

Debreceni Egyetem Orvos és Egészségtudományi Centrum Fogorvostudományi Kar,  
Fogpótlástani és Bioanyagtanai Tanszék

## Folyékony kompozitok és töltetlen kompozit gyanta polimerizációs zsugorodásának összehasonlító vizsgálata

DR. BUKOVINSZKY KATALIN, DR. MOLNÁR LILLA, BAKÓ JÓZSEF, SZALÓKI MELINDA, DR. HEGEDŰS CSABA

A fogászati kompozitok polimerizációs zsugorodásának minimalizálása és az ebből származó zsugorodási stressz csökkentése a tudomány és a gyártók érdeklődésének középpontjában áll. Több tényező bonyolult egymásra hatása befolyásolja a kapott értékeket, ezek közül fontosabb jelentőséggel a konverzió és a hajlítási szilárdság rendelkezik. A vizsgálat célja, hogy három folyékony kompozit (Charisma Opal Flow, SDR, Filtek Ultimate) zsugorodási tulajdonságait (zsugorodás, zsugorodási stressz, rugalmassági modulus és konverzió mértéke) hasonlítsák össze a szerzők egy töltőanyag nélküli kompozit gyanta tulajdonságaival. A vizsgálatok során hárompontos hajlítási szilárdságot, a konverziót Furrier Infravörös Spektrofotometriával, a zsugorodási stresszt „Bonded disc” technikával és az átlagzsugorodást Archimedes-elvét használva speciális analitikai mérleggel mérték. Eredményeik szerint a kompozit gyanta rendelkezik a legnagyobb polimerizációs zsugorodás (8,26%) és ~stressz (0,8 MPa), valamint konverziós (38%) értékkel és a legkisebb rugalmassági modulussal (3047,02 MPa). Az általuk mért értékek egybehangzóak voltak a szakirodalmi adatokkal. A töltőanyag hiányában növekszik a gyanta zsugorodási hajlama, növekszik a zsugorodási stressz-értéke, azonban nagyobb rugalmasságot (alacsony modulus-értéket) mérhetünk. Az egyes kompozitok közötti különbségek tisztázására további vizsgálatokat terveznek.

Kulcsszavak: polimerizációs zsugorodás, zsugorodási stressz, folyékony kompozit, kompozit gyanta, rugalmassági modulus

### Bevezetés

A fogászatban széles körben alkalmazott kompozitok többféle alak- és térfogatváltozást szenvednek mind a tömés technikai kivitelezése alatt, mind a szájban jellemző nedves milió hatásaként. Ma a tömőanyag polimerizációja során jelentkező zsugorodás az egyik legintenzívebben kutatott probléma, melynek megoldása kihívást jelent a cégek fejlesztő mérnökei számára is [4,17,18]. A polimerizációs zsugorodás során a kompozit gyantáját alkotó monomerek, miközben polimerré formálódnak, kovalens kötésnyi távolságra kerülnek egymástól, ezáltal kisebb térfogatot hoznak létre a polimerizáció előtti térfogathoz képest. Ez a nem kívánt mellékhatás nem kívánt következményekkel jár. A zsugorodásból származó húzó erő az üreg falán keresztül hat a környező fog szövetekre, ezáltal a foganyag hajlását, berepedését, vagy törését is okozhatja [7]. Az adhezív tömés technikának köszönhetően a ragasztóanyag is átveszi, közvetíti a polimerizációs zsugorodásból származó erőt. Amennyiben ez az erő meghaladja az adhéziós erőket, a tömőanyag, ragasztó, fogszövet határfelületek között rés keletkezik, mely posztoperatív érzékenységhez, hosszabb távon szekunder karieszhez vezet. Néhány esetben a zsugorodás ereje nem okoz széli záródási problémát, viszont

a tömőanyagban koncentrálódva a tömésben mikro repedések keletkezéséhez vezet [10].

A polimerizációs zsugorodásból származó húzóerő a kavitás falain stresszt generál, melynek mértéke számos faktortól függ: a tömőanyag és a fog anyagainak rugalmassági modulusától (compliance/kompenzációs képesség), a tömőanyagban lévő töltőanyag/anorganikus komponens mennyiségétől, típusától (opacitásától), az átalakult monomer arányától (konverzió), a tömés formai adottságaitól (C faktor) [9]. A C faktor egy olyan arányszám, mely a tömés ragasztott és szabad felszíneinek hányadosaként adható meg. Minél nagyobb az értéke, annál nagyobb stressz generálódhat az üregben. Egy I. osztályú üreg esetében a C = 5, míg III. osztályú üregnél C = 2 [10].

A polimerizációs zsugorodás és zsugorodási stressz csökkentésére léteznek technikák, melyeket a tömés készítése során alkalmazhatunk. Ezeknek a lényege, hogy minél kisebb mennyiségű anyagot helyezünk az üregbe egyszerre. Törekedjünk alacsony „C” értékű üregek preparálására. A behelyezett rétegek a lehető legkevésbé kössék össze az üreg egymással szemben elhelyezkedő oldalfalait [10]. Az anyagok megválasztásával is mérsekélhetjük a zsugorodás kellemetlen hatásait [6, 14]. A folyékony kompozitok jó példái ennek a lehetőségnek.

Ezek az anyagok alacsonyabb töltőanyag tartalmúak, így a gyanta rugalmassága jobban érvényesül bennük. Ezáltal kompenzálhatják az ébredő stresszt a tömésben, stressz-elnyelő rétegeként vékonyan a tömés alján fejthetik ki hatásukat, bár ennek megítélésében a szakirodalom nem egységes [3, 15]. A polimerizációs stratégiák helyes alkalmazása is segíthet jobb minőségű tömések készítésében. A nagy intenzitású fényforrások helyett alacsonyabb intenzitású lámpák használata ajánlható, illetve a fény intenzitásának időbeli változtatásával „soft start” polimerizációs technikával érhetünk el jobb eredményt [10].

Intenzíven kutatott téma a polimerizációs zsugorodás kompenzációja a kompozitok higroszkópos expansziójával. A tömések utólagos vízfelvétele, azonban nemcsak előnyökkel, hanem számos hátránnyal is járhat (gyengébb mechanikai tulajdonságok, elszíneződés, degradáció, toxikus hatások) [8].

Természetesen a cégek kutatási eredményeinek köszönhetően, egyre tökéletesebb anyagokat használhatunk. Sok fejlesztés célozza egyéb tulajdonságok tökéletesítése mellett a zsugorodás csökkentését, így jelenhettek meg a piacon a nanokompozitok, illetve a gyanta, mátrix fejlesztésének köszönhetően szabadalmaztatott hatékony, úgynevezett modulátor anyagokat tartalmazó tömőanyagok.

Vizsgálataink célja, hogy három folyékony kompozit zsugorodási tulajdonságait (zsugorodás, zsugorodási stressz, rugalmassági modulus és konverzió mértéke) hasonlítsuk össze egy töltőanyag nélküli kompozit gyanta tulajdonságaival.

### Anyag és módszer

Méréseink során három kompozitot és egy töltőanyag nélküli gyantát vizsgáltunk. Az anyagokat és a legfontosabb tulajdonságaikat az alábbi táblázatban foglaltuk össze (1. táblázat).

### Konverzió, átalakult monomer-arány mérése

A mérést infravörös spektrofotométerrel végeztük (Nicolet, 6700 FT-IR, Thermo Scientific, USA), csökkentett visszaverődésű gyémántablakon keresztül, KBr optikai fényosztóval/szűrővel, MCT (Mercury, Cadmium, Tellurid) detektorral. 1637 cm<sup>-1</sup>, 1610 cm<sup>-1</sup> hullámszámoknál vizsgáltuk a polimerizáció (60s) előtti és utáni abszorpciós spektrumokat. A polimerizációt fénykályhában Dentacolor XS (Heraeus Kulzer, Germany) végeztük. A spektrofotométer mintánként 16 mérést végzett. A kritikus hullámszámoknál regisztrált abszorbanca-értékeket az alábbi képletbe helyettesítve számoltuk ki az átalakult monomerek arányát.

$$DC(\%) = \left[ 1 - \frac{\text{Abszorbanca}_{\text{polim. alifás}} - \text{Abszorbanca}_{\text{polim. aromás}}}{\text{Abszorbanca}_{\text{alifás}} - \text{Abszorbanca}_{\text{aromás}}} \right] \times 100$$

A képletben az Abszorbanca<sub>polim. alifás</sub> és Abszorbanca<sub>polim. aromás</sub> az abszorpciós spektrumok megfelelő sorrendben 1610 cm<sup>-1</sup> és 1637 cm<sup>-1</sup> hullámszámainál a polimerizáció után mért abszorbanca-értékeit jelölik. Az Abszorbanca<sub>alifás</sub>, Abszorbanca<sub>aromás</sub> hasonlóan az előző logikához, de a polimerizáció előtti abszorbanca-értékeknek felelnek meg.

### Zsugorodás

A zsugorodás mérésére, sűrűség mérésre is alkalmas analitikai mérleget használtunk (ADAM PW 254, Adam Equipment Company, UK). A vizsgálat során anyagonként 15 mérést végeztünk. Megmértük az anyag tömegét polimerizáció előtt száraz körülmények között. Ez után 23 °C-os desztillált vízben a mérleg speciális feltétje segítségével mértük az anyag sűrűségét. Ezt követően polimerizációs kályhában (Dentacolor XS, Heraeus Kulzer, Germany) 90 másodperces polimerizációt követően (a kályhán a legrövidebb beállítható idő 90 másodperc volt) újra vizsgáltuk a sűrűséget. A le-

1. táblázat

	Gyártó	Töltőanyag-típusa (a gyártó adatai)	Töltőanyag aránya / mérete (a gyártó adatai)	Gyanta összetétele (a gyártó adatai)
Töltetlen kompozit gyanta	S und C	–	–	Bisz-GMA, TEGDMA
Charisma Opal Flow	Heraeus Kulzer	Ba-Al-F szilikát YbF <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	65 tömeg%, 41 térfogat% / 0,02-5µm	UDMA, EBADMA etoxilált-bisz-fenol- DMA
SDR	Dentsply DeTrey	Ba-Al-F-B, Sr-Al-F-B szilikát üveg	65 tömeg%, 44 térfogat% / 4,2µm	módosított UDMA, EBPADMA, TEGDMA
Filtek Ultimate	3M ESPE	YbF <sub>3</sub> üveg, szilikát üveg, cirkónium	65 tömeg%, 46 térfogat% / 0,1-5µm, 20-75µm, (4-11µm cirkónium szemcsék)	Bisz-GMA, TEGDMA, Prokrylát

mért sűrűség és tömeg értékek segítségével az alábbi képlet felhasználásával térfogatváltozást számoltunk, ahol  $V_{polim.e}$  a polimerizáció előtti,  $V_{polim.u}$  polimerizáció utáni térfogatot jelöl.

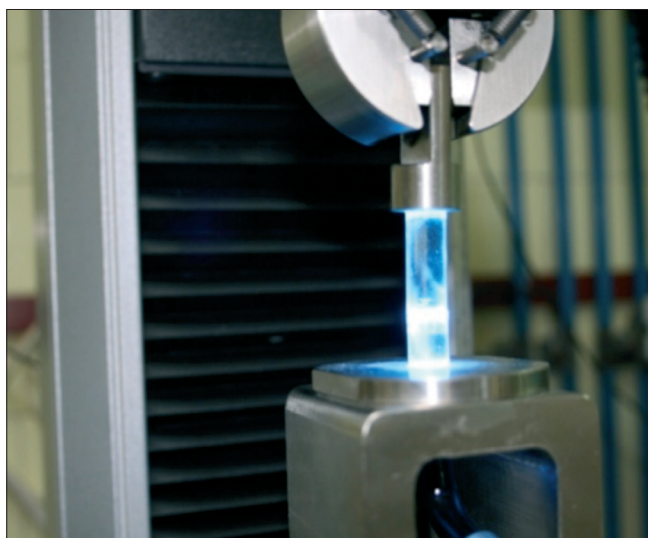
$$\Delta V(\%) = \frac{V_{polim.e} - V_{polim.u}}{V_{polim.e}} \cdot 100$$

### Zsugorodási stressz

A méréseket Instron 5544-es (Illinois Tool Works Inc., USA) berendezéssel, húzó üzemmódban végeztük. A berendezéshez speciális üvegrudak befogására alkalmas feltételeket alkalmaztunk. Az alsó üvegrúd felől a rudak közé bemért anyagot, kompozit hengereket 200 másodpercen át folyamatosan (Translux EC; Kulzer, Germany) polimerizációs lámpával világítottuk meg, és eközben a keletkező erőt regisztráltuk (1. ábra). A 200 másodperces megvilágítást a maximális stressz-értékek kialakulásáig eltelt idő alapján választottuk. A „C” faktort konstans értéken  $C=r/2h=2$  tartottuk, ahol  $h$  minta magasságát, az üvegrudak közötti távolságot,  $r$  az üvegrudak keresztmetszetének sugarát jelöli. Anyagonként 12 mérést végeztünk, majd a maximális erő és stressz-értékek átlagát számoltunk.

### Hajlítási szilárdság, rugalmassági modulus (Young Modulus) vizsgálata

Hajlítási szilárdság mérésére három pontos hajlítási szilárdsági vizsgálatot végeztünk. A próbatesteket erre a célra gyártott teflon forma segítségével készítettük. A minták paraméterei 2 mm x 2 mm x 25 mm voltak. A próbatesteket Dentacolor XS (Heraeus Kulzer, Germany) fotopolimerizációs kályhában 90 másodpercig polime-



1. ábra: A polimerizációs zsugorodást mérőműszer központi része mérés közben

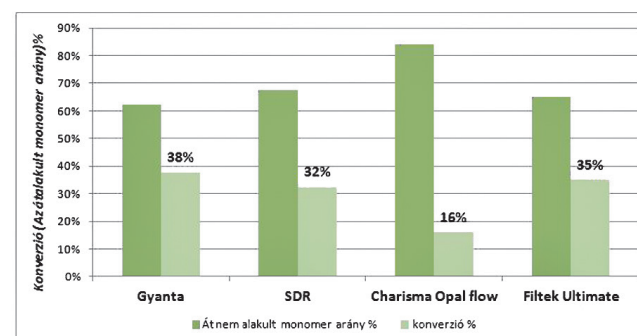
rizáltuk, ezt követően, hasonlóan más szerzők által is alkalmazott tárolási körülményeknek megfelelően, 24 órán át szobahőmérsékletű helyen tároltuk. Közvetlenül a mérés előtt a próbatestek pontos szélességét és vastagságát mikrométer segítségével három ponton lemértük, majd számtani középértéket számoltunk. A mérés során az alátámasztási pontok távolsága, azaz a támaszkozhossza 20 mm, a keresztfej sebessége 1mm/perc, az előterhelés pedig 0,2 N volt.

### Eredmények

A konverzió-mérés során a gyantában található monomerek átalakulási aránya 38%, ezt követte a Filtek Ultimate 35%, majd az SDR 32% és végül a Charisma Opal Flow 16%. (II. táblázat, 2. ábra)

II. táblázat

	DC %
Gyanta	38%
SDR	32%
Charisma Opal flow	16%
Filtek Ultimate	35%

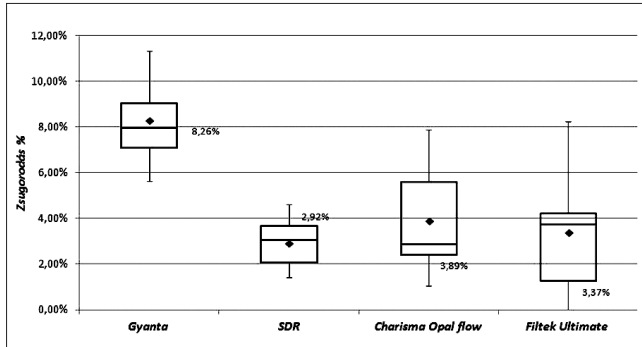


2. ábra: A vizsgált anyagok konverzió-értékei

A zsugorodás vizsgálatok a legnagyobb zsugorodási értéket a gyanta mutatta: 8,26% ( $SD \pm 0,02$ ), ezt követték csökkenő sorrendben a vizsgált kompozitok: Charisma Opal Flow 3,89% ( $SD \pm 0,02$ ), Filtek Ultimate 3,37% ( $SD \pm 0,02$ ), SDR 2,92% ( $SD \pm 0,01$ ). A III. táblázatban, a 3. ábrán foglaltuk össze a zsugorodás-mérés eredményeit.

III. táblázat

	Zsugorodás %	SD +/-
Gyanta	8,26%	0,02
SDR	2,92%	0,01
Charisma Opalflow	3,89%	0,02
Filtek Ultimate A2	3,37%	0,02

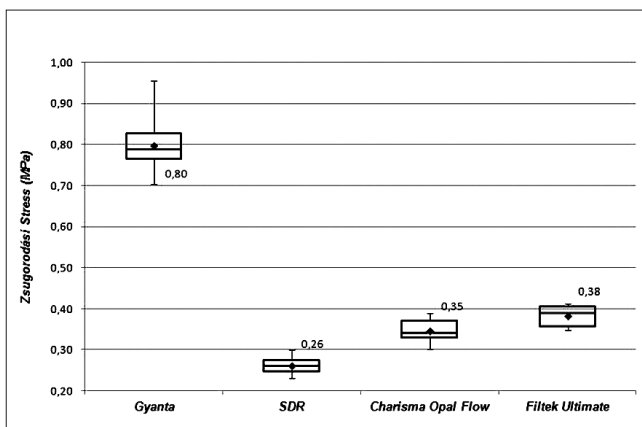


3. ábra: A vizsgált anyagok polimerizációs zsugorodás-értékei

A polimerizációs zsugorodási stressz mérési eredményei szerint a legnagyobb stressz-értékkel a gyanta rendelkezett 0,80 MPa (SD± 0,07), Ezt követték a tömőanyagok a következő sorrendben: Filtek Ultimate 0,38 MPa (SD±0,03), Charisma Opal flow 0,35 MPa (SD± 0,03), SDR 0,26 MPa (SD± 0,02). Az eredményeket a IV. táblázat és 4. ábra foglalja össze.

IV. táblázat

	Zsugorodási Stressz (MPa)	SD +/-
Gyanta	0,80	0,07
SDR	0,26	0,02
Charisma Opal flow	0,35	0,03
Filtek Ultimate	0,38	0,03

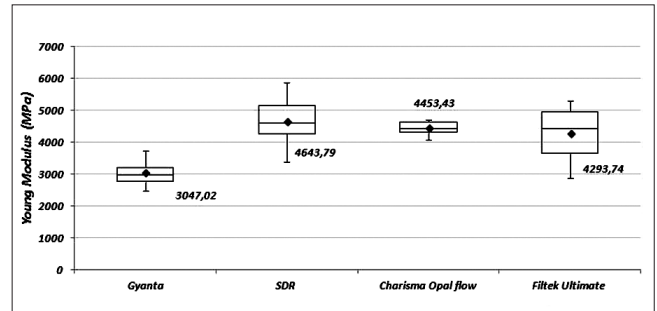


4. ábra: A vizsgálat-anyagok polimerizációs zsugorodási stressz-értékei

A hajlítási szilárdság mérésakor a legnagyobb modulus-értékkel a kompozitok rendelkeztek: SDR(flow) 4643,79 MPa (SD± 749,73), Charisma Opal Flow 4453,43 MPa (SD± 214,61), Filtek Ultimate A2 4293,74 MPa (SD± 802,85), míg a gyanta a legrugalmasabb 3047,02 MPa (SD± 396,64) értékkel (V. táblázat, 5. ábra).

V. táblázat

	Young Modulus (MPa)	SD +/-
Gyanta	3047,02	396,64
SDR	4643,79	749,73
Charisma Opal flow	4453,43	214,64
Filtek Ultimate	4293,74	802,85



5. ábra: A vizsgálat anyagok rugalmassági modulusa (Young)

## Megbeszélés

A kompozitok gyantájában tapasztalható *konverzió* mértéke a mátrix alkotóelemeivel magyarázható. Ezen belül is a Bisz-GMA és a TEGDMA arányával és a molekulák térszerkezetével. A szakirodalmi adatok szerint a konverzió fokozódásával a mátrix zsugorodási hajlama is emelkedik. A mátrix zsugorodásáért felelősnek elsősorban a TEGDMA (trietilén-glikol-dimetakrilát) molekulát tartják, melynek oka a molekula kedvező sztereokémiája, és relatíve kis molekulásúlya. A bisz-GMA molekula ellenkezőleg képes a zsugorodást befolyásolni, arányának növelésével a kísérletes gyantákban kimutatható volt a zsugorodás mértékének és a konverzió csökkenése. A nagy bisz-GMA molekula rigid aromás csoportjának és reaktív hidroxil csoportjának köszönheti ezt a tulajdonságát. A töltőanyag-tartalom és a konverzió összefüggéseit elemző vizsgálatok azzal magyarázták a konverzió mértékének a töltőanyag-tartalom növekedésével párhuzamos csökkenését, hogy a kis partikulumok/fillerek közé beékelődő monomerek mozgási lehetősége/szabadsága korlátozottabb, a polimerré fejlődés nehezített [1]. Az általunk végzett konverziómérés szerint a legnagyobb konverziós képessége a töltetlen gyantának volt, ezt követték a kompozitok értékei. Az eredmények a szakirodalomban tapasztaltakkal megegyezően mutatják a töltetlen gyanta magasabb konverziós értékét a töltött kompozitokhoz képest. A kompozitok közötti különbségeket az anyagok pontos összetételének ismerete nélkül nehezen lehet meghatározni.

A kompozitok *zsugorodási tulajdonsága* több faktor által befolyásolt folyamat, ezek közül az egyik leglényegesebb a töltőanyag mennyisége és aránya a gyantához képest. A kutatások szerint minél magasabb a töltőanyag aránya/mennyisége egy kompozitban, annál

kisebb a zsugorodás és zsugorodási stressz-értéke. Fontos faktor lehet a részecskék morfológiája is. Kísérletes kompozitokon végzett vizsgálatok azt mutatják, hogy szférikus formájú részecskéket tartalmazó kompozitok zsugorodási értékei alacsonyabbak. Sikerült olyan kapcsolatot is kimutatni egyes szerzőknek, amely szerint a kisebb részecskeméret nagyobb zsugorodási értékekkel párosulhat. Az első vizsgálatok szerint irreguláris formájú részecskék esetén a zsugorodás mértékének változása és a részecskeméret változása egyenes arányosságot mutat, de szférikus részecskék és kevert részecske-összetétel esetén ez nem ilyen egyértelmű [16].

A részecske geometriát tekintve a Filtek Ultimate szférikus részecskéket tartalmaz, míg a Charisma Opal és az SDR irreguláris töltőanyaggal töltött kompozit. Végeztek méréseket a polimerizációs zsugorodás és zsugorodási stressz közötti összefüggések tisztázására is. Ezek a mérések azt mutatják, hogy a zsugorodási folyamat olyan multi faktoriális folyamat, melyben a befolyásoló faktorok bonyolult korrelációt mutatnak egymással, és az, hogy egy kompozitnak alacsony a zsugorodási értéke, még nem jelenti, hogy az üreg falán alacsony stressz-értéket fog generálni [11]. A kapott stressz-értékek szempontjából a mérőműszer kompenzációs képessége is fontos faktor. Vizsgálatainkat olyan berendezéssel végeztük, mely magasabb kompenzációs képességű. Tehát a tömőanyag zsugorodásából származó húzóerőt a berendezés rugalmassága kompenzálja, így a mért értékek a valós értékekhez képes alacsonyabbak [13]. Az általunk végzett vizsgálatok, összehasonlítva a töltetlen gyanta zsugorodási értékeit a kompozitokkal, alátámasztják a szakirodalmi adatokat. A töltőanyag hiányában a gyanta zsugorodási paraméterei a legnagyobbak (0,80 MPa, 8,26%), a kompozitok ehhez képest jóval alacsonyabb zsugorodási mutatókkal rendelkeznek. A vizsgált kompozitokban a töltőanyag aránya majdnem azonos, ezért a közöttük tapasztalható különbségeket egyszerűen a töltőanyag arányával nem magyarázhatjuk. A legalacsonyabb zsugorodási (2,92%) és zsugorodási stressz (0,26 MPa) értékeket az SDR esetben mértünk. Ezeket az alacsony értékeket a gyártó leírása alapján az anyag elsősorban a speciális modulátor egységet tartalmazó szabadalmaztatott gyanta technológiának tulajdonítja, amely a polimerizáció folyamatában hat, az által, hogy a gyanta rugalmassági modulusát a polimer kialakulása közben csak mérsékelten engedi növekedni.

Az általunk vizsgált termékek folyékony kompozitok, melyekre általában jellemző, hogy alacsonyabb töltőanyag-tartalommal rendelkeznek, mint a piacon kapható ún. „kondenzálható” társaik. Ennek köszönhetően viszkozitásuk és rugalmassági modulusuk kisebb, mint a kondenzálható kompozitok esetében. Irodalmi adatok számot adnak arról is, hogy térkitöltés szempontjából a hibrid kompozitokban a változó méretű partikulumok jobban, ideálisabban tudnak térben elrendeződni, így rugalmassága ezeknek a tömőanyag-típusoknak a legcsekélyebb,

összehasonlítva a homogénebb részecske eloszlású töltőanyaggal rendelkező kompozitokkal [12]. Számos tanulmányban próbáltak összefüggést keresni az anyag rugalmassági modulusa és a zsugorodási stressz-értéke között. Eleinte linearitást feltételeztek a Hooke-törvény alapján, de a vizsgálatok eredményei jóval meghaladták a várt, kalkulált értékeket [5]. Később rájöttek, hogy a modulus-értéke a polimerizáció folyamán folyamatosan változik, emelkedik egy végső értékig, amely a már polimerizált anyagra jellemző állandó lesz. Így a rugalmassági modulus változását a konverzió változásával kapcsolták össze, és dinamikusan változó, de anyagontként jellemző tulajdonságként fogják fel. A polimerizáció szempontjából a kezdeti pregél és gélesedési fázisok bírnak ebből a szempontból jelentőséggel, mert itt a polimer struktúrája még nem tökéletes, a kialakuló polimer molekulák képesek mozogni, a rendszer képes a zsugorodási stresszt kompenzálni [2]. Vizsgálatunk a szakirodalomban leírtakkal összhangban van, hisz a legalacsonyabb modulus-értéket a gyanta (3047,02 MPa) esetében tapasztaltuk, ennek a legalacsonyabb a töltőanyag-tartalma, gyakorlatilag nincs. A három gyári termék modulus-értéke nagyon hasonló. A közöttük adódó különbségeket további vizsgálatokkal szeretnénk tisztázni.

## Irodalom

1. AMIROUCHE-KORICHI A, MOUZALI M, WATTS DC: Effect of monomer ratios and highly radiopaque fillers on degree of conversion and shrinkage-strain of dental resin composites. *Dent Mater* 2009; 25:1411–1418.
2. BRAGA R, BALLESTER R, FERRACANE JL: Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: A systematic review. *Dent Mater* 2005; 21: 962–970.
3. BRAGA RR, HILTON TJ, FERRACANE JL: Contraction stress of flowable composite materials and their efficacy as stress-relieving layers. *JADA* 2003; 134: 721–728.
4. BUKOVINSZKI K, SZALÓKI M, HEGEDŰS Cs, BORBÉLY J: Kompozitok alkalmazhatósága a Fogászatban. *Műanyag és Gumi* 2003; 40 (8): 254–257.
5. CHOI KK, CONDON JR, FERRACANE JL: The effect of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite *J Dent Res* 2000; 79: 812–817.
6. CRAMER NB, STANBURY JW, BOWMAN CN: Recent Advances and developments in composite dental restorative materials. *J Dent Res* 2011; 90: 402–416.
7. DAVIDSON CL, FEILZER AJ: Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent* 1997; 25: 435–440.
8. FERRACANE JL: Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater* 2006; 22: 211–222.
9. FEILZER AJ, DE GEE AJ, DAVIDSON CL: Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res* 1987; 66: 1636–1639.
10. GIACHETTI L, SCAMINACI RD, BAMBI C, GRANDINI R: A review of polymerization shrinkage stress: current techniques for posterior direct resin restoration. *J Contemp Dent Pract* 2006; 7:79–88.
11. KLEVERLAAN CJ, FEILZER AJ: Polymerization shrinkage and contraction stress of dental resin composites. *Dent Mater* 2005; 21: 1150–1157.
12. LABELLA R, LAMBRECHTS P, VAN MEERBEEK B, VANHERLE G: Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. *Dent Mater* 1999; 15:128–137.

13. MIN S, FERRACANE J, LEE I: Effect of shrinkage strain, modulus, and instrument compliance on polymerization shrinkage stress of light-cured composites during the initial curing stage. *Dent Mater* 2010; 26:1024–1033.
14. MOSZNER N, HIRT T: New polymer- chemical developments in clinical dental polymer materials: enamel-dentin adhesive and restorative composites. *Journal of Polymer Science part A* 2012; 50:4369–4402.
15. REIS AF, GIANNINI M, AMBROSANO GM, CHAN DC: The effect of filling techniques and a low-viscosity composite liner on bond strength to class II cavities. *J Dent* 2003; 31:59–66.
16. SATTERTHWAITTE JD, VOGEL K, WATTS DC: Effect of resin composite filler particle size and shape on shrinkage-strain. *Dent Mater* 2009; 25:1612–1615.
17. SZALÓKI M, BUKOVINSZKI K, ÜVEGES A, HEGEDŰS Cs, BORBÉLY J: Fogászati kompozitok gyantájának módosítása reaktív polimer nanorészecskékkel. *Fogorv Szle* 2007; 100: 307–312.
18. SZALÓKI M, GALL J, BUKOVINSZKI K, BORBÉLY J, HEGEDŰS Cs: Synthesis and characterization of cross-linked polymeric nanoparticles and their composites for reinforcement of photocurable dental resin. *Reactive and Functional Polymers* 2013; 73: 465–473.

BUKOVINSZKY K, MOLNÁR L, BAKÓ J, SZALÓKI M, HEGEDŰS Cs

#### **Comparative study of polymerization shrinkage and related properties of flowable composites and an unfilled resin**

**Objectives:** The polymerization shrinkage and shrinkage stress of dental composites are in the center of the interest of researchers and manufacturers. It is a great challenge to minimize this important property as low as possible. Many factors are related and are in complicated correlation with each other affecting the polymerization shrinkage. Polymerization shrinkage stress degree of conversion and elasticity has high importance from this aspect. Our aim was to study the polymerization shrinkage and related properties (modulus of elasticity, degree of conversion, shrinkage stress) of three flowable composite (Charisma Opal Flow, SDR, Filtek Ultimate) and an unfilled composite resin. **Materials and methods:** Modulus of elasticity was measured using three point flexure tests on universal testing machine. The polymerization shrinkage stress was determined using bonded-disc technique. The degree of conversion measurements were performed by FT-IR spectroscopy. And the volumetric shrinkage was investigated using Archimedes principle and was measured on analytical balance with special additional equipment. **Results:** The unfilled resin generally showed higher shrinkage (8,26%), shrinkage stress (0,8 MPa) and degree of conversion (38%), and presented the lowest modulus of elasticity (3047,02MPa). **Conclusions:** Highest values of unfilled resin correspond to the literature. The lack of fillers enlarges the shrinkage, and the shrinkage stress, but gives the higher flexibility and higher degree of conversion. Further investigations needs to be done to understand and reveal the differences between the composites.

**Key words:** polymerization shrinkage, polymerization shrinkage stress, flowable composite, composite resin, modulus of elasticity