



УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ – ШТИП

ФАКУЛТЕТ ЗА МЕДИЦИНСКИ НАУКИ – ШТИП

ДАНИЕЛА МИЦКОВСКА

**МОДИФИЦИРАНИ ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИЈАЛИ И
МЕТОДИ НА АПЛИКАЦИЈА КАЈ ИНДИРЕКТНИТЕ
ПРОТЕТСКИ РЕСТАВРАТИВНИ ПРОЦЕДУРИ**

СПЕЦИЈАЛИСТИЧКИ ТРУД

Штип, Феврури, 2019 год



УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ – ШТИП

ФАКУЛТЕТ ЗА МЕДИЦИНСКИ НАУКИ – ШТИП

ДАНИЕЛА МИЦКОВСКА

**МОДИФИЦИРАНИ ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИЈАЛИ И
МЕТОДИ НА АПЛИКАЦИЈА КАЈ ИНДИРЕКТНИТЕ
ПРОТЕТСКИ РЕСТАВРАТИВНИ ПРОЦЕДУРИ**

СПЕЦИЈАЛИСТИЧКИ ТРУД

Штип, Феврури, 2019 год

Комисија за оценка и одбрана

Претседател: Доц.д-р Катерина Златановска

Доцент,

Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип,

Факултет за медицински науки

Ментор и член: Проф.д-р Ивона Ковачевска,

Редовен Професор,

Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип,

Факултет за медицински науки

Член: Проф.д-р Цена Димова

Редовен професор,

Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип,

Факултет за медицински науки

Датум на одбрана: _____

БЛАГОДАРНОСТ

Нема зборови со кои може да се опише мојата голема благодарност до моите колеги, пред сè за нивната огромна поддршка, разбирање и поттик за успешна изработка и реализација на специјалистичкиот труд.

Огромна благодарност до мојот ментор на овој специјалистички труд, Проф. д-р Ивона Ковачевска, за нејзината соработка, помош и поддршка во текот на изработката на специјалистичкиот труд.

ЕДНО ГОЛЕМО БЛАГОДАРАМ !

МОДИФИЦИРАНИ ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДИ НА АПЛИКАЦИЈА КАЈ ИНДИРЕКТНИТЕ ПРОТЕТСКИ РЕСТАВРАТИВНИ ПРОЦЕДУРИ

Краток извадок

Употребата на без металните материјали, како градивни материјал за изработка на протетски надоместоци, поставува и одредени услови за самиот без метален систем. Цврстината на материјалите треба да се усогласи со индикациите, мора да постои хемиска стабилност, и над се да бидат исполнети високите цели за изработка на конструкција со естетски карактер. Врз основа на идејата дека иднината на без металните материјали не е само во користењето на керамиката и цирконијата, на пазарот се појавија и модифицирани полимерни материјали кој се со понов датум. Овие материјали по хемиски состав преставуваат поли-етер-етер-кетон, а според физичките карактеристики кои го поседуваат во однос на цврстина, биокомпатибилност и естетика, наоѓаат широка примена во стоматолошката протетика. Модифицираните полимерни материјали може да се користат за изработка на базата кај коронките, мостовите конструкции во фронталната и бочната регија, покровни протези преку имплантанти и парцијални скелетирани протези.

Клучни зборови

Без металните материјали, модифицирани полимери, биокомпатибилност, естетика, биомедицина, поли-етер-етер-кетон, CAD/CAM систем, 3D принтање.

MODIFIED POLYMER MATERIALS AND APPLICATION METHODS OF INDIRECT PROSTHETIC RESTAVRATIVE PROCEDURES

Abstract

The use of non-metallic materials like building material for making prosthetic replacements sets conditions for the metal-free system. The strength of the materials must comply with the indications, there must be chemical stable and after all to fulfill the high goals for the construction of an aesthetic character.

Based on the idea that the future of metal-free materials is not only in the use of ceramic constructions and zirconium, the market appeared modified polymer materials which are recent. These materials in chemical composition represent poly (ether-ketone-ketone), and according to the physical characteristics they possess in terms of strength, biocompatibility and aesthetics, are widely used in dental prosthetics. Modified polymeric materials can be used to prepare the base for crowns, bridges in the frontal and lateral region, protection prostheses through implants and partial skeletal prostheses

Key words

Metal-free materials, modified polymers, biocompatibility, aesthetics, biomedicine, poly-ether-ether-ketone, CAD / CAM system, 3D printing.

Содржина

1. Вовед	8
2. Базични теоретски сознанија.....	9
3. Цели на трудот	21
4. Методи за апликација на современите полимерни материјали со високи перформанси	22
5. Резултати и дискусија	23
5.1 Хемиски карактеристики на модифицираните полимери со високи перформанси	25
5.2 Физички карактеристиките на модифицираните полимери со високи перформанси	28
5.3 Биолошки карактеристики на модифицираните полимери со високи перформанси	31
6. Методи за апликација на современите материјали со високи перформанси	33
6.1 Метода термопрес	34
6.2 Метода со глодање CAD\CAM	38
6.3 Метода со 3D принтање	46
7. Заклучок	55
8. Користена литература	57

1. Вовед

Стремежот да се постигне колку што е можно поприродна боја и естетика во стоматологијата нема граници. Познавајќи ја спецификата и проблематиката на протетско реставративната дејност, производителите на материјали усовршуваат што поквалитетни производи за да се задоволат барањата и потребите на забниот техничар, стоматологот и пациентот. Но, и покрај идеалните решенија на случаите постои одреден ризик од просирање на металниот раб што порано или подоцна го открива присуството на вештачки реставрации во устата.

Денеска евидентно е дека ни една стручна сериозна публикација за фиксни надоместоци не ја пропушта приликата да се позанимава со софистициран приказ на изработки со без метални материјали. Секако без металните материјали се избор на пациентот. Меѓутоа од исклучителна важност е взаемната соработка помеѓу стручниот тим на стоматолошката ординација и заботехничката лабораторија. Имено од една страна стоматологот треба да има добро познавање на современата технологија и нејзин избор, а од друга страна да се има добра комуникација со мотивирани и едуцирани лабораториски соработници кои заедничките идеи можат да ги преточат во задоволувачки естетски резултати.

Во клиничката пракса, докторите стоматолози, често се соочуваат со неуспеси со конвенционалните акрилатни протези, како што се нееластичност, крутост, неправилна полимеризација, алергиска преосетливост и сл.

Метал керамичките надоместоци кои се користат во реконструктивната дентална протетика веќе подолго време, прифатени се од стоматолозите, а што е најважно и од пациентите. Недостатоците кои што ги следат овие изработки се транспарентноста на керамичката маса, која понекогаш е тешко да го покрие металот, зависно од тоа колку простор е оставен за керамиката, односно колку и како е испрепарирани забот во зависност од условите и можностите. Друг недостаток е тоа што овие изработки можат да предизвикаат алергиски реакции

бидејќи повеќето користени легури содржат никел, еден од најчесто апострофираните елементи кој иницира алергиска реакција.

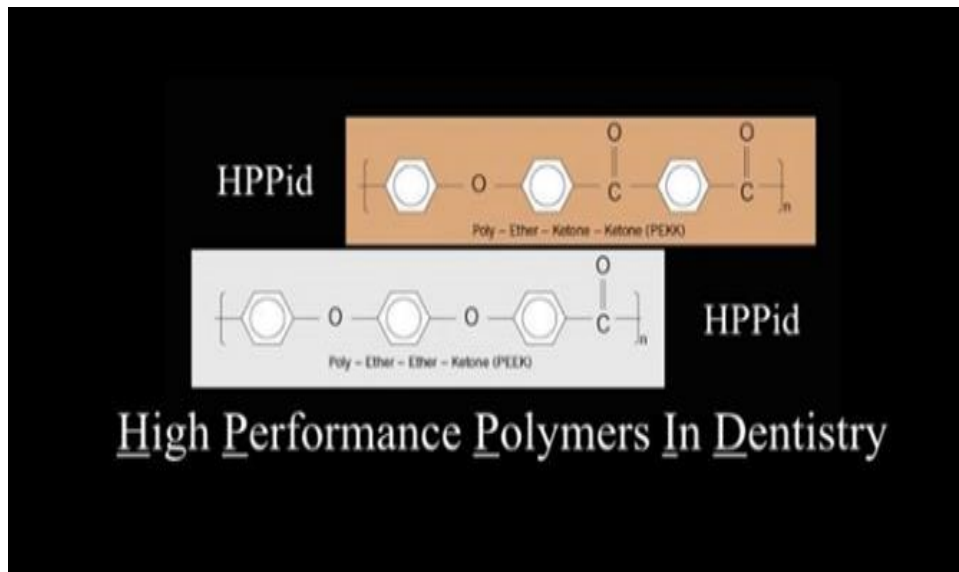
Со цел да се замени металната база на дентални изработки, современите керамички конструкции ги комбинираат композитните смоли, циркониумот, литиум дисиликатната керамика и други софистицирани материјали од кој секојдневно се изработуваат современи протетички реставративни конструкции. Нивниот дизајн покрај високо естетските перформанси нуди издржливост на механичките предизвици, а особено значаен е нивниот еластичен не крут ефект.

2. Базични теоретски сознанија

Долги години научниците се обидуваале да пронајдат материјал кој би ја заменил металната основа на протетските изработки. Првите обиди за изработка на протетските конструкции не ги задоволувале критериумите кои се очекувале од нив. Тие биле не естетски, крути, лесно кршливи па со самото тоа не можело да се прават поголеми конструкции.

Употребата на без металните материјали, како градивни, за изработка на протетски надоместоци, поставува и одредени услови за самиот без метален систем. Цврстината на материјалите би требало да се усогласи со индикациите, мора да постои хемиска стабилност, и пред се да бидат исполнети високите цели за изработка на конструкција со естетски карактер. Врз основа на идејата дека иднината на без металните материјали не е само во користењето на керамиката и цирконијата, на пазарот се појавија и модифицирани полимерни материјали кои се со понов датум.

Базата на конструкциите направена од модифицирани полимери со високи перформанси во современата стоматологија може лесно да ги убеди корисниците (стоматолози, забни техничари, пациенти) дека е еден од најдобрите решенија на пазарот денес.



Слика 1. Молекули на полимери со високи перформанси

Figure 1. Molecules of polymers with high performance

Модифицираните полимери се добиваат со спојување на повеќе материјали кои имаат различни својства, и добиените материјали со својствата кои не се карактеристични за ниту една компонента⁴. Во нивна градба разликуваме една континуирана фаза (матрица) и една или повеќе дис континуирани фази. Улогата на матрицата во модифицираните полимери е раздвојување и пренесување на оптоварување на полнењето и заштита од надворешните влијанија. Подрачјата на примена на композитните материјали се различни, па така се користат во бродоградба, воздухопловната и автомобилската индустрија, медицина и друго¹⁷.

Модифицираните полимери имаат предност поради комплетната компатибилност со модерните дијагностички методи како компјутеризирана томографија (КТ) или магнетна резонанца (МР), бидејќи тие не поседуваат магнетни особини и не предизвикуваат пречки во текот на самите дијагностички постапки, што не е случај со металот и керамиката. Полимерните композити имаат широк спектар на примена и тоа во биомедицината, се користи за вештачки зглобови, импланти и материјали за поправка на коскени фрактури, замена на коски, во стоматологијата, инструменти за корекција и стабилизирање

⁴ Chirazi N.; Pekkton® ivory – ein Hochleistungspolymer in der Implantat-, Total und Hybridprothetik (ZMK – Zahnheilkunde I Management I Kultur, 32. Jahrgang Juni 2016)

¹⁷ Kieschnick A.; PAEK ≠ PAEK: Wo liegen Unterschiede und für welche Indikationen sind die Materialien geeignet? (EADT 12-2016)

на деформација на 'рбетниот столб, васкуларни транспланти како и во хирургијата²³.

Бидејќи металите се крути и корозивни, биокерамиката е кршлива и не е соодветна за носење големи површини, модифицираните полимери со високи перформанси ги исполнуваат механичките барањата на материјалите за користење. *Модифицираните полимери со високи перформанси изгледаат како златна средината на својствата на наведените материјали и се оптимални за употреба во човечкиот организам.*

Некои од предностите на модифицираните полимери пред конвенционалните се²⁰

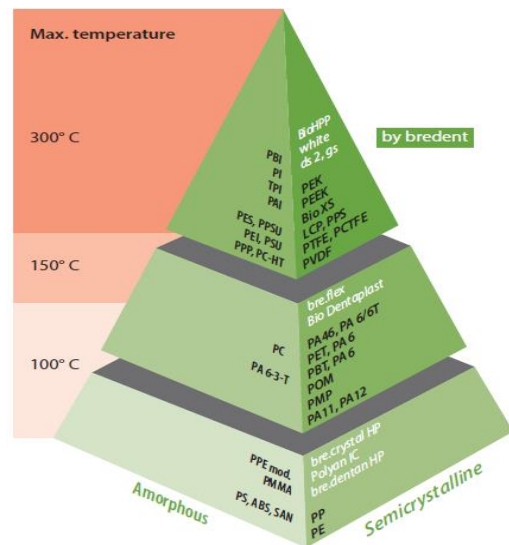
- Можноста за изработка на многу сложени форми
- Помали трошоци за дополнителна обработка на делови
- Моноста за приклучување на делови во текот на постапка на производство
- Димензиска постојаност при екстремни услови работа и отпорност на корозија

²⁰ Kyowa; QDT Vol.40/2015 November Page 1627 – 1635.

²³ Arvai R., Una nuova classe di materiali «in sé», Pekkton® ivory il nuovo polimero ad alte prestazioni. Un caso clinico. Quintessenza Odontotecnica 2014;10:64-72.

За замена или поправка на оштетените или дегенерирани ткива и органи може да се користат импланти од модифицирани полимери со високи перформанси и овде спаѓаат³⁴:

- полиетилен (ПЕ)
- полиуретан (ПУР)
- поли (тетрафлуоретилена) (ПТФЕ),
- поли (мета-метакрилат) (ПММА)
- поли (етилен-терефталат) (ПЕТ)
- поли (етер-етер-кетон) (РЕЕК)
- полисулфона (PSU)



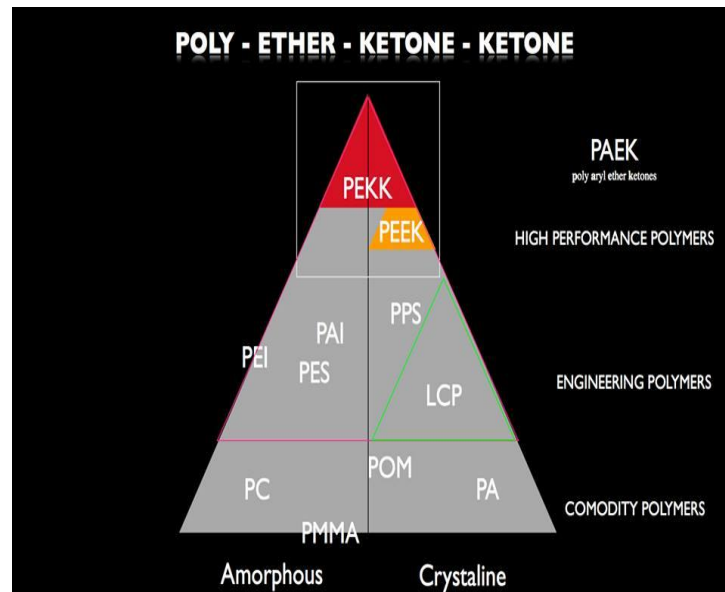
Слика 2. Пирамида со приказ на термичко аплицирање

Figure 2. Pyramid with thermal application

Постојано се истражуваат можностите за подобрувањето на компатибилноста на ткивата (органите) на домаќинот и заменскиот материјал, и најдобро е ако се тие меѓусебно површински и структурно компатибилни. Модифицираните полимери материјали имаат предност поради добри производствени карактеристики и својства кои што се компатибилни⁵.

³⁴ Tannous F., Steiner M., Shahin R., Kern M.: Retentive forces and fatigue resistance of thermoplastic resin clasps. Dental Materials 2012 Mar;28(3):273-8.

⁵ Tipton P.; High-performance polymers (11.2016 IDT)



Слика 3. Пирамида со приказ на еволуцијата кај полимерите

Figure 3. Pyramid showing the evolution in polymers

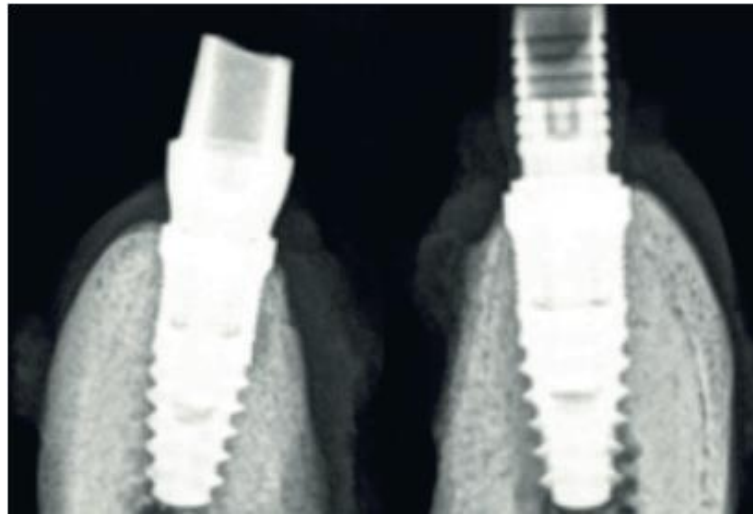
Често, со цел да се постигнат подобри својства, модифицираните полимери се комбинираат со хидроксиапатит керамика, единствениот материјал што може да формира директна врска со коскениот ткиво. Оваа комбинација ја подобрува биоактивноста на материјалот, односно способноста за биолошка интеграција со оштетеното ткиво.¹⁰ Најновите истражувања се фокусирани на развојот на идеален материјал кој истовремено ќе ги задоволи барањата за механичка сила и капацитет на носење, како и способност за постепено распаѓање и замена со ново ткиво на домаќинот.⁵⁹ Новиот материјал потоа ќе послужи како подлога, т.е. како носител на ткиво. Неодамна, како гранка на биомедицината се споменува и tissue engineering, кој развива една вештачка регенерација и создавање на ткиво.

Многу материјали и концепти се подготвени за употреба во пракса и имаат докажани перформанси. Тимовите за лекување можат да им понудат на пациентите естетски реставрации кои се направени од висококвалитетни материјали. Често, сепак, производството може да биде многу скапо и бара значителни инвестиции или вклучување на надворешен давател на услуги.

¹⁰ Reddington P.; Pekkton case study; Dental Technicians Magazine; July 2016.

⁵⁹ Copponnex T., Blümli M.: New material approaches in dental technology. meditec, October 2011

Стандардните заботехнички лаборатории се потешко ги задоволуваат барањата на модерната стоматологија, вклучително и од финансиска перспектива. Термо пластичните модифицирани полимери имаат многу потенцијална употреба во стоматологијата како алтернатива на најчесто користениот титаниум. Поради неколку предности со овие материјали се изведуваат реставрации без метали и се важна улога во тековната медицинска терапија⁴.



Слика 4. Радиолусцентност на полимерите со високи перформанси

Figure 4. Radiolocation of high performance polymer

Модифицираните полимери со високи перформанси се радиолуцентни материјали што се хемиски и физички стабилни и отпорни на зрачење. Тој е исто така отпорен на абрање, компатибилен на зајакнување со стакло и јаглеродни влакна, стабилен на температури над 300°C. Овој полимер е многу биокompatибилен, не предизвика токсични или мутагени ефекти затоа тоа е индикативно кај пациенти кои се алергични на титан²⁴.

Интересен податок е дека според степенот на кршливост овој материјал покажува двојно поголема отпорност во споредба со литиум дисиликатната керамика, односно прес керамиката. Што се однесува до биокompatибилноста

⁴ Park J.-Y.: Evaluation of the marginal and internal gaps of three different dental prostheses: comparison of the silicone replica technique and threedimensional superimposition analysis (J Adv Prosthodont 2017;9:159-69)

²⁴ Arvai R., Das neue Hochleistungspolymer Pekkton® ivory – eine Werkstoffklasse für sich. Quintessenz Zahntech 2014;40(11):1454-1464.

овој материјал поседува десет пати поголема биолошка подносливост од титаниумот и златото.



Слика 5. Материјал за шинирање изработен од полимер

Figure 5. Coating made of polymer

Затоа наоѓа примена и во другите области од медицината, за изработка на вештачки срцеви валвули, 'рбетни пршлени и вештачки колкови. Од особена важност е, дека овој материјал поседува многу мала специфична тежина и не се контрахира, димензионално е стабилен, па затоа наоѓа примена како во мобилната така и во фиксната протетика. Бидејќи се работи за полимер со додавање на бои, се добива материјал со посакуваниот колорит и нијанса, односно комплетно ги задоволува оптичките и естетските барања за една стоматопротетска реставрација²⁶.

Забните техничари за возврат сакаат да им понудат на своите пациенти модерни и високо квалитетни материјали за протетските реставрации. Многу пациенти се изненадени од можностите што ги нуди современа стоматологија. Новата категорија на модифицирани полимерни материјали успеа да ја реши очигледната контрадикција помеѓу модерна протетска стоматологија и иновативни материјали од една страна и економично производство од друга страна⁴³.

²⁶ Fuhrer M.; In-Vitro Untersuchung der mech. Eigenschaften von Primärstegkonstruktionen aus HLP (Masterarbeit 2015)

⁴³ Pham V.T.: Pekkton - A new high-performance polymer. Dental Technologies, US Edition, 2014 n°109.

Извонредните физички својства значат дека модифицираните полимерни материјали би можеле да се користат како градивен материјал за протетските реставрации внатре во устата. Материјалот е релативно нов во стоматологијата, но се верува дека има огромен потенцијал за во иднина. Апликативните можности се различни и тоа како основа на мостови конструкции, целосни анатомски реставрации или секундарни структури на телескопи, со што е можно да се решат сите овие протетски индикации.

Користењето на CAD-CAM за производство на реставрации го прави возможно за производство на забни надоместоци со само една посета на ординација. Изработките добиени на CAD-CAM имаат извонредни механички својства во споредба со конвенционалните техники на добивање.



Слика 6. Видови на модифицираните полимерни материјали за аплицирање во заботехничка лабораторија

Figure 6. Types of modified polymeric materials for application in dental laboratory

Модифицираните полимерни материјали со високи перформанси се одобрени како медицински материјал од Класа IIa, и е полукристален, пигментиран и термопластичен, а еден од таа група на претставници е BioHPP на Bredent⁶³. Нејзиниот основен материјал е poly ether-ether-ketone и содржи

⁶³ http://www.bredent.co.uk/downloads/2_BioHPP_elegance_Hybridabutments_000534GB.pdf

околу 20% керамичко полнење, со модул на еластичност од околу 4 GPa, еластичен како коска, помага да се олесни секој стрес кој може да се развие и го амортизира. Ова, исто така, значи дека и торзијата поврзана со коските, може да биде до одреден степен балансиран, што е важно кај поголемите импланти⁶⁴.

Друга многу интересна индикација е производството на индивидуални абатменти со помош на пресување на материјалот, откако истиот ќе го измоделираме во восок и вложиме. Овде, абатментот е моделиран индивидуално под агол кој е соодветен на состојбата кај секој пациент поединечно.

Накучо, иновативниот материјал нуди нови можности за поставување на пациенти со фиксни или мобилни високо квалитетни стоматолошки протези над импланти¹².



Слика 7. Хибридна протеза замена за мобилна протеза

Figure 7. Hybrid denture replacements for removable denture

⁶⁴ <http://www.bredent.co.uk/downloads/news/skyline-international-12-12-bredent-uk.pdf>

¹² Taner Ch.; Computer guided immediate rehabilitation of completely edentulous jaws with fixed prostheses supported by implants (Euroteknika Barcelona 2016)

Покрај тоа, е особено погоден за пациентите со **алергии** поради неговата многу ниска растворливост во вода од $<0.6 \mu\text{g} / \text{mm}^3$ и ниското ниво на реактивност со други материјали.

Модифицирани полимерни материјали со високи перформанси нуди три различни опции за аплицирање на дефинитивни изработки⁴³:

- ✓ Полимерни материјали со високи перформанси како материјал за машинско глодање, односно производство на протетски изработки со CAD / CAM системи
- ✓ Постапка со топло притискање, преку системот за пресување, со специјално развиен вакуумски уред за пресување
- ✓ -Метод со 3Д принтање



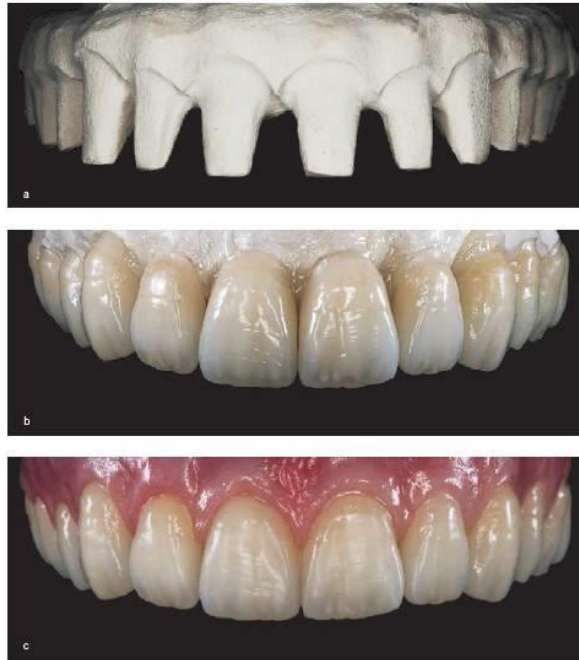
Слика 8. Гранулат во различна боја

Figure 8. Granules in different color

⁴³ Pham V.T.: Pekkton - A new high-performance polymer. Dental Technologies, US Edition, 2014 n°109.

CAD / CAM производството на овие материјали е испробано, тестирано и во голема мера применето, но трошоците кои се вклучени се исто така големи. Лабораториите без CAD / CAM уредот се потпираат на надворешна услуга.

Направената дентална реставрација изработена со CAD / CAM уредот ја враќа изгубената природност и се вклопуваат во комплексна средина.



Слика 9. Дентална реставрација изработена со CAD / CAM

Figure 9. Dental restoration made with CAD / CAM

За да се постигне висока естетика во сетот на материјали за фасетирање се користат композити кои лесно се аплицираат, имаат хомогена конзистентност и мала контракција. Материјалот покажува извонредна боја и сјај, слична на сјајот во устата и природна опалесценција. Естетскиот ефект што може да се постигне е извонреден²¹.

Главни карактеристики на материјалот и негова примена:

- Има бела боја, затоа е погоден за стоматолошки реставрации;

²¹ Alsadon O., Evaluation of the Optical Properties of PEKK based Restoration. Poster 3667, IADR Boston, March 2015.

- Може да биде покриен со композитни материјали, нудејќи висока естетика;
- Нема абразивен ефект врз преостанатите заби, така што емајлот е заштитена;
- Не содржи метал, така што не создава галвански ефект;
- Материјалот е погоден за да се користи како скелет на протетски надоместоци;
- Се користи како имплантен материјал во хуманата медицина повеќе од 20 години, што значи дека обезбедува долгорочна важност и отпорност.

3. Цели на трудот

Цел на овој специјалистички труд е да се направи евалуација на современите полимерни материјали и нивните апликативни можности во стоматолошките протетски терапевски процедури.

Исто така ќе се направи процена за примената на современите материјали и техники на нивна имплементација во секојдневната стоматолошка пракса во контекст на употребата на современите полимерни материјали.

Како специфични цели врз основа на дадената главна цел се споменуваат следниве:

- Хемиски карактеристики на современите полимерни материјали
- Физички карактеристики на современите полимерни материјали
- Биолошки карактеристики на современите полимерни материјали
- Естетски карактеристики на современите полимерни материјали
- Методи на изработка на протетски помагала од современи полимерни материјали

Во делот на специјалистичкиот труд кој следува во соодветни поглавја и под поглавја дадени направена е анализа на современите полимерни материјали врз основа на претходно дадените цели. На крајот на специјалистичкиот труд е надополнет и делот за употребата на современите протетички техники во однос на современите полимерни маси.

4. Материјал и метод

Со цел да се реализираат поставените цели на специјалистичкиот труд направена е соодветна анализа на современата стоматолошка и заботехничка литература.

Податоците и информациите кои се користени во оваа студија се добиени по прегледот на литературата на научните бази на податоци, и тоа доминантно на најголемиот извор на информации од областа на медицината, PubMed. При пребарувањето на оваа база на податоци се користат клучни зборови за: поли етер етер кетон, употреба на поли етер етер кетон, современи дентални полимери, CAD/CAM во заботехничка лабораторија. Сите користени литератури се објавени во рецензирани публикации и списанија. Сите статии беа напишани на англиски, германски, италијански и шпански јазик, објавени во последните десет години од 2008 до 2018 година.

Исто така, како извор на литература користени се и упатствата за употреба на овие материјали, како и податоците кои ги даваат производителите во однос на овие материјали на нивните интернет портали. Како извор на литература се користени и рекламните материјали на компаниите, но истите се земани со резерва, поради пропагандниот и комерцијалниот карактер на презентираниите податоци.

Презентацијата на хемиските, физичките и биолошките, како и на естетските карактеристики на овие современи материјали е направено во соодветни поглавја на овој специјалистички труд.

5. Резултати и дискусија

Адаптацијата на стоматолошките изработки индивидуално, на секој поединец претставува најзначајниот и најдобриот дел од естетската стоматологија. Големiot број на можности за апликација во областа на стоматолошката протетика на различните полимерни реставрации. Во современата стоматологија ги поставува сите поединци кои се поврзани со неа пред задачата за развој на разновидна примена на различни материјали, кои би биле, со повисока естетика и значително подобри физички и хемиски својства.

Од историските податоци може да се забележи дека уште во 1978 година една група на англиски научници за прв пат успеале да создадат материјал со хемиска структура означен како poly(ether-ether-ketone) ПЕЕК (полиетер-етеркетон)²⁸. Денес тој материјал наоѓа широка примена во многу области. Првпат бил комерцијализиран во 1980-тите за бројни индустриски апликации во производство на авиони, турбини, клипни делови, кабелска изолација, лежишта и вентили на компресорски плочи²⁹.

Пред само неколку години, во стоматологијата бил применет овој термопластичен материјал кој веќе се користи во индустријата за производство на медицински материјали. Тој материјал во суштина претставува полу-кристал на пластиката со високи перформанси, но сепак со комбинирани многу добри механички својства, висока температурна отпорност и одлична отпорност на хемикалии.

Со напредувањето на индустријата станува важна алтернатива за бројните металните импланти, особено за оние кои се користат во трауматологијата, ортопедија како и кај 'рбетни импланти.

²⁸ Fuhrmann G., Dissertation: Klebeverbund zu PEKK – Einfluss der Konditionierungsverfahren und Hydrolysebeständigkeit. 2014.

²⁹ 29. Gobert B.: Faux moignon anatomique en Pekkton. Technologie Dentaire, Décembre 2013 N° 324.



Слика 10. ПЕЕК како основа за покривна протеза преку импланти

Figure 10. PEEK as basis for a cover prosthesis through implants

Поли етер-етер-кетон, poly(ether-ether-ketone) ПЕЕК претставува добар материјал за производство на фиксни изработки како и за мобилни протези со CAD-CAM техника, затоа што материјалот лесно се глода (фрезува), неговите механички својства не се негативни во однос на процесот на глодање (фрезување) и неговиот отпор на фрактури е поголем од оној на други материјали⁴³. Поли етер-етер-кетон, poly(ether-ether-ketone) ПЕЕК, е уште еден материјал кој може да се користи алтернатива на ПММА за CAD-CAM реставрации²⁹

Абразивните својства на ПЕЕК се одлични. И покрај значително ниските еластични модули и цврстина, абразивната отпорноста е конкурентна во однос на металните легури. Сепак, не постојат клиничките студии во кои е направена корелација на абразијата која е предизвикана од ПЕЕК на коронките на природните заби, во однос на абразијата која се појавува на природните заби а е предизвикана од други материјали како легури и керамика. Познато е дека коронките добиени од овој материјал можат ефикасно да функционираат во хармонија со дентинот и емајлот на природните заби. Со оглед на добра отпорност на абразија, механички атрибути и погоре наведени соодветен начин

⁴³ Pham V.T.: Pekkton - A new high-performance polymer. Dental Technologies, US Edition, 2014 n°109.

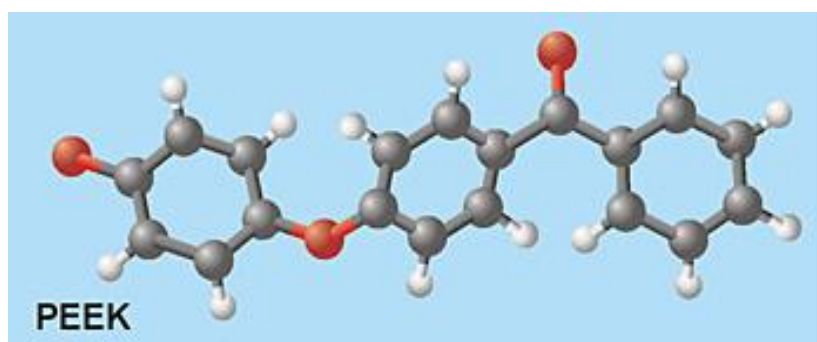
²⁹ Gobert B.: Faux moignon anatomique en Pekkton. Technologie Dentaire, Décembre 2013 N° 324

на спојување кон композити и заби, дури и скелетирана парцијална протеза може да биде изработена од посочениот материјал.

5.1 Хемиски карактеристики на модифицираните полимери со високи перформанси

Хемиски модифицираните полимери со високи перформанси потекнуваат од групата на поли етер етер кетон. Воедно главен претставник на овие материјали претставува poly(ether-ether-ketone) поли-етер-етер-кетон (ПЕЕК)²⁹. Станува збор за биоинертен материјал кој може да се користи при различните методи на имплантација во човечкото тело. Неговата еластичност е значително повеќе слична со онаа на човечката коска во споредба со имплантите кои се изработени од титаниумски легури, како и оние протези што се користат за заменските зглобови.

Ако материјалот се користи како абатмент на имплант наместо титаниумските легури, го намалува стресот на коскените и на другите ткивни структури во споредба со метални материјали. Како резултат на тоа ризикот од појавување на коскена ресорпцијата со поставувањето на вакви импланти е намален. Од хемиска гледна точка материјалот се добива со континуирано термичко загревање на температура која е над 150° C, додека температура на топење изнесува 363 °C.



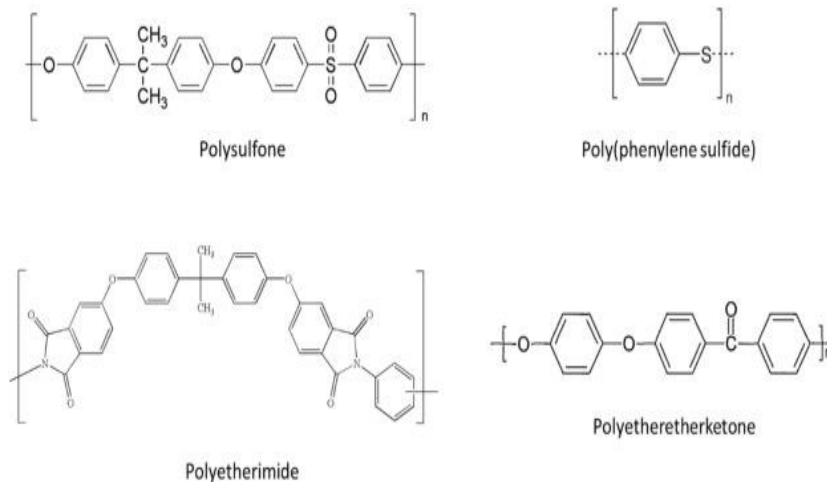
Слика 11. Молекула на поли етер етер кетон ПЕЕК

Figure 11. Molecule of poly ether ether ketone PEEK

²⁹ Gobert B.: Faux moignon anatomique en Pekkton. Technologie Dentaire, Décembre 2013 N° 324.

Модифицираните полимери со високи перформанси согоруваат без остаток. Материјалите се идеални за производство на современите CAD / CAM стоматолошки структури за имплементација во металот.

Благодарение на примената на неоргански полнила, модифицираните полимери се исто така припаѓаат во највисоката класа и далеку ги надминува специфичните материјални својства²².

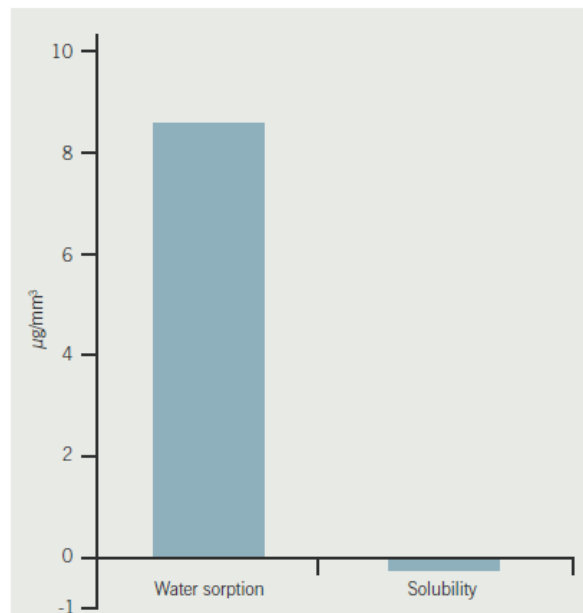


Слика 12. Молекули на полимери смоли

Figure 12. Molecules of polymer resins

Поради своите механички предности овие современи материјали се особено погодни за употреба во стоматолошкиот сектор, а особено во заботехничките лаборатории. Бојата на овие материјали е бела па поради тоа го задоволуваат бараниот естетски ефект. Ова особено доаѓа до израз кога се изработуваат абатмени од модифицирани полимери со високи перформанси и тие го задоволуваат естетскиот момент на највисоко ниво, пред се поради тоа што не постои транспаренција кога се изработува самата коронка.

²² 22. Alsadon O., Structural Integrity of Poly-Ether- Ketone-Ketone (PEKK) based Bi-layered Molar Crowns, Poster BSODR 2015.



Растворливост	Абсорпција
---------------	------------

¹⁷	Вредност во проценти	µg/mm ³
Растворливост	0,59	8,7
Абсорпција	0,17	-0,2

Табела 1. Растворливост и абсорпција на материјалот

Table 1. Solubility and absorption of the material

Поли-етер-етер-кетон (ПЕЕК) како супстанција хемиски е отпорен на многу хемикалии, а исто така дава и силен отпор кон хидролиза со можност за стерилизација на повисока температура⁶¹.

¹⁷ Kieschnick A.; PAEK ≠ PAEK: Wo liegen Unterschiede und für welche Indikationen sind die Materialien geeignet? (EADT 12-2016)

⁶¹ Copponnex T., DeCarminе A.: Reevaluating Thermoplastics. European Medical Device Manufacturer, March/April 2009.

5.2 Физички карактеристиките на модифицираните полимери со високи перформанси

Во делот кој следува опишани се основните физички карактеристики на модифицираните полимери со високи перформанси, со посебен осврт на ПЕЕК (Polyetheretherketon).

Како што напоменавме, полимерот - ПЕЕК (Polyetheretherketon) претставува материјал со високи перформанси кој е особено популарен поради неговите разновидни својства и бројните можности за негова апликација. Често, во ургентната медицина во случаите на повреди, ваквите повреди или сериозни болести го прават овој материјал неопходен, односно станува неопходно да се користат импланти изработени од овој материјал за да настане санација на недостатоците предизвикани од трауми или малформации⁴⁵.

ПЕЕК е материјал кој што има густина која што е 5 пати помала од металите, и самото тоа го прави материјалот многу полесен, но со поголема отпорност кон механички деформации.

Физички карактеристики ⁴³	Вредност
Отпор на деформација	120 МПа
Степен на еластичност	4.4 %
Температура на топење	363° С

Табела 2. Механички карактеристиките на модифицираните полимери со високи перформанси

Table 2. Mechanically characterized by high-performance modified polymers

⁴⁵ Keilig L., Katzenbach A., Weber A., Stark H., Bourauel C.: Fatigue testing of crowns made from a high performance polymer. Poster EAO 2014, Rom.

⁴³ Pham V.T.: Pekkton - A new high-performance polymer. Dental Technologies, US Edition, 2014 n°109.

Доколку направиме компарација, во споредба со нерѓосувачки челик, титаниум ПЕЕК (Polyetheretherketon) има подобра отпорност на корозија, и неговите механички својства се извонредни. Нерѓосувачкиот челик е економичен, но има зголемен потенцијал и можност за корозија. Кај металите рентген-зраците го расфрлаат зрачењето во близина на металните материјали, што го прави значително потешко да се дозира и фокусира зрачење во случај на терапија. Исто така добрата топлинска спроводливост на металите може да предизвика имплантите да се загреат или да се изладат значително. Во случај на кранијална апликација може да се појават негативни последици.

Интересен податок е дека според степенот на кршливост овој материјал покажува двојно поголема отпорност во споредба со литиум дисиликатната керамика, односно прес керамиката. Што се однесува до биокомпактибилноста овој материјал поседува десет пати поголема биолошка подносливост од титаниумот и златото, па затоа наоѓа примена и во другите области од медицината, за изработка на вештачки срцеви валвули, рбетни пршлени и вештачки колкови. Од особена важност е, дека овој материјал поседува многу мала специфична тежина не се контрахира, димензиски е стабилен, па затоа наоѓа примена како во мобилната така и во фиксната протетика. Бидејќи се работи за полимер, со додавање на бои се добива материјал со посакуваниот колорит и нијанса, односно комплетно ги задоволува оптичките и естетските барања за една стоматопротетска реставрација.

ПЕЕК (Polyetheretherketon) нуди оптимални физички својства во многу аспекти, истиот е многу сличен на човечката коска во механичката отпорност и еластичност. Бидејќи овој материјал е радиолошки контрастен, тој е погоден за радиолошка дијагностика. Благодарение пак на неговите изолациони својства, мора да се забележи дека материјалот е исто така помалку осетлив на температурни ефекти.



Слика 13. Мала специфична тежина на материјалот

Figure 13. Low specific weight of the material

Покрај тоа ПЕЕК (Polyetheretherketon) има својство на осеинтеграција, преку формирање на ново коскено ткиво. Само неколку недели по некоја хируршка интервенција може да се забележи дека првите остеогени клетки пролиферираат и се диференцираат директно на самиот ПЕЕК имплантот, при тоа истиот го опфаќаат и интегрираат. Како резултат на тоа, коската забрзано се репарира и ризикот од појава на компликации во овие случаи се намалува во значителна мерка¹⁹.

ПЕЕК имплантите може да се произведуваат економично. Ова резултира со нивно производство во кратки временски периоди и широка слобода на дизајн, што од своја страна овозможува да се произведе имплант без поголема загуба на материјал или претходно изработка на алатки.

¹⁹ Lasry F.: Réhabilitation complexe bimaxillaire utilisant un nouveau polymère: le Pekkton®. Stratégie prothétique 11-12 2016 – vol 16, n°5.

5.3 Биолошки карактеристики на модифицираните полимери со високи перформанси

Следува делот од специјалистичкиот труд кој се однесува на биолошките карактеристики на овие модифицирани полимери со високи перформанси.

Биолошките карактеристики на модифицираните полимери со високи перформанси се однесуваат на биокompatibilноста односно тоа значи дека производите поточно имплантите кои се произведени од овие полимери се во согласност со сите биолошки стандарди и не се цитотоксични и сето тоа од своја страна придонесува тие да бидат биокompatibilни⁶.

ПЕЕК (Polyetheretherketon) претставува материјал кои не содржи метали па поради тоа кај пациентите не се јавува метален вкус во устата, не постои јонска размена и не се алергени односно не предизвикуваат алергии кај пациентите кои што ги користат истите. При полирањето на истите се постигнува површина со високо ниво на мазност која се должи на екстремно малата големина на честичките и тоа од $5\mu\text{m}$ кои се врзани со неоргански микрочестички⁷.

Материјалите изработени од ПЕЕК се неутрални па поради тоа имаат ниска апсорпција на вода и со самото тоа се намалува акумулација на плак, не постои мирис како и кај овие конструкции не постои промена на бојата, односно имаат постојаност на бојата.

⁶ Kotthaus M.; In-vitro-Untersuchung zum Verschleiß von Pekkton® ivory Aussenkronen in Kombination mit unterschiedlichen Innenkronen bei Doppelkronensystemen mittels axialer Belastung (DGPro2017)

⁷ Hasan I. : Anwendung von Pekkton® ivory Gerüsten bei Implantat getragenen Deckprothesen auf nietenförmigen Verankerungssystemen als Pilotstudie (Poster DGPro2017)

Кога се поставуваат импланти од овие материјали истите предизвикуваат брзо поврзување и побрзо прифаќање во споредба со импланти кои се изработени од титаниум. Конструкциите изработени од овие материјали лесно се чистат и полираат



Слика 14. Медицинска употреба на модифицираните полимери со високи перформанси

Figure 14. Medical use of high performance modified polymers

6. Методи за апликација на современите полимерни материјали со високи перформанси

Како материјал за истражување во овој специјалистички труд претставува полимерот poly (ether-ketone-ketone) или скратено ПЕЕК. Причината поради која е одбран овој материјал е можноста за негова широка употреба како градивен елемент на фиксните и мобилни протетички изработки.

Спроведеното истражување претставува едно ретроспективно прикажување врз база на преглед во литература. При тоа се опишани три техники и методи за апликација на овие полимерни материјали

- Термо прес техника
- CAD/CAM техника
- 3D печатење

Сите овие методи се методи со кои може да се добие безметална протетска изработка.

Со првиот метод на апликација ќе биде опишана и техниката со пресување на полимерот. За оваа техника е неопходно најпрво да се направи восочна конструкција, со која преку процесот на вложување ќе се формира шуплина (калап), а во наредната фаза, со употреба на специфична опрема се пресува дефинитивниот материјал.

Кај втората техника на изработка на протетските надоместоци, ќе биде опишана методата со компјутерско дизајнирање и глодање (CAD/CAM) технологијата.

Третата метода за работа со овој материјал ќе биде опишана техниката на 3D принтање на материјалот по претходно компјутерско дизајнирање на конструкцијата.

Освен методите на работа со овие материјали во стоматолошката протетика, односно освен што наведени се 3 техники на аплицирање кои ќе бидат опишани во делот кои следува, даден е и дел во кои истите ќе бидат и меѓусебно споредени во однос на квалитет, потребна опрема, економска оправданост. Заклучоците како такви ќе бидат презентирани во однос на предностите и недостатоците на овој материјал, како и кој метод на работа е најоправдан и најсоодветни.

5.1 Термопрес метод

Пресувањето на материјалот всушност претставува пресување со внесување на материјалот во веќе подготвениот калап. Со системот на пресување се работи на сличен начин како и за време на процесот на работа со пресувана керамика⁴³. Според производителите, нема опасност дека механичките, термичките или хемиските материјални својства на модифицираните полимери со високи перформанси ќе бидат намалени. Самиот процес на компресија е автоматски.



Слика 15. Моделација во восок

Figure 15. Wax modulation

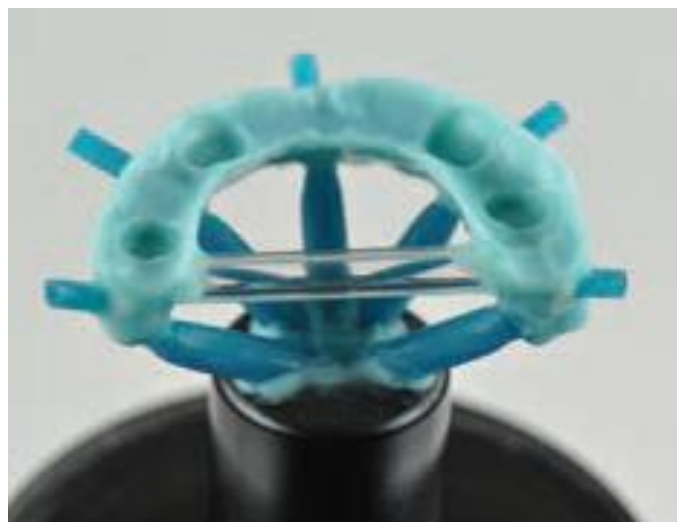
⁴³ Pham V.T.: Pekkton - A new high-performance polymer. Dental Technologies, US Edition, 2014 n°109.

Откако протетските конструкции ќе се изработат во восок,се штифтуваат со восочни штифтови со дијаметар од 5 мм како главни хранители и одводни штифтови со дијаметар од 3 мм.



Слика 16. Поставување на ливни канали

Figure 16. Plumbing set up



Слика 17. Штифтување и подготовка за вложување

Figure 17. Stitching and preparing for investing



Слика 18. Вложување со огноотпорна маса во специјален сет од кивети

Figure 18. Insulation with refractory mass in a special set of pickles

Греењето на киветата е на температура од 850 Целзиусови степени во времетраење од еден час за кивета од тежина од 200 грама. Откако ќе се стопи восокот и ќе согори без остаток, киветата се внесува во посебна прес-печка која треба да биде загреан на 390 Целзиусови степени³⁶.



Слика 19. Потребна апаратура за работа со пресување

Figure 19. Required apparatus for working with pressing

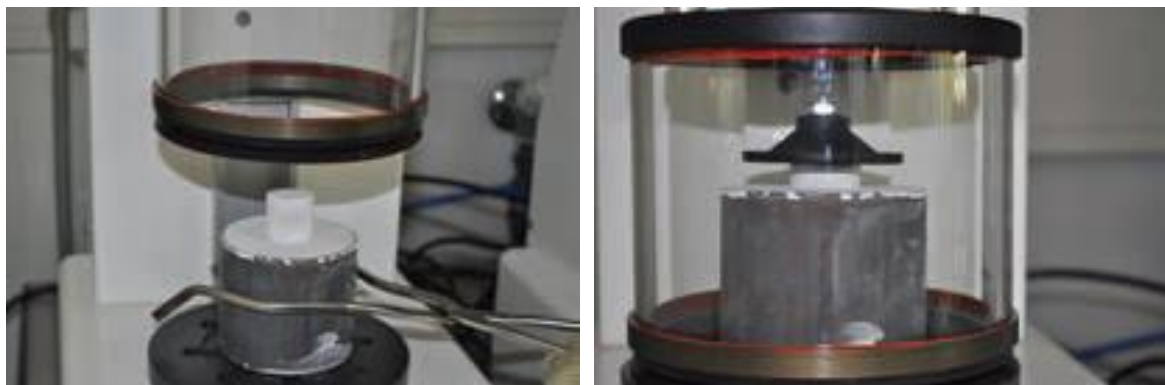
³⁶ "Additive Manufacturing: It's a Positive Thing." Chris Brown, BSEE. Inside Dental Technology, AEGIS. March 2015, Vol. 6, Issue 3.



Слика 20. Потребен материјал термопрес полимерни инготи

Figure 20. Required material thermopress polymeric ingots

Дефинитивниот материјал кои се вметнува во отворот на киветата доаѓа во облик на инготи или пелети. Материјалот се топи во рок од 10 минути, печката автоматски се затвора и под притисок од 2,5 бара растопениот материјал се вметнува во киветата. Одкако ќе заврши процесот киветата постепено се лади до собна температура и се отвара со помош на ножички за гипс и со пескареење, се со цел да не дојде до создавање на вибрации кој негативно ќе се одразат на пресуваната конструкција. За пескареење се користи песок од 110 микрони и притисок од 2 бара²⁸.



Слика 21. Фаза на пресување

Figure 21. Pressing phase

²⁸ Fuhrmann G., Dissertation: Klebeverbund zu PEKK – Einfluss der Konditionierungsverfahren und Hydrolysebeständigkeit. 2014.



Слика 22. Фаза на отворање на киветата

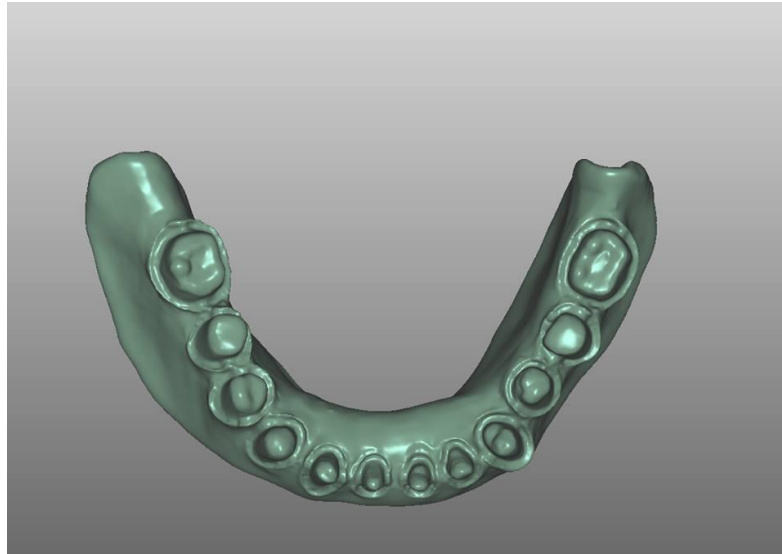
Figure 22. Opening phase of the cuvette

5.2 Метода со глодање CAD/CAM

Денталната медицина како научна и стручна дисциплина се побрзо и побрзо развива од ден на ден со што придонесува за развој на технологијата. Како напредува развојот на денталната технологија така напредуваат и материјалите кои се користат во таа технологија. Така денес постојат системи кои во целост можат да изработат и комплексни протетски работи, без потреба за забен техничар. Прецизноста на таквите апарати е од голема предност над стандардната затоа што со намалениот број на фазите за изработка се намалуваат и можностите за грешки а се намалува и времето за санација на пациентот²⁵.

За таква софистицирана технологија е потребен многу квалитетен и отпорен материјал. Поради тие причини се развила потполно нов вид на материјали кои се одликува со премногу голема цврстина и отпорност на деформација.

²⁵ Digital Dentistry Yearbook (JP)_2015



Слика 23. Дизајнирање на конструкцијата

Figure 23. Designing the construction



Слика 24. Основа на покривна протеза преку импланти

Figure 24. Basically the shroud prosthesis over implants

Најцврстите видови на полимери можат да се мерат со цврстината на денталните легури, така да од нив без страв од кршење можат да се изработат комплексни мостови конструкции. Поради својата биокompatibilност, естетика и цврстина се повеќе ја исфрлаат дентална легура од употреба во забната протетика.



Слика 25. Плоча за Cad/Cam изработена од ПЕЕК

Figure 25. Cad / Cam round made of PEEK

Модерната CAD\CAM технологија заедно со модифицираните полимерни материјали станаа неизоставен дел на модерната и високо естетска дентална медицина.

Откако се појавиле во стоматолошката протетика на крајот на осумдесеттите години на 20-от век, за 30 години доживеала голем развој.



Слика 26. Дефинитивна изработка

Figure 26. Definitive workmanship

CAD / CAM системите за брзо станаа технологија што многу се користи. Пред се поради брзината и прецизноста изработката. Апаратот е толку многу софистициран и овозможува откривање на грешки за време на глодањето и отстранување на нив, за да се постигне идеална форма на реставрација и совршена оклузална морфологија.

Денталните CAD\CAM системи се модерна технологија која овозможува брза и квалитетна изработка на протетските изработки. Системите се состојат од скенер, компјутери, режач и печка за синтрање. Со камерата се зема оптички отпечаток, со компјутерот се обработува снимениот отпечаток, додека режачот го изработува конечниот производ. За потребата на таквите системи развиени се посебни видови на керамика кои се одликуваат со голема цврстина. Цврстината на таквата керамика се приближува до цврстината на денталната легура.

Услови за користење:

- ❖ Парадонтно ткиво без воспаление и излучување
- ❖ Добра орална хигиена
- ❖ Супрагингивална
- ❖ Прецизна и чиста подготовка

Индикации:

- ❖ Оштетување на забната коронка или големи пломби
- ❖ Хипоплазија на емајл
- ❖ Корекција по ортодонтски третман (ламинати и коронки)
- ❖ Козметички корекции - дијастема, намалување на интерденталните простори, издолжување на коронка на забот, промена на бојата (ламинат)
- ❖ Ерозија на ткива (коронка, ламинат, онлеи)
- ❖ Потребата за изработка на мост

Меѓу контраиндикации може да се вклучат:

- ❖ Лоша орална хигиена со гингивални воспалителни промени
- ❖ Оклузални трауми - bruxism, bruksomania
- ❖ Премала површина за аплицирање на атхезивен состав за цементирање
- ❖ Девитализирани заби

Материјали за машинско стружење:

Во денталната протетика за машинско глодање во поново време се користат полимери со голема цврстина. Овие полимери се без метални материјали и кај истите нема потреба од изработка на метална конструкција како потпора. Доволно е цврста да може да го поднесе цвакалното оптоварување без дополнително јакнење со некој друг материјал. Овој материјал е скоро хемиски инертен со многу добра биокompatibilност. Воедно е отпорен на абразија, има стабилна боја и што е многу важно во денешно време има добри естетски својства. Освен што може да постигне совршена боја на коронката, преодот помеѓу потпорниот заб и протетската конструкција останува невидлив што овозможува сместување на работ на коронката во видливи делови (пародонтална профилакса). Во денешно време естетиката е многу битен елемент во сите видови на зафати во денталната медицина. На пазарот постојат повеќе видови на полимери со високи перформанси за машинска обработка во форма на CAD-CAM блокови и дискови, поделени во две групи.

Најчесто користени материјали од групата на полимери со високи перформанси се поли метал мет акрилатот (ПММА) и поли етер етер кетон (ПЕЕК)⁵³.

- Поли метал мет акрилатот (ПММА) се користи за изработка на сплнтови како материјал за изработка на привремени коронки, доаѓа во форма на дискови и блокови. Неговата продукција е контролирана во однос на полимеризацијата со што е исклучена можноста за појава на резидуален мономер. Блоковите изработени за привремени изработки доаѓаат во

⁵³ Gobert B.: C'est quoi le PEKK? Technologie Dentaire, Décembre 2013 N° 324

репертоар од 16 бои, што значи ги задоволуваат и естетските барања. Не се употребува како дефинитивен материјал поради тоа што постои абсорпција на дентален плак и поради непостојаноста на бојата.



Слика 27. Плоча за Cad/Cam изработена од модифицирани полимерни материјали

Figure 27. Cad / Cam rounds made of modified polymer materials

- Поли етер етер кетон (ПЕЕК) се користи за изработка на дефинитивни протетски изработки, и доаѓаат во форма на блокови и дискови. Истиот е најдобар за употреба поради неможноста за контракција или експанзија на материјалот. Дизајнирањето се прави со специјален софтвер што значи дека прецизноста на изработката со оваа техника е најповолна. Овој материјал може да биде и со розева боја што идеално ги имитира меките ткива.



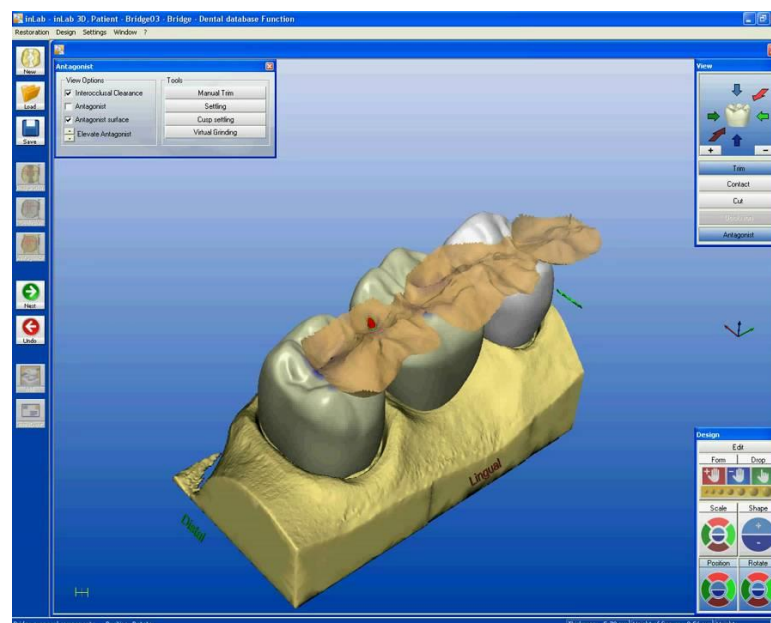
Слика 28. Плоча за Cad/Cam изработена од ПММА со розева боја

Figure 28. Round for Cad / Cam made of PMMA with pink color

Целта на оваа техника е да се скрати времето на изработка на протетските конструкции, да се намали можноста за грешки кои се можни во текот на изработката во лабораторија, намалување на бројот на фази на изработка.

Првиот стоматолог кој ја вовеле CAD / CAM технологијата во стоматологијата бил д-р Duret кој во 1971 година кој почнал да прави фиксни вештачки забни коронки. Д-р Moermann ја развил идејата на д-р Duret и го создаде првиот стоматолошки CAD/ CAM систем. Неговиот систем бил врз основа на интраорална камера и директното производство на инлеи со глодање. Тоа е CEREC системот кој денес е еден од најдобро прифатените стоматолошки CAD / CAM системи²⁵.

Главната предност при употреба на CAD\CAM технологијата е заштеда на време и користење на материјали со одлични перформанси. Техниката му дава можност на стоматологот да ги направи преперацијата, обликувањето и изработката на реставрацијата во само една посета, без да има потреба за земање на стандарден отпечаток, изработка на привремена реставрација и користење на услугите на заботехничката лабораторија.



Слика 29. Дизајнирање на дефинитивните протетски надоместоци

Figure 29. Designing definitive prosthetic replacement

²⁵ Digital Dentistry Yearbook (JP)_2015

Системот CAD\CAM има и свои недостатоци, бидејќи реставрацијата се изработува без отпечаток и проба во артикулатор, така што воспоставувањето на оклузалните односи може да биде проблем. Софтверот има неколку опции за надминување на ова ограничување. Техниката за корелација ја дава можноста да се снимат и да се запомнат оклузалната анатомија на забот пред да се направи негова препарација и да се пренесе на оклузалната површина на новата реставрација.

Алтернативната техника е да се искористат антагонистичките заби, со регистрација на нивната оклузална површина при загризување. Снимените податоци што се однесуваат на релјефот и на површината на антагонистите се пренесуваат во софтверот и се вклопуваат во дизајнот на новата реставрација.

5.3 Метода со 3D принтање (тродимензионално принтање)

Првичните обиди за 3D принтање на предмети биле направени во раните 1970-ти години кога јапонскиот истражувач д-р. Хидео Кодама, кој го измислил пристапот за модерното наслојување на стереолитографија⁵⁵.

Терминот стереолитографија подоцна бил дефиниран од Чарлс. В. Хул, кој ја патентирал технологијата во 1986 година и ја основал компанијата 3D Systems за нивната комерцијализација. Хул го опишал методот како правење 3D-објекти со последователно печатење на тенки слоеви и УВ полимеризација, и при тоа печатењето се одвива од дното кон врвот⁵⁰. Подоцна дефиницијата за 3D печатење беше проширена односно на различни видови на материјали способни за зацврстување или менување на нивната физичка состојба.



Слика 30. 3D принтани база и вештачки заби

Figure 30. 3D print base and artificial teeth

Денес, условите за 3D печатење и производството на материјали опишуваат многу различни процеси кои се разликуваат во смисла на методот на стратификација, материјали и машинска технологија³².

⁵⁵ "Innovations in Additive Manufacturing." Chris Brown, BSEE. *Inside Dental Technology*, AEGIS. January 2014, Vol. 5, Issue 1.

⁵⁰ "Global 3D Printing in Dentistry 2015-2025- A Ten Year Opportunity Forecast and Analysis." Dublin, Apr. 28, 2015 /PRNewswire/ -Research and Markets.

³² "Stratasys Groundbreaking Triple-Jetting 3D Printing Now Available for Larger Dental Labs: Increased Throughput + Ultra-Real Color Dental Models." Stratasys staff. Oct. 26, 2015.

Додека оваа достапна техника за екструзија придонесе за зголемената популарност на 3D печатењето, квалитетот на готовите изработки при примена на овие машини, високи прецизни резултати се неопходни за професионални апликации во денталната медицина.

3D принтањето со висока резолуција претходно било постигнато само на индустриски системи, но пред неколку години биле конструирани во многу помала и поевтина конфигурација и со широк спектар на соодветни материјали за печатење. Овие својства, овозможува 3D принтањето да биде достапно за различни специјални апликации, на пр. во областа на инженерството, дизајн на производи и производство, како и во стоматолошката индустрија и накит индустријата.

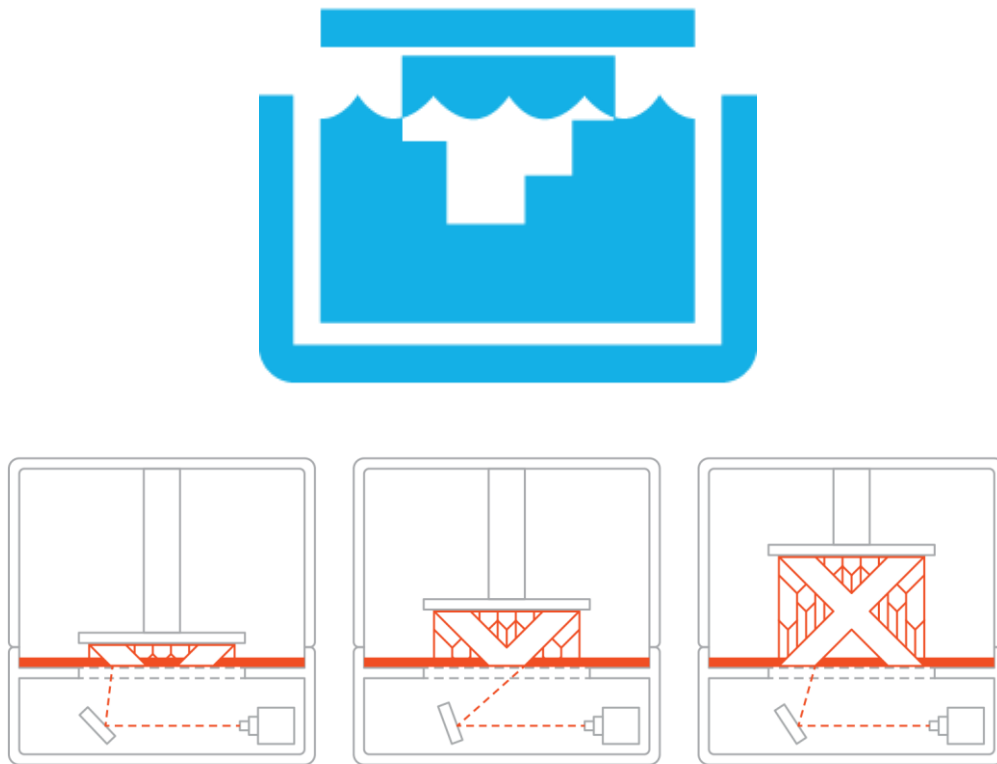
Иако на пазарот постојат многу различни 3D печатари на располагање, стандардизирани се само девет основни типови на 3D печатење кои во моментот постојат, но применливи и со висока прецизност за работа во заботехничка лабораторија се техниките на принтање со методот на:

- Стереолитографија SLA
- Моделирање со фузирачко депонирање FDM
- Селективно ласерско синтерување SLS

SLA - стереолитографија

Најстарата технологија за 3D печатење е претставена со методот на стереолитографија SLA. Оваа форма на 3D печатење работи со изложување на слој од фотосензитивни течни смоли кои полимеризираат со UV-ласерски зрак. Полимерната смола може да полимеризира во саканата форма, а објектот е изграден со наслојување слој по слој. Неуспехот на SLA печатењето е дека објектот мора да се исплакне со растворувач изопропил откако ќе заврши печатењето, па дури и понекогаш треба да се полимеризира со УВ светло за да се заврши процесот на стврднување на материјалот³⁴.

³⁴ "Two New Reasons To Smile About 3D Printing for Digital Dentistry," Stratasys staff. Feb. 21, 2014



Слика 31. Стереолитографија SLA

Figure 31. Stereolithography SLA

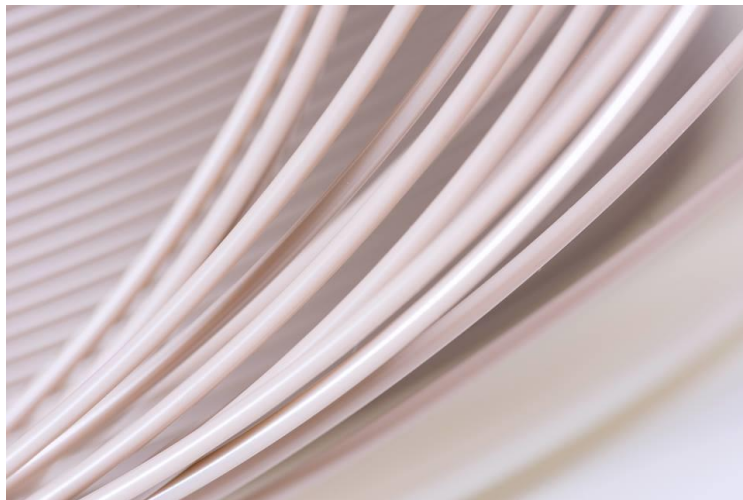
SLA спаѓа во групата на производствени техники познати како "Vat" фотополимеризација. Овие машини работат на истиот принцип, имено употребата на извор на светлина (УВ ласер или проектор) за да се полимеризира течна смола во тврда пластика. Главната физичка разлика е распоредот на основните компоненти, изворот на светлина, градежната платформа и резервоарот за вештачка смола³⁷.

Селективната полимеризација со помош на извор на светлина, слој по слој ги трансформира течните смоли во цврсти делови. SLA често се користи во производството на модели, стоматопротетски надоместоци, производство на накит.

³⁷ "Peninsula Health making bone models with 3D printers." Sean McComish. Nov. 15, 2015. *Mornington Peninsula Leader*

Моделирање со фузирачко депонирање - FDM

FDM е најчестата форма на десктоп 3D печатење на потрошувачки пазар. Системот FDM се состои од платформа за екструдирање на млазницата и систем за контрола кој обезбедува брзо и едноставно решение за 3D печатење. Термо пластичната жица се загрева и се депонира во x и y координатите, а објектот е изграден слој-по-слој во z-насока. FDM принтери изградуваат предмети од дното нагоре и обично им се потребни структури за поддршка, ако објектот има надвиснати делови повеќе од агол од 45 °. Оваа форма на 3D печатење е најекономичен начин за домашна употреба и мали бизниси да креираат делови брзо и ефикасно. Печатачите се еволуирале од крупни скапи машини до помали, побрзи, економични, кои станаа клучни компоненти во многу сектори⁵⁸.



Слика 32. Полимерна жица за принтање

Figure 32. Polimer Printer Filament

Со лансирањето на пазарот на полимерни материјали со високи перформанси во форма на жица за принтање во 2015 година, се демонстрира

⁵⁸ 3d printing techniques for dental products.” Robert Dehue. Sept. 19, 2012.

можност за иновации, создавање на нови инженерски делови користејќи ја технологија и за дефинитивни изработки во стоматолошката протетика⁵⁷.

Како термопластични материјали во форма на жица за 3D принтање односно FDM моделирање со фузирачко депонирање, најчесто се користи: полипропилен ПП и полимерот ПЕЕК поли етер етер кетон.

Полипропилен ПП е линеарен јаглеводороден термопластичен полимер, создаден од полимеризација на пропиленски мономери. Нејзиниот опсег на топење се протега од 130 ° C до 171 ° C. Во однос на индустриското производство, Полипропиленот е најкористен полимер по полиетилен. Според истражувањето на потрошувачката група Markets-and-Markets, полипропиленскиот пазар се проценува на вредност од 75,40 милијарди долари во 2017 година, и се предвидува да достигне 99,17 милијарди долари до 2021 година.

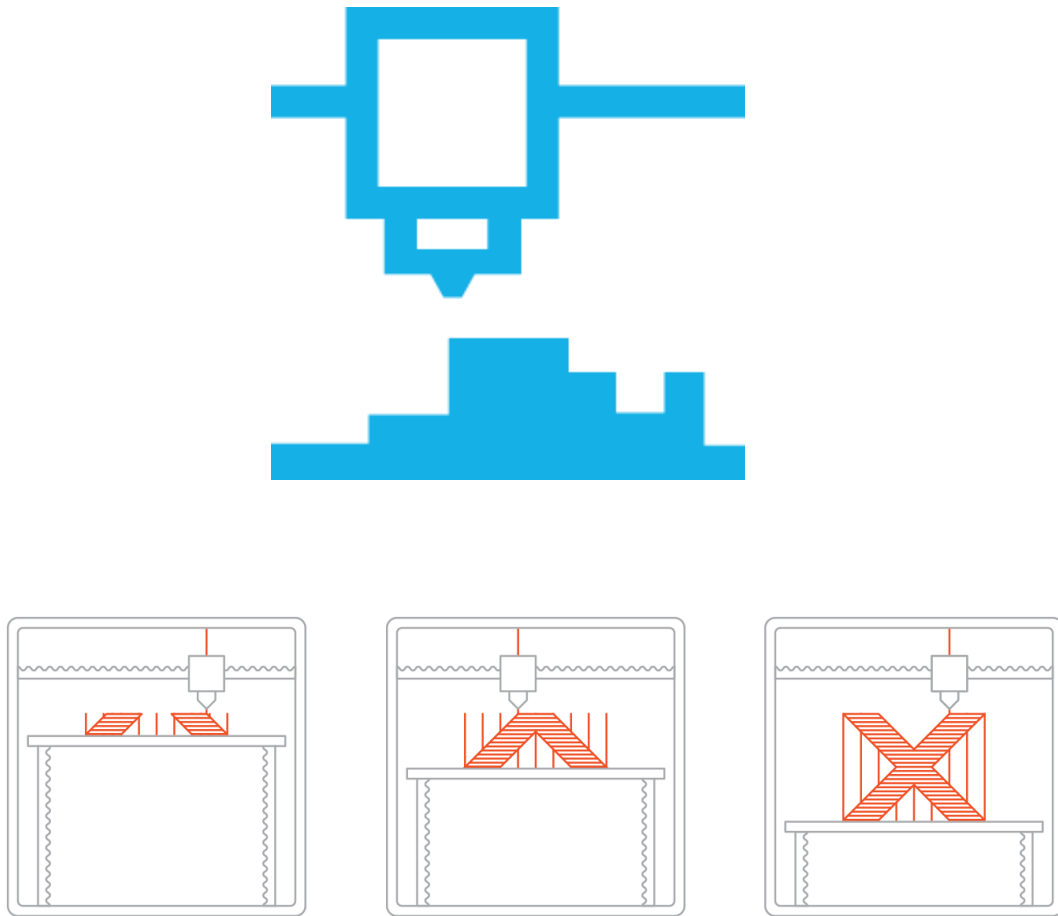
Полипропиленот е еден од најсовремените полимери со широк спектар на апликации. Некои негови значајни својства се:

- Многу добра хемиска отпорност, што го прави добар избор за контејнери на течности, како што се средства за чистење.
- Добра отпорност на торзија или свиткување
- Отпорност на електрична енергија што го прави погоден материјал за електронски компоненти.

Поради негативната биокompatибилност полипропиленот не се користи за изработка на дефинитивни изработки во стоматолошката протетика.

Новите иновативни материјали доаѓаат во форма на жица за принтање се биокompatиблни и еден таков претставник е поли етер етер кетонот односно ПЕЕК, кој што е термо пластична маса што може да се коисти за дефинитивни изработки во стоматолошката протетика, кое што е опишано во претходното поглавје.

⁵⁷ "Types of 3D printers or 3D printing technologies overview." 3D from scratch. <http://3dprintingfromscratch.com/common/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview/>



Слика 33. Моделирање со фузирачко депонирање - FDM

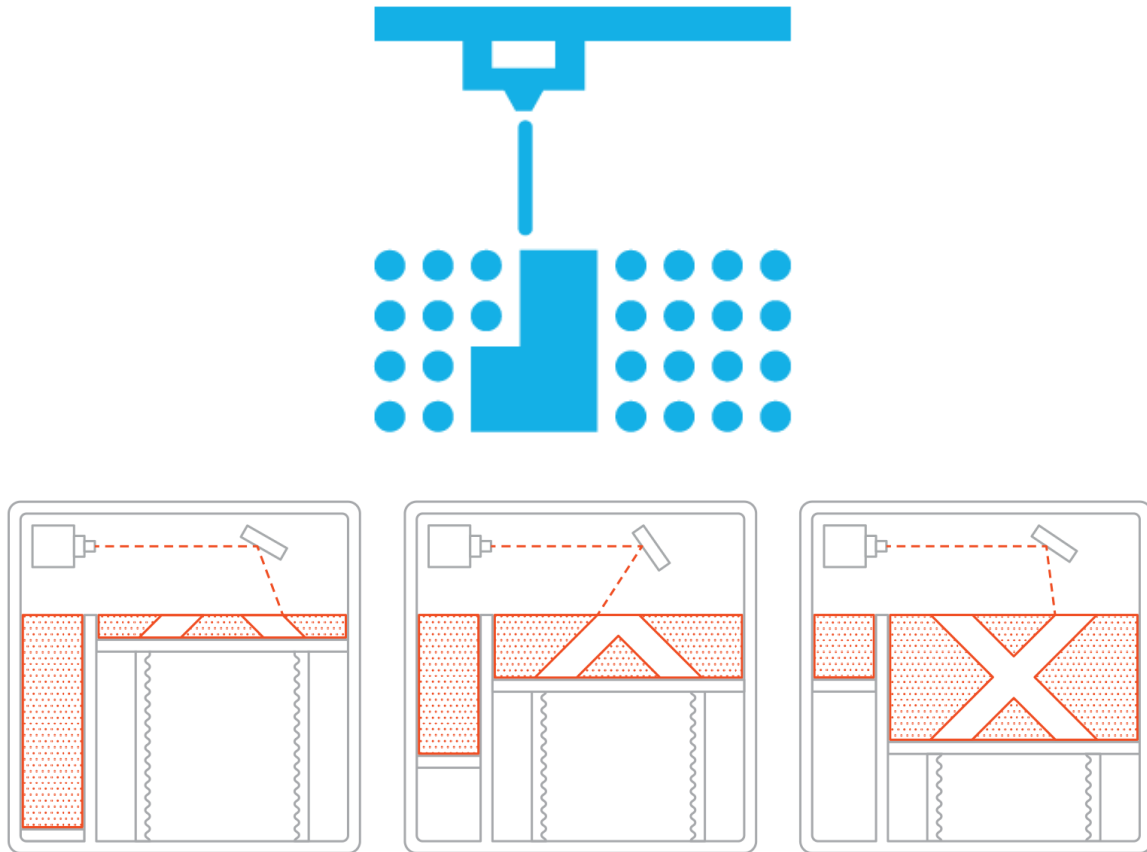
Figure 33. Fused Deposition Modeling – FDM

Селективно ласерско синтерување - SLS

SLS печатење е кога ласерски зрак се користи за зацврстување и поврзување на прав од пластика, керамика, стакло, метал или други материјали во слоеви за да се произведе 3D објект. SLS технологијата работи како други технологии за производство со тоа што овозможува печатење преку градење на слоеви додека објектот не биде компетиран.

Ласерот го следи обликот на секој слој парче во шаржерот од прав и друг слој се проследува и поврзува на врвот на претходната.

Главна корист од печатењето на SLS е тоа што не е потребна структура за поддршка на производство сложени дизајни.



Слика 34. Селективно ласерско синтерување - SLS

Figure 34. Selective laser sintering - SLS



Слика 35. Фигури испринтани со различни техники за 3D принтање
Figure 35. Figures printed with different 3D printing techniques

Почесто прифатената тековна производна технологија е метод на глодање именуван како *cad/cam*. Овој метод на дигитално производство создава сложени геометрии со преземање на блок или пак од материјал и со стратешки прекини под компјутерска нумеричка контрола (фреза) за да се отстрани сето она што не е потребно додека не се постигне конечниот предмет.

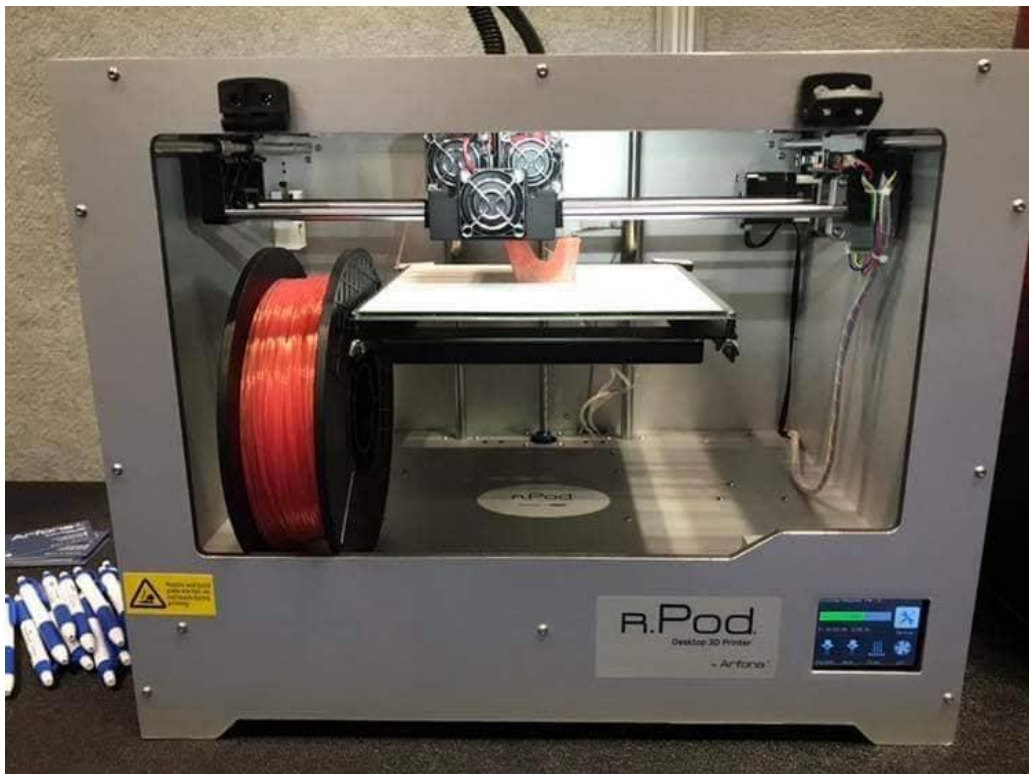
Често овој метод на производство има висока цена на чинење, со повеќе прифатлива технологија и материјали.

Сепак, постојат контра индикации кои значително влијаат на конечниот резултат. Потенцијалните неефикасности во *cad/cam* производството директно се однесуваат на геометријата и на патеките на алатките. Колку е покомплексна геометријата, толку е по комплексна стратегија за патеката на алатките. Често, со сложени геометрии алатките едноставно не можат да добијат пристап до глодалката поради подминираностите. Ова резултира со едно од две сценарија, или делот не може да се глода, или ќе се појави дефект при глодањето³⁵.

³⁵ "French Start-up Z3DLAB Produces Titanium-Ceramic Material for Metal 3D Printing." Tyler Koslow, Sept. 25, 2015.

3D печатењето е процес кој започнува со празна платформа, плочка и последователно гради 3-димензионален објект. Печатачот го обработува секој слој, обично од дното нагоре, создавајќи крајно точен конечен објект.

Секоја технологија има свои разлики и секој систем варира во однос на достапните материјали. Како се зацврстуваат овие материјали и како тие можат да се користат, честопати се разликува меѓу технологиите³⁷.



Слика 36. Апарат за 3D принтање со полимерни материјали

Figure 36. 3D printer with polymer materials

³⁷ "Peninsula Health making bone models with 3D printers." Sean McComish. Nov. 15, 2015. Mornington Peninsula Leader.

Заклучок

Модифицираните полимери со високи перформанси се материјали кој денес наоѓаат се поголема примена, истите претставуваат алтернатива на благородните и метал-керамички реставрации односно со своите позитивни својства ги подобруваат и функционалните, како и физичките и естетски ефекти во споредба со надоместоците кои што се изработени на метална основа.

Материјалот е биолошки стабилен и кога се користат импланти од овој материјал истите не стапуваат во интеракција со други материјали односно не предизвикуваат несакани ефекти. Кога е потребно можност за постигнување на мала дебелина на сидовите кај истите. Исто така конструкциите се обработуваат и полираат лесно до висок сјај, контракцијата на материјалот е нула додека загадувањето на животната средина е минимално.

Овој материјал не предизвикува абразија на антагонистите, ги штити природните заби од оштетување. Кај овие материјали постои можност и оптимална способност на прилагодување, ги штити антагонистите. Поддржува остеоинтеграција односно лесно се прифаќа од страна на пациентот, како и истрајноста на реставрацијата е многу долга. Еластичноста на самиот материјал е блиска до онаа на човековата биомеханика односно има еластичност која што е како и природната коска па поради тоа наоѓа широка примена за употреба во биопечатењето во медицината. Претставува стрес апсорбер, и истиот е доста резилентен, а исто така е и резистентен на фрактурирање како и на торзија. Биокомпатибилноста на самиот материјал потекнува од тоа што истиот не поседува метали, тој е антиалерген односно не предизвикува никакви алергиски реакции кај пациентот, инсолубилен е во вода, исто така е плак резистентен, овие материјали превенираат формирање на електролиза, кај конструкциите не се појавува контрасти што е случај кај метал керамичките конструкции, резистентни се на гама и x-зраци, како и хемиски се стабилни.

Бојата на самиот материјал е бела и е идеална основа односно база за поставување на композитни материјали врз истиот, па постои можност за идеално постигнување на естетски ефект, но естетскиот момент е природен

поради широкиот спектар на бои кои ги поседуваат овие материјали. Кога овој материјал стапува во контакт со гингивата истиот овозможува интимен однос, односно истата го прифаќа и се прилепува врз изработената конструкција или пак имплант, дава природно чувство во устата на пациентот како и при самиот акт на мастикација.

Имплантите кои се изработени од модифицирани полимери со високи перформанси се многу повеќе прифатени од самите пациенти, во споредба од титаниумските, истите не предизвикуваат алергиски реакции како и остеоинтеграцијата кај истите е за пократок временски период во споредба со титаниумските. Треба да се напомене и по подолг временски период од поставувањето на истите не даваат никаква транспаренција и истото претставува една многу значајна и голема предност во употребувањето на истите.

Техниките на изработување на конструкции од овие полимери со високи перформанси кои се објаснети во претходното поглавје на овој специјалистички труд ни укажува на предностите како и на недостатоците на секоја од техниките, но сепак CAD/CAM техниката е една од нај прифатливите и најмногу применуваните. Поради одличните карактеристики и својства на овие материјали за изработка на коронки, мостови како и друг вид на конструкции, метал керамичките конструкции ќе заминат во историјата и како замена за истите ќе се користат конструкции кои во својата основа ќе поседуваат модифицирани полимери со високи перформанси.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)

1. Keilig L.: Influence of the Framework Material on the Biomechanical Behaviour of Prosthetic Restorations. Abstract EAO 2018
2. Lee K.-S.: Biomechanical Evaluation of a Tooth Restored High Performance Polymer PEKK Post-Core System with A 3D Finite Element Analysis (BioMed Research International, Volume 2017)
3. McEnhill R.; Digital smile design and implant rehabilitation (May 2017)
4. Park J.-Y.: Evaluation of the marginal and internal gaps of three different dental prostheses: comparison of the silicone replica technique and threedimensional superimposition analysis (J Adv Prosthodont 2017;9:159-69)
5. Randelzhofer P.; Fotostory (pip_1_2017)
6. Kotthaus M.; In-vitro-Untersuchung zum Verschleiß von Pekkton® ivory Aussenkronen in Kombination mit unterschiedlichen Innenkronen bei Doppelkronensystemen mittels axialer Belastung (DGPro2017)
7. Hasan I. : Anwendung von Pekkton® ivory Gerüsten bei Implantat getragenen Deckprothesen auf nietenförmigen Verankerungssystemen als Pilotstudie (Poster DGPro2017)
8. Jacquot B.; Le PEEK et le PEKK: Bio Matériaux Clinique, Vol 2, N°1, mars 2017.
9. Keilig L, Stark H, Bourauel C. Does the Material Stiffness of Novel High-Performance Polymers for Fixed Partial Dentures Influence Their Biomechanical Behavior? The International Journal of Prosthodontics 2016; 30(6):595–7. DOI: 10.11607/ijp.4940
10. Reddington P.; Pekkton case study; Dental Technicians Magazine; July 2016.

11. Silla M.: Polyetherketonketon (PEKK) als Restaurationswerkstoff in der modernen Zahnmedizin: eine Literaturübersicht. Quintessenz Zahntech 2016;42(2):2–16.
12. Taner Ch.; Computer guided immediate rehabilitation of completely edentulous jaws with fixed prostheses supported by implants (Euroteknika Barcelona 2016)
13. Tannous F., Steiner M., Shahin R., Kern M.: Retentive forces and fatigue resistance of thermoplastic resin clasps. Dental Materials 2012 Mar;28(3):273-8.
14. Tipton P.; High-performance polymers (11.2016 IDT)
15. Chirazi N.; In der Humanmedizin bestens bekannt, in der Zahnmedizin «fast» ein Neuling (Zahn-Zeitung Schweiz Nr. 3/2016)
16. Chirazi N.; Pekkton® ivory – ein Hochleistungspolymer in der Implantat-, Total und Hybridprothetik (ZMK – Zahnheilkunde I Management I Kultur, 32. Jahrgang Juni 2016)
17. Kieschnick A.; PAEK ≠ PAEK: Wo liegen Unterschiede und für welche Indikationen sind die Materialien geeignet? (EADT 12-2016)
18. Kyeong-Hwan H., Implant- and Tooth-Supported Fixed Prosthesis Using a High-Performance Polymer (Pekkton) Framework. The International Journal of Prosthodontics, Volume 29, Number 5, 2016.
19. Lasry F.: Réhabilitation complexe bimaxillaire utilisant un nouveau polymère: le Pekkton®. Stratégie prothétique 11-12 2016 – vol 16, n°5.
20. Kyowa; QDT Vol.40/2015 November Page 1627 – 1635.
21. Alsadon O., Evaluation of the Optical Properties of PEKK based Restoration. Poster 3667, IADR Boston, March 2015.
22. Alsadon O., Structural Integrity of Poly-Ether- Ketone-Ketone (PEKK) based Bi-layered Molar Crowns, Poster BSODR 2015.

23. Arvai R., Una nuova classe di materiali «in sé», Pekkton® ivory il nuovo polimero ad alte prestazioni. Un caso clinico. Quintessenza Odontotecnica 2014;10:64-72.
24. Arvai R., Das neue Hochleistungspolymer Pekkton® ivory – eine Werkstoffklasse für sich. Quintessenz Zahntech 2014;40(11):1454-1464.
25. Digital Dentistry Yearbook (JP)_2015
26. Fuhrer M.; In-Vitro Untersuchung der mech. Eigenschaften von Primärstegkonstruktionen aus HLP (Masterarbeit 2015)
27. Fuhrmann G., Steiner M., Freitag-Wolf S., Kern M.: Resin bonding to three types of polyaryletherketones (PAEKs) - Durability and influence of surface conditioning. Dental Materials 2014Mar;30(3):357-63.
28. Fuhrmann G., Dissertation: Klebeverbund zu PEKK – Einfluss der Konditionierungsverfahren und Hydrolysebeständigkeit. 2014.
29. Gobert B.: Faux moignon anatomique en Pekkton. Technologie Dentaire, Décembre 2013 N° 324.
30. Keilig L., Katzenbach A., Weber A., Stark H., Bourauel C.: Biomechanische Untersuchung eines Hochleistungspolymer für den Ersatz in der dentalen Prothetik. Vortrag auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomechanik (DGfB) 2013 in Ulm.
31. Keilig L., Katzenbach A., Weber A., Ottersbach K., Brune M., Stark H., Bourauel C.: Dauerlastuntersuchung an Kronen aus einem Hochleistungspolymer. DGPro 2014, Aachen.
32. “Stratasys Groundbreaking Triple-Jetting 3D Printing Now Available for Larger Dental Labs: Increased Throughput + Ultra-Real Color Dental Models.” *Stratasys* staff. Oct. 26, 2015.

33. "New niche for 3D printers in dentistry." David Shamha. March 3, 2014. *The Times of Israel*.
34. "Two New Reasons To Smile About 3D Printing for Digital Dentistry," *Stratasys* staff. Feb. 21, 2014
35. "French Start-up Z3DLAB Produces Titanium-Ceramic Material for Metal 3D Printing." Tyler Koslow, Sept. 25, 2015.
36. "Additive Manufacturing: It's a Positive Thing." Chris Brown, BSEE. *Inside Dental Technology*, AEGIS. March 2015, Vol. 6, Issue 3.
37. "Peninsula Health making bone models with 3D printers." Sean McComish. Nov. 15, 2015. *Mornington Peninsula Leader*.
38. "Three-Dimensional Printing of Dentures Using Fused Deposition Modeling" Gregory S. Jacob, DDS. *Inside Dental Technology*. July/August 2013. Vol. 4, Issue 8.
39. "3D printing Technology." Kate Hughes. *Inside Dentistry*, AEGIS. June 2014, Vol. 10, Issue 6.
40. "An Introduction to 3D Printing and Laser Sintering." Chuck Stapleton. *Inside Dental Technology*, AEGIS. April 2013, Vol. 4, Issue 4.
41. Keilig L., Katzenbach A., Weber A., Stark H., Bourauel C.: Dauerlastuntersuchung an Kronen aus einem Hochleistungspolymer. Poster DGPro 2014, Aachen.
42. Pham V.T.: Pekkton - Nouveau polymère hautes performances. *Technologie Dentaire*, Mars 2014 N° 327.
43. Pham V.T.: Pekkton - A new high-performance polymer. *Dental Technologies*, US Edition, 2014 n°109.

44. Keilig L., Katzenbach A., Weber A., Stark H., Bourauel C.: Fatigue testing of crowns made from a high performance polymer. EAO 2014, Rom. Please contact us for further information on the listed publications.
45. Keilig L., Katzenbach A., Weber A., Stark H., Bourauel C.: Fatigue testing of crowns made from a high performance polymer. Poster EAO 2014, Rom.
46. Keilig L., Stark H., Bourauel C.: Biomechanics of Three- and Four-Unit-Bridges Made of Different Framework Materials – A Numerical Study. EAO 2014, Rom.
47. Keilig L., Stark H., Bourauel C.: Numerical Analysis of Dental Bridges. Made of different Framework Materials. Presentation CMBBE 10-2014, Amsterdam.
48. Reddington P.; Pekkton case study; Homepage www.beeverdental.com; August 2014.
49. Wichnalek, Metallfreier-herausnehmbarer-Zahnersatz. ZWR – Das Deutsche Zahnärzteblatt 2015; 124 (6):280-285
50. "Global 3D Printing in Dentistry 2015-2025- A Ten Year Opportunity Forecast and Analysis." Dublin, Apr. 28, 2015 /PRNewswire/ -Research and Markets.
51. Burakowski Nohara L: Processing of High Performance Composites Based on Peek by Aqueous Suspension Prepregging. Material Research 2010;13: 245–252
52. Kurtz SM. PEEK Biomaterials Handbook. Waltham, MA: Elsevier Science; 2012:30–31.
53. Gobert B.: C'est quoi le PEKK? Technologie Dentaire, Décembre 2013 N° 324.
54. "3D Printing and Laser Sintering Technologies-Additive technologies are finding increased uses in the dental laboratory industry." Chris Brown, BSEE. *Inside Dental Technology*, AEGIS. July/August 2011. Vol. 2, Issue 7.

55. "Innovations in Additive Manufacturing." Chris Brown, BSEE. *Inside Dental Technology*, AEGIS. January 2014, Vol. 5, Issue 1.
56. "ProJet 1200 Printer from Whip Mix." *Inside Dental Technology*, AEGIS. July 2014, Vol. 5, Issue 7.
57. "Types of 3D printers or 3D printing technologies overview." 3D from scratch. <http://3dprintingfromscratch.com/common/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview/>
58. 3d printing techniques for dental products." *Robert Dehue*. Sept. 19, 2012.
59. Copponnex T., Blümli M.: New material approaches in dental technology. meditec, October 2011
60. Copponnex T.: Like a chameleon. Medical Device Developments, 2010
61. Copponnex T., DeCarminе A.: Reevaluating Thermoplastics. European Medical Device Manufacturer, March/April 2009.
62. Burkard H. (2009) Esthetics with Resin Composite: Basics and Techniques, Quintessence Publishing.
63. http://www.bredent.co.uk/downloads/2_BioHPP_elegance_Hybridabutments_000534GB.pdf
64. <http://www.bredent.co.uk/downloads/news/skyline-international-12-12-bredent-uk.pdf>