

Mjerenje konverzije i temperature kompozita polimeriziranih halogenim i LED polimerizatorom

Alena Knežević¹
Zrinka Tarle¹
Andrej Meniga¹
Jozo Šutalo¹
Goran Pichler²
Mira Ristić³

¹Zavod za dentalnu patologiju
Stomatološkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu
²Institut za fiziku, Zagreb
³Institut "Ruđer Bošković",
Zagreb

Sažetak

Današnji kompozitni materijali polimeriziraju se vidljivim plavim svjetlom valne duljine oko 468 nm. Komercijalni uređaji za polimerizaciju kompozitnih materijala emitiraju plavo svjetlo različite jakosti. Uporaba uređaja za polimerizaciju jačega intenziteta sa svrhom da se postigne veći stupanj konverzije neminovno povećava zagrijavanje i temperaturu u materijalu tijekom stvrdnjavanja te polimerizacijski skuplja materijal. Svrha rada bila je utvrditi postoji li razlika između stupnja konverzije i porasta temperature triju ispitivanih kompozitnih materijala: Amelogen (Akeda Dental, Danska), Pertac II (ESPE, Seefeld, Germany), Z100 (3M Dental Products, St. Paul, Minnessotta, USA), polimeriziranih ekspanzijskim programom Elipar Trilight (ESPE, Seefeld, Njemačka) polimerizatora i Lux-o-Max (Akeda Dental, Danska) uređajem za polimerizaciju temeljenog na LED (light emitting diodes) tehnologiji. Rezultati su pokazali tek nešto niži stupanj konverzije pri polimerizaciji Lux-o-Max uređajem u odnosu prema ekspanzijskome programu Elipar Trilight polimerizatora. Temperaturni porast znatno je niži pri polimerizaciji Lux-o-Max uređajem za sve ispitivane kompozitne materijale u usporedbi s rezultatima dobivenima pri polimerizaciji ekspanzijskim programom Elipar Trilight polimerizatora.

Ključne riječi: halogeni polimerizator, plave diode, kompozitni materijali, stupanj konverzije, temperatura.

Acta Stomat Croat
2003; 159-164

IZVORNI ZNANSTVENI
RAD
Primljeno: 10. srpnja 2002.

Adresa za dopisivanje:

Alena Knežević
Zavod za dentalnu patologiju
Stomatološki fakultet
Gundulićeva 5, 10000 Zagreb

Uvod

Svjetlosno polimerizirajuće kompozitne smole u svojemu sastavu obično sadrže alfa-1,2 diketon (benzil ili kamforkinon) kao inicijator i amin kao reducirajući agens, najčešće dimetilaminoetil metakrilat. Plavo svjetlo valne duljine 400 do 500 nm

rabi se za pretvorbu alfa-diketona u pobuđeno stanje, odgovorno za nastanak slobodnih radikala (1).

Stupanj i dubina stvrdnjavanja svjetlosno polimerizirajućih kompozitnih smola ovisna je o svojstvima materijala (organska matrica, vrsta i udio anorganskoga punila, veličina čestica punila), optičkim svojstvima (boja, translucencija, refraktorni

indeks), intenzitetu i vremenu izlaganja plavomu svjetlu (2). Intenzitet plavoga svjetla halogenih žarulja uporabom opada, pa treba imati na umu da je maksimum polimerizacije pojedinoga kompozitnog materijala, polimerizirajući onoliko koliko preporučuje proizvođač, moguće samo pri optimalnom intenzitetu svjetla. Samo one valne duljine pri kojima je moguća aktivacija alfa-diketona omogućuju efektivnu polimerizaciju. Većina klasičnih uređaja za polimerizaciju ima valne duljine emitiranog spektra u intervalu od 390 do 510 nm od čega je efektivno zračenje samo u području spektra oko 468 nm kod kojega je apsorpcijski maksimum kamforkinona. Ostalo područje valnih duljina nije od koristi za polimerizaciju kompozitnih smola i uzrok je samo nepotrebnom razvoju temperature (3).

S ciljem da se eliminira nepotrebno zračenje halogenih žarulja, koje se danomice rabe u kliničkoj praksi, konstruiran je nov uređaj za polimerizaciju kompozitnih materijala temeljen na LED tehnologiji. Taj uređaj emitira zračenje valnih duljina bliskih spektru apsorpcije kamforkinona. Zbog užega spektra emitiranoga zračenja onemogućeno je stvaranje suviše temperature u procesu polimerizacije (4, 5, 6).

Svrha rada bila je usporediti stupanj konverzije i porast temperature triju kompozitnih materijala polimeriziranih halogenim polimerizatorom i uređajem s diodama.

Materijali i postupci

Mjerenje stupnja konverzije

Analiziran je polimerizacijski učinak eksponencijskog programa Elipar Trilight halogenog polimerizatora i Lux-o-Max polimerizacijskog uređaja temeljenog na LED tehnologiji. Kada se osvijetljava eksponencijskim programom Elipar Trilight polimerizatora, osvjetljavanje počinje jakošću od 100 mW/cm² i eksponencijski raste tijekom 15 sekundi na vrijednost od 800 mW/cm² i tu vrijednost zadržava do kraja 40-te sekunde. Jakost izlaznog intenziteta svjetla za Lux-o-Max uređaj iznosila je 50 mW/cm² prvih 10 sekundi i 150 mW/cm² sljedećih 30 sekundi. Intenzitet izlaznoga svjetla određen je Curing Radiometrom Model 100 (Demetron Research, Danbury, CT, USA). U eksperimentu su rabljeni kompozitni

materijali Amelogen (A), Pertac II (PII) i Z100 (Z100). Svi kompozitni materijali bili su boje A2.

Za potrebe mjerenja stupnja konverzije priređeno je po pet uzoraka za svaki materijal. Uzorak kompozitnoga materijala postavljen je između dvije Mylar folije te stlačen ručnom prešom pod tlakom od 107 Pa. Konačan uzorak bio je debljine 0,1 mm, promjera 1,5 cm. Takav uzorak osvjetljen je izvorom svjetla priljubljenim uz površinu uzorka 40 sekundi. Nakon što su se polimerizirani uzorci odvojili od Mylar folije FTIR (Fourier transform infracrvena spektrofotometrija), spektri polimeriziranog uzorka snimljeni su u transmisijskome modu uporabom Perkin Elmer Spektrometra Model 2000 (Perkin Elmer, Beaconsfield, Bucks, England) (4, 5, 7). Omjeri apsorpcijskih maksimuma računani su po načelu bazne linije koju je opisao F. A. Rugeberg (8). Stupanj konverzije računat je po formuli

$$\% \text{ konverzije} = (1 - (P/N)) \times 100\%$$

u kojoj je P - molarni omjer polimeriziranog, a N - molarni omjer nepolimeriziranog uzorka.

Mjerenje temperature

Da bi se izmjerila temperatura provedeno je po pet mjerenja za svaki uzorak. Uzorak kompozitnoga materijala smješten je u plastične kalupe veličine 4x4x4 mm. Za praćenje temperaturnih promjena rabljen je Metex multimetar spojen s računalom kako bi se na ekranu mogle pratiti promjene temperature tijekom 40 sekundi. Vršak temperature sonde toplomjera uronjen je u uzorak kompozitnoga materijala do dubine 1 mm i uzorak je polimeriziran 40 sekundi izvorom svjetla priljubljenim uz površinu uzorka. Porast temperature bilježen je na računalu uz očitavanje vrijednosti temperature nakon 10, 20 i 40 sekundi.

Deskriptivnom statistikom izračunane su srednje vrijednosti i standardne devijacije navedenih mjerenja, a stupnjevi znatnosti (p-vrijednosti) dobiveni su računalom varijance.

Rezultati

Dobiveni rezultati stupnja konverzije i temperature prikazani su u tablici 1, 2 i 3. Rezultati mjerenja stupnja konverzije Lux-o-Max uređajem za polime-

Tablica 1. Stupanj konverzije nakon 40 sekundi polimerizacije za Amelogen, Pertac II i Z100 kompozitni materijal

Table 1. Degree of conversion after 40 seconds of illumination for Amelogen, Pertac II and Z100 composite material

Izvor svjetla / Curing unit	N broj uzoraka / No. of samples	Minimum (%)	Maximum (%)	Srednja vrijednost / Mean value (%)	Standardna pogrješka / Standard error	Standardna devijacija / Standard deviation	Varijanca / Variance
Amelogen							
Elipar Trilight	5	61.21	63.17	62.31	0.346	0.7736	0.599
Lux-o-Max	5	58.99	60.12	59.58	0.2325	0.52	0.27
Pertac II							
Elipar Trilight	5	65.12	68.44	66.74	0.6741	1.507	2.272
Lux-o-Max	5	58.68	66.22	62.23	1.4139	3.1616	9.996
Z100							
Elipar Trilight	5	60.1	62.11	61.04	0.4057	0.9071	0.823
Lux-o-Max	5	58.12	59.13	58.61	0.2153	0.4815	0.232

Tablica 2. Temperaturni porast za Amelogen, Pertac II i Z100 kompozitni materijal nakon 10, 20 i 40 sekundi polimerizacije

Table 2. Temperature increase for Amelogen, Pertac II and Z100 composite material after 10, 20 and 40 seconds of polymerization

Izvor svjetla / Curing unit	N broj uzoraka / No. of samples	Minimum (°C)	Maximum (°C)	Srednja vrijednost / Mean value (°C)	Standardna pogrješka / Standard error	Standardna devijacija / Standard deviation	Varijanca / Variance	
Amelogen								
Elipar Trilight	10 s	5	2	3	2.4	0.24	0.55	0.3
	20 s	5	8	11	9.4	0.6	1.34	1.8
	40 s	5	11	14	12.6	0.51	1.14	1.3
Lux-o- Max	10 s	5	1	4	2.6	0.68	1.52	2.3
	20 s	5	4	7	5	0.55	1.22	1.5
	40 s	5	5	7	6.2	0.37	0.84	0.7
Pertac II								
Elipar Trilight	10 s	5	3	5	3.6	0.4	0.89	0.8
	20 s	5	6	13	10.2	1.2	2.68	7.2
	40 s	5	10	17	13.6	1.29	2.88	8.3
Lux-o- Max	10 s	5	2	4	2.8	0.37	0.84	0.7
	20 s	5	4	9	7.2	0.97	2.17	4.7
	40 s	5	4	9	7.2	0.86	1.92	3.7
Z100								
Elipar Trilight	10 s	5	2	3	2.6	0.24	0.55	0.3
	20 s	5	8	10	8.8	0.37	0.84	0.7
	40 s	5	10	14	12	0.71	1.58	2.5
Lux-o- Max	10 s	5	1	2	1.6	0.24	0.55	0.3
	20 s	5	3	6	4.4	0.51	1.14	1.3
	40 s	5	5	7	5.6	0.4	0.89	0.8

Tablica 3. Stupanj znatnosti dobivenih rezultata za stupanj konverzije i temperaturu

Table 3. P-values of degree of conversion and temperature measurements

ANOVA za ovisnost pojedine vrste kompozita o stupnju konverzije i temperaturi / ANOVA for composite materials dependance of degree of conversion and temperature		p-vrijednost / p-values
Lux-o-Max	10 s	0.455
	20 s	0.518
	40 s	0.67
Elipar Trilight	10 s	-
	20 s	-
	40 s	0.504
ANOVA za ovisnost stupnja konverzije dvaju različitih izvora svjetla / ANOVA for dependance of degree conversion for different curing units		0.355
ANOVA za odnos temperature u 20-oj sekundi dvaju različitih izvora svjetla / ANOVA for temperature in 20 th sec for different curing units		0.049
ANOVA za odnos temperature u 40-oj sekundi dvaju različitih izvora svjetla / ANOVA for temperature in 40 th sec for different curing units		0.005

rizaciju uspoređeni su s rezultatima polimerizacije uzoraka kompozitnih materijala polimeriziranih Elipar Trilight halogenom žaruljom i prikazani su u tablici 1. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da polimerizacija kompozitnih materijala Elipar Trilight halogenom žaruljom pokazuje minimalno viši stupanj konverzije nego polimerizacija Lux-o-Max uređajem. Najviše vrijednosti stupnja konverzije zabilježene su kod Pertac II kompozitnoga materijala pri osvjetljavanju iz oba izvora svjetla ($66,74 \pm 1,51\%$ pri polimerizaciji eksponencijskim programom Elipar Trilight halogenog polimerizatora i $62,23 \pm 3,16\%$ pri polimerizaciji Lux-o-Max uređajem). Najniže rezultate stupnja konverzije pokazao je Z100 kompozitni materijal pri polimerizaciji iz oba izvora svjetla ($61,04 \pm 0,91\%$ pri osvjetljavanju eksponencijskim programom Elipar Trilight halogenoga polimerizatora, te $58,16 \pm 0,48\%$ pri osvjetljavanju Lux-o-Max uređajem). Nije utvrđeno postojanje statistički znatne razlike ($p > 0,05$) između polimerizacije pojedinih kompozitnih materijala Lux-o-Max i Elipar Trilight uređajem za polimerizaciju.

Rezultati mjerenja temperature prikazani su u tablici 2. Najviše temperaturne vrijednosti izmjerene

su kod Pertac II kompozitnoga materijala pri osvjetljavanju iz oba izvora svjetla ($13,6 \pm 2,88^\circ\text{C}$ pri osvjetljavanju eksponencijskim programom Elipar Trilight halogenoga polimerizatora, te $7,2 \pm 1,92^\circ\text{C}$ pri osvjetljavanju Lux-o-Max uređajem za polimerizaciju nakon 40 sekundi). Najniži porast temperature zabilježen je za A kompozitni materijal pri polimerizaciji iz Elipar Trilight uređaja ($12,6 \pm 1,14^\circ\text{C}$), te za Z100 materijal ($5,6 \pm 0,89^\circ\text{C}$) pri osvjetljavanju Lux-o-Max uređajem nakon 40 sekundi. Utvrđeno je postojanje statistički znatne razlike između porasta temperature pri polimerizaciji kompozitnih materijala Elipar Trilight i Lux-o-Max uređajem u 20-oj ($p = 0,049$) i 40-oj ($p = 0,005$) sekundi polimerizacije (Tablica 3).

Rasprava

Važan čimbenik koji određuje učinkovitost jedinog uređaja za polimerizaciju jest intenzitet svjetlosti odgovarajuće valne duljine emitirane tijekom polimerizacije kompozitnoga materijala.

Dosadašnja ispitivanja stupnja konverzije kompozitnih materijala polimeriziranih standardnim halogenim žaruljama pokazala su da se stupanj konverzije kreće u rasponu od 60 do 75% (4, 5, 7, 9-12). Visok stupanj konverzije pridonosi većoj tvrdoći i čvrstoći materijala te većoj stabilnosti boje. Kakvoća polimerizacije kompozitnoga materijala opada s udaljenošću od izvora svjetla, što najviše dolazi do izražaja u dubokim dijelovima kaviteta, te se zato preporučuje postavljati kompozitni materijal u što tanjim slojevima. Nekompletna polimerizacija za posljedicu ima povećanu količinu neizreagirana monomera koji se može otopiti u vlažnome miljeu usne šupljine. Uz to, reaktivne dvostruke sveze mogu hidrolizirati ili oksidirati i time dovesti do degradacije materijala, to jest samoga kompozitnog ispuna (13).

Rezultati stupnja konverzije svih triju ispitivanih kompozitnih materijala u ovom eksperimentu pokazala su veći stupanj konverzije pri polimerizaciji halogenim polimerizatorom Elipar Trilight. Tek nešto niži stupanj konverzije zabilježen je pri polimerizaciji navedenih materijala Lux-o-Max uređajem za polimerizaciju temeljenog na LED tehnologiji. Statistički znatna razlika pri polimerizaciji kompozitnih

materijala spomenutim uređajima nije utvrđena ($p > 0,05$). To bi se dalo objasniti spektrom emitiranih valnih duljina Elipar Trilight i Lux-o-Max uređaja, od kojih Elipar Trilight uređaj zbog širega spektra emitiranih valnih duljina ostvaruje uz nešto viši stupanj konverzije znatno višu temperaturu. Nasuprot tome, Lux-o-Max uređaj ima užu spektar emitiranih valnih duljina koji odgovara spektru apsorpcije kamforkinona, nema gubitka energije, te je uz visok stupanj konverzije postignuto manje zagrijavanje materijala.

Prije provedena ispitivanja stupnja konverzije plavim diodama, koje su bile spojene na drugačiji način, pokazala su nešto niže rezultate stupnja konverzije (5, 14-17). To je vjerojatno bilo uvjetovano ne-dostatnim fokusiranjem pojedinačno slijepljenih plavih dioda te time gubitkom emitiranoga svjetla.

Najbolje rezultate stupnja konverzije pokazao je Pertac II kompozitni materijal ($66,74 \pm 1,51\%$ pri polimerizaciji eksponencijskim programom Elipar Trilight polimerizatora i $62,23 \pm 3,16\%$ pri polimerizaciji Lux-o-Max uređajem), a najniže je rezultate stupnja konverzije pokazao Z100 ($61,04 \pm 0,91\%$ pri polimerizaciji eksponencijskim programom Elipar Trilight polimerizatora i $58,61 \pm 0,48\%$ pri polimerizaciji Lux-o-Max uređajem).

Učinkovitost polimerizacije uvelike ovisi o izvoru svjetla, no velik utjecaj ima i sam sastav kompozitnoga materijala. Budući da svi oni u svojem sastavu sadržavaju kamforkinon kao fotoinicijator, razlika u stupnju konverzije može biti povezana s dodatkom različith amina koji čine kompleks s kamforkinonom, a on pak ima različite absorpcijske karakteristike. To je vjerojatno jedan od uzroka zašto su rezultati stupnja konverzije niži pri polimerizaciji kompozitnih materijala plavim diodama ili plazma uređajem jer oni imaju užu spektar djelovanja, to jest emitiraju zračenje valne duljine oko 468 nm, dakle u području spektra aktivacije kamforkinona. Svi oni kompleksi koje kamforkinon radi s aminima ili drugim aktivnim tvarima dodavanjem kompozitnim materijalima pomiču spektar aktivacije fotoinicijatora koji više nije u rasponu zračenja koje emitira polimerizacijski uređaj, a samim tim nastaje i slabija polimerizacija kompozitnoga materijala (18).

Na tržištu se stalno pojavljuju novi uređaji za polimerizaciju temeljeni na različitoj tehnologiji: klasične halogene žarulje različitih programa polimeri-

zacije, plazma uređaji, plave visokosjajne svijetleće diode. Pri izboru svakoga tog uređaja obično se najviše pozornosti posvećuje jakosti izlaznog intenziteta svjetla i razdoblju osvjetljavanja. No razvoj temperature tijekom polimerizacije kompozitnih materijala važan je čimbenik koji ima velik utjecaj na vitalno zubno tkivo. Protoplazmatska koagulacija, ekspanzija i istjecanje fluida iz dentinskih tubulusa, promjene strukture krvnih žila i nekroza tkiva smatraju se posljedicom negativnog učinka temperature (19).

Znano je da što je veći stupanj konverzije, to je veći porast temperature. Osim toga, materijal se ne zagrijava samo pod utjecajem emitirane energije uređaja za polimerizaciju nego i zbog kemijskih reakcija koje se u njemu događaju tijekom procesa polimerizacije. Ovo ispitivanje pokazalo je da polimerizacija kompozitnih materijala Lux-o-Max uređajem uzrokuje niži porast temperature nego polimerizacija eksponencijskim programom Elipar Trilight polimerizatora. Najviše vrijednosti porasta temperature, što je u skladu s rezultatima stupnja konverzije, ima Pertac II kompozitni materijal ($13,6 \pm 2,88^\circ\text{C}$ pri osvjetljavanju Elipar Trilight polimerizatorom i $7,2 \pm 1,92^\circ\text{C}$ pri osvjetljavanju Lux-o-Max uređajem za polimerizaciju nakon 40 sekundi osvjetljavanja). Iz rezultata je vidljivo da temperatura raste postupno tijekom 40 sekundi kod polimerizacije Lux-o-Max uređajem, a kod polimerizacije halogenom žaruljom Elipar Trilight zbog eksponencijskog programa polimerizacije porast je veći u razdoblju od 10 do 20 sekundi nego u razdoblju od 20 do 40 sekundi. To može upućivati na to da je i najveći broj dvostrukih sveza reaktivan u tome razdoblju, odnosno da je tada polimeriziran i najveći dio kompozitnoga materijala. Utvrđeno je postojanje statistički znatne razlike u porastu temperature pri polimerizaciji kompozitnih materijala Lux-o-Max i Elipar Trilight uređajem u 20-oj ($p=0,049$) i 40-oj ($p=0,005$) sekundi. Statistički zanatna razlika u prvih 10 sekundi nije utvrđena, što se može povezati s intenzitetom svjetla. Naime, tijekom prvih 10 sekundi Lux-o-Max uređaj emitira jakost svjetla od 50 mW/cm^2 , a eksponencijski program Elipar Trilight uređaja 100 mW/cm^2 , dok u 20-oj i 40-toj sekundi intenzitet za Lux-o-Max iznosi 150 mW/cm^2 , a za Elipar Trilight uređaj 800 mW/cm^2 . Veća razlika u intenzitetu emitiranoga svjetla tih uređaja ima za posljedicu i veću razliku u postignutoj temperaturi.

Zaključak

Uređajem za polimerizaciju kompozitnih materijala temeljenim na LED tehnologiji, uz približno isti stupanj konverzije kao halogenim uređajem, dobiveno je znatno manje zagrijavanje kompozitnoga materijala. Može se pretpostaviti da će manje zagrijavanje kompozita utjecati i na manje zagrijavanje vitalnoga pulpnoga tkiva. Daljnji razvoj LED tehnologije i klinička uporaba uređaja takve vrste pokazat će njihove prednosti i nedostatke u usporedbi sa standardnim halogenim žaruljama.

Literatura

- PILO R, OELGIESSER D, CARDASH HS. A survey of output intensity and potential for depth of cure among light-curing units in clinical use. *J Dent* 1999; 27: 235-41.
- HANSEN EK, ASMUSSEN E. Correlation depth of cure and surface hardness of a light activated resin. *Scand J Dent Res* 1993; 101: 62-4.
- HARRINGTON E, WILSON HJ. Determination of radiation energy emitted by light activation units. *J Oral Rehabil* 1995; 22: 377-85.
- KNEŽEVIĆ A. Mjerenje polimerizacijskog skupljanja kompozitnih materijala uporabom digitalne holografske interferometrije. Disertacija, Zagreb 2002.
- KNEŽEVIĆ A. Polimerizacija kompozitnih smola plavim visokosjajnim svijetlećim diodama. Zagreb: Stomatološki fakultet 1998. Magistarski rad.
- KNEŽEVIĆ A, TARLE Z, MENIGA A, ŠUTALO J, PICHLER G, RISTIĆ M. Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin samples with blue diodes. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 586-91.
- TARLE Z. Procjena polimerizacijskog učinka pulsno-laserskog izvora svjetlosti u uzorku kompozitnog materijala. Zagreb: Stomatološki fakultet 1995. Disertacija.
- RUEGGEBERG FA, HASHINGER DT, FAIRURST CW. Calibration of FTIR conversion analysis of contemporary dental resin composites. *Dent Mater* 1990, 6: 241-9.
- PEUTZFELDT A, SAHAFI A, ASMUSSEN E. Characterization of resin composites polymerized with plasma curing unit. *Dent Mater* 2000; 16: 330-6.
- FERRACANE JL, CONDON JR. Rate of elution of leachable components from composite. *Dent Mater* 1990; 6: 282-7.
- TARLE Z, MENIGA A, RISTIĆ M, ŠUTALO J, PICHLER G, DAVIDSON CL. The effect of the polymerization method on the quality of composite resin samples. *J Oral Rehabil* 1998; 25: 436-42.
- MENIGA A, KNEŽEVIĆ A, TARLE Z, ŠUTALO J, PICHLER G. The efficiency of different light sources for composite curing. *J Dent Res* 1999; 78: Abstr No 2318.
- YAP AUJ, LEE HK, SABAPATHY R. Release of methacrylic acid from dental composites. *Dent Mater* 2000; 16: 172-9.
- KNEŽEVIĆ A, TARLE Z, MENIGA A, ŠUTALO J, PICHLER R, RISTIĆ M. Polimerizacija kompozitnih materijala plavim visokosjajnim svijetlećim diodama. *Acta Stomatol Croat* 1999; 33: 337-43.
- MENIGA A, KNEŽEVIĆ A, TARLE Z, ŠUTALO J, PICHLER G. Blue superbright LED's as an alternative to soft-start halogen curing unit. *J Dent Res* 1998; 77: Abstr No. 432.
- TARLE Z, KNEŽEVIĆ A, MENIGA A, ŠUTALO J, PICHLER G. Temperature rise in composite samples cured by blue superbright light emitting diodes. *J Dent Res* 1998; 77: Abstr. No 433.
- TARLE Z, KNEŽEVIĆ A, MENIGA A, ŠUTALO J, PICHLER G. Polymerization kinetics of composites cured by low intensity blue superbright LEDs. *J Dent Res* 1999; 78: Abstr. No 2319.
- WATTS DC, AMER O, COMBE EC. Characteristics of visible light activated composite systems. *Brit Dent J* 1984; 156: 209-15.
- TARLE Z, MENIGA A, KNEŽEVIĆ A, ŠUTALO J. Dentine adhesives, proper hybridization and cavity margins as a choice method for direct pulp capping. 10th Biennial Congress of the ESE; 4-6 October 2001; Munich. Abstr. No. C21.