uzeti u obzir debljinu nadomjeska, podlogu, a uvjetno i boju cementa.

## 4. ZAKLJUČAK

---



Uzimajući u obzir ograničenja provedenog istraživanja, mogu se donijeti sljedeći zaključci:

- 1) Boja podloge (bataljka) statistički je značajno utjecala na parametre boje modela koji je simulirao potpuno keramički nadomjestak – najveća svjetlina zabilježena je za ND1 podlogu, a najmanja za ND9.
- 2) Debljina i stupanj translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike statistički su značajno utjecali na parametre boje modela koji je simulirao potpuno keramički nadomjestak – povećanjem debljine i smanjenjem stupnja translucencije  $\text{LiS}_2$  keramike smanjivao se utjecaj podloge.
- 3) Boja i debljina cementa statistički su značajno utjecale na parametre boje modela koji je simulirao potpuno keramički nadomjestak, međutim, samo je opakno bijeli cement uzrokovao i klinički značajnije, tj. vidljive razlike u boji. Učinak izazvan cementom debljine 0,08 mm pojačan je cementom debljine 0,15 mm.
- 4) Obložna keramika različitih debljina statistički je značajno utjecala na parametre boje modela koji simulira potpuno keramički nadomjestak – povećanjem debljine obložne keramike došlo je do porasta  $L^*$  vrijednosti, osim u kombinaciji s opakno bijelim cementom na ND1 podlozi. Istovremeno je došlo do pada  $\Delta E^*$  vrijednosti.
- 5) Analizom razlika u boji u odnosu na boju A2 iz ključa boja Vitapan Classical utvrđeno je da je kod kombinacija samo  $\text{LiS}_2$  keramke i podloga teže bilo postići ciljanu boju u slučaju nepovoljne, tamnije, boje podloge. Dodavanjem sloja obložne keramike, relativiziran je utjecaj podležećih struktura pa je u većem broju slučajeva postignuta klinički prihvatljiva razlika u boji, tj.  $\Delta E^*$  manji od 3,7.

## **5. LITERATURA**

---

1. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. *Dent Mater.* 2004;20:530–4.
2. Pissis P. Fabrication of metal-free ceramic restoration utilizing the monobloc technique. *Pract Periodontics Aesthet Dent.* 1995;7:83–94.
3. Pietrobon N, Paul S. All-ceramic restorations: a challenge for anterior esthetics. *J Esthet Dent.* 1997;9:179–86.
4. Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part I. Pressable and alumina glass-infiltrated ceramics. *Dent Mater.* 2004;20:441-8.
5. Cattell MJ, Knowles JC, Clarke RL, Lynch E. The biaxial flexural strength of two pressable ceramic systems. *J Dent.* 1999;27:183-96.
6. Barath VS, Faber FJ, Westland S, Niedermeier W. Spectrophotometric analysis of all-ceramic materials and their interaction with luting agents and different backgrounds. *Adv Dent Res.* 2003;17:55-60.
7. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Influence of ceramic and cement thickness on the masking of various types of opaque posts. *J Prosthet Dent.* 2000;83:412-7.
8. Bridgeman I. The nature of light and its interaction with matter. In: McDonald R, editor. *Colour physics for industry.* Huddersfield: H. Charlesworth & Co Ltd; 1987. p. 1-34.
9. Chu SJ. *Fundamentals of color: Shade Matching and Communication in Esthetic Dentistry.* 2. izdanje. Hanover Park: Quintessence Publishing; 2010.
10. Prezentacija "Osnove o boji" autorice Maje Strgar Kurečić, dostupno na [http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI.pdf) (pristupljeno 21.2.2013.)
11. [http://www.lpi.usra.edu/education/fieldtrips/2005/activities/ir\\_spectrum/](http://www.lpi.usra.edu/education/fieldtrips/2005/activities/ir_spectrum/)
12. O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM. A one-dimensional color order system for dental shade guides. *Dent Mater.* 1989;5(6):371-4.
13. <http://now.msn.com/super-seers-may-perceive-millions-of-colors>
14. <http://www.cyberchromeusa.com/Color-QC-and-Matching-Blog/bid/26751/Color-Measurement-Accuracy-Translucent-Materials>
15. Jurčević M, Jezidžić N. Primjena digitalne fotografije u reprodukcijским medijima - "sRGB i Adobe RGB" [seminarski rad]. Zagreb: Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2012.

16. Stephen J. Precision shade technology: Contemporary strategies in shade selection. *Pract Proced Aesthet Dent.* 2002;14:79–83.
17. Zjakić I. Utjecaj metamerije u tisku [magistarski rad]. Zagreb: Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2002.
18. Hill AR. How we see colour. In: McDonald R, editor. *Colour physics for industry.* Huddersfield: H. Charlesworth & Co Ltd; 1987. p. 211—81.
19. Stockman A, MacLeod DIA, Vivien JA. Isolation of the middle- and long-wavelength-sensitive cones in normal trichromats. *J Opt Soc Am.* 1993;10:2471-90.
20. Gunther Wyszecki G, Stiles WS. *Color science : Concepts and methods, quantitative data and formulae.* 2<sup>nd</sup> edition. New York: John Wiley and Sons; 2000.
21. Gage J. *Colour and culture: Practice and Meaning from Antiquity to Abstraction.* London: Thames and Hudson; 1993. p. 117-20.
22. Westfall RS. The development of Newton's theory of color, *Isis.* 1962;53:339-58.
23. Judd DB, Wyszecki G. *Color in Business, Science and Industry.* 3rd edition. New York: John Wiley and Sons; 1975. 388.
24. Judd DB, Kelly KL. Method of designating colors. *J Research NBS.* 1939;23:355.
25. Munsell AH. *A color notation.* 11th edition. Baltimore: Munsell Color Co.; 1961.
26. Burkinshaw SM. Colour in relation to dentistry. *Fundamentals of colour science.* *Brit Dent J.* 2004;196:33–41.
27. Vaniš I. Kolorimetrijska analiza boje gornjih inciziva i kanina određene skupine adolescenata [magistarski rad]. Zagreb: Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2011.
28. <http://irtel.uni-mannheim.de/colsys/Harris.jpg>
29. [http://www.istone.ntua.gr/Training\\_courses/wp1/3-2-4a-1.jpg](http://www.istone.ntua.gr/Training_courses/wp1/3-2-4a-1.jpg)
30. <http://www.luminous-landscape.com/images-105/3-5-Color-tree.jpg>
31. <http://www.codeproject.com/Articles/9207/An-HSV-RGBA-colour-picker>
32. <http://www.acasystems.com/en/color-picker/faq-hsb-hsv-color.htm>
33. Baltzer B, Kaufmann-Jinoian V. The determination of tooth colors. *Quint Zahntech.* 2004;30:726-40.
34. <http://www.mindspring.com/~calvinw/color/>
35. O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM, Linger JB, Groh CL. Color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dent Mater.* 1997;13:179-85.
36. <http://www.rpdms.com/cielch/>
37. <http://www.paperspecs.com>

38. <http://www.gravurexchange.com/gravurezine/0805-ezine/ploumidis.htm>
39. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent.* 2004;32:3-12.
40. CIE Technical Report: Industrial color-difference evaluation. CIE pub no 116. Vienna, Austria: CIE Central Bureau; 1995.
41. CIE Technical Report: Improvement to industrial color difference equation. CIE pub no 142, Vienna, Austria: CIE Central Bureau; 2001
42. Luo MR, Cui G, Rigg B. The development of the CIE 2000 color difference formula: CIEDE2000. *Col Res Appl.* 2001;26:340–50.
43. CIE Technical Report: Colorimetry. CIE pub no 15.3. Vienna, Austria: CIE Central Bureau; 2004.
44. Ghinea R, Pérez MM, Herrera LJ, Rivas MJ, Yebra A, Paravina RD. Color difference thresholds in dental ceramics. *J Dent.* 2010;38:57-64.
45. Douglas RD, Brewer J. Acceptability of shade differences in metal ceramic crowns. *J Prosthet Dent.* 1998;79(3):254-60.
46. O'Brien WJ. *Dental Materials and Their Selection.* 2nd ed. Chicago: Quintessence Publishing; 1997. p. 30.
47. Wyszecki G, Stiles WS. *Color science: Concepts and methods, quantitative data and formulae.* 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 1982. p. 45-7.
48. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res* 1989;68:1760-4.
49. Kuehni RG, Marcus RT. An experiment in visual scaling of small colour differences. *Col Res Appl.* 1979;4:83–91.
50. Hosoya Y. Five-year colour changes of light-cured resin composites: influence of light-curing times. *Dent Mater.* 1999;15:268-74.
51. James C, Ragain JR, Johnston WM. Colour acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Col Res Appl.* 2000; 25:278-85.
52. Douglas RD. Precision of in vivo colorimetric assessments of teeth. *J Prosthet Dent.* 1997;77:464–70.
53. Johnston WH, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res.* 1989;68:819-22.
54. Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater.* 1987;3:246-51.

55. Douglas RD, Steinhaurer TJ, Wee AG. Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent.* 2007;97:200-8.
56. Paravina R, Powers JM. *Esthetic Color Training in Dentistry.* St. Louis: Elsevier Mosby; 2004.
57. Paravina RD. Evaluation of a newly developed visual shade matching apparatus. *Int J Prosthodont.* 2002;15(6):528-34.
58. Bergen SF. Color in esthetics. *NY State Dent J.* 1985;51(8):470-1.
59. Paravina RD, Powers JM, Fay RM. Color comparison of two shade guides. *Int J Prosthodont.* 2002;15:73-8.
60. Vallittu PK, Vallittu ASJ, Lassila VP. Dental aesthetics - a survey of attitudes in different groups of patients. *J Dent.* 1996;24:335-8.
61. Carlsson GE, Wagner IV, Odman P, Ekstrand K, MacEntee M, Marinello C. An international comparative multicenter study of assessment of dental appearance using computer aided image manipulation. *Int J Prosthodont.* 1998;11:246-54.
62. Davis LG, Ashworth PD, Spriggs LS. Psychological effects of aesthetic dental treatment. *J Dent.* 1998;26:547-54.
63. Watts A, Addy M. Tooth discolouration and staining: a review of the literature. *Brit Dent J.* 2001;190:309-16.
64. Ten Bosch JJ, Coops JC. Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *J Dent Res.* 1995;74:374-80.
65. Joiner A, Jones NM, Raven SJ. Investigation of factors influencing stain formation utilizing an in situ model. *Adv Dent Res.* 1995;9:471-6.
66. <http://www.webmd.com/oral-health/image-collection/oral-health>
67. Ragain JC, Johnston WM. Accuracy of Kubelka–Munk reflectance theory applied to human dentin and enamel. *J Dent Res.* 2001;80:449–52.
68. Jahangiri L, Reinhardt SB, Mehra RV, Matheson PB. Relationship between tooth shade value and skin color: an observational study. *J Prosthet Dent.* 2002;87:149-52.
69. Vaarkamp J, Ten Bosch JJ, Verdonschot EH. Propagation of light through human enamel and dentine. *Car Res.* 1995;29:8-13.
70. Yu B, Ahn JS, Lee YK. Measurement of translucency of tooth enamel and dentin. *Acta Odontol Scand.* 2009;67:57-64.
71. Ko CC, Tantbirojn D, Wang T, Douglas WH. Optical scattering power for characterization of mineral loss. *J Dent Res.* 2000;79:1584-9.

72. <http://keats.kcl.ac.uk/mod/book>
73. Xiong F, Chao Y, Zhu Z. Translucency of newly extracted maxillary central incisors at nine locations. *J Prosthet Dent.* 2008;100:11-7.
74. Hasegawa A, Motonomi A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color of natural tooth crown in Japanese people. *Col Res Appl.* 2000;25:43-8.
75. Hasegawa A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color and translucency of in vivo natural central incisors. *J Prosthet Dent.* 2000;83:418-23.
76. Hraste J. *Dentalna morfologija: Zajednička obilježja zuba u čeljustima.* 2. izdanje. Rijeka, Zagreb: Liburnija, Školska knjiga; 1981.
77. Vollmann M. Vitapan 3D-Master – Theorie und Praxis. *Dental Lab* 1998;46(8): 1247-54.
78. Paravina RD, Majkic G, Imai FH, Powers JM. Optimization of tooth color and shade guide design. *J Prosthodont.* 2007;16:269–76.
79. Paravina RD, Majkic G, Stalker JR, Kiat-Amnuay S, Chen JW. Development of a model shade guide for primary teeth. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2008;9:74–8.
80. <http://www.vident.com>
81. Christopher CK. Shade Selection. *Aust Dent Prac.* 2007;10:116–9.
82. Winter R. Visualizing the natural dentition. *J Esthet Dent.* 1993;5(3):102-17.
83. <http://download.autodesk.com/>
84. Wasson W, Schuman N. Color vision and dentistry. *Quintessence Int.* 1992;23:349-53.
85. Goodkind RJ, Schwabacher WB. Use of a fiber-optic colorimeter for in vivo color measurements of 2830 anterior teeth. *J Prosthet Dent* 1987;58:535-42.
86. Brodbelt RH, O'Brien WJ, Fan PL, Frazer-Dib JG, Yu R. Translucency of human dental enamel. *J Dent Res.* 1981;60:1749-53.
87. O'Brien WJ. Double layer effect and other optical phenomena related to esthetics. *Dent Clin North Am.* 1985;29:667-72.
88. Mayekar SM. Shades of a color illusion or reality? *Dent Clin North Am.* 2001;45:155-72.
89. Russell MD, Gulfranz M, Moss BW. In vivo measurement of colour changes in natural teeth. *J Oral Rehabil.* 2000;27:786-92.
90. <http://www.heraeus-dental.com>
91. <http://www.healthmantra.com>
92. Sundar V, Amber PL. Opals in nature. *J Dent Technol.* 1999;16:15-7.

93. Garber DA, Adar P, Goldstein RE, Salama H. The quest for the all-ceramic restoration. *Quintessence Dent Technol.* 2000;23:27–36.
94. <http://www.thenextdds.com>
95. Overheim D. *Light and Color.* New York: John Wiley; 1982.
96. Cornell D, Winter R. Manipulating light with the refractive index of an all-ceramic material. *Pract Periodontics Aesthet Dent.* 1999;11:913-17.
97. Orban BJ. *Oral Histology and Embryology.* 6<sup>th</sup> edition. St Louis: Mosby; 1976.
98. McLaren E. The 3D-master shade-matching system and the skeleton buildup technique: Science meets art and intuition. *Quintessence Dent Technol.* 1999;22:55-68.
99. Paravina RD, Roeder L, Lu H, Vogel K, Powers JM. Effect of finishing and polishing procedures on surface roughness, gloss and color of resin based composites. *Am J Dent.* 2004;17(4):262-6.
100. Da Costa J, Ferracane JL, Paravina RD, Mazur RF, Roeder L. The effect of different polishing systems on color, surf rough and gloss of resin composites. *J Esthet Restor Dent.* 2007;19(4):214-24.
101. Terry DA, Geller W, Tric O, Anderson MJ, Tourville M, Kobashigawa A. Anatomical form defines color: function, form and aesthetics. *Pract Proced Aesthet Dent.* 2002;14:59-67.
102. <http://www.freestockphotosclub.com>
103. Carsten D. Successful shade matching: what does it take? *Compend Contin Educ Dent.* 2003;24:175–8,180,182.
104. Commission Internationale de l'Eclairage. *Colorimetry, Official Recommendations of the International Commission on Illumination [Publication CIE No. 15(E-1.3.1)].* Paris: Bureau Central de la CIE, 1971.
105. <http://www.saleecolour.com/science.php>
106. <http://www.ivl.disco.unimib.it/Activities/Multispectral.htm>
107. Dagg H, O'Connell B, Claffey N, Byrne D, Gorman C. The influence of some different factors on the accuracy of shade selection. *J Oral Rehabil.* 2004;31:900-4.
108. Ragain JC, Johnston WM. Minimum color differences for discriminating mismatch between composite and tooth color. *J Esthet Restor Den.* 2001;13:41-8.
109. Dartnall HJA, Bowmaker JK, Mollon JD. Human visual pigments: Microspectrophotometric results from the eyes of seven persons. *Proc Royal Soc.* 1983; 220:115-130.



110. Brewer JD, Wee A, Seghi R. Advances in color matching. Dent Clin North Am 2004;48:341-58.
111. Rosenthal O, Phillips RH. Coping with colorblindness. New York: Avery; 1997. p. 51-82.
112. Naik AV, Pai RC. Color blindness in dental students and staff - an obstacle in shade selection for restorations. Annals Essences Dent 2010;2(3):25-8.
113. Ross F. Untersuchung zur Reproduzierbarkeit der Zahnfarbbestimmung mit einem neuen Zahnfarbringsystem [disertacija]. Hannover: Medizinische Hochschule Hannover, Poliklinik für zahnärztliche Prothetik; 2002.
114. Ishihara S: Ishihara's Tests for Colour-Blindness. Tokyo, Japan, Kanehara, 1993.
115. <http://www.colorvisiontesting.com>
116. Kolarek I, Milković M, Kosić T. Dizajn i vizualni efekti koji induciraju iluziju kretanja. Tehnički glasnik. 2011;5(2):80-8.
117. Albers J. Interaction of Color. New Haven: Yale University Press; 1971.
118. [http://media.tumblr.com/tumblr\\_m9rb46egxT1rt2djr.jpg](http://media.tumblr.com/tumblr_m9rb46egxT1rt2djr.jpg)
119. Sproull RC. Color matching in dentistry part I. The three-dimension nature of color. J Prosthet Dent. 1973;29:416-24.
120. Hammad IA. Intrarater repeatability of shade selections with two shade guides. J Prosthet Dent. 2003;89:50-3.
121. Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. J Prosthet Dent. 1998;80:642-8.
122. Sikri V. Color: Implications in dentistry. J Conserv Dent. 2010;13(4):249–55.
123. Curd F, Jasinevicius TR, Graves A, Cox V, Sadan A. Comparison of the shade matching ability of dental students using two light sources. J Prosthet Dent. 2006;96:391-6.
124. Barna GJ, Taylor JW, King GE, Pelleu GB. The influence of selected light intensities on colour perception within the colour range of natural teeth. J Prosthet Dent. 1981;46:450-3.
125. Davison SP, Myslinski NR. Shade selection by color vision-defective dental personnel. J Prosthet Dent. 1990;63:97-101.
126. Henning G. Tipps für fehlerfreie Farbbestimmung. Basel: Dr. Henning & Co. Dental Engineering; 1999.
127. Sorensen JA, Torres TJ. Improved color matching of metal-ceramic restorations. Part I: A systematic method for shade determination. J Prosthet Dent. 1987;58(2):133-9.

128. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains. *J Dent Res.* 1989;68:1755-9.
129. Van der Burgt TP, ten Bosch JJ, Borsboom PC, Kortsmit WJ. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. *J Prosthet Dent.* 1990;63:155-62.
130. Clark EB. Tooth Color Selection. *J Am Dent Assoc.* 1933;20:1065-73.
131. Hall NR. Tooth colour selection: The application of colour science to dental colour matching. *Aust Prosthodont J.* 1991;5:41.
132. Henning G. Nur wer alle Farben richtig sieht, kann Zahnfarben perfekt bestimmen. Basel: Dr. Henning & Co. Dental Engineering; 1999.
133. Paravina RD, Powers JM, Fay RM. Dental color standards: Shade tab arrangement. *J Esthet Restor Dent.* 2001;13:254.
134. Preston JD. Current status of shade selection and color matching. *Quintessence Int.* 1985;16:47.
135. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hämmerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res.* 2002;81:578-82.
136. Horn DJ, Bulan-Brady J, Hicks ML. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *J Endod.* 1998; 24(12):786-90.
137. Da Silva JD, Park SE, Weber HP, Ishikawa-Nagai S. Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction. *J Prosthet Dent.* 2008;99:361-8.
138. Chu SJ, Trushkowski RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems: Review of clinical and research aspects. *J Dent.* 2010;38:2-16.
139. Tung FF, Goldstein GR, Jang S, Hittelman E. The repeatability of an intraoral dental colorimeter. *J Prosthet Dent.* 2002;88:585-90.
140. Khurana R, Tredwin CJ, Weisbloom M, Moles DR. A clinical evaluation of the individual repeatability of three commercially available colour measuring devices. *Brit Dent J.* 2007;203:675-80.
141. Kielbassa AM, Beheim-Schwarzbach NJ, Neumann K, Zantner C. In vitro comparison of visual and computer-aided pre- and post-tooth shade determination using various home bleaching procedures. *J Prosth Dent.* 2009;101:92-100.
142. Lagouvardos PE, Fougia AG, Diamantopoulou SA, Polyzois GL. Repeatability and interdevice reliability of two portable color selection devices in matching and measuring tooth color. *Journal of Prosthetic Dentistry* 2009;101:40-5.

143. [http://www.vita-zahnfabrik.com/resourcesvita/shop/en/en\\_3055212.pdf](http://www.vita-zahnfabrik.com/resourcesvita/shop/en/en_3055212.pdf)
144. [http://www.xrite.com/product\\_overview.aspx?ID=812](http://www.xrite.com/product_overview.aspx?ID=812)
145. Ristic I, Paravina RD. Color measuring instruments. *Acta Stomatol Naissi* 2009;25:925–32.
146. <http://www.mht.it>
147. Smith RN, Collins LZ, Naeeni M, Joiner A, Philpotts CJ, Hoppkinskon I. The in vivo validation of a mobile non-contact color measurement. *J Dent*. 2008;36:15-20.
148. Jarad FD, Russell MD, Moss BW. The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry. *Br Dent J*. 2005;199:43-9.
149. Blackman RB. Ceramic shade prescriptions for work authorizations. *J Prosthet Dent*. 1982;47:28-35.
150. Lee YK, Powers JM. Calculation of colour resulting from composite/compomer layering techniques. *J Oral Rehabil*. 2004;31(11):1102–8.
151. Li Q, Xu BT, Li R, Wang YN. Spectrophotometric comparison of translucent composites and natural enamel. *J Dent*. 2010;38:117-22.
152. Villarroel M, Fahl N, De Sousa AM, De Oliveira OB. Direct esthetic restorations based on translucency and opacity of composite resins. *J Esthet Rest Dent*. 2011;23(2): 73–87.
153. Crispin BJ, Okamoto SK, Globe H. Effect of porcelain crown substructures on visually perceivable value. *J Prosthet Dent* 1991;66:209-12.
154. McLean JW. The science and art of dental ceramics: Aesthetics of dental porcelains. Monograph III. New Orleans: Louisiana State University School of Dentistry; 1976. p. 1-41.
155. Spear F, Holloway J. Which all-ceramic system is optimal for anterior esthetics? *J Am Dent Assoc*. 2008;139:19-24.
156. Ozturk O, Uludag B, Usumez A, Sahin V, Celik G. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of two all-ceramic systems. *J Prosthet Dent*. 2008;100:99-106.
157. Paravina RD, Westland S, Imai FH, Kimura M, Powers JM. Evaluation of blending effect of composites related to restoration size. *Dent Mater*. 2006; 22(4):299-307.
158. Paravina RD, Westland S, Kimura M, Powers JM, Imai FH. Color interaction of dental materials: blending effect of layered composites. *Dent Mater*. 2006;22(10):903-8.

159. Knispel, G. Factors affecting the process of color matching restorative materials to natural teeth. *Quintessence Int.* 1991;22(7):525-31.
160. Marra LM. An historical review of full coverage of the natural dentition. *NY State Dent J.* 1970;36(3):147-51.
161. Raptis NV, Michalakakis KX, Hirayama H. Optical behavior of current ceramic systems. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2006;26:31–41.
162. Raigrodski J. Contemporary materials and technologies for all-ceramic fixed partial dentures: a review of the literature. *J Prosthet Dent.* 2004;92(6):557-62.
163. McLaren E, Whiteman Y. Ceramics: Rationale for material selection. *Compend Contin Educ Dent.* 2010;31(9):668.
164. Kelly JR, Nishimura I, Campbell SD. Ceramics in dentistry: Historical roots and current perspectives. *J Prosthet Dent.* 1996;75(1):18-32.
165. Anusavice KJ, Phillips RW. *Philips' Science of Dental Materials.* 11<sup>th</sup> edition. St. Louis: Saunders; 2003.
166. McLean JW. New dental ceramics and esthetics. *J Esthet Dent.* 1995;7:141-9.
167. Conrad HJ, Seong WJ, Pesun IJ. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: A systematic review. *J Prosthet Dent.* 2007;98:389–404.
168. Kunzelmann KH, Kern M, Prospiech P, Mehl A, Frankenberger R, Reiss B, and Wiedhahn K. *Vollkeramik auf einen Blick, 2<sup>nd</sup> ed.* Ettlingen, Njemačka: Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V. 2006.
169. Kelly JR. Dental ceramics: Current thinking and trends. *Dent Clin North Am* 2004;48(2):513-30.
170. Kelly JR. Dental Ceramics: What Is This Stuff Anyway? *J Am Dent Assoc.* 2008;139(4):4-7.
171. Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part I: Core materials. *J Prosthet Dent.* 2002;88:4-9.
172. Clarke FJ. Measurement of color of human teeth. In: *Proceedings of the First International Symposium on Ceramics*, McLean JW. Chicago: Quintessence Publishing; 1983. pp.441-90.
173. Höland W, Schweiger M, Frank M, Rheinberger V. A comparison of the microstructure and properties of the IPS Empress<sup>®</sup>2 and the IPS Empress<sup>®</sup> glass-ceramics. *J Biomed Mater Res.* 2000;53:297–302.

174. Van Noort R. Introduction to dental materials. 2<sup>nd</sup> edition. Edinburgh: Mosby Elsevier; 2002.
175. Davis BK, Aquilino SA, Lund PS, Diaz-Arnold AM, Denehy GE. Colorimetric evaluation of the effect of porcelain opacity on the resultant color of porcelain veneers. *Int J Prosthodont*. 1992;5:130-6.
176. Ding Y, Jiang S, Luo T, Miura Y, Peyghambarian N. Lithium disilicate crystalline slab waveguides from surface crystallised glass. *Electronics Letters*. 1999;35:504-5.
177. Sinmazisik G, Ovecoglu ML. Physical properties and microstructural characterization of dental porcelains mixed with distilled water and modeling liquid. *Dent Mater*. 2006;22:735-45.
178. <http://www.ivoclavivadent.com>
179. Binns D. The chemical and physical properties of dental porcelain. In: McLean JW, editor. *Proceedings of the First International Symposium on Ceramics*. Chicago: Quintessence; 1983. p. 45
180. Kingery WD, Bowen HK, Uhlmann DR. *Introduction to ceramics*. 2nd edition. New York: John Wiley and Sons; 1976. p. 646-89.
181. Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA. Relative translucency of six all-ceramic system. Part II: Core and veneer materials. *J Prosthet Dent*. 2002; 88: 10-15.
182. <http://www.wedentech.com>
183. <http://www.doctorspiller.com>
184. Cook WD, McAree DC. Optical properties of esthetic restorative materials and natural dentition. *J Biomed Mat Res*. 1985;19:469–88.
185. Sproull R. Color matching in dentistry. Part III. Color control. *J Prosthet Dent* 1974;31:146–154.
186. Barghi N, Richardson JT. A study of various factors influencing the shade of bonded porcelain. *J Prosthet Dent*. 1978; 39: 282-4.
187. Aranda R, Barghi N, Smith N. Comparasion of four tecniques for condensation of three opaques. *J Dent Res*. 1986;65:230.
188. Evans DB, Barghi N, Malloy CM, Wundeler AS. The influence of condensation method on porosity and shade of body porcelain. *J Prosthet Dent* 1990;63:380-9.
189. Brodbelt RH, O'Brien WJ, Fan PL. Translucency of dental porcelains. *J Dent Res* 1980;59:70–5.

190. O'Keefe KL, Pease PL, Herrin HK. Variables affecting the spectral transmittance of light through porcelain veneer samples. *J Prosthet Dent.* 1991;66:434–8.
191. Watts DC, Cash AJ. Analysis of optical transmission by 400–500 nm visible light into aesthetic dental biomaterials. *J Dent.* 1994;22:112–7.
192. El-Meliegy E. Preparation and characterisation of low fusion leucite dental porcelain. *Br Ceram Trans.* 2003;102:261–4.
193. O'Brien WJ, Kay KS, Boenke KM, Groh CL. Sources of color variation on firing porcelain. *Dent Mater.* 1991;7:170–3.
194. Cho MS, Lee YK, Lim BS, Lim YJ. Changes in optical properties of enamel porcelain after repeated external staining. *J Prosthet Dent.* 2006;95:437–43.
195. Wee AG, Monaghan P, Johnston WM. Variation in color between intended matched shade and fabricated shade of dental porcelain. *J Prosthet Dent.* 2002;87:657–66.
196. Holloway JA, Miller RB. The effect of core translucency on the aesthetics of all-ceramic restorations. *Pract Periodontics Aesthet Dent.* 1997;9:567-74.
197. Kingery WD, Bowen HK, Uhlmann DR. Introduction to ceramics. 2nd edition. New York: John Wiley and Sons; 1976. p. 646-89.
198. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary fixed prothodontics. 4th edition. St. Louis: Mosby; 2006. p. 774..
199. Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ. Dental luting agents: a review of the current literature. *J Prosthet Dent.* 1998;80:280–301.
200. Nathanson D, Banasr F. Color stability of resin cements – an in vitro study. *Pract Proced Aesthet Dent.* 2002;14:449–55.
201. Masterdomini D, Friedman MJ. The contact lens effect: Enhancing porcelain veneer esthetics. *J Esthet Dent.* 1995;7:99-103.
202. Nakamura T, Saito O, Fuyikawa J, Ishigaki S. Influence of abutment substrate and ceramic thickness on the colour of heatpressed ceramic crowns. *J Oral Rehabil.* 2002;29:805–9.
203. Volpato CAM, Monteiro S, Andrada M A, Fredel MC, Petter CO. Optical influence of the type of illuminant, substrates and thickness of ceramic materials. *Dent Mater.* 2009;25(1):87-93.
204. Kakehashi Y, Lüthy H, Naef R, Wohlwend A, Schärer P. A new all ceramic post and core system: Clinical, technical, and in vitro results. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1998;18:587-93.

205. Carossa S, Lombardo S, Pera P, Corsalini M, Rastello ML, Preti G. Influence of post and cores on light transmission through different all-ceramic crowns: Spectrophotometric and clinical evaluation. *Int J Prosthodont*. 2001;14:9-14.
206. Douglas RD, Przybylska M. Predicting porcelain thickness required for dental shade matches. *J Prosthet Dent*. 1999;82:143-9.
207. Koutayas SO, Kakaboura A, Hussein A, Strub JR. Colorimetric evaluation of the influence of five different restorative materials on the color of veneered densely sintered alumina. *J Esthet Restor Dent*. 2003;15:353-60.
208. Attar N, Tam LE, McComb D. Mechanical and physical properties of contemporary dental luting agents. *J Prosthet Dent*. 2003;89:127-34.
209. Shortall AC. How light source and product shade influence cure depth for a contemporary composite. *J Oral Rehabil*. 2005;32:906–11.
210. McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J*. 1971;131:107–11.
211. Peumans M, Van Meerbeek B, Lambrechts P, Vanherle G. Porcelain veneers: A review of the literature. *J Dent*. 2000;28:163-77.
212. Pires-de-Souza Fde C, Casemiro LA, Garcia Lda F, Cruvinel DR. Color stability of dental ceramics submitted to artificial accelerated aging after repeated firings. *J Prosthet Dent* 2009;101:13-8.
213. Dozic A, Kleverlaan CJ, Meegdes M, van der Zel J, Feilzer AJ. The influence of porcelain layer thickness on the final shade of ceramic restorations. *J Prosthet Dent* 2003; 90:563-70.
214. Li Q, Yu H, Wang YN. Spectrophotometric evaluation of the optical influence of core build-up composites on all-ceramic materials. *Dent Mater*. 2009;25(2):158-65.
215. Akgungor G, Akkayan B, Gaucher H. Influence of ceramic thickness and polymerization mode of a resin luting agent on early bond strength and durability with a lithium disilicate based ceramic system. *J Prosthet Dent*. 2005;94:234-41.
216. Chang J, Da Silva JD, Sakai M, Kristiansen J, Ishikawa-Nagai S. The optical effect of composite luting cement on all ceramic crowns. *J Dent*. 2009;37:937–43.
217. Azer SS, Ayash GM, Johnston WM, Khalil MF and Rosentiel SF. Effect of esthetic core shades on the final colour of IPS Empress all-ceramic crowns. *J Prosthet Dent*. 2006;96: 397-401.
218. Kilinc E, Antonson SA, Hardigan PC, Kesercioglu A. Resin cement color stability and its influence on the final shade of all-ceramics. *J Dent*. 2011;39(1):30-6.

219. Ghavam M, Amani-Tehran M, Saffarpour M. Effect of accelerated aging on the color and opacity of resin cements. *Oper Dent*. 2010;35:605-9.
220. Terzioglu H, Yilmaz B, Yurdukuru B. The effect of different shades of specific luting agents and IPS empress ceramic thickness on overall color. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2009;29:499-505.
221. Aiqahtani MQ, Aijurais RM, Aishaafi MM. The effects of different shades of resin luting cement on the color of ceramic veneers. *Dent Mater J*. 2012;31(3):354–61.
222. ALGhazali N, Laukner J, Burnside G, Jarad FD, Smith PW, Preston AJ. An investigation into the effect of try-in pastes, uncured and cured resin cements on the overall color of ceramic veneer restorations: an in vitro study. *J Dent*. 2010;38(2):78-86.
223. Karaagaclioglu L, Yilmaz B. Influence of cement shade and water storage on the final color of leucite-reinforced ceramics. *Oper Dent*. 2008;33(4):386-91.
224. Pera P, Gilodi S, Bassi F, et al: In vitro marginal adaptation of alumina porcelain ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 1994;72:585-90.
225. Garber D. Porcelain laminate veneers: ten years later. Part I: Tooth preparation. *J Esthet Dent* 1993; 5: 56-62.
226. Magne P, Versluis A, Douglas WH. Effect of luting composite shrinkage and thermal loads on the stress distribution in porcelain laminate veneers. *J Prosthet Dent* 1999;81:335-44.
227. Fondriest J. Shade matching in restorative dentistry: The science and strategies. *Int J Perio Rest Dent* 2003;23(5):456-76.
228. Commission Internationale de l'Eclairage. Colorimetry Technical Report. CIE Pub. No.15. 2nd ed. Vienna, Austria: Bureau Central de la CIE; 1986. p. 35–6 [corrected reprint 1996].)
229. Kim-Pusateri S, Brewer J, Davis EL, Wee AG. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent*. 2009;101:93–9.
230. Dozic A, Tsagkari M, Khashaya G and Aboushelib M. Color management of porcelain veneers: influence of dentin and resin cement colors. *Quintessence Int*. 2010;41:567-73.
231. Shokry TE, Shen C, Elhosary MM, Elkhodary AM. Effect of core and veneer thicknesses on the color. *J Prosthet Dent*. 2006;95:124–9.
232. Reich S, Hornberger H. The effect of multicolored machinable ceramics on the esthetics of all-ceramic crowns. *J Prosthet Dent*. 2002;88:44-9.



## 6. ŽIVOTOPIS

---

Sladana Milardović Ortolan rođena je 31. svibnja 1982. u Odžaku (BIH). Osnovnu školu pohađala je u njemačkom gradu Leeru, a po završetku jezične gimnazije u Čakovcu, 2002. upisala je dodiplomski studij stomatologije na Stomatološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu koji je završila 2007. među tri najuspješnija studenta. Dobitnica je Rektorove i Dekanove nagrade. Poslijediplomski doktorski studij stomatologije upisala je u akademskoj godini 2009/2010. Od lipnja 2009. radi kao asistentica na Katedri za fiksnu protetiku Stomatološkog fakulteta u Zagrebu te znanstvena novakinja na znanstveno-istraživačkom projektu MZOŠ-a „Istraživanje keramičkih materijala i alergija u stomatološkoj protetici“, voditeljice prof. dr. sc. Ketij Mehulić. Suradnica je na sveučilišnom projektu „Suvremeni stomatološki protetski postupci, materijali i kvaliteta života ovisna o oralnoj rehabilitaciji“ voditeljice prof. dr. sc. Asje Čelebić. Aktivno je sudjelovala na projektu HRSTON – Hrvatsko stomatološko nazivlje pod vodstvom doc. dr. sc. Marina Vodanovića. Urednica hrvatskog izdanja časopisa Dental Tribune International postala je 2014. Od 2007 prevodi stručne članake za Quintessence International i Dental Tribune International s njemačkog i engleskog jezika. Uredila je i prevela hrvatsko izdanje knjige „Novosti iz škrinje stomatološkog blaga“ autora Wolframa Bückinga, a također je prevela knjigu „CAD/CAM i potpuna keramika“ Andresa Baltzera i suradnika. Aktivno je sudjelovala na nekoliko domaćih i međunarodnih znanstvenih i stručnih skupova. Autorica je i suautorica preko 30 znanstvenih, stručnih i preglednih radova u domaćim i stranim časopisima od čega se osam citira u *Current Contentsu*. U veljači 2013. započela je specijalizaciju iz stomatološke protetike. Članica je Hrvatske komore dentalne medicine te međunarodnih udruga International Association of Dental Research i European Prosthodontic Association. Udana je i majka jedne kćeri.

## Popis radova

Radovi u CC časopisima:

1. Milardović Ortolan S, Peršić S, Čelebić A, Mehulić K. Comparison of time consumption and color matching results of different dental occupational groups. *Int J Prosthodont.* 2013;26:478-86.
2. Milardović S, Viskiće J, Štefančić S, Renner Sitar K, Vojvodić D, Mehulić K. Oral Hygiene and Gingival Health in Patients with Fixed Prosthodontic Appliances – A 12-Month Follow-up. *Coll Antropol.* 2012;36(1):213-20.
3. Peršić S, Milardović S, Mehulić K, Čelebić A. Psychometric Properties of the Croatian Version of the Orofacial Esthetic Scale and Suggestions for Modification. *Int J Prosthodont.* 2011;24(6):523-33.
4. Viskiće J, Milardović S, Katanec D, Vojvodić D, Mehulić K. Immediate implantation in infected tooth sockets. *Coll Antropol.* 2011;35(1):217-21.
5. Dukić W, Lulić Dukić O, Milardović S, Delija B. Clinical Evaluation of Indirect Composite Restorations at Baseline and 36 Months After Placement. *Oper Dent.* 2010;32(2):156-64.
6. Dukić W, Trivanović Dobrijević T, Katunarić M, Milardović S, Šegović S. Erosive Lesions in Patients With Alcoholism. *J Am Dent Assoc.* 2010;141(12):1452-8.
7. Dukić W, Lulić Dukić O, Milardović S. The Influence of Healozone on Microleakage and Fissure Penetration of Different Sealing Materials. *Coll Antropol.* 2009;33(1):157-62.
8. Dukić W, Lulić Dukić O, Milardović S, Vindakijević Ž. Clinical comparison of flowable composite to other fissure sealing materials: a 12 months study. *Coll Antropol.* 2007;31(4):1019-24.

Radovi u drugim časopisima:

1. Milardović Ortolan S, Strujić M, Aurer A, Viskiće J, Bergman L, Mehulić K. Esthetic Rehabilitation of Complicated Crown Fractures Utilizing Rapid Orthodontic Extrusion and Two Different Restoration Modalities. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2012;5(1):64-7.

2. Dukić W, Vindakijević Ž, Lulić Dukić O, Milardović S. Influence of Different Prophylactic Pastes and Cleaning Methods on DIAGNOdent/DIAGNOdent Pen Readings. *Acta Stomatol Croat.* 2007; 41(4):315-25.
3. Kostelić Stunić M, Kranjčić J, Peršić S, Milardović S, Vicković M, Lončar A. Utjecaj stabilnosti gornje proteze na zadovoljstvo pacijenata. *Acta Stomatol Croat.* 2012; 46(2):135-41.

Stručni i pregledni radovi:

1. Milardović S, Dukić W. KaVo DIAGNOdent pen – Moderan pristup otkrivanju aproksimalnog i okluzalnog karijesa. 2007. Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2007;8:59-61.
2. Milardović Ortolan S, Medojević D, Bergman Gašparić L, Viskiće J, Mehulić K. Klinički i laboratorijski tijek izrade staklokeramičke krunice. Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2012;24:88-91.
3. Milardović Ortolan S, Bergman L, Viskiće J, Mehulić K, Salarić I. Određivanje boje u okviru fiksnoprotetske terapije. Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2012;13:84-7.
4. Milardović S, Viskiće J, Mehulić K. Privremeni fiksnoprotetski radovi. Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2011;21:62-5.
5. Milardović S, Čatić A, Viskiće J, Mehulić K. Privremeni nadomjesci u implantoprotetskoj terapiji. Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2011; 22:85-8.
6. Milardović S, Mehulić K, Viskiće J, Jakšić A. Cementiranje potpuno keramičkih protetskih radova. Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2010;1:52-5.
7. Milardović S, Mehulić K, Soldo M. "NON-PREP" ljuskice. Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2009;19:78-9.
8. Milardović S, Dukić W. Oscilirajuća/ultrasonična tehnika preparacije kaviteta. Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2008;16:61-3.
9. Bergman Gašparić L, Milardović Ortolan S, Viskiće J, Mehulić K. Inlay mostovi. Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2012;24:27-9.
10. Viskiće J, Milardović S, Bergman Gašparić L, Mehulić K. Rotirajući instrumenti u fiksnoj protetici. *Vjesnik Dentalne Medicine.* 2012;2:9-11.

11. Radić T, Sablić V, Milardović Ortolan S, Mehulić K. Wax up i mock up u fiksnoprotetskoj terapiji. Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2012;24:57-9.
12. Viskiće J, Milardović S, Mehulić K. Elektroforetski nanošena keramika. Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2011; 21:38-9.
13. Perić M, Perković I, Viskiće J, Milardović Ortolan S, Mehulić K. Predotisni postupci retrakcije gingive. Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2013;14:86-8.
14. Mehulić K, Bergman Gašparić L, Milardović Ortolan S; Viskiće J. Skidanje fiksnoprotetskog rada. Sonda: list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2013;25:78-80.

Kongresna priopćenja (sažeci) u časopisima i zbornicima skupova:

1. Milardović S, Strujić M, Aurer A, Viskiće J, Bergman L, Mehulić K. Esthetic Rehabilitation of Complicated Crown Fractures after Rapid Orthodontic Extrusion. Abstracts of the 45th Meeting of the CED-IADR with the Scandinavian Division Journal of Dental Research 90. Budapest, 2011. 290.
2. Peršić S, Milardović S, Mehulić K, Čelebić A. Psychometric Properties of the Croatian version of the Orofacial Esthetic Scale. J Dent Res. 2011. 20.
3. Milardović S, Viskiće J, Peršić S, Mehulić K. Restoration of a Transpositioned Canine: Can an Intraoral Mock-up be too good? 35th Annual Congress EPA. Bern, 2011. 89.
4. Viskiće J, Milardović S, Rebić J, Bergman L, Mehulić K. Rigde-split osteotomy, augmentation and immediate implantation in infected tooth sockets. Book of Abstracts of the 35th Annual Congress EPA. Bern: European Prosthodontic Association, 2011. 101.
5. Jakovac M, Milardović Ortolan S. Esthetic treatment of a complex crown fracture in a child. Knjiga sažetaka 7. Hrvatskog međunarodnog Quintessence kongresa. Zagreb: Media Ogled, 2012. 5.
6. Milardović Ortolan S, Jakovac M. Management of a rare canine fracture by an esthetic approach. Ivoclar Vivadent – Competence in Esthetics, 2012.
7. Bergman Gašparić L, Viskiće J, Milardović Ortolan S, Mehulić K. SEM analiza morfoloških promjena površine cirkonijoksidne keramike uzrokovanih različitim načinima

- obrade. Acta Stomatol Croat. Zagreb: University of Zagreb School of Dental Medicine, 2013. 366.
8. Milardović Ortolan S, Bergman Gašparić L, Viskiće J, Mehulić K. Instrumentalne metode određivanja boje u fiksnoprotetskoj terapiji. Acta Stomatol Croat. Zagreb: University of Zagreb School of Dental Medicine, 2013. 360.
  9. Viskiće J, Milardović Ortolan S, Bergman Gašparić L, Mehulić K. Primjena litij-disilikatne keramike u estetskoj sanaciji prednjih zuba. Acta Stomatol Croat. Zagreb: University of Zagreb School of Dental Medicine, 2013. 361.