

# Ispitivanja kvaliteta polimerizacije kompozitnih materijala polimerizovanih LED svetlosnim izvorom

YU ISSN 0039-1743  
UDK 616.31

## Polymerization Quality Testing of Composite Resins Cured by LED Light Source

### KRATAK SADRŽAJ

Kvalitet veze ostvaren u međuspoju zub-kompozitni ispun u velikoj meri zavisi od procesa svetlosne polimerizacije. Svetlosni izvori sa plavim svetlosno-emitujućim diodama (LED) predstavljaju najaktuelnije polimerizacione izvore u savremenoj stomatologiji.

Prezentovana istraživanja su imala za cilj određivanje dubine polimerizacije kod pet restaurativnih kompozitnih materijala polimerizovanih eksperimentalnim LED izvorom nakon ekspozicija od 5s, 10s, 20s i 40s. U istraživanju su testirani sledeći materijali: Tetric Ceram (Vivadent), Point 4 (Kerr), Admira (VOCO), Filtek Z 250 (3M) i Diamond Lite (DRM Lab., Inc). Dubina polimerizacije je determinisana penetrometrom.

Rezultati su ukazali da je najveća dubina polimerizovanog sloja materijala nakon ekspozicije od 40s ostvarena kod restaurativnog materijala Filtek Z 250, zatim kod materijala Diamond Lite, Point 4 i Tetric Ceram, dok je kod materijala Admira uočena najmanja debljina polimerizovanog sloja.

Dobijeni rezultati takođe ukazuju da je vreme ekspozicije od 10s dovoljno za ostvarivanje polimerizovanog sloja debljine preko 2 mm kod svih testiranih materijala.

Dubina polimerizacije ne zavisi samo od emitovane snage izvora (iradijansa), već i od spektralne distribucije izvora.

**Ključne reči:** restaurativni kompozitni materijal, dubina polimerizacije, plave svetlosno-emitujuće diode (LED).

**Blažić Larisa<sup>1</sup>, Živković Slavoljub<sup>2</sup>,  
Pantelić Dejan<sup>3</sup>, Pipić Vladimir<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Klinika za stomatologiju

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Stomatološki fakultet, Klinika za Bolesti zuba

<sup>3</sup>Univerzitet u Beogradu, Institut za fiziku, Centar za atomsku i subatomsku fiziku

<sup>4</sup>"Kontrol inženjering" d.o.o. Beograd

### ORIGINALNI RAD

Stom Glas S, 2003; 50:7-12

Kvalitet veze restaurativnih kompozitnih materijala i tvrdih zubnih tkiva značajno zavisi i od kvaliteta, odnosno tehnike polimerizacije ispun. Svetlosna energija izvora za polimerizaciju kompozitnih materijala uzrokuje pobuđivanje kamforhinonskih molekula, koji u kombinaciji sa tercijernim aminom, kao redukujućim agensom produkuju slobodne radikale čime započinje konverzija monomera u lance polimera, odnosno proces polimerizacije.

Iako je dentalna tehnologija ponudila stomatološkoj praksi različite vrste svetlosnih izvora, konvencionalni halogeni izvori još uvek predstavljaju osnovne jedinice za polimerizaciju kompozitnih restaurativnih materijala. Ono što karakteriše ove izvore je relativno mala snaga (35-75 W) i spektralna emisija velikog broja talasnih dužina koje se uklanjaju posebnim filterima. Ovi izvori svetlosti emituju svetlosnu energiju talasnih dužina između 400 i 500 nm<sup>1,2,3</sup>, i poseduju iradijansu do 1000 mW/cm<sup>2</sup><sup>1</sup>. Najčešće vreme ekspozicije halogenih svetlosnih izvora je između 40 i 60s za debljinu sloja materijala do 2 mm<sup>4,5,6</sup>.

Tehnološke inovacije u ovoj oblasti doprinele su i uvođenju novih izvora za polimerizaciju; kao što su ksenonske lampe, LED izvori i argon laseri.

Ksenonski izvor, odnosno plazma lampa obezbeđuje izuzetno visok nivo iradijansi (gustina snage) u polimerizacionom procesu čime se značajno može redukovati ekspozicija (1-10 s), ali bez uticaja na kvalitet polimerizacije kompozitnih materijala<sup>7</sup>.

Argon laser je poslednjih godina takođe aktuelan izvor za polimerizaciju restaurativnih materijala pre svega zbog značajnog skraćivanja vremena (5-10 s). Uska spektralna emisija zračenja koje emituju ovi izvori utiče na kvalitet polimerizacije, odnosno značajno povećava efikasnost konverzije monomera u polimer i time doprinosi boljim mehaničkim osobinama polimerizovanih kompozitnih materijala<sup>8,9</sup>.

Intenzivan razvoj dentalnih tehnologija uveo je u stručnu praksu i trenutno vrlo aktuelne izvore svetlosne energije za fotopolimerizaciju kompozitnih restaurativnih materijala bazirane na tehnologiji plavih svetlosno-emitujućih dioda (LED)<sup>10</sup>. Ove diode produkuju plavu svet-

lost bez primene filtera, poseduju otpornost na vibracije, napajaju se malim naponima i imaju vek trajanja od preko 10000 radnih sati bez promena u kvalitetu emitovane svetlosti tokom vremena. Razvojna tehnologija plavih svetlosno-emitujućih dioda stalno napreduje, tako da počev od silikon-karbidnih (koje postoje dugi niz godina) i imaju svetlosnu snagu od  $7 \mu\text{W}^{11}$  danas postoje i plave diode sa izlaznom snagom od oko 10 mW po diodi. Ovi svetlosni izvori sa svetlosnom energijom iradijansi od približno  $400 \text{ mw/cm}^2$  i više, kao i rasponom talasnih dužina koje direktno "pogađaju" fotoinicijator kamforhinon na 468 nm, omogućavaju da se i sa manjim iradijansama i kraćim ekspozicijama ostvari isti kvalitet polimerizacije materijala.

**Cilj** ovog rada bio je da se u zavisnosti od vremena ekspozicije proveri dubina polimerizacije pet različitih restaurativnih svetlosno-polimerizujućih materijala polimerizovanih eksperimentalnim izvorom svetlosti sa plavim svetlosno-emitujućim diodama (LED).

## Materijal i metod

Kao materijal u istraživanju korišćeno je pet svetlosno-aktivirajućih kompozitnih restaurativnih materijala (tabela 1.), a kao izvor za polimerizaciju specijalno konstruisan svetlosni izvor sa plavim svetlosno-emitujućim diodama (LED).

Tabela 1. Testirani materijali

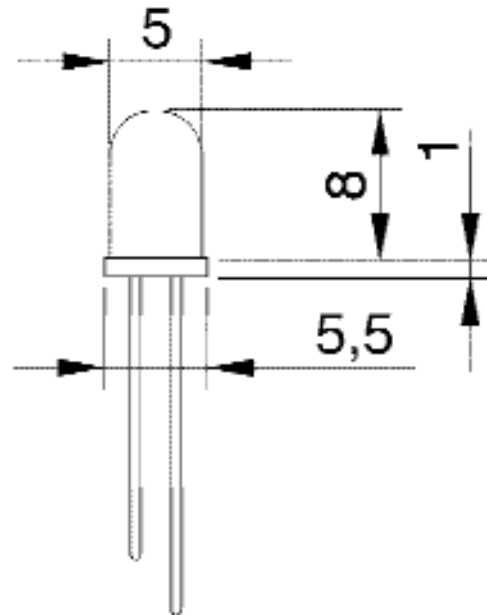
Table 1. Materials tested

Materijal	Proizvođač
Tetric Ceram	Vivadent, Liechtenstein
Point 4	Kerr, USA
Admira	VOCO; GmbH, Germany
Filtek Z 250	3M Dental Products Div, USA
Diamond Lite	DRM Laboratories. Inc, USA

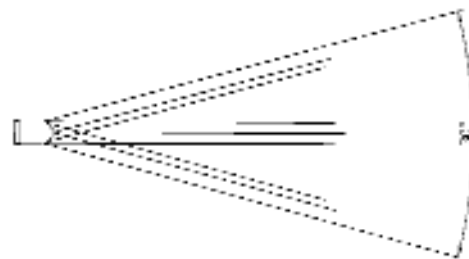
Svetlosni izvor za polimerizaciju restaurativnih materijala (LED) primenjen u ovom istraživanju je konstruisan u Laboratoriji za optoelektroniku i lasere Instituta za fiziku u Zemunu. Pored neophodnih pratećih elektronskih elemenata, ovaj uređaj sadrži ukupno 42 plave svetlosno-emitujuće diode (Hosfelt Electronics Inc., USA) koje su postavljene na površini sfere radijusa 30 mm u ukupno 6 identičnih redova.

Maksimum emitovane svetlosne energije je na talasnoj dužini od 466 nm dok je elektromagnetno zračenje emitovano unutar ugla od  $29,5^\circ$ .

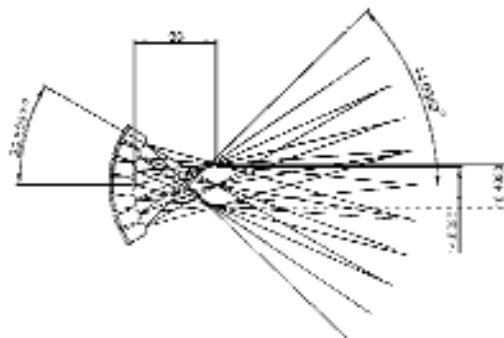
Prema specifikaciji jačina svetlosti iznosi 6000 mCd dok je svetlosna snaga u rasponu od 7 -10 mW po diodi. Ove diode se napajaju jednosmernom strujom napona između 2,5 - 3 V, uz nominalnu jačinu struje od 20 mA.



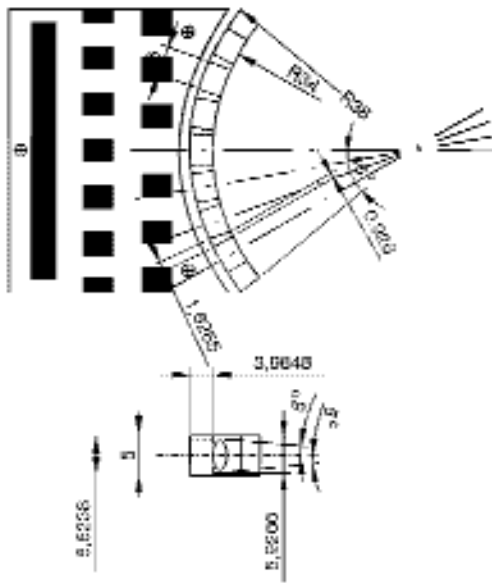
Slika 1. Mehaničke dimenzije (mm) jedne LED  
Figure 1. Mechanical dimension (mm) of one LED



Slika 2. Ugaona raspodela svetlosti emitovane iz jedne LED  
Figure 2. Light angle distribution of one LED



Slika 3. Prostorni raspored jednog niza od 7 LED  
Figure 3. Space distribution of one line with 7 LED included



Slika 4. Montažna šema jednog bloka od 7 LED  
Figure 4. Schematic of one block with 7 LED included

Dubina polimerizacije testirana je tako što je kompozitni materijal aplikovan u specijalno pripremljene čelične cilindrične modle dijametara 4 mm i visine 6 mm. Cilindrična modla (presten) je postavljena na staklenu pločicu i potom je plastičnim instrumentom unošen kompozitni materijal. Da bi se obezbedilo dobro "pakovanje" posle unošenja dovoljne količine materijala i sa druge strane modle je postavljeno predmetno staklo. Potom je sa jedne strane uklonjeno staklo a kompozitni materijal je prosvetljen kroz transparentnu (celuloidnu) traku u vremenskim intervalima od 5, 10, 20 i 40 s. Za svaki testirani materijal i za svaki vremenski interval polimerizacije korišćeno je po pet uzoraka, odnosno za svaki materijal je pripremljeno po 20 uzoraka.

Merenje dubine polimerizacije urađeno je penetrometrom specijalno konstruisanim za ova istraživanja sličnim onom predloženim od strane Harrington-a i Wilson-a<sup>12</sup>.

Dubina polimerizacije merena je nakon završenog vremenskog intervala polimerizacije sa druge strane čelične modle, odnosno sa suprotne strane onoj koja je bila u direktnom kontaktu sa svetlosnim izvorom.

Merni instrument penetrometar sadrži iglu debljine 0,5 mm koja je čvrsto vezana za teg od 1250 gr. Merni proces počinje kada se teg i igla podignu i učvrste na nultoj poziciji (postupak se ponavlja se pre svakog mernog ciklusa) a dubina polimerizacije se meri polaganim spuštanjem igle kroz nepolimerizovani sloj materijala sve dok se ne zaustavi na sloju koji je polimerizovan (čvrst). Debljina nepolimerizovanog sloja se pri tom direktno očitava na mernoj skali instrumenta.

Za svaki testirani materijal pri različitim vremenskim intervalima, izračunate su srednje vrednosti debljine polimerizovanog sloja (dubine polimerizacije) i vrednosti standardnih devijacija. Dobijeni rezultati su statistički testi-

rani analizom varijanse a razlike između ispitivanih materijala su testirane primenom Studentovog t-testa.

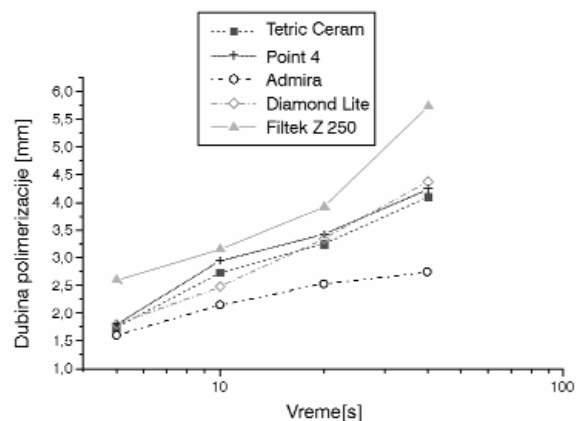
## Rezultati

Rezultati testiranja dubine polimerizacije kompozitnih restaurativnih materijala prikazani su u tabeli 2. i grafikonu 1.

Tabela 2. Srednje vrednosti debljine polimerizovanog sloja (mm) restaurativnih kompozitnih materijala pri različitim vremenskim intervalima svetlosne polimerizacije.

Table 2. Restorative composite resins depth of cure mean values (mm) cured in different curing cycles.

Vreme polimerizacije (s)	Tetric Ceram	Point 4	Admira Lite	Diamond 250	Filtek Z
5	1,76	1,80	1,61	1,81	2,60
10	2,74	2,97	2,16	2,50	3,17
20	3,28	3,45	2,56	3,37	3,95
40	4,14	4,28	2,78	4,42	5,77



Grafikon 1. Debljina polimerizovanog sloja u funkciji vremena polimerizacije.  
Graph 1. Depth of cure as a function of curing time

Najveća prosečna vrednost dubine polimerizacije pri ekspoziciji od 5 sekundi bila je kod restaurativnog materijala Filtek Z 250 (2,60 mm), nešto manja kod Diamond Lite (1,81 mm), Point 4 (1,80 mm) i Tetric Ceram-a (1,76 mm), dok je najmanja dubina polimerizacije zapažena kod restaurativnog materijala Admira (1,61mm).

Nakon ekspozicije od 10 s najveća dubina polimerizacije uočena je kod kompozitnog materijala Filtek Z 250 (3,17 mm), zatim kod Point 4 (2,97 mm), Tetric Ceram (2,74 mm), Diamond Lite (2,50 mm) i najmanja kod materijala Admira (2,16 mm).

Vrednosti dubine polimerizacije nakon ekspozicije od 20 s takođe su se razlikovale. Najveća vrednost je dobijena

za kompozitni materijal Filtek Z 250 (3,95 mm), zatim kod Point 4 (3,45 mm), Diamond Lite (3,37 mm) i Tetric Ceram-a (3,28 mm). Najmanja vrednost dubine polimerizacije nakon ekspozicije od 20 sekundi takođe je konstatovana kod ormocera Admira (2,56 mm).

Dubina polimerizacije nakon osvetljavanja materijala svetlosnim izvorom u trajanju od 40 sekundi je imala najveću vrednost kod Filtek-a Z 250 (5,77 mm), potom kod materijala Diamond Lite (4,42 mm), nešto manje kod Point 4 (4,28 mm) i Tetric Ceram-a (4,14 mm). Najmanja vrednost dubine polimerizacije posle ekspozicije od 40 s konstatovana je kod restaurativnog materijala Admira (2,78 mm).

Statističkom analizom uz primenu F-testa potvrđeno je da vrsta materijala značajno utiče na dubinu polimerizacije i to kod svih testiranih vremena ekspozicije ( $F=5043,16$   $p=0,0009$ ). Značajnost razlika u dubini polimerizacije između testiranih materijala proveravana je Studentovim t-testom. Poređenjem dobijenih vrednosti dubine polimerizacije kompozitnih materijala posle ekspozicije od 5s konstatovana je statistički značajna razlika između korišćenih materijala ( $p<0,01$ ). Posle ovog perioda značajnih razlika nije bilo jedino između materijala Point 4 i Diamond Lite. Statistički značajne razlike u dubini polimerizacije uočene su između svih testiranih materijala posle ekspozicija od 10, 20 i 40s ( $p<0,01$ ).

## Diskusija

Jedan od osnovnih parametara koji ukazuju na kvalitet polimerizacije je i debljina polimerizovanog sloja restaurativnog materijala. Dubina polimerizacije kompozitnih restaurativnih materijala je u ovom istraživanju merena u funkciji trajanja polimerizacionog procesa indukovanog plavim svetlosno-emitujućim diodama (LED).

LED izvor angažovan u iznetom istraživanju poseduje iradijansu od 400 mW/cm<sup>2</sup> šta znači da je jednako efikasan u polimerizacionom procesu kao halogeni izvor iradijansa između 700-1000 mW/cm<sup>2</sup>. Osim toga, LED svetlosni izvori za polimerizaciju restaurativnih materijala su zbog karakteristika spektralne emisije 2-3 puta efikasniji od halogenih (u odnosu na vreme ekspozicije), a uz to imaju i 10 puta manji utrošak energije<sup>13</sup>. Prednost LED izvora je u tome što poseduje maksimalnu iradijansu na talasnoj dužini od 465 nm<sup>14</sup>, dok je apsorpcioni maksimum kamforhinona (fotoinicijator u većini kompozitnih materijala) 468 nm<sup>15</sup>. Ovaj podatak jasno potvrđuje da se emitovana svetlosna energija maksimalno angažuje u procesu polimerizacije, čime se omogućava kraće vreme ekspozicije uz zadovoljavajuću dubinu i kvalitetnu polimerizaciju materijala.

U ovim istraživanjima testirani restaurativni materijali su izlagani svetlosnoj energiji u različitim vremenskim intervalima. Rezultati potvrđuju da na dubinu polimerizacije restaurativnih materijala značajno utiče trajanje ekspozicije svetlosnog izvora. Eksperimentalni LED izvor je u procesu polimerizacije već nakon 5s ostvario zadovoljavajuću debljinu sloja polimerizovanog materijala Filtek Z 250 (2,60mm) kao i vrlo slične debljine polimerizovanih slojeva

kod ostalih restaurativnih materijala (približno 2 mm). Ovako kratko vreme polimerizacionog ciklusa (5s) nije opisano u istraživanjima vezanim za svetlosne izvore sa plavim svetlosno-emitujućim diodama (LED). Značajno skraćenje vremena polimerizacije se inače vezuje za pojam svetlosnih izvora visokih iradijansi (1000 mW/cm<sup>2</sup> i više) odnosno za polimerizaciju plazma lampama ili argon laserima<sup>16,17</sup>. Dobijene visoke vrednosti dubine polimerizacije nakon ekspozicije od 5 sekundi mogu se objasniti konstrukcionim karakteristikama eksperimentalnog LED izvora gde su plave svetlosno-emitujuće diode posebno fokusirane i gde nije korišćen vodič svetlosti te ne dolazi do gubitaka svetlosne energije.

Slična istraživanja su sprovedi i Tanoue<sup>18</sup> i sar. koji su ispitivali performanse različitih laboratorijskih izvora za svetlosnu polimerizaciju restaurativnih materijala određivanjem dubine polimerizacije. Njihovi rezultati ukazuju da vreme trajanja ekspozicije značajno utiče na povećanje dubine polimerizacije kod svih testiranih svetlosnih izvora. Uticaj vremena ekspozicije na dubinu polimerizacije kod komercijalnih LED izvora ispitivali su i Dialani<sup>19</sup> i sar. čiji rezultati ukazuju da ova vrsta svetlosnog izvora posle ekspozicije od 40s ostvaruje veću dubinu polimerizacije materijala u poređenju sa halogenim izvorom. Međutim, Porche<sup>20</sup> i sar. su ispitivali dubinu polimerizacije kod različitih kompozitnih materijala nakon 20 i 40 sekundi i dobili sasvim drugačije rezultate. Prema njihovim nalazima LED izvor nije ostvario dubinu polimerizacije materijala od 2 mm ni nakon ekspozicije od 40 sekundi.

Da bi se ostvarila maksimalna kontrola u ispitivanjima i obezbedila maksimalna mogućnost poređenja dobijenih rezultata, svi testirani kompozitni svetlosno-aktivirajući materijali su bili iste nijanse (A-2). Ovo je bilo značajno zbog činjenice da optičke karakteristike kompozitnih smola mogu značajno da utiču na dubinu polimerizacije (fotoni svetlosti stupaju u interakciju sa česticama punila te dolazi do rasipanja svetlosnog zraka)<sup>21</sup>. Pri izboru materijala, osim boje, pažnja je posvećena i sastavu, odnosno međusobnoj zastupljenosti organske i neorganske komponente restaurativnog materijala. Tako su svi ispitivani materijali, sem ormocera Admira, bili iz grupe mikrohibridnih kompozita, šta znači da je sadržaj punila sličan, odnosno prosečne veličine čestica su bile sličnih vrednosti. Potvrđeno je da manje čestice punila više rasipaju svetlost nego krupnije čestice<sup>22</sup> jer svetlosna energija prilikom prodiranja kroz materijale malih čestica daleko teže penetrira u dublje slojeve materijala zbog izrazitog rasipanja svetlosnog zraka<sup>23</sup>.

Iz svakodnevnih kliničke prakse je poznato da polimerizacija kompozitnih restaurativnih materijala halogenim svetlosnim izvorima traje najmanje 40s. Takođe se ne preporučuje polimerizovanje slojeva debljih od 2 mm, jer su moguće loše post-polimerizacijske osobine kompozitnih materijala. Međutim, kako je jedan od najaktuelnijih ciljeva savremene adhezivne stomatologije skraćenje vremena polimerizacije uz poboljšanje kvaliteta ispuna, u ovim istraživanjima su testirani restaurativni materijali izlagani svetlosnoj energiji u različitim vremenskim intervalima. Ono šta se na osnovu ovih istraživanja može uočiti je i podatak da je posle ekspozicije od 10 sekundi kod svih materijala ost-

varena veća dubina polimerizacije od 2 mm, a koja po mišljenju brojnih istraživača predstavlja osnovni zahtev u polimerizacionom procesu<sup>24,25</sup>. Nakon ekspozicije od 20 sekundi dubina polimerizacije je kod svih testiranih materijala iznosila između 3 i 4 mm, izuzev kod kompozitnog materijala Admira (2,56 mm). Slična istraživanja su sprovedeli Porsche<sup>20</sup> i sar. koji su ocenjivali dubinu polimerizacije različitih kompozitnih materijala, među kojima je bio i Filtek Z 250. Posle polimerizacije u trajanju od 20s LED izvorom Luxomax (Panasonic-Heraeus Dental), dubina polimerizovanog sloja kompozitnog materijala je iznosila oko 2 mm.

U ovom istraživanju je posle 40 sekundi, više od 2/3 materijala u modli bilo polimerizovano, a dubina polimerizacije je iznosila više od 4 mm kod Tetric Ceram-a, Point 4-a, Filtek-a Z 250 i Diamond Lite-a restaurativnih materijala. U okviru sličnih istraživanja dubine polimerizacije penetrometrom, Mills i Jandt<sup>26</sup> su testirali dva LED izvora (komercijalni i prototip) sa iradijansama od 119 mW/cm<sup>2</sup> i 666 mW/cm<sup>2</sup>. Prototip LED izvora (666 mW/cm<sup>2</sup>) je ostvario daleko veću dubinu polimerizacije, odnosno vrednosti polimerizovanog sloja su iznosile više od 6 mm nakon ekspozicije od 40 sekundi. Ernst<sup>27</sup> i sar. su ispitivali debljinu polimerizovanog sloja materijala posle primene LED svetlosnog izvora Elipar Free Light (ESPE, Germany) sa iradijansom od 375 mW/cm<sup>2</sup>. Dubina polimerizacije, nakon 40 sekundi ekspozicije iznosila je za Tetric Ceram 4,5 mm a za Filtek Z 250 5 mm. Dubinu polimerizacije materijala Point 4 i Filtek Z 250 nakon polimerizacije u trajanju od 40s izvorom sa plavim svetlosno-emitujućim diodama merili su Munoz<sup>28</sup> i sar. Oni su uočili da LED izvor iradijansa 375 mW/cm<sup>2</sup> ostvaruje sasvim zadovoljavajuću dubinu polimerizacije materijala od preko 3 mm šta su ocenili kao dobar rezultat.

Upadljivo manje izmerene vrednosti debljine polimerizovanog sloja pri svim vremenima ekspozicije, i uz bitno manji porast dubine polimerizacije, nađene su za testirane uzorke materijala Admira. Ovo se može objasniti činjenicom da je ovaj svetlosno-polimerizujući kompozitni materijal iz grupe ormocera koji se u izvesnoj meri razlikuju od drugih kompozitnih materijala kako po sastavu organske tako i neor-

ganske komponente<sup>29</sup>. Naime, Admira sadrži 700-1000 puta veće pre-polimerizovane molekule u poređenju sa tradicionalnim kompozitima na bazi smola šta svakako utiče na transmisiju svetlosti i usporava proces polimerizacije. U ovom istraživanju dubina polimerizacije ormocera Admira je pokazala najmanji porast vrednosti (mm) u funkciji vremena, šta ukazuje na mogućnost da je za ovaj materijal potrebno angažovanje svetlosnih izvora većih iradijansi i/ili vreme ekspozicije duže od 20s za sloj materijala deblji od 2 mm.

Rezultati istraživanja pokazuju da sastav, odnosno vrsta restaurativnog kompozitnog materijala, ima značajnog uticaja na dubinu polimerizacije (debljinu polimerizovanog sloja) pri različitim vremenima ekspozicije. Dobijeni rezultati takođe ukazuju na mogućnost uticaja sastava restaurativnog materijala (posebno neorganske komponente) odnosno koncentracije fotoinicijatora kamforhinona i drugih hemijskih jedinjenja koja učestvuju u polimerizacionom procesu na debljinu i kvalitet polimerizovanog sloja materijala.

## Zaključak

Ostvarena dubina polimerizacije materijala eksperimentalnim svetlosnim izvorom sa plavim svetlosno-emitujućim diodama u okviru ovog istraživanja ukazuje na zadovoljavajuće rezultate i mogućnost praktične primene ovog LED izvora za polimerizaciju restaurativnih kompozitnih materijala.

Dubina polimerizacije ne zavisi samo od emitovane snage (iradijansa) svetlosnog izvora već je za kvalitetnu polimerizaciju materijala vrlo značajna i spektralna emisija proizvedene svetlosne energije. Dobijeni rezultati takođe ukazuju da je vreme ekspozicije od 10 sekundi dovoljno za ostvarivanje kvalitetnog procesa polimerizacije ovim LED izvorom jer je debljina polimerizovanog sloja za sve restaurativne materijale iznosila preko 2 mm.

Najveća dubina polimerizovanog sloja materijala nakon ekspozicije od 40 sekundi dobijena je kod restaurativnog materijala Filtek Z 250, potom kod Diamond Lite, Point 4 i Tetric Ceram-a, dok je kod restaurativnog materijala Admira uočena najmanja debljina polimerizovanog sloja.

## Literatura

1. Cook WD. Spectral distribution of dental photopolymerization sources. *J Dent Res*, 1982; 61: 1436-1438.
2. Blankenau RJ, Kelsey WP, Cavel WT, Blankenau P. Wavelength and intensity of seven systems for visible light-curing composite resins: A comparison study. *J Am Dent Assoc*, 1983; 106: 471-474.
3. Lee SY, Chiu CH, Boghosian A, Greener EH. Radiometric and spectroradiometric comparison of power outputs of five visible light-curing units. *J Dent*, 1993; 21: 373-377.
4. Rueggeberg FA. Contemporary issues in photo-curing. *Compend Cont Educ Dent*, 1999; 20(Suppl): S4-S15.
5. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr. Effects of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent*, 1994; 19: 26-32.
6. Maris JT, Danheimer MF, Germishuys PJ, Borman JW. Depth of cure of light-cured composite resin with light-curing units of different intensity. *J Dent Assoc S Afr*, 1997; 52:403-407.
7. Millar BJ, Nicholson JW. Effect of curing with a plasma light on the properties of polymerizable restorative materials. *J Oral Reh*, 2001; 28(6): 549-552.
8. Blankenau RJ, Kelsey WP, Powell GL, Shearer GO, Markmeier WW, Cavel WT. Degree of composite resin polymerization with visible light and argon laser. *Am J Dent*, 1991; 4: 40-42.
9. Kelsey WP, Blankenau RJ, Powell GL, Barkmeier WW, Stormberg EF. Power and time requirements for use of the argon laser to polymerize composite resins. *J Clin Laser Med Surg*, 1992; 10: 273-278.
10. Haitz RH, Craford MG, Weissman RH. Light Emitting Diodes. IN Bass M (ed) Handbook of optics. 2<sup>nd</sup> ed. pp12.1-12.39, McGraw Hill Inc, 1995.

11. Nakamura S, Mukai T, Senoh M. High-power GaN P-N Junction blue light-emitting diodes. *Jpn J Appl Phys Lett*, 1991; 30: L1998-L2001.
12. Harrington E, Wilson HJ. Depth of cure of radiation-activated materials. Effect of mould material and cavity size. *J Dent*, 1993; 21: 305-311.
13. Fujibayashi K, Ishimaru K, Takahashi N, Kohno A. A newly developed curing unit using blue light-emitting diodes. *Dent Jpn*, 1998; 34: 49-53.
14. Stahl F, Ashworth SH, Jandt KD. Light-emitting diodes (LED) polymerization of dental composites: flexural properties and polymerization potential. *Biomaterials*, 2000; 21: 1379-1385.
15. Nomoto R. Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. *Dent Mater J*, 1997; 16: 60-73.
16. Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E. Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. *Dent Mater*, 2000; 16(5): 330-336.
17. Fleming MG, Maillet WA. Photopolymerization of composite resin using the argon laser. *J Can Dent Assoc*, 1999; 65: 447-450.
18. Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M. Curing depth of a composite veneering material polymerized with seven different laboratory photo-curing units. *J Oral Reh*, 1998; 25(3): 199-206.
19. Dialani N, Sung E, Caputo AA. Effect of LED curing light on composite resin depth of cure. IADR/AADR/CADR 80<sup>th</sup> General Session (March 6-9, 2002), San Diego, Ca, USA.
20. Porshe C, Burges JO, Li L. Composite hardness cured with two curing lights at two times. IADR/AADR/CADR 80<sup>th</sup> General Session (March 6-9, 2002), San Diego, Ca, USA.
21. Kawaguchi M, Fukushima T, Miyazaki K. The relationship between cure depth and transmission coefficient of visible light activated resin composites. *J Dent Res*, 1994; 73: 516-521.
22. Pearson GJ. Aspects of the use and abuse of aesthetic restoratives. 1. Composite materials. *Dent Update*, 1990; 17: 103-108.
23. Mills RW, Jandt KD, Ashworth SH. Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. *Br Dent J*, 1999; 186: 388-91.
24. Jandt KD, Mills RW, Blackwell GB, Ashworth SH. Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light-emitting diodes (LEDs). *Dent Mater*, 2000; 16(1): 41-47.
25. Burtscher P, Rheinberger V. Efficiency of LED lights in comparison to halogen lamps. IADR/AADR/CADR General Session (March 6-9, 2002), San Diego, Ca, USA.
26. Mills RW, Jandt KD. LED and Halogen Polymerization - Composite Cure Depths and Power Outputs. IADR/AADR 79<sup>th</sup> General Session (June 27-30, 2001), Chiba, Japan.
27. Ernst CP, Scheiblich M, Victor A, Willershausen B. Depth of cure of a new blue LED light curing device. IADR/AADR 79<sup>th</sup> General Session (June 27-30, 2001), Chiba, Japan.
28. Munoz CA, Jessop N, Bernal G, Dunn JR. Depth of cure and hardness of various composites using a new LED curing light. IADR/AADR/CADR 80<sup>th</sup> General Session (March 6-9, 2002), San Diego, Ca, USA.
29. Wolter H. Kompakte Ormocers und Ormocer Komposite. Fraunhofer Silicate Research Institute at Würzburg, Germany annual report, 1995, S. 56-63.

#### POLYMERIZATION QUALITY TESTING OF COMPOSITE RESINS CURED BY LED LIGHT SOURCE

##### SUMMARY

The quality of interface between composite resin materials and hard dental tissues is highly dependent on the polymerization light source. Newly developed blue light-emitting diode units for light polymerization of dental restorative materials are the most innovative light source technology in dentistry nowadays.

The aim of this work was to estimate the depth of cure of five different light-activating composite resins exposed to different irradiation times (5s, 10s, 20s and 40s) when the experimental LED light source was used. The tested materials were: Tetric Ceram (Vivadent), Point 4 (Kerr), Admira (VOCO), Filtek Z250 (3M) and Diamond Lite (DRM Lab., Inc). The depth of cure testing was determined using a penetrometer. Results after 40s curing time were as following: the deepest depth of cure was achieved after application of Filtek Z 250, Diamond Lite, Point 4 and Tetric Ceram. For the restorative material Admira was found the lowest depth of cure for the light exposure of 40s.

An experimental LED light source achieved a sufficient depth of cure (over 2 mm) for all tested materials after curing time of 10s.

The polymerization light source spectral distribution should be considered in addition to irradiance as a depth of cure indicator.

**Key words:** composite resin, depth of cure, blue light-emitting diode (LED).

**Blazić L, Živković S, Pantelić D, Pipić V**

##### Address for correspondence

Larisa Blazić  
Klinika za stomatologiju  
Hajduk Veljkova 12.  
21000 Novi Sad  
tel. 021 612 222