



PROSPERITAS VESTRA FINIS NOSTRA!

**Медицински университет - Варна
„Проф. Д-р Параскев Стоянов“**

Факултет „Дентална медицина“

**Катедра „Дентално материалознание и Пропедевтика
на протетичната дентална медицина“**

Д-р Делян Красимиров Георгиев

**ПРИЛОЖЕНИЕ НА ВРЕМЕННИ
КОНСТРУКЦИИ ПОЛУЧЕНИ ЧРЕЗ
3D ПРИНТИРАНЕ НА ЛАЗЕРЕН
СТЕРЕОЛИТОГРАФСКИ ПРИНТЕР**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане

на образователна и научна степен

„доктор“

Научна специалност: „Ортопедична стоматология“

Научен ръководител:

Доц. д-р Стоян Георгиев Кацаров, д.м.

Варна, 2021 г.

Дисертационният труд съдържа 140 стандартни страници и е онагледен с 3 таблици и 85 фигури, и съдържа 1 приложение. Литературната справка съдържа 270 литературни източника, от които 7 на кирилица и 263 на латиница.

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита на катедрен съвет на Катедра „Дентално материалознаие и Пропедевтика на протетичната дентална медицина“ при МУ „Проф. Д-р Параскев Стоянов“ - Варна на 29.11.2021г.

Забележка: В автореферата номерата на таблиците и фигурите не съответстват на номерата в дисертационния труд.

СЪДЪРЖАНИЕ

I. ВЪВЕДЕНИЕ.....	5
II. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ.....	7
III. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА.....	8
IV. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ.....	30
V. ИЗВОДИ.....	76
VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	77
VII. ПРИНОСИ.....	78
VIII. ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.....	79

ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ

PMMA	Полиметил метакрилат
PEMA	Полиетил метакрилат
UDMA	Уретан диметакрилат
STL	Standard Tessellation Language
CAD/CAM	computer-aided design and computer-aided manufacturing
SLA	Stereolithography
SLM	Selective Laser Melting
FDM	Fused Deposition Modeling
IJP	Inkjet Printing
SEBM	Selective Electron Beam Melting
SLS	Selective Laser Sintering
N	Нютон
MPa	Мегапаскал
ΔE	Цветово отклонение

I. ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременната протетична дентална медицина временните неснимаеми протезни конструкции-коронки и мостове намират широко приложение. Изпилените твърди зъбни тъкани на естествените зъби, били те витални или девитализирани имат понижени профилактични, функционални и естетични качества.

Съществуват много методи и средства за изработване на временните конструкции- директни и индиректни, при които е възможна тяхната изработка в денталния кабинет или в зъботехническата лаборатория.

Напредването на CAD/CAM технологиите в денталната практика води до все по-честото им използване за изработката както на постоянните, така и на временните конструкции. През последните години е широко застъпен субтрактивния метод за тяхното производство чрез машинно изрязване.

Значително по-малко застъпен и изследван е адитивният метод, при който конструкцията се получава чрез послойното нанасяне на материал чрез 3D принтиране.

Цветоопределянето е особено важен етап от процеса на изработване на дадена конструкция, тъй като неподходящо подбрания цвят, може да опорочи една перфектно изработена от технологична гледна точка протезна конструкция и да доведе до неудовлетвореност и разочарование у пациента от проведеното протетично лечение.

Временните конструкции представляват прототип на бъдещите постоянни такива до тяхната изработка. По тяхната форма, големина, разположение и цвят може да се добие представа за дефинитивната конструкция и да се обсъди заедно с пациента възможностите за корекция.

Докато физическите параметри на временната конструкция- форма големина и разположение могат да се определят и зададат чрез софтуера на CAD/CAM по наличния ни модел в зъботехническата лаборатория, то определянето за цвета се извършва в денталния кабинет в присъствието на пациента. То бива субективно-чрез сравняване от денталния лекар на цвета на естествените зъби с набор от цветови стандарти (зъбни разцветки) или обективно с помощта на апарати за цветоопределяне, които дават възможност за точно определяне на цвета както на съзъбието, така и на изработените в зъботехническата лаборатория възстановявания.

Широко застъпеното субективно цветоопределяне често води до неточности и неподходящо подбиране на цвета и неговите основни параметри: цветен тон, наситеност

и белеене под въздействието на различни вътрешни и външни фактори като физическа и психическа умора от страна на лекаря по дентална медицина, различното ниво на осветеност в денталния кабинет, неподходящо избран цветови стандарт и др.

Потребността от задълбочено обективно изследване на взаимовръзката между временните конструкции и правилното им цветоопределяне обуславя и аргументира необходимостта от разработване на настоящият дисертационен труд.

II. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

1. Цел

Целта на настоящият труд е да се проучат възможностите за приложение на временни конструкции, изработени чрез 3D принтиране на лазерен стереолитографски принтер.

2. Задачи

За постигането на поставената цел трябва да се решат следните задачи:

1. Изследване на влиянието на цвета на принтирани, предварителни конструкции тип *egg shell* от прозрачен полимер Dental LT Clear[®], при различни дебелини на стената.
2. Разработване на рецепти за смоли, пресъздаващи пропорционално и закономерно цветовете стандарти, логически свързани с теорията за цветообразуване.
3. Сравнителен анализ на якост на огъване на новополучените смоли по втора задача.
4. Създаване на методика за повишаване якостта на огъване на принтирани временни конструкции чрез софтуерна модификация на дигиталните файлове.

III. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА

III.1. Материали и методика по задача 1

Една от широко застъпенните техники за бързо изработване на временни конструкции е използването на термовакуумно оформени шини от PVC, върху предварително отлят модел. За получаването на конструкциите е само необходимо да се запълни шината с материал за временни конструкции на базата на PMMA или на композитна основа и да се постави върху вече изпилените зъбни пълчета. Тъй като и двата материала не осъществяват химическа връзка с материала, от който е изтеглена шината тя може да се премахне лесно след втвърдяването на материала. Методът е относително с ниска себестойност, но има редица недостатъци и ограничения в масовото му прилагане, защото може да се изтегля само върху гипсов или 3D принтиран модел. В случаите, когато е правен диагностичен моделаж е необходимо да се дублира восьъчният моделаж и да се отлее от гипс или да се сканира и да се принтира модел от термоустойчива смола, което при всички случаи би удължило и оскъпило лабораторният процес, а в крайна сметка единствената цел е да се получи форма, която да се настави върху изпилените зъби. Употребата на *egg shell* техника може да бъде използвана като алтернатива, но в повечето случаи материалите за изрязване на временни конструкции са на базата на PMMA и в случаите, когато се налага използването им е препоръчително да се ребазират с материал, който е на същата база за да се осъществи химическа връзка между шелът и коригиращият материал. Това е ключов момент по отношение на устойчивостта на конструкцията. Короните, които се използват за изработване на *egg shell* чрез субтрактивен САМ-метод остават свързани след ребазирването като част от конструкцията, като по този начин формират характерният изглед на окончателната конструкция след използването на съответните цветове материали за тяхното ребазирание.

В този ред на мисли е логично да се обследва хипотезата, дали е целесъобразно с оглед на подобряване на недостатъците при техниката на термовакуумно изтегляне да се експортира STL файл и да се изпринти шелът от прозрачна смола, която се използва за принтиране на шини против бруксизъм. Така ще се ускори лабораторният процес и ще се елиминират ограниченията за приложение на тази техника, които бяха коментирани по-горе. Тази хипотеза обаче крие една съществена особеност и тя е, че ребазирването на принтираният шел със съответният цвят композитен материал за

временни конструкции ще се свърже химически с вътрешната повърхност на шината. Така подобно на короните, които се използват за изработване на *egg shell* чрез субтрактивен САМ-метод от РММА, тази шина ще бъде част от оптичната среда, която ще влияе върху цветовъзпроизвеждането на цвета на окончателната конструкция, но за разлика от тях тя е с прозрачен цвят.

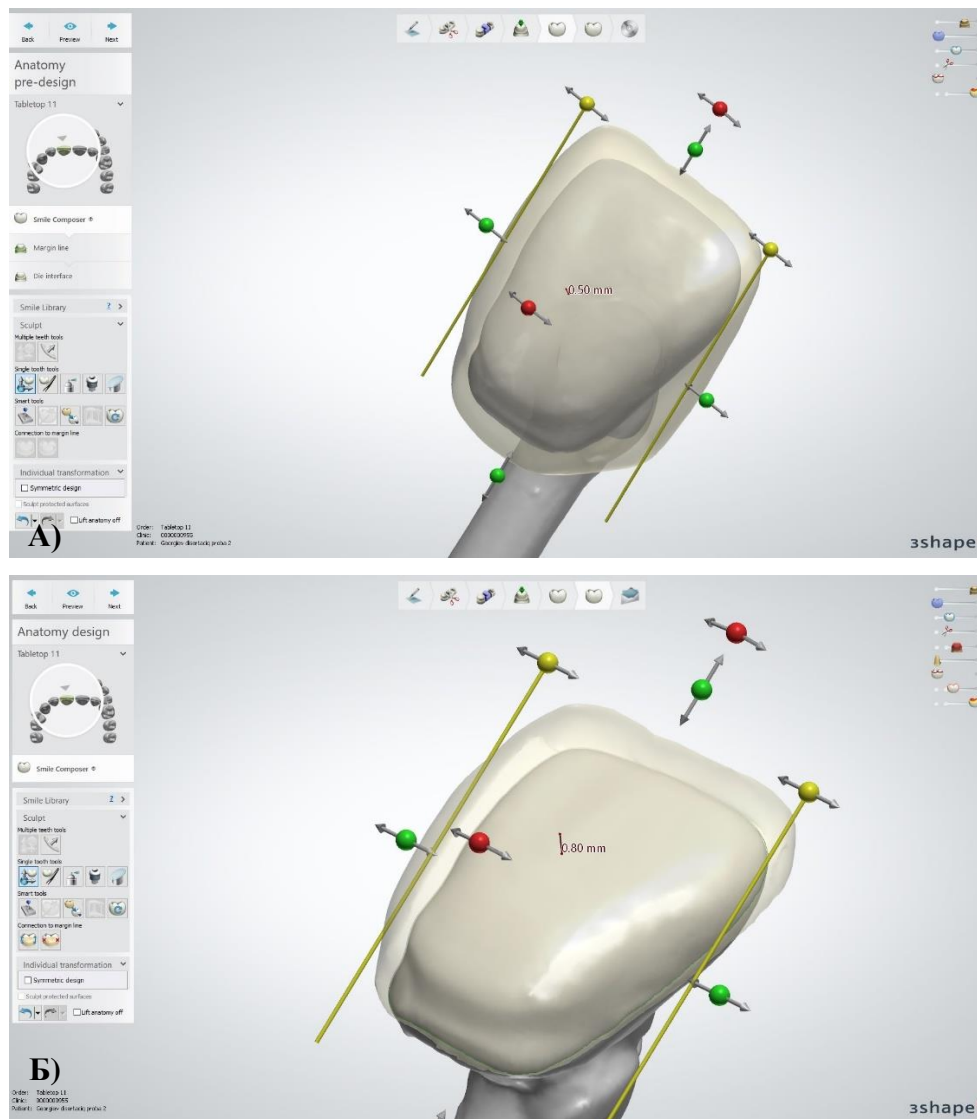
За да проверим целесъобразността на употребата на такъв метод изготвихме следната опитна постановка, при която да изследваме потенциалното влияние на шини с различни дебелини върху цветови стандарти. Диапазонът на дебелини на стената на короната при *egg shell* варира между 0,5 и 0,8 от мм. За да изработим универсален еталон за сравнение върху разцветка първо бе създаден виртуален модел чрез сканиране с лабораторен скенер D850[®] (3Shape[™]) (Фиг. 1) на еталон от разцветката на VITA. С помощта на специализиран софтуер 3Shape Dental System[®] бяха моделирани фасети върху него в 2 дебелини, еднакви по цялата им вестибуларна повърхност- 0,5мм и 0,8мм (Фиг. 2).

Технология на изработването на образците

За нуждите на изследването по **задача 1** бяха изработени чрез 3D печат **2 вида** пробни тела с дизайн на фасета и дебелина на вестибуларната й стена съответно **0,5мм и 0,8мм**, които прилягат върху цветовите еталони за определяне на цвета от разцветката на VITA.

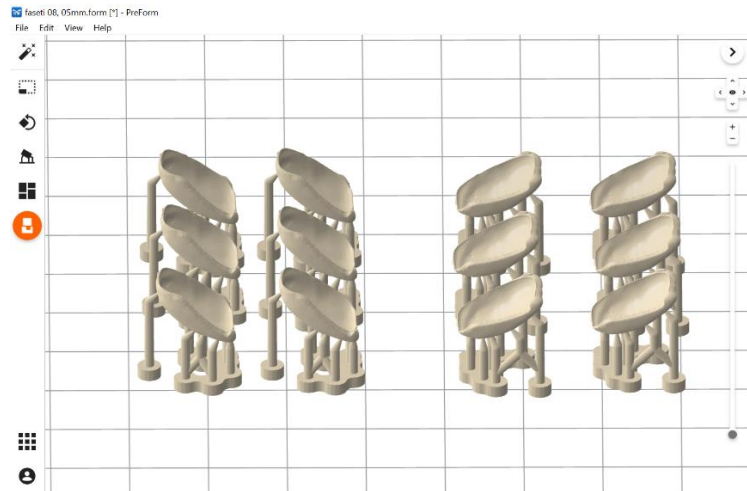


Фиг.1. Екстраорален лабораторен скенер D850[®] на фирмата производител 3Shape[™]. Апаратът осигурява сканиране на физически модели с точност на сканиране до 7 μ m.



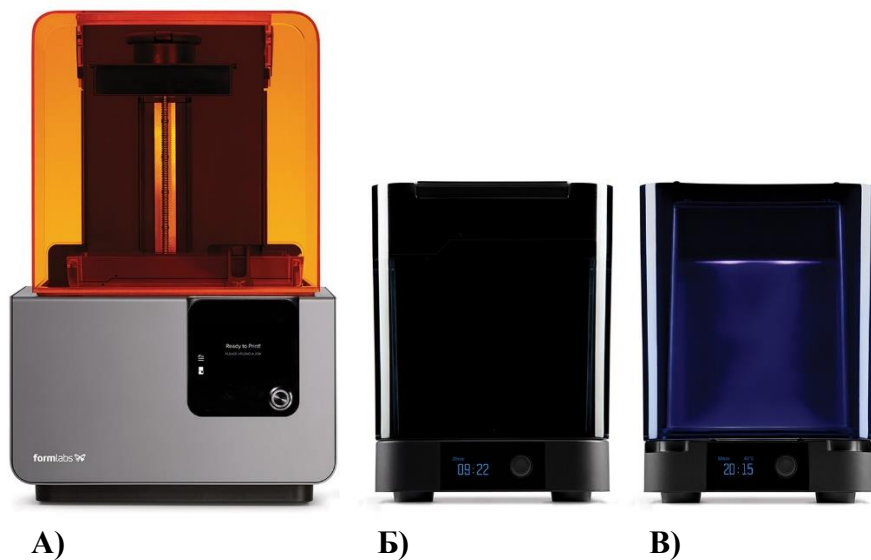
Фиг. 2. Виртуално моделиране на фасетите върху сканирания еталон от разцветка. Вестибуларната стена е оформена с еднаква дебелина по цялата ѝ повърхност. **А)** с 0,5мм дебелина; **Б)** с 0,8мм дебелина.

Дигиталните прототипи бяха създадени като файлове с разширение .stl и прехвърлени към софтуер за подготовка за принтиране PreForm® (Formlabs™)(Фиг. 3).



Фиг. 3. *Организиране и подреждане фасетите върху работното пространство за 3D принтиране чрез софтуера PreForm® (Formlabs™) -ориентиране на виртуалните модели, поставяне на подложка и опори.*

Образците бяха принтирани чрез метода на селективна лазерна полимеризация, с помощта на 3D-принтер Form 2® (Formlabs™) (Фиг. 4) от смола Dental LT Clear Resin®(Formlabs™) (Фиг. 5).



Фиг. 4. *Комплект за 3D-принтиране на фирмата Formlabs™ състоящ се от:*
А) *Стереолитографски 3D-принтер Form 2® с диаметър на лазерния лъч – 140 μm и резолюция на печатане по равнината на оста от 25 μm, 50 μm и 100 μm:*
Б) *Form Wash®. Апаратът се използва за премахване за неполимеризирала смола от принтираните обекти, работещ чрез накисването им в разтворител- изопропилов алкохол.*

В) Form Cure®. Апаратът за допълнителна полимеризация до 60°C и светлина с дължина на вълната 405 nm.

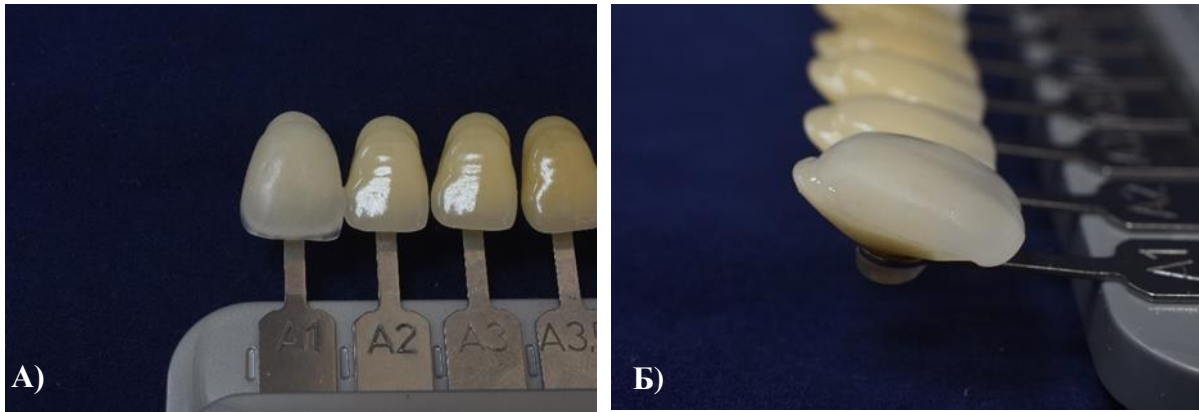


Фиг. 5. Композитна смола с висока прозрачност Dental LT Clear Resin® (Formlabs™).

Всяка една от така получените фасети (**Фиг. 6**) бе наложена върху всички еталони на разцветките на VITA Classic® и VITA 3D Master® (**Фиг. 7**).



Фиг. 6. Изработените фасети в 2 дебелини- 0,8мм и 0,5мм.



Фиг. 7. Поставена фасета с дебелина 0,8мм върху еталон от разцветката на VITA Classic®: **А)** Изглед отпред; **Б)** Изглед отстрани.

За елиминирането на въздушната среда, която може да повлияе обективното определяне на цвета от аппарата и точността на отчетените резултати, използвахме по 2 вида течност при всички измервания- безцветен ехографски гел и Try-In паста Transperent от комплекта за адхезивно циментиране Variolink® II (Ivoclar Vivadent™) (Фиг. 8).



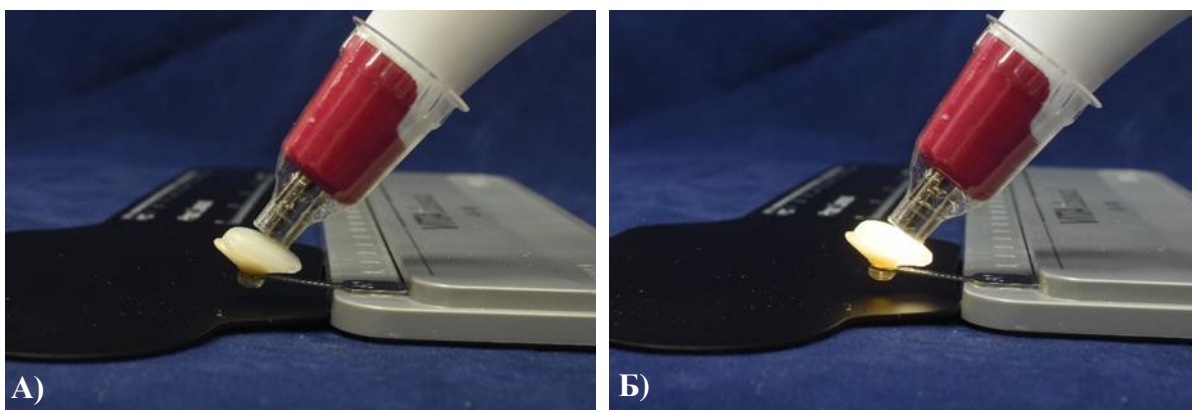
Фиг. 8. Поставяне на Try-In паста цвят-Transperent Variolink® II (Ivoclar Vivadent™) по вътрешната повърхност на фасетата.

С помощта на аппарата VITA Easyshade® V (Фиг. 9) извършихме измервания на всеки един цвят при неговото „маскиране“ с двете дебелини. Контролно бе измерен и цвета на еталона без фасета. Накрайникът на аппарата позиционирахме в средната трета

на вестибуларната повърхност за постигане на еднакви условия на оценяване на стойностите(Фиг. 10).

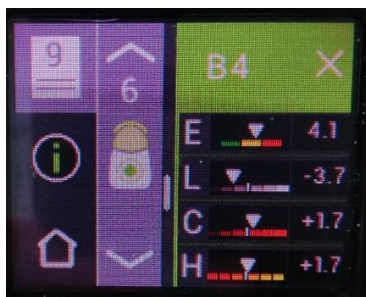


Фиг. 9. Дигитален спектрофотометър VITA Easyshade® V за определяне цвета на естествени зъби и естетични възстановителни материали.



Фиг. 10. А) Позициониране на аппарата; Б) Измерване на цвета на еталона с наложената върху него фасета.

Влиянието на двете дебелини на фасетите се отчете по скалата за отклонението на цвета- ΔE , която се генерира от самия апарат. Измерихме както общото отклонение, така и на отделните компоненти- цветен тон, белеене, наситеност(Фиг. 11).



Фиг. 11. Снимка на дисплея на аппарата показваща цвета и отклонението ΔE . С буквата **E** е обозначено общото отклонение ΔE ; с **L**- белеене; **C**- наситеност; **H**- цветен тон.

III.2. Материали и методика по задача 2

Въз основа на направените изводи от резултатите по първа задача и анализът им е логично да обследваме следната хипотеза. Известно е, че цветът на временните конструкции се определя от вида на материала, използван за тяхното принтиране. При комбинирането на различни смоли с различни цветови и механично-якостни качества за 3D печат считаме за необходимо да се потърси и наличието на закономерност и пропорционалност при получаването на цветове. Логично е да допуснем, че използването на различни концентрации от смоли биха ни предоставили възможност за закономерно формиране на цветови еталони за принтиране на временни конструкции. А при подборът на комбинациите би могъл да се използва за принципът за триизмерно цветообразуване според теорията на Munsell.

За целтата на изследването използвахме следните смоли White Resin[®] (FormlabsTM), Model Resin[®] (FormlabsTM) и Dental LT Clear Resin[®] (FormlabsTM) в различни комбинации и пропорции помежду им – подобно на отделните характеристики на цвета: белеене, наситеност, плътност и транспарентност.

За обследване на хипотезите по тази задача бяха комбинирани 3 вида композитни смоли в различни съотношения помежду им. За тази цел ги разделихме в 3 групи:

- White Resin[®] – Model Resin[®];
- White Resin[®] - Dental LT Clear Resin[®];
- Model Resin[®] - Dental LT Clear Resin[®].

Всяка една група разделихме на 9 подгрупи в зависимост от съотношението на концентрациите в тях. Пропорциите бяха приравнени към общ обем от 2мл, както следва: White Resin[®] – Model Resin[®]:

- White Resin / Model Resin – в съотношение 9/1 (1.8мл към 0.2мл);
- White Resin / Model Resin – в съотношение 8/2 (1.6мл към 0.4мл);
- White Resin / Model Resin – в съотношение 7/3 (1.4мл към 0.6мл);
- White Resin / Model Resin – в съотношение 6/4 (1.2мл към 0.8мл);
- White Resin / Model Resin – в съотношение 5/5 (1.0мл към 1.0мл);
- White Resin / Model Resin – в съотношение 4/6 (0.8мл към 1.2мл);
- White Resin / Model Resin – в съотношение 3/7 (0.6мл към 1.4мл);
- White Resin / Model Resin – в съотношение 2/8 (0.4мл към 1.6мл);
- White Resin / Model Resin – в съотношение 1/9 (0.2мл към 1.8мл).

White Resin[®] - Dental LT Clear Resin[®]:

- White Resin / Dental LT Clear Resin - в съотношение 9/1 (1.8мл към 0.2мл);
- White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 8/2 (1.6мл към 0.4мл);
- White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 7/3 (1.4мл към 0.6мл);
- White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 6/4 (1.2мл към 0.8мл);
- White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 5/5 (1.0мл към 1.0мл);
- White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 4/6 (0.8мл към 1.2мл);
- White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 3/7 (0.6мл към 1.4мл);
- White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 2/8 (0.4мл към 1.6мл);
- White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 1/9 (0.2мл към 1.8мл).

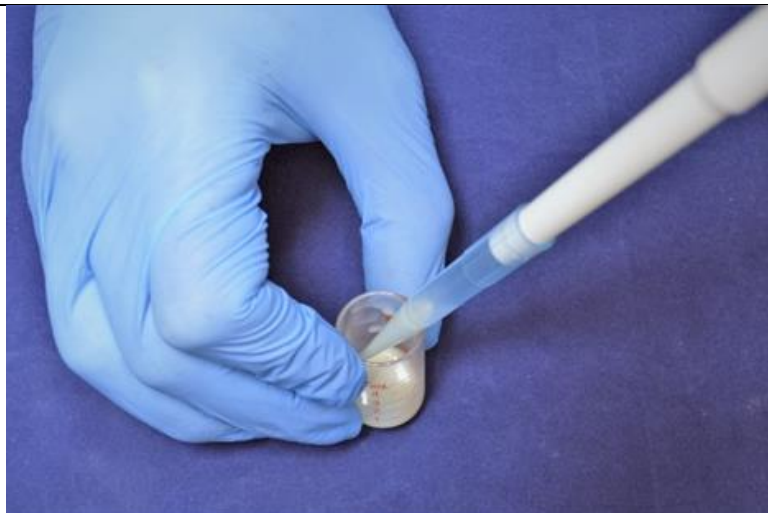
Model Resin[®] - Dental LT Clear Resin[®]:

- Model Resin / Dental LT Clear Resin - в съотношение 9/1 (1.8мл към 0.2мл);
- Model Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 8/2 (1.6мл към 0.4мл);
- Model Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 7/3 (1.4мл към 0.6мл);
- Model Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 6/4 (1.2мл към 0.8мл);
- Model Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 5/5 (1.0мл към 1.0мл);
- Model Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 4/6 (0.8мл към 1.2мл);
- Model Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 3/7 (0.6мл към 1.4мл);
- Model Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 2/8 (0.4мл към 1.6мл);
- Model Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 1/9 (0.2мл към 1.8мл).

За прецизно дозиране на пропорциите на опитните образци използвахме автоматична пипета с променлив обем Plastomed VARI 3000 W(Фиг. 12). Получената смес разбъркахме до хомогенизиране на цвета на смолите и поставихме в форма-прозрачен пластмасов блистер(Фиг. 13 и Фиг. 14). Опитните образци бяха поставени за фото полимеризация в апарата Form Cure[®] за 60 мин на 60°C(Фиг. 15).



Фиг. 12. Автоматична пипета Plastomed VARI 3000 W с променлив обем до 1ml.



Фиг. 13. Дозирание и хомогенизиране на получената от композитни смоли смес.

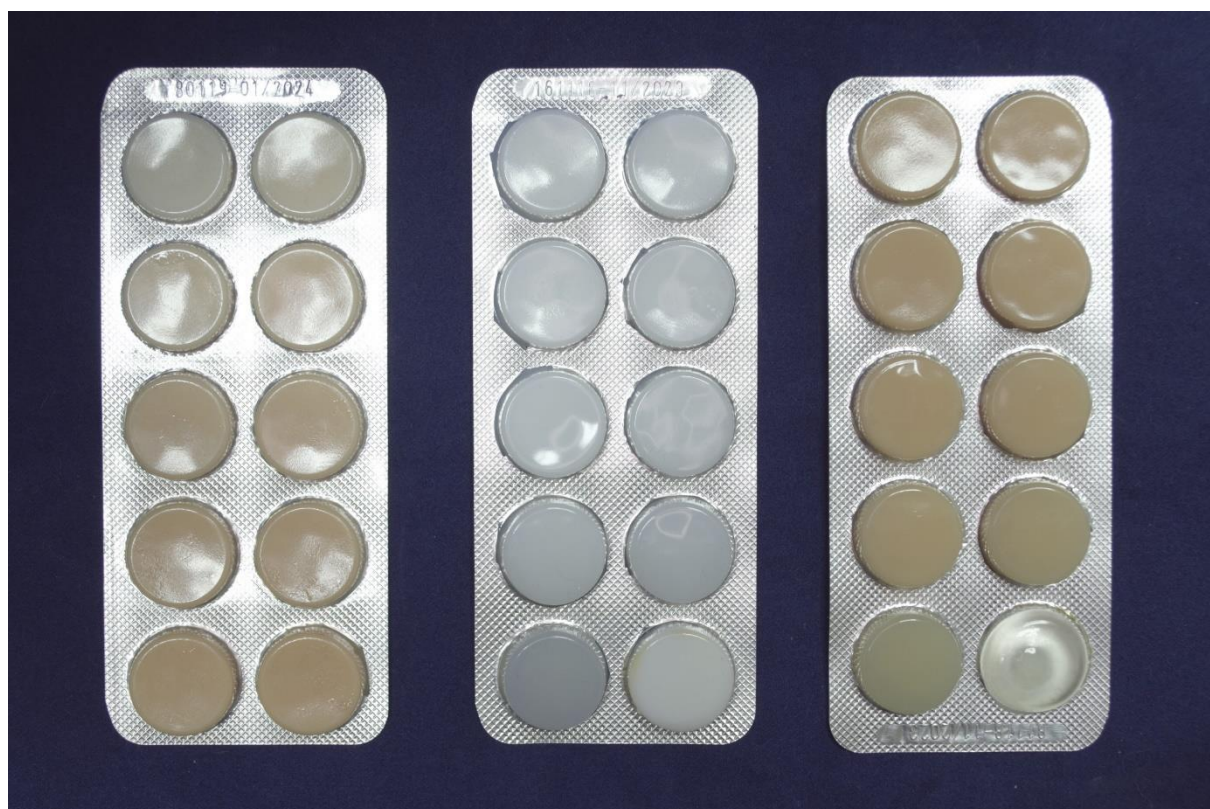


Фиг. 14. Пренасяне на композитната смола във форма-блистер.

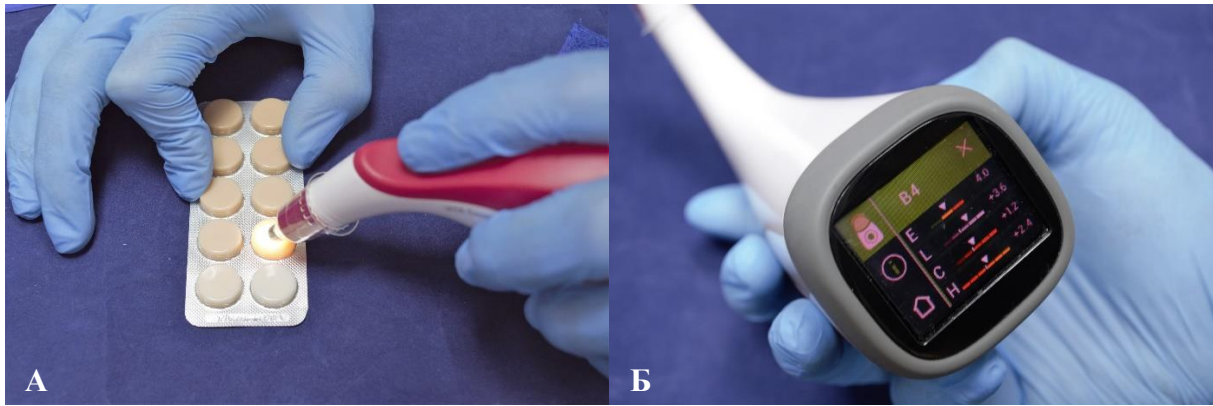


Фиг. 15. Светлинна полимеризация на тестовите образци във аппарата Form Cure®.

След приключване на полимеризационния процес (Фиг. 16) цветът на всеки един образец беше измерен с помощта на аппарата VITA Easyshade® V. Получените данни бяха регистрирани, записани и подложени на статистическа обработка (Фиг. 17).



Фиг. 16. Тестовите образци след приключване на полимеризационния процес.



**Фиг. 17. А) Измеране на тестовите образци с апарата VITA Easyshade® V.
Б) Отчитане на резултатите на дисплея на апарата.**

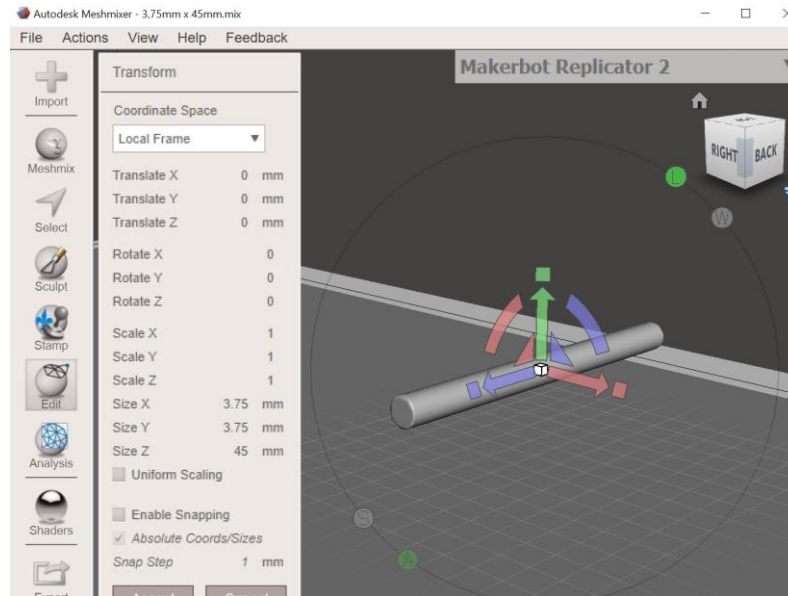
III.3. Материали и методика по задача 3

След анализ на резултатите по задача 2 е логично да се провери до каква степен успешните образци в цветово съотношение, биха покрили механично-якостните изисквания за подобен тип конструкции, посочени в международните стандарти ISO 10477 и ISO 4049.

Избрани бяха 10 цветови комбинации, отговарящи на съответния цветен тон от разцветката по VITA Classic или VITA 3D Master:

1. White Resin / Model Resin – в съотношение 9/1, съответстващо на цвят B2;
2. White Resin / Model Resin – в съотношение 8/2, съответстващо на цвят B3;
3. White Resin / Model Resin – в съотношение 7/3, съответстващо на цвят B4;
4. White Resin / Model Resin – в съотношение 6/4, съответстващо на цвят B4;
5. White Resin / Model Resin – в съотношение 1/9, съответстващо на цвят A4;
6. White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 9/1, съответстващо на цвят B1;
7. White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 4/6, съответстващо на цвят B1;
8. White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 3/7, съответстващо на цвят 3M1 (по VITA 3D Master);
9. White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 2/8, съответстващо на цвят 4M1 (по VITA 3D Master);
10. Model Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 5/5, съответстващо на цвят B4.

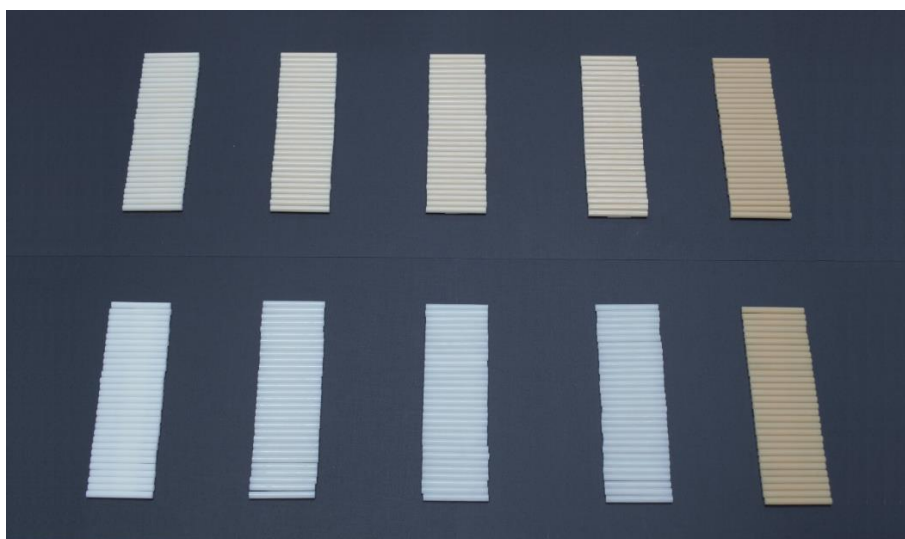
За осъществяването на **задача 3** се създадоха дигитални прототипи на тестовите тела с помощта на специализиран софтуер за триизмерно проектиране и оптимизиране (Autodesk Meshmixer®). Дизайнът на опитните тела е с цилиндрична форма с дължина 45мм и диаметър 3,75мм (**Фиг. 18**).



Фиг. 18. Създаване на виртуалния модел на тестовите образци чрез софтуера Autodesk Meshmixer®.

Завършеният файл в .stl формат беше прехвърлен към софтуер за подготовка за материализиране (PreForm® 3.5, Formlabs™). Тестовите тела бяха принтирани по метода на селективна лазерна полимеризация, с помощта на 3D-принтер Form 2® (Formlabs™),

Изработени бяха **300 броя** цилиндрични пробни тела. Тестовите образци бяха разделени в **10 групи** от по **30 броя** във всяка, в зависимост от цвета, получен от рецептите по **задача 2** (**Фиг. 19**).



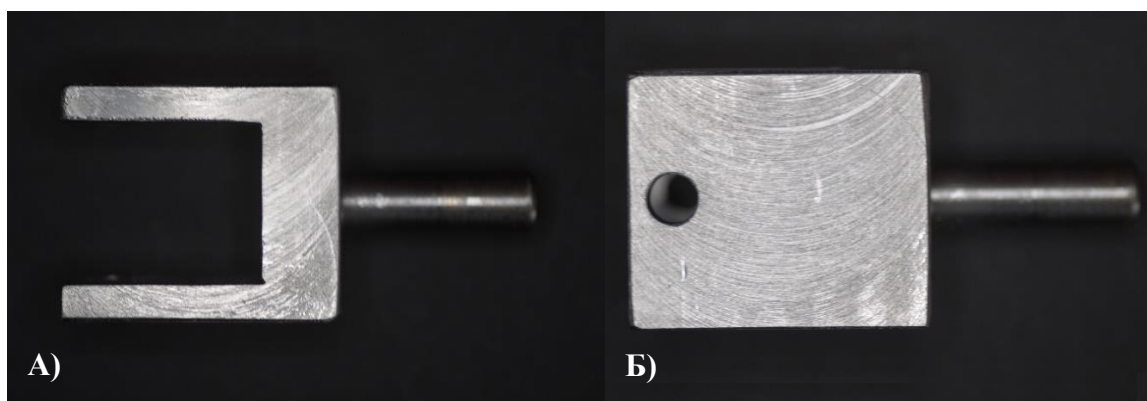
Фиг. 19. Принтирани опитни тела, разделени по групи от по 30 броя.

При опитната постановка за тестване на пробните тела за якост на огъване използвахме апарат за изследване на микроопън и микронатиск LMT 100 (LAM Tehnologies, Italy)(Фиг. 20).

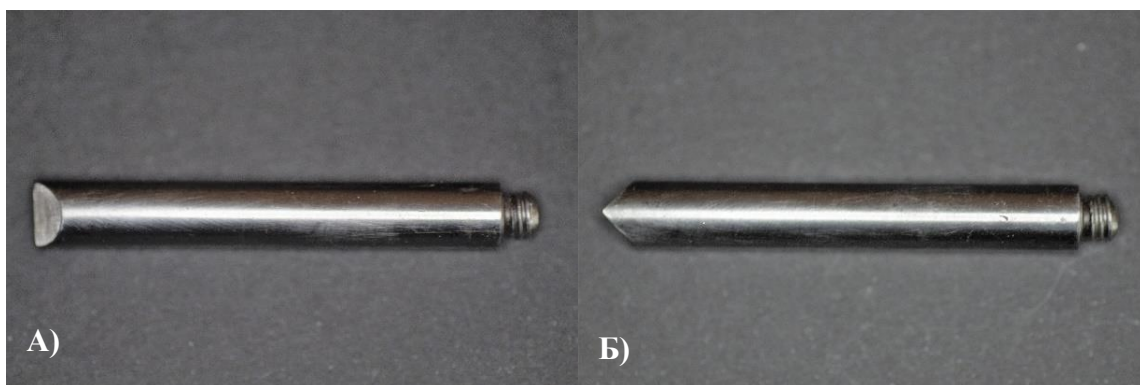


Фиг. 20. Апарат за якост на натиск и опън LMT 100 (LAM Tehnologies, Italy).

В камерата на апарата бяха фиксирани задръжен и натоварващ елемент за тестване на якост на огъване. Те бяха изработени индивидуално за нуждите на опитната постановка, защото апаратът не разполага с универсални такива (Фиг. 21 и Фиг. 22).

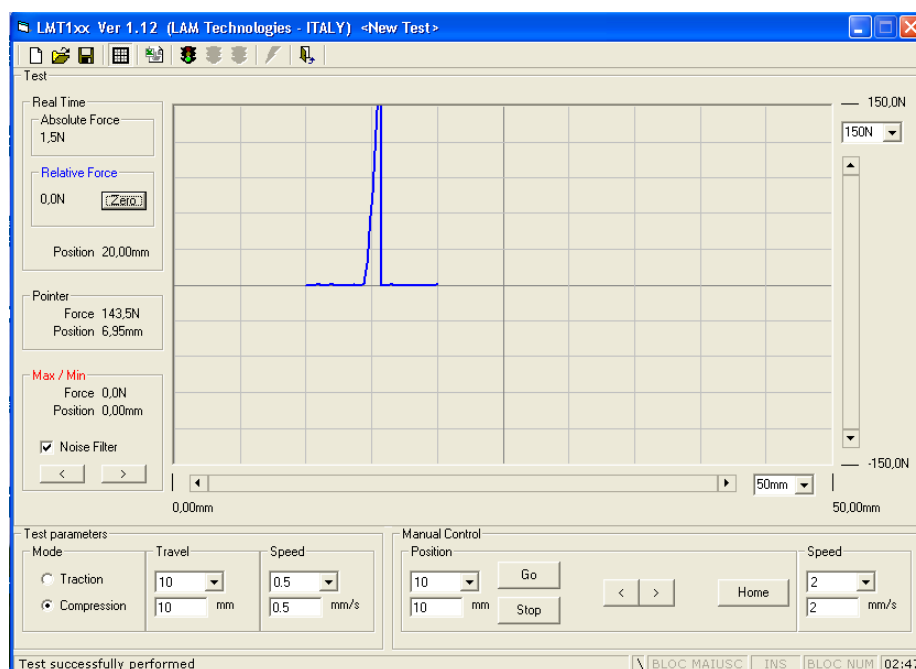


Фиг. 21. Задръжен елемент: А) изглед отгоре; Б) изглед отстрани.

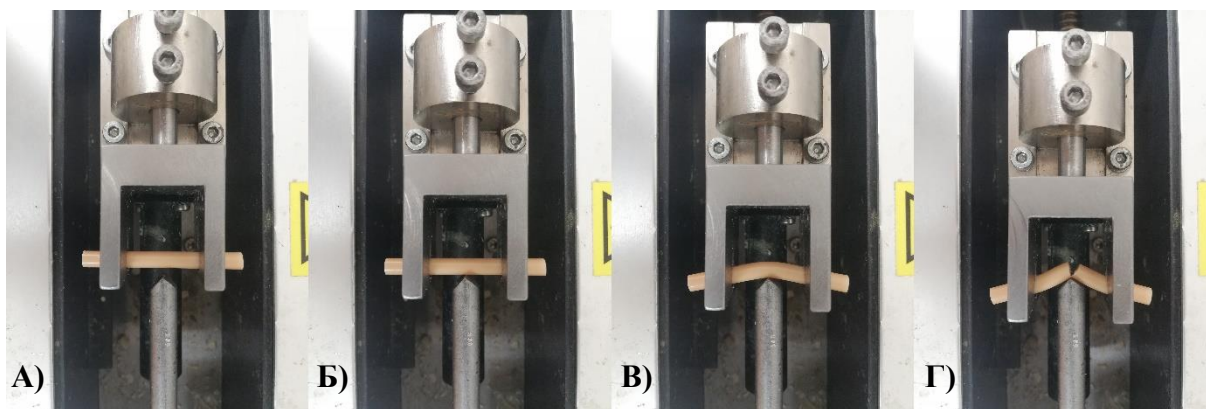


Фиг. 22. Натоварващ елемент: **А)** изглед отгоре; **Б)** изглед отстрани.

Резултатите бяха регистрирани, обработени и записани с помощта на специализиран софтуер LMT1xx Ver 1.12 (LAM Tehnologies, Italy) (Фиг. 23). В компютърната програма при тестването на всяко едно пробно тяло се изобразява графика показваща силата на огъването във всяка една позиция на закрепващия и натоварващия механизъм. За изходна позиция посочихме 10мм разстояние между тях и скорост на придвижване 0,5mm/sec(Фиг.24).



Фиг. 23. Екранна снимка при работа със софтуер LMT1xx Ver 1.12 (LAM Tehnologies, Italy).



Фиг. 24. *А) Начална позиция на елементите; Б) Начало на натиск върху тестовото тяло; В) Продължаване на натиска и начална деформация в опитния образец; Г) Счупване на тестовото тяло и край на експеримента.*

Якостта на огъване е изчислена по формулата (МРа):

$$\sigma = (8.F.l)/\pi.d^3$$

където: F- приложна сила (N);

l – дължината между опорните точки на задръжния елемент (20 мм);

d – диаметър на пробното тяло (3,75мм)

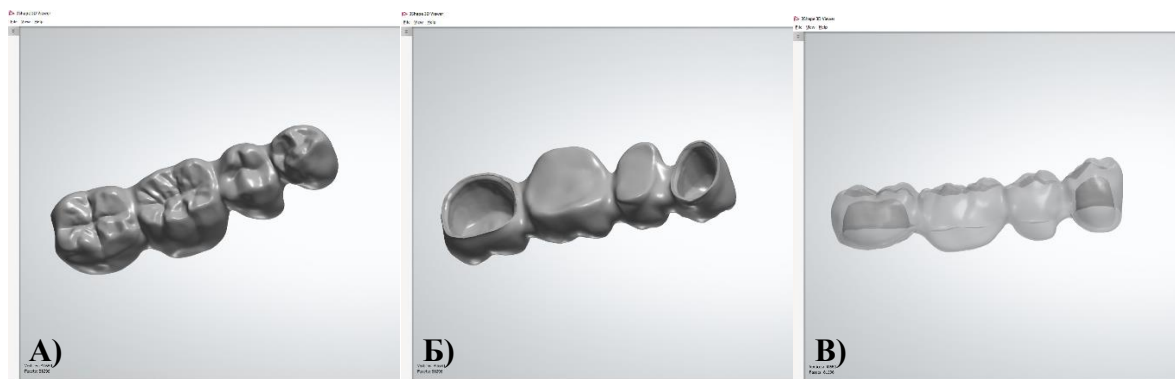
III.4. Материали и методика по задача 4

След анализ на резултатите, произтичащи от обсъждането по задача 3 считаме, че е логично да се провери хипотезата дали е технологично възможно разработването на метод за подсилване на наличните принтирани конструкции.

При неизменни механични свойства на смолите, определени от производителя, за решаването на проблема остава единствената алтернатива да се потърсят методи за повишаване на якостта чрез допълнителното подсилване на скелета с материали от друг вид. За целта е необходимо да се модифицират планираните конструкции така, че да стане възможно материализирането им в обекти, предоставящи пространство за подсилване с помощта на разнороден материал.

Върху учебен модел Frasaco™ на горна челюст беше създаден дефект на липсващи зъби 12,11,21,22 и на учебен модел Frasaco™ за долна челюст дефектът бе на липсващи 45 и 46. Съответно бяха препарирани с прагова препарационна граница, хоризонтален праг със заоблен вътрешен ъгъл тип „рамо“ следните опорни зъби: за

горният модел зъби 13 и 23 и респективно за долният модел зъби 44 и 47. Моделите бяха сканирани с помощта на лабораторен скенер D850[®] на фирмата производител 3Shape[™]. С помощта на специализиран софтуер 3Shape Dental System[®] бяха моделирани два моста между съответните мостоносители 13 и 23 (Фиг. 25) и между 44 и 47.(Фиг. 26).

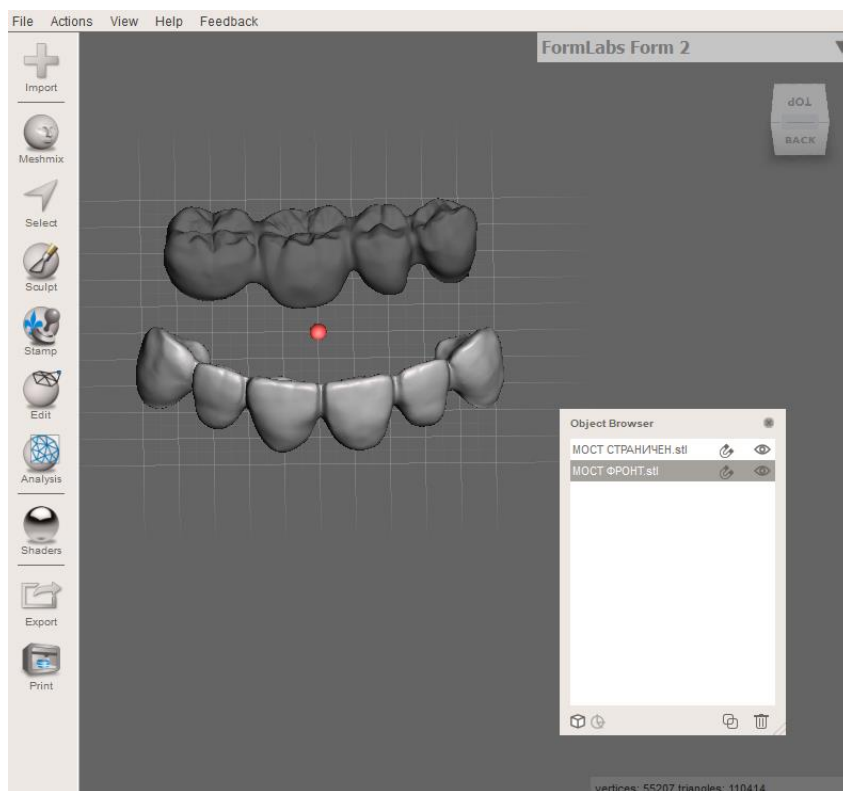


Фиг. 25. *А)Оклузален изглед на мост 44-47; Б)Гингивален изглед на мост 44-47; В)Страничен изглед на моста показващ плътността на мостоватите тела.*



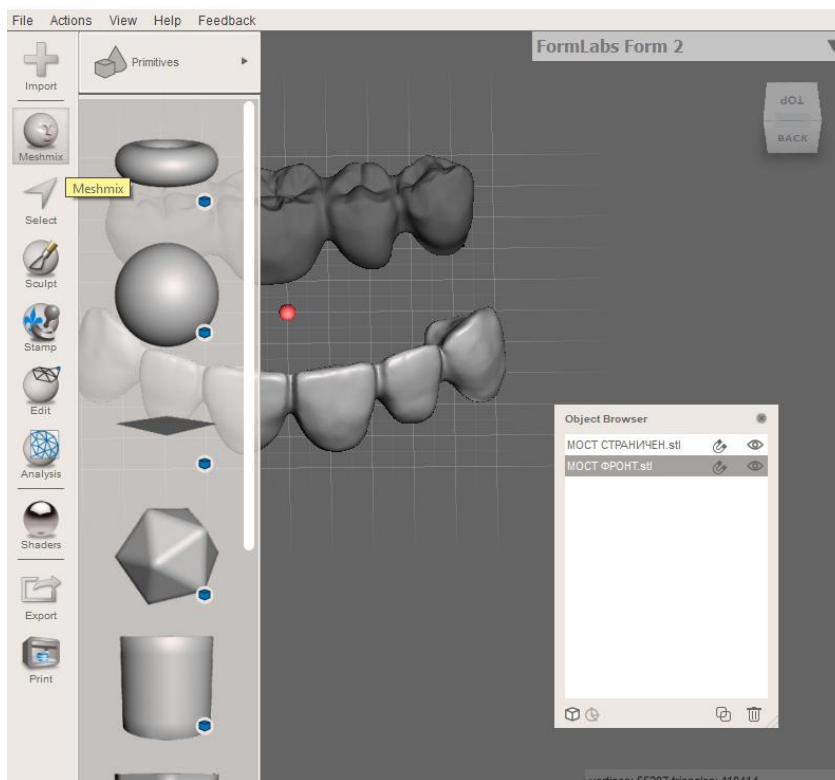
Фиг. 26. *А)Фронтален изглед на мост 13-23; Б)Гингивален изглед на мост 13-23; В)Фронтален изглед на моста показващ плътността на мостоватите тела.*

Тъй като стандартните STL-формати, генерирани от CAD системата на 3Shape Dental System[®] не позволяват свободата на достъп до алтернативни средства за моделиране на готовия файл, импортирахме съответните прототипни мостове в специализиран софтуер за пространствено моделиране Meshmixer[®] (Фиг. 27).



Фиг. 27. *Дигиталните прототипи импортирани в Meshmixer®.*

От менюто на програмата с помощта на бутон „meshmix” беше създаден цилиндричен обект (Фиг. 28).



Фиг. 28. *Създаване на допълнителния цилиндричен обект от менюто.*

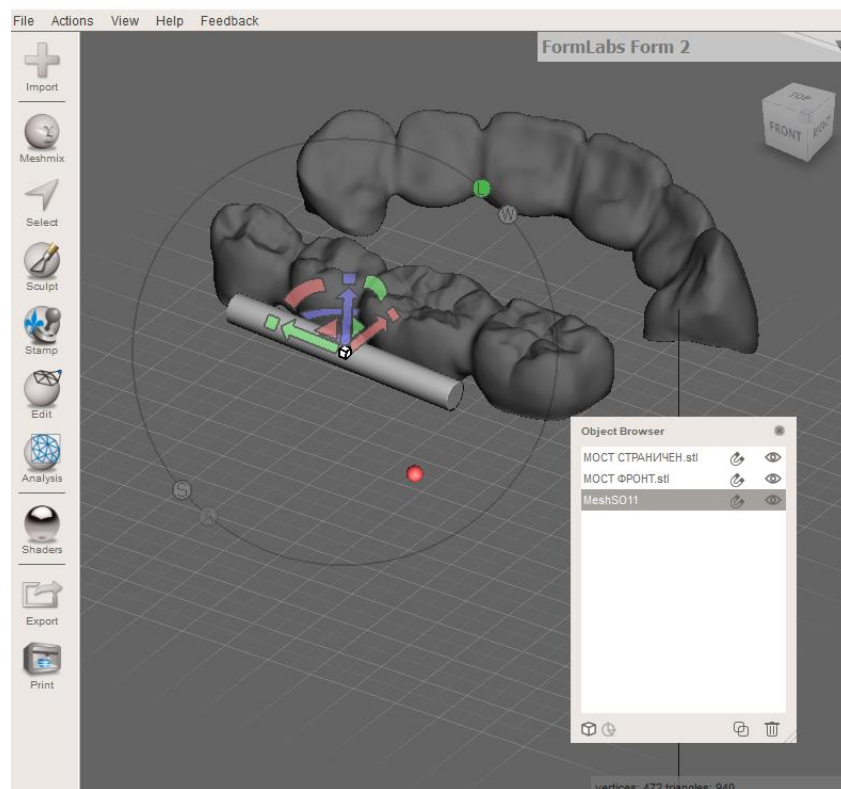
С помощта на функцията „*transform*“, новосъздаденото цилиндрично тяло беше модифицирано по форма и размери, така че да може да се вмести в обема на мостовите тела без да проминава никъде освен в областта на крепежите (Фиг. 29 и Фиг.30).

С помощта на „*magnet tool*“ се направи прецизен контрол на позиционирането на цилиндричното тяло, тъй като за целта на поставените задачи е важно да се постигне оптимално разположение и по възможност създаване на елипсовидна форма на тялото с доминиращ диаметър, насочен във оклузална посока (Фиг. 31).

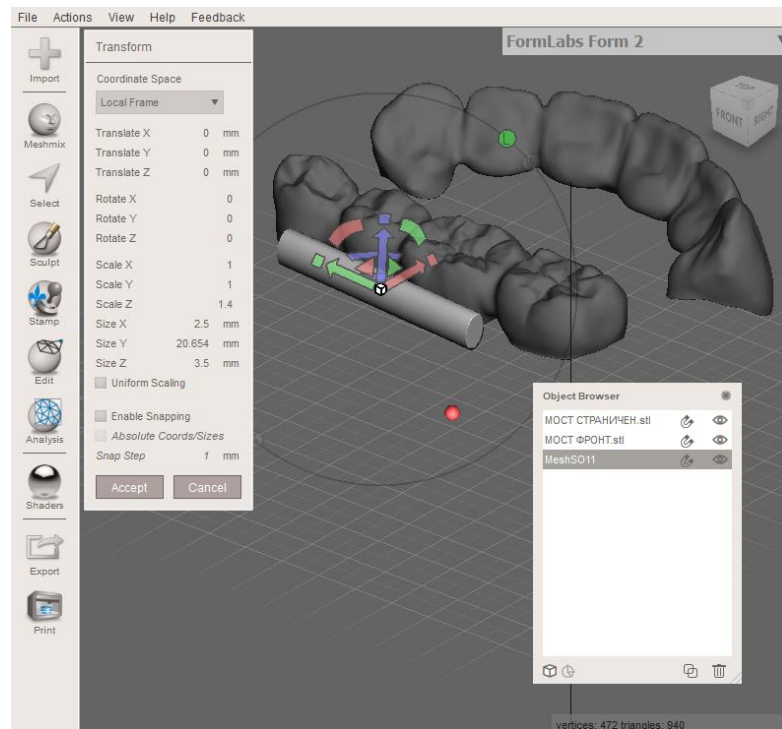
След това с помощта на функцията „*boolean*“, обемът заема от създаденото елипсовидно тяло беше премахнато от общият обем на мостовите тела като остави кухина отговаряща на задените размери. (Фиг. 32 и Фиг. 33).

Аналогично на описаната вече методика, при мостовата конструкция 13-23 бяха създадени няколко цилиндрични тела и бяха подредени самостоятелно по дължината на мостовите тела и обединени в един обект. След което обемът, заема от тях беше също екстрахиран от мостовите тела за да се формира вътрешен канал по протежението на моста (Фиг. 34).

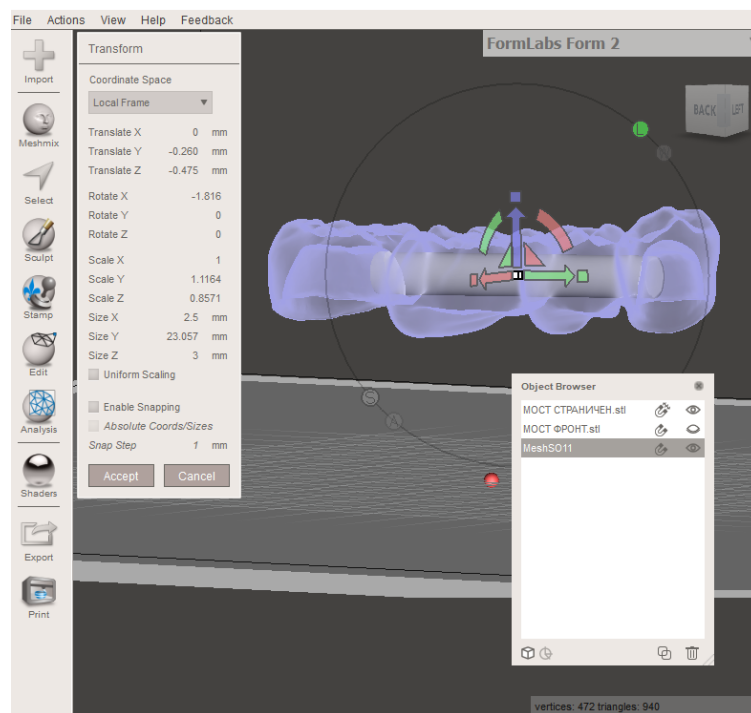
Накрая модифицираните мостове бяха експортирани като stl-файл и анализирани с помощта на 3Shape 3D Viewer®.



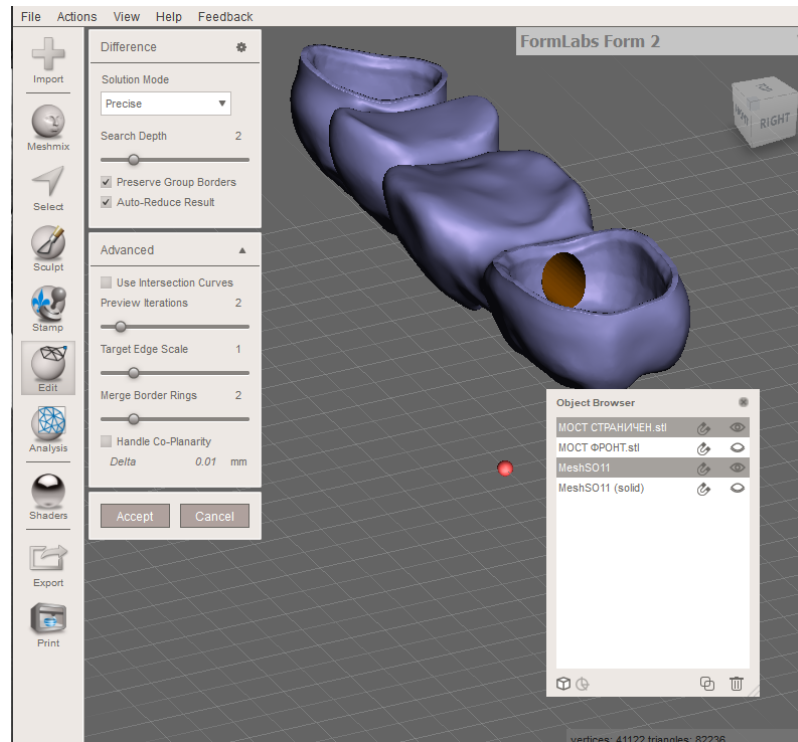
Фиг. 29. Адаптиране на цилиндъра според дължината на мостовите тела.



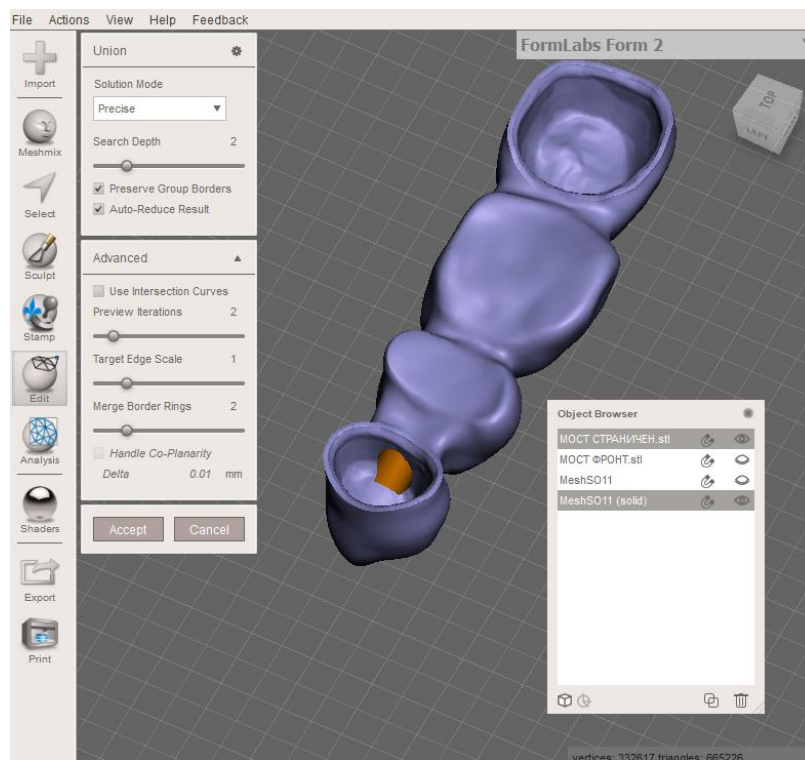
Фиг. 30. Адаптиране на размерите тялото посредством опциите за контрол.



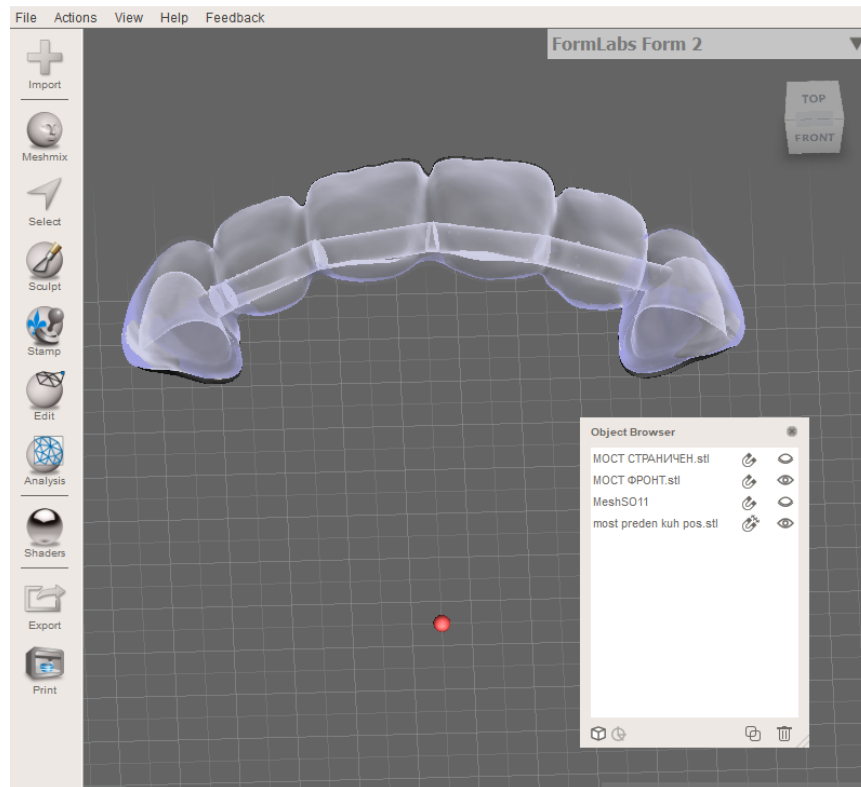
Фиг. 31. Прецизно адаптиране на размерите на елипсоидното тяло при специална визуализация.



Фиг. 32. Създаденият модифициран мостови прототип преди експортиране (изглед от мостокрепител 47).



Фиг. 33. Създаденият модифициран мостови прототип преди експортиране (изглед от мостокрепител 44).



Фиг. 34. Създаден канал по протежението на мостовите тела при мостова конструкция 13-23.

III.5. Статистически методи

Данните от проведените изследвания са обработени с SPSS v. 20.0 за Windows, като са използвани следните анализи:

- Дисперсионен анализ;
- Сравнителен анализ;
- Корелационен анализ;
- Графичен и табличен метод за визуализиране на резултатите.

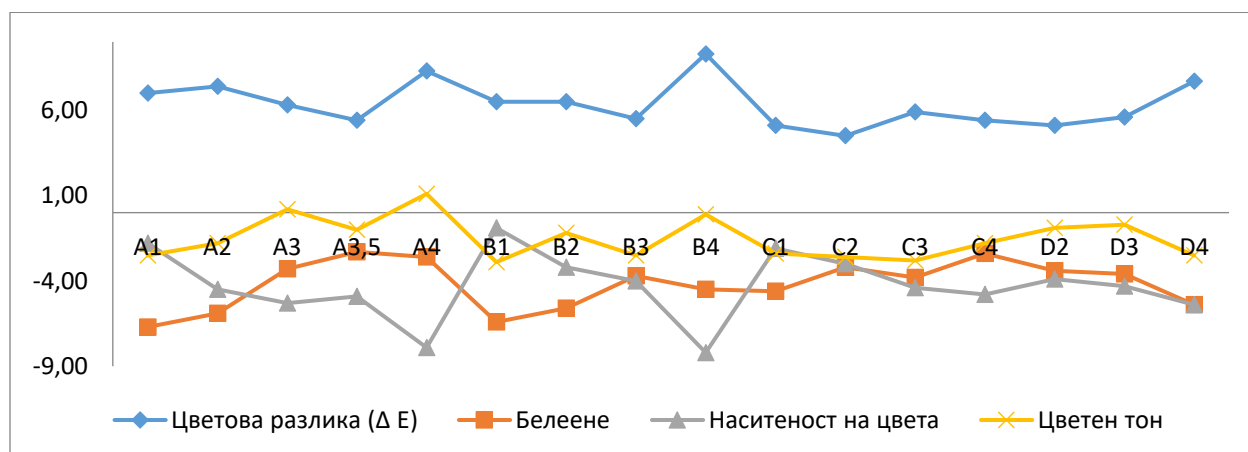
За ниво на значимост приемаме $p < 0.05$ при доверителен интервал 95%.

IV. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

IV.1. Резултати и обсъждане по задача 1

На **Фиг. 35** е представено изменението на цвета според измерените показатели по разцветката VITA Classic. Резултатите от анализа показват, че най-голяма разлика спрямо цветовата гама се отчита при A4, B4, C3 и D4 ($p < 0.001$).

При оценка на изменението в белеенето според цвета също се установява съществена разлика ($p < 0.001$), която показва тенденция към повишаване на отклонението в белеенето с увеличаване на наситеността на доминиращите цветове. Най-отдалечени от основния цвят по този показател са A1, B1, C1 и D4, а най-близки са A3.5, A4 и C4.



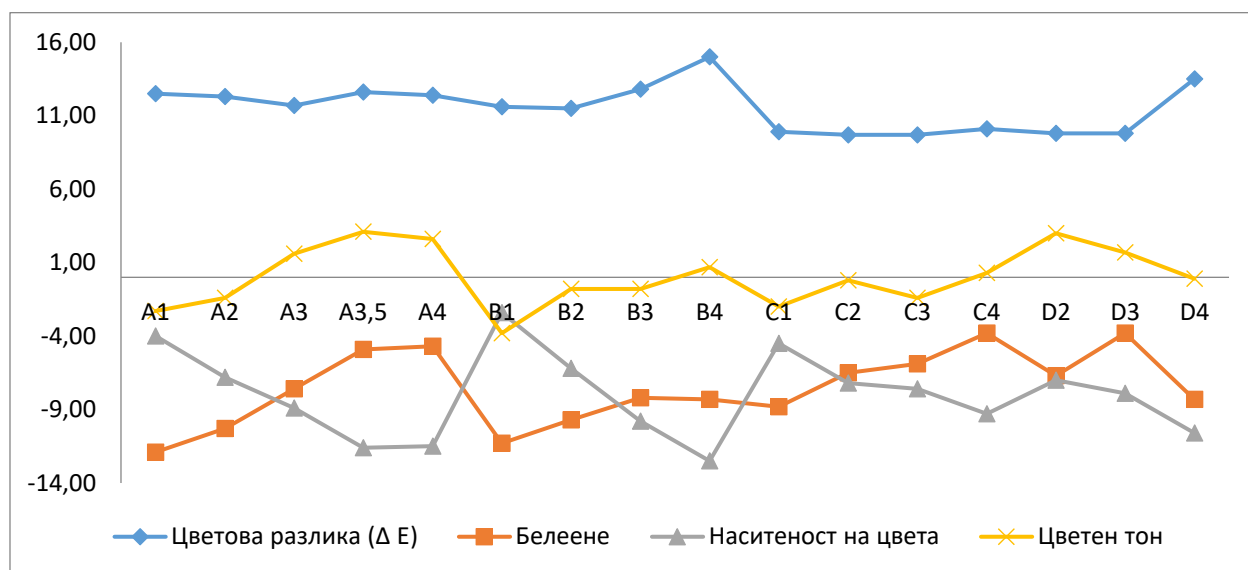
Фиг. 35. Изменение на цвета според измерените показатели по VITA Classic.

При анализа на наситеността на цвета се установяват съществени отклонения спрямо цветовата гама ($p < 0.001$), като най-малки са при A1, B1 и C1, а най-големи при A4 и B4.

При анализа на цветния тон се установяват няколко различия: В *група А* и *група В* се установяват няколко пика и спадове в стойностите ($p < 0.01$). В *група С* като цяло има повишаване на стойностите на отклонението на цветния тон. В *група D* кривата придобива U образна форма.

Анализът на изменението на цвета с комбинацията с фасета 0.5 мм и *Try-in pasta transparent* също се установи съществена разлика в цветовото отклонение спрямо базовите стойности, като най-голямото отклонение е при B4 и D4 ($p < 0.01$). Интересен

резултат е, че цветовото отклонение от C1 до D3 е сигнификантно по-малко отколкото от A1 до B3 ($p < 0.01$) (Фиг. 36).



Фиг. 36. Изменение на цвета според измерените показатели по VITA Classic с фасета 0.5 мм и Try-in pasta transparent.

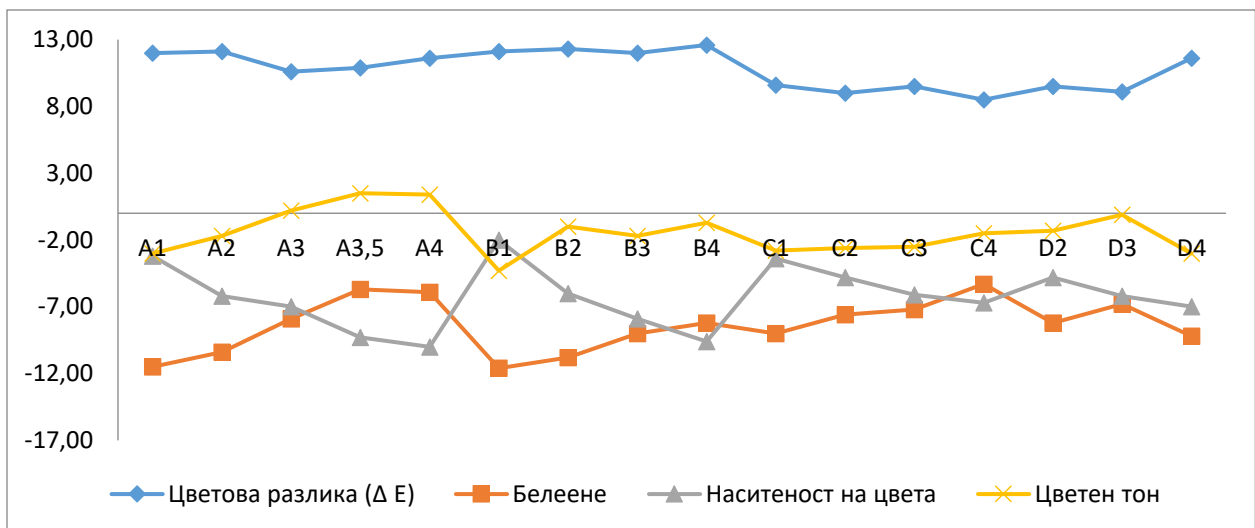
При оценката на изменението на белеенето се установява съществена разлика по цялото цветово пространство на разцветката ($p < 0.001$). Най-голямо отклонение има при A1, B1 и C1, а най-малко при A3.5 и A4, C4 и D3.

При наситеността на цвета се установяват минимални отклонения при B1 и C1, като най-големи отклонения има при A3.5 и A4, като и при B4 ($p < 0.01$)

Най-малки разлики от цветовия тон се установяват при B2, C2, C4 и D4 като при A3.5 и A4 и D2 отклонението е значително ($p < 0.001$).

При анализът на изменението на цвета с комбинацията с фасета 0.5 мм и гел също се установи съществена разлика в цветовото отклонение спрямо базовите стойности, като най-голямото отклонение е от A1 до B4 и при D4 ($p < 0.01$). Резултатите показват, че има групиране на данните от A1 до B4 и от C1 до D3 (Фиг. 37).

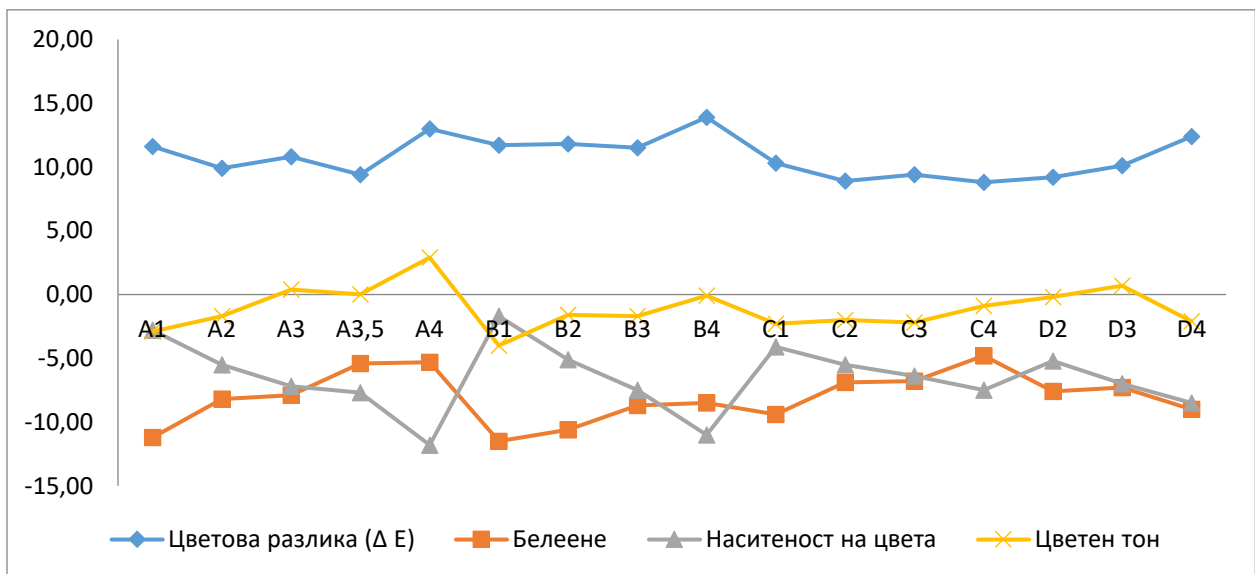
При оценката на изменението на белеенето се установява съществена разлика по цялото цветово пространство на разцветката ($p < 0.001$). Най-голямо отклонение има при A1, A2, B1 и B2, а най-малко при A3.5 и A4 и C4.



Фиг. 37. Изменение на цвета според измерените показатели по VITA Classic с фасета 0.5 мм и ехографски гел.

При наситеността на цвета се установяват минимални отклонения при B1, като най-големи отклонения има при A4, като и при B4 ($p < 0.01$)

Най-малки разлики от цветовия тон се установяват при A3 и D3 като при B1 и D4 отклонението е значително ($p < 0.001$).



Фиг. 38. Изменение на цвета според измерените показатели по VITA Classic с фасета 0.8 мм и Try-in pasta transparent.

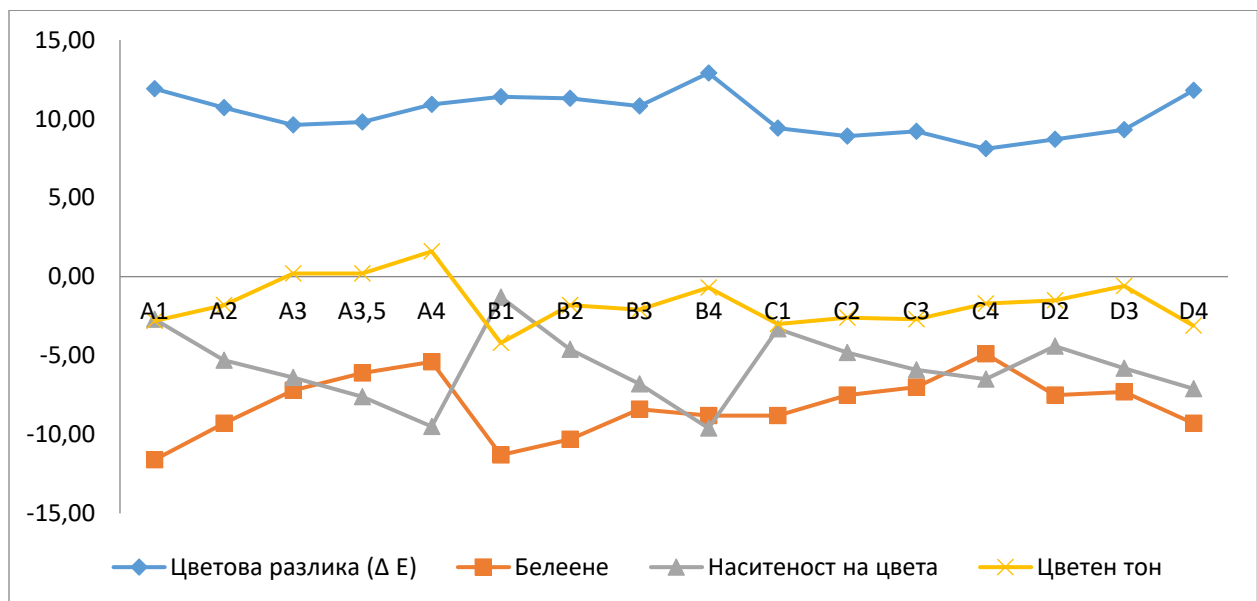
Анализът на изменението на цвета с комбинацията с фасета 0.8 мм и Try-in паста transparent също се установи съществена разлика в цветовото отклонение спрямо базовите стойности, като най-голямото отклонение е при А4, В4 и D4 ($p < 0.01$) (Фиг. 38).

При оценката на изменението на белеенето се установява съществена разлика по цялото цветово пространство на разцветката ($p < 0.001$). Най-голямо отклонение има при А1, В1 и В1, а най-малко при С4.

При наситеността на цвета се установяват минимални отклонения при В1 и А1, като най-големи отклонения има В4 ($p < 0.01$).

При А3.5 не се наблюдава отклонение от цветовия тон, минимални разлики се наблюдават при А3, В4, D2 и D3 като при А4, В1, С1, С2, С3 и D4 отклонението е значително ($p < 0.001$).

Анализът на изменението на цвета с комбинацията с фасета 0.8 мм и гел също се установи съществена разлика в цветовото отклонение спрямо базовите стойности, като най-голямото отклонение е при А1, В4 и D4 ($p < 0.01$) (Фиг. 39).



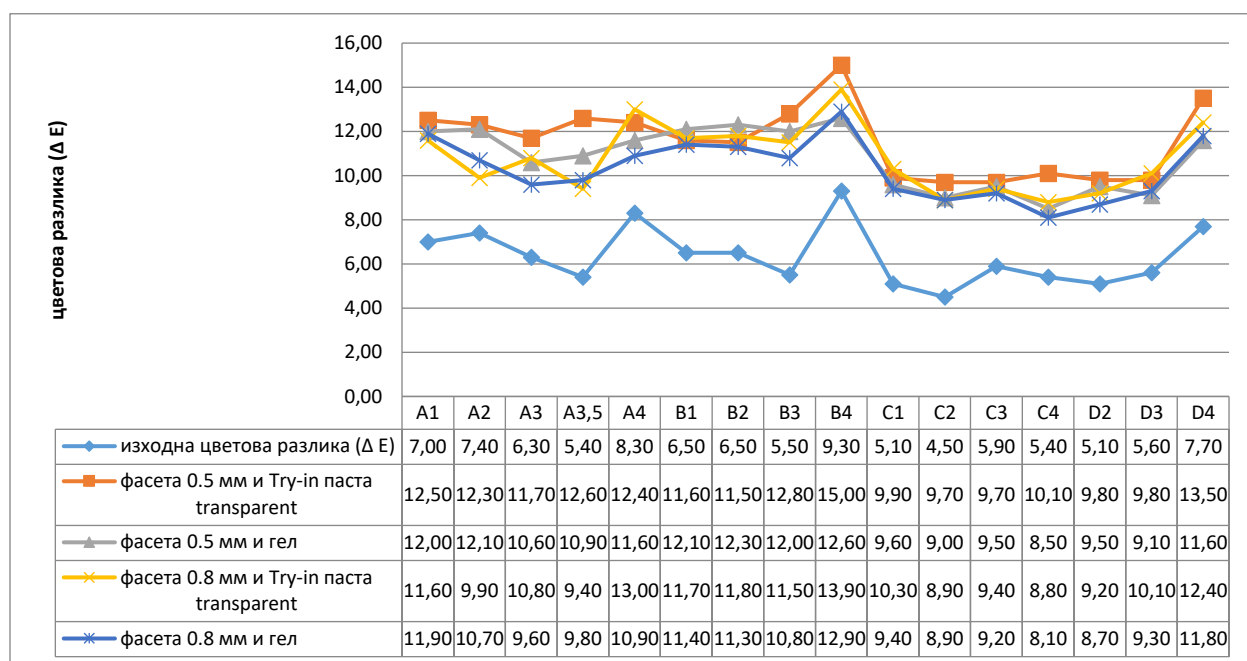
Фиг. 39. Изменение на цвета според измерените показатели по VITA Classic с фасета 0.8 мм и ехографски гел.

При оценката на изменението на белеенето се установява съществена разлика по цялото цветово пространство на разцветката ($p < 0.001$). Най-голямо отклонение има при А1 и В1, а най-малко при А4 и С4.

При наситеността на цвета се установяват минимални отклонения при B1 и A1, като най-големи отклонения има A4, B4, C4 и D4 ($p < 0.01$).

При A3 и A3.5 се наблюдава минимално отклонение от цветовия тон, като при A4, B1, C1, C2, C3 и D4 отклонението е значително ($p < 0.001$).

На **Фиг. 40** е представен сравнителен анализ на цветовата разлика ΔE в изходна позиция, при използване на фасета с размери 0.5 мм и 0.8 мм и Try-in паста transparent или гел.



Фиг. 40. Сравнителен анализ на цветовата разлика по VITA Classic.

Установява се съществена разлика в измерените стойности за цветова разлика ΔE според разцветката на VITA Classic както по отношение на приложението на фасети с дебелина 0.5 мм ($p < 0.01$), така и по отношение на приложението на фасети с дебелина 0.8 мм ($p < 0.05$) спрямо изходните стойности. Въпреки, че се наблюдава отклонение в стойностите за цветова разлика според използването на Try-in паста transparent или гел, то не е статистически значимо.

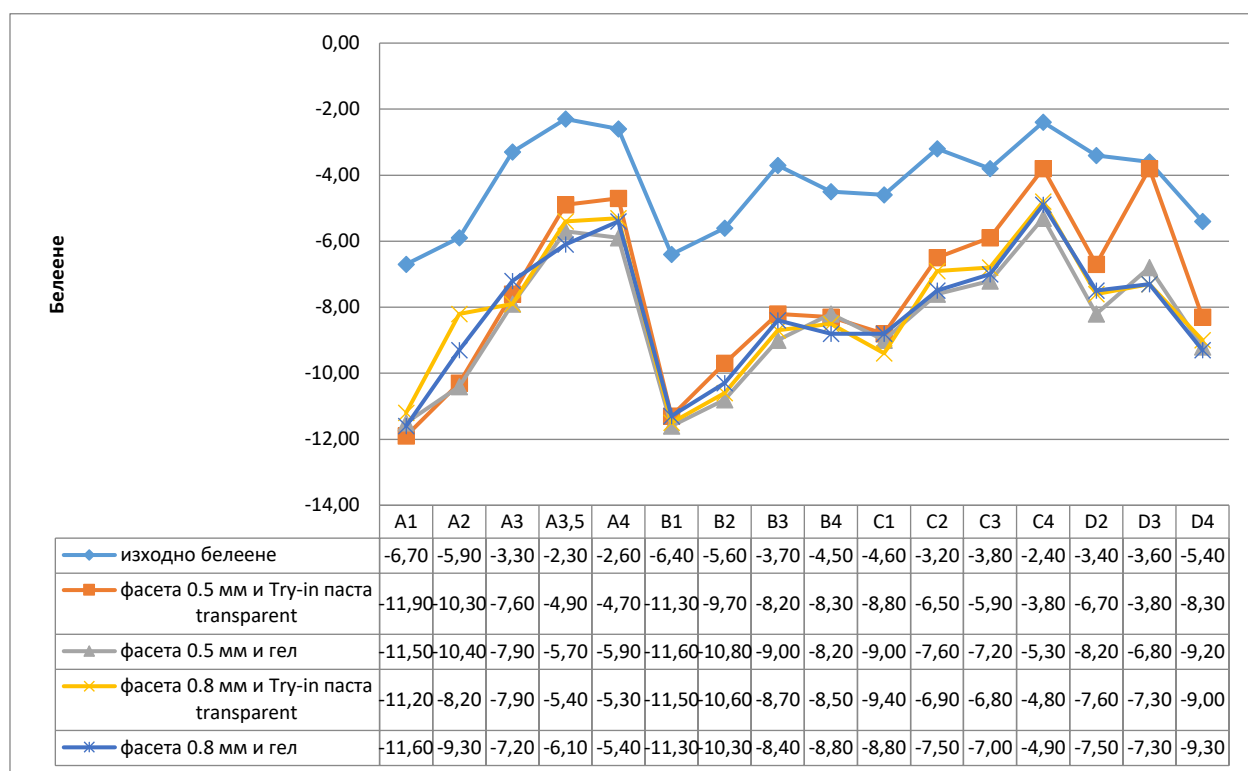
Използването на фасета с дебелина 0.5 мм и Try-in паста transparent не се доближава до нито един от основните цветове по VITA Classic.

Използването на фасета с дебелина 0.5 мм и гел показва най-добри резултати по отношение на B4, D3 и D4.

Използването на фасета с дебелина 0.8 мм и Try-in паста transparent показва най-добри резултати по отношение на A1, A2, A3.5 и C2.

Използването на фасета с дебелина 0.8 мм и гел показва най-добри резултати при най-много основни цветове по VITA Classic – A3, A4, B1, B2, B3, C1, C3, C4 и D2.

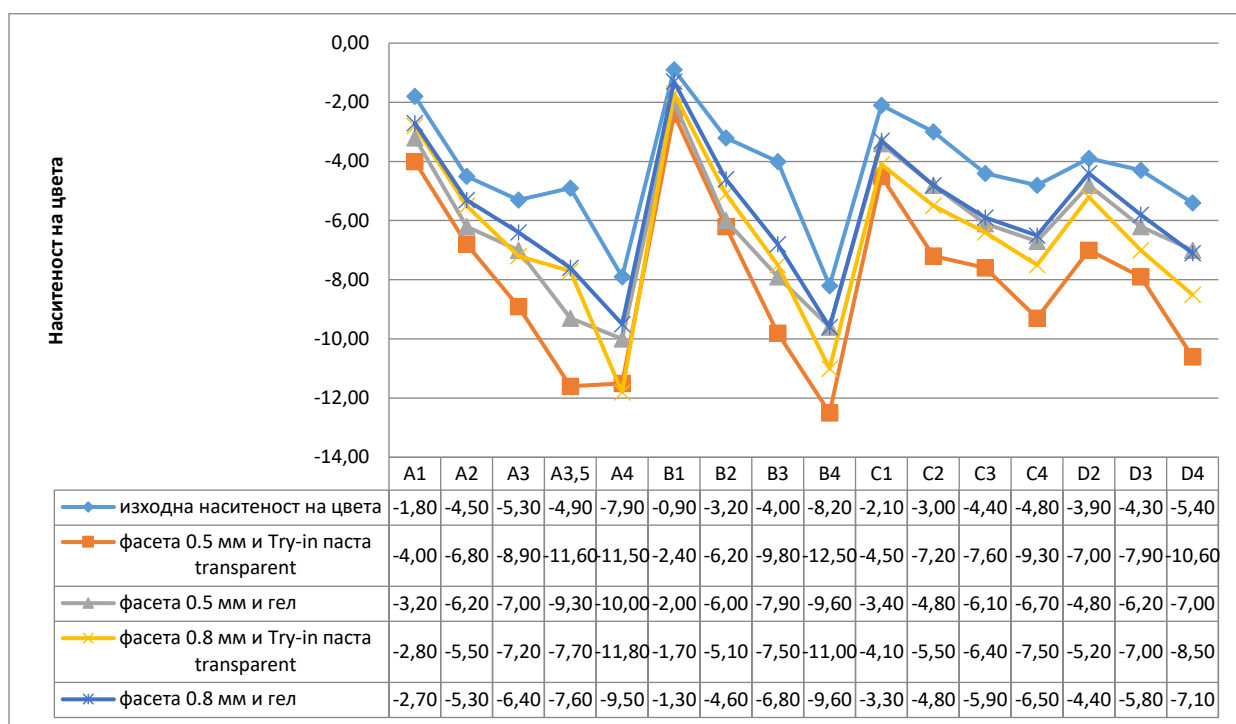
На **Фиг. 41** е представен сравнителен анализ на белеенето в изходна позиция, при използване на фасета с размери 0.5 мм и 0.8 мм и Try-in паста transparent или ехографски гел.



Фиг. 41. Сравнителен анализ на белеенето по VITA Classic.

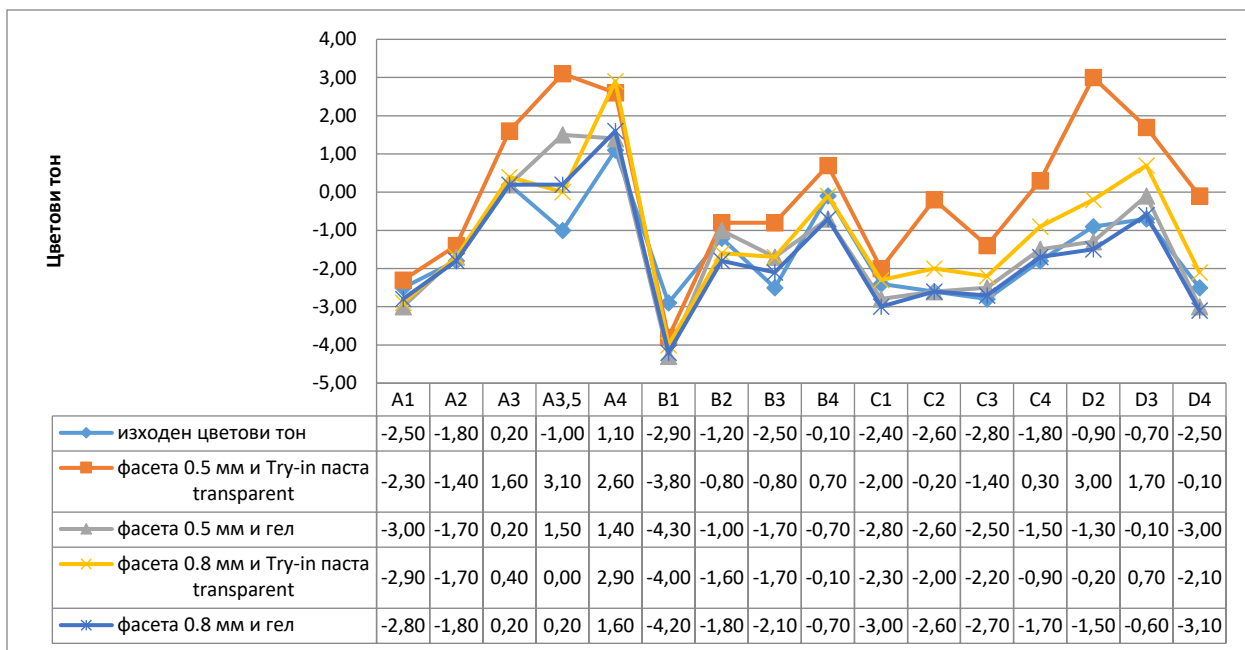
За разлика от ΔE, при белеенето има отношение дебелината на фасетата и елеминирация въздушната среда материал. По-тънката фасета (0.5 мм) и Try-in паста transparent показаха най-добри резултати по отношение на всички основни цветове по VITA Classic с изключение на A1 и A2, където най-добри резултати спрямо изходната стойност има при приложението на фасета 0.8 мм и Try-in паста transparent. При A3 най-добри резултати относно белеенето се постигат с фасета 0.8 мм и ехографски гел. Впечатление прави, че при B1 и C1 се постигат еднакво добри резултатите при използването на фасета 0.5 мм и Try-in паста transparent и фасета 0.8 мм и гел.

На **Фиг. 42** е представен сравнителен анализ на наситеността на цвета в изходна позиция, при използване на фасета с размери 0.5 мм и 0.8 мм с Try-in паста transparent или ехографски гел. Установява се съществена разлика между изследваните групи ($p < 0.01$). От друга страна най-близки стойности до изходните за наситеност на цвета се получават при използването на фасета 0.8 и гел. Изключение правят B4 и C2, където идентични резултати се постигат и при използването на фасета 0.5 и гел. При D4 най-добри резултати се постигат при използването на фасета 0.5 и гел.



Фиг. 42. Сравнителен анализ на наситеността на цвета по VITA Classic.

На **Фиг. 43** е представен сравнителен анализ на цветовия тон в изходна позиция, при използване на фасета с размери 0.5 мм и 0.8 мм и Try-in паста transparent или гел. По отношение на цветовия тон не се установява статистически значима разлика между изследваните групи.

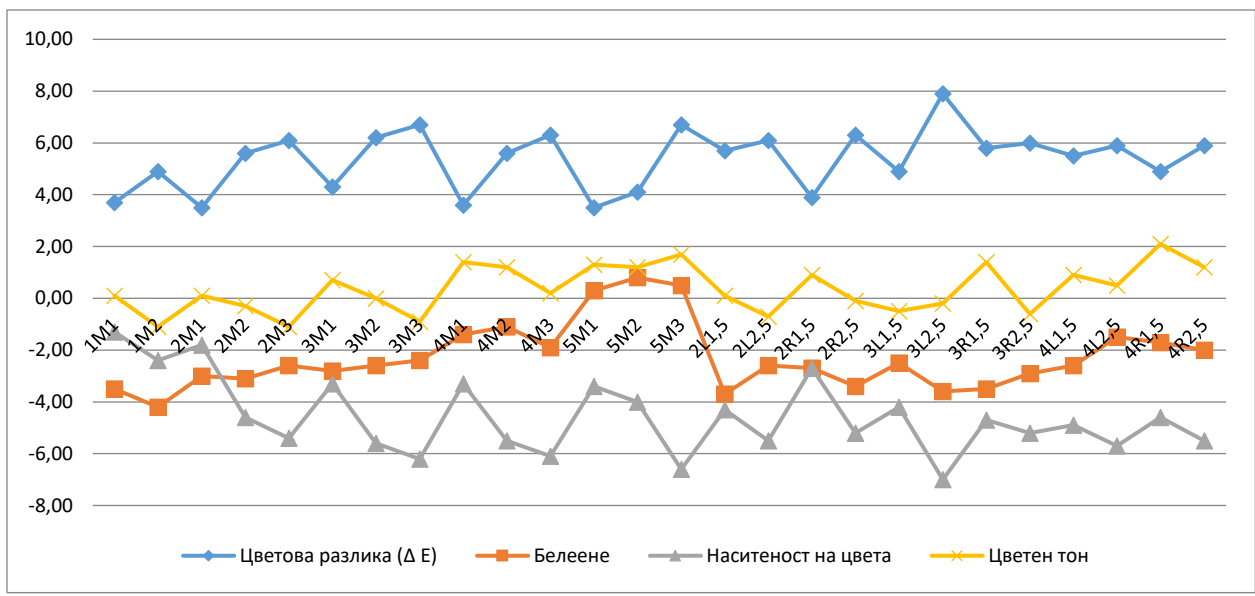


Фиг. 43. Сравнителен анализ на цветовия тон по VITA Classic.

При използването на фасета 0.5 мм и Try-in паста transparent при A1, A2, B1, B2, B3, C1, C2, C3 и C4 се постигат резултати, които имат по-ниски от изходните стойности. При A3 използването на фасета 0.8 мм и гел и при B4 използването на фасета 0.8 мм и Try-in паста transparent се получават резултати еднакви с изходните. При A3.5 и D2 използването на фасета 0.8 мм и Try-in паста transparent показва по-ниски стойности за цветови тон от изходните. При A4, D3 и D4 използването на фасета 0.5 мм и гел също води до по-ниски от изходните стойности на цветовия тон. От друга страна при някои цветове се постигат същите стойности като изходните:

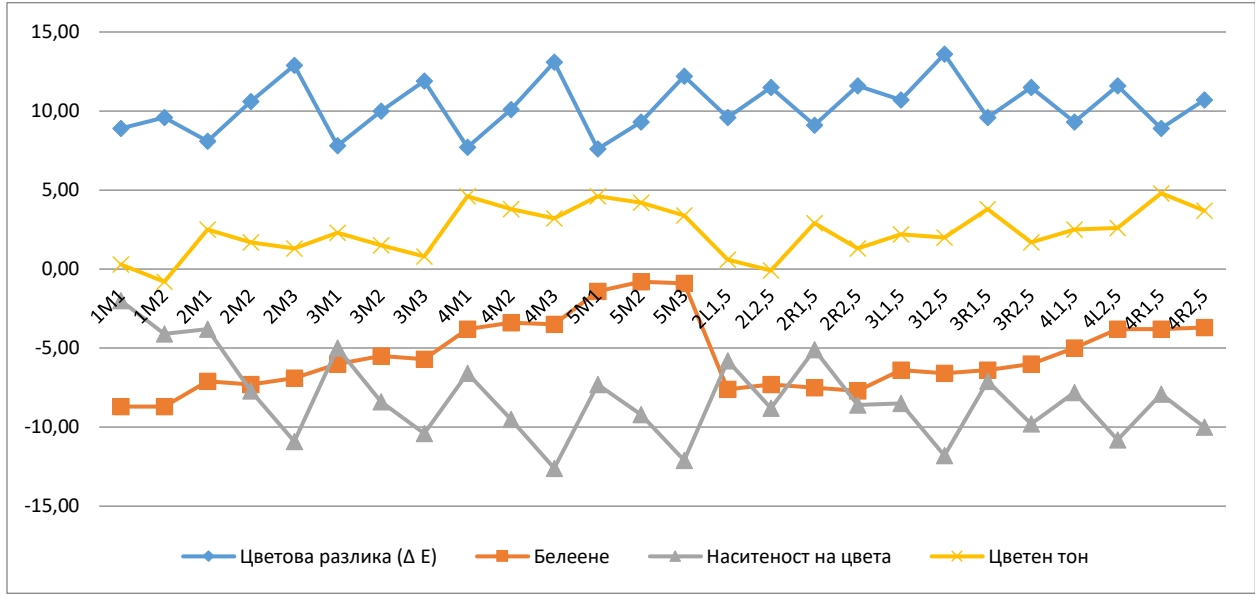
- A2 при използване на фасета 0.8 мм и гел;
- A3 при използване на фасета 0.5 мм или 0.8 мм и гел;
- B4 при използване на фасета 0.8 мм и Try-in паста transparent;
- C2 при използване на фасета 0.5 мм или 0.8 мм и гел;
- D3 при използване на фасета 0.8 мм и Try-in паста transparent.

На **Фиг. 44** е представено изменението на цвета според измерените показатели по VITA 3D Master.



Фиг. 44. Изменение на цвета според измерените показатели по VITA 3D Master.

На Фиг. 45 е представено изменението на цвета според измерените показатели по VITA 3D Master при използване на фасета 0.5 и Try-in паста transparent. Установява се съществена разлика по отношение на цветовото отклонение, белеенето, наситеността на цвета и цветния тон спрямо основния цвят по VITA 3D Master ($p < 0.001$).



Фиг. 45. Изменение на цвета според измерените показатели по VITA 3D Master с фасета 0.5 мм и Try-in паста transparent.

При всички цветове цветовото отклонение при използването на фасета 0.5 мм и Try-in паста transparent е над допустимата норма от 5.0.

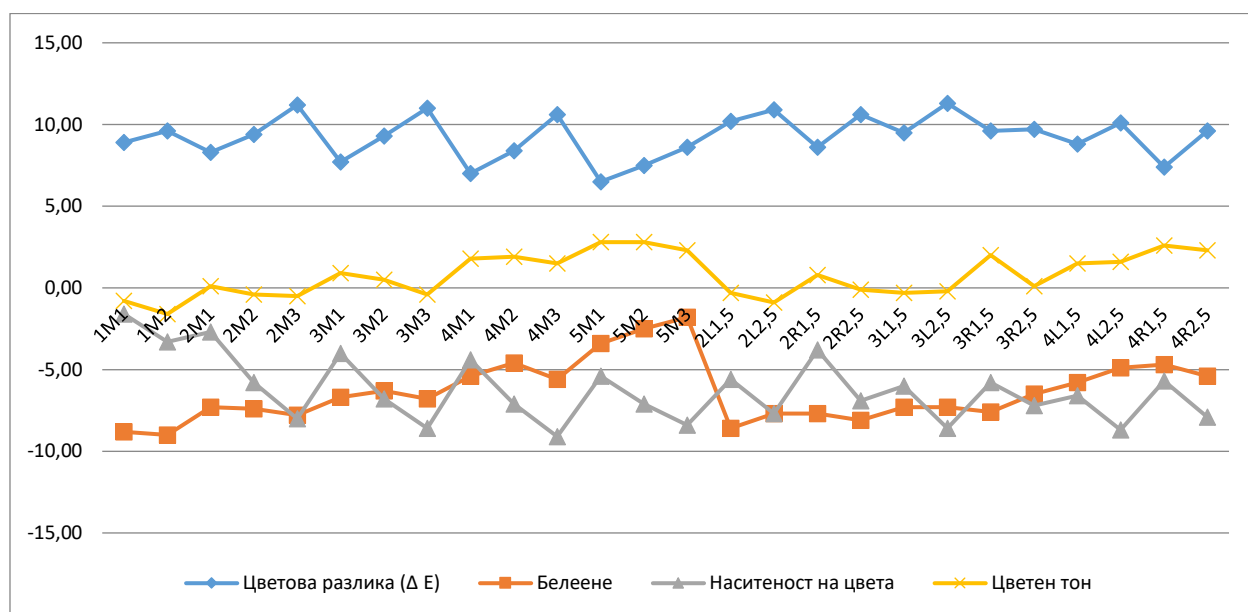
По отношение на цветовото отклонение при използването на фасета 0.5 мм и Try-in паста transparent, въпреки разликата от основния цвят най-близки стойности се наблюдават в -M1 цветовете, а най-голямо отклонение има при -M3 цветовете ($p < 0.01$).

Белеенето при използването на фасета 0.5 мм и Try-in паста transparent показва най-близки стойности в групата 5M- ($p < 0.05$).

Изменението в наситеността на цвета е огледален образ на цветовото отклонение, като най-близки стойности се наблюдават в -M1 цветовете, а най-големи отклонения има при -M3 ($p < 0.01$).

Цветният тон при използването на фасета 0.5 мм и Try-in паста transparent се доближава до основния цвят при 1M1, 1M2, 3M3, 2L1.5 и 2L2.5. При останалите цветове се наблюдава съществено вариране в стойностите ($p < 0.01$).

На **Фиг. 46** е представено изменението на цвета според измерените показатели по VITA 3D Master при използване на фасета 0.5 и гел. Установява се съществена разлика по отношение на цветовото отклонение, белеенето, наситеността на цвета и цветния тон спрямо основния цвят по VITA 3D Master ($p < 0.01$).



Фиг. 46. Изменение на цвета според измерените показатели по VITA 3D Master с фасета 0.5 мм и гел.

При всички цветове цветовото отклонение при използването на фасета 0.5 мм и гел е над допустимата норма от 5.0.

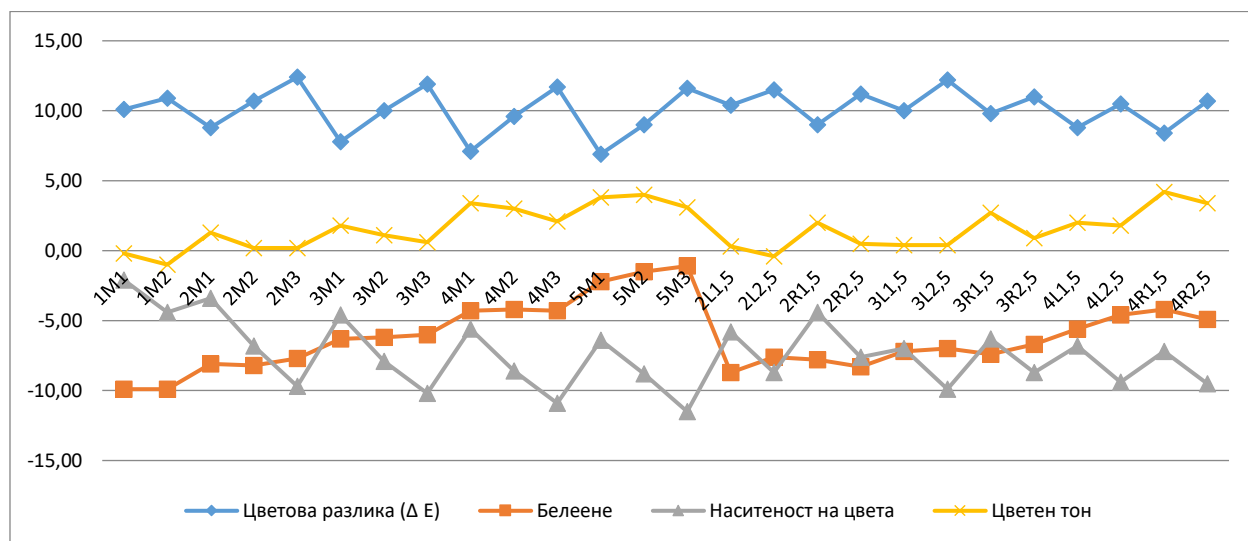
По отношение на цветовото отклонение при използването на фасета 0.5 мм и гел въпреки разликата от основния цвят най-близки стойности се наблюдават в -M1 цветовете, а най-голямо отклонение има при -M3 цветовете ($p < 0.01$).

Белеенето при използването на фасета 0.5 мм и гел показва най-близки стойности в групата 5M3 и 5M2 ($p < 0.05$).

Изменението в наситеността на цвета е огледален образ на цветовото отклонение, като най-близки стойности се наблюдават в -M1 цветовете, а най-големи отклонения има при -M3 ($p < 0.01$).

Цветният тон при използването на фасета 0.5 мм и ехографски гел се доближава до основния цвят при 1M1, 2M1, 2M2, 3M3, 2L1.5, 2L2.5, 2R2.5, 3L1.5, 3L2.5 и 3R2.5. При останалите цветове се наблюдава съществено вариране в стойностите ($p < 0.01$).

На **Фиг. 47** е представено изменението на цвета според измерените показатели по VITA 3D Master при използване на фасета 0.8 и Try-in паста transparent. Установява се съществена разлика по отношение на цветовото отклонение, белеенето, наситеността на цвета и цветния тон спрямо основния цвят по VITA 3D Master ($p < 0.001$).



Фиг. 47. Изменение на цвета според измерените показатели по VITA 3D Master с фасета 0.8 мм и Try-in паста transparent.

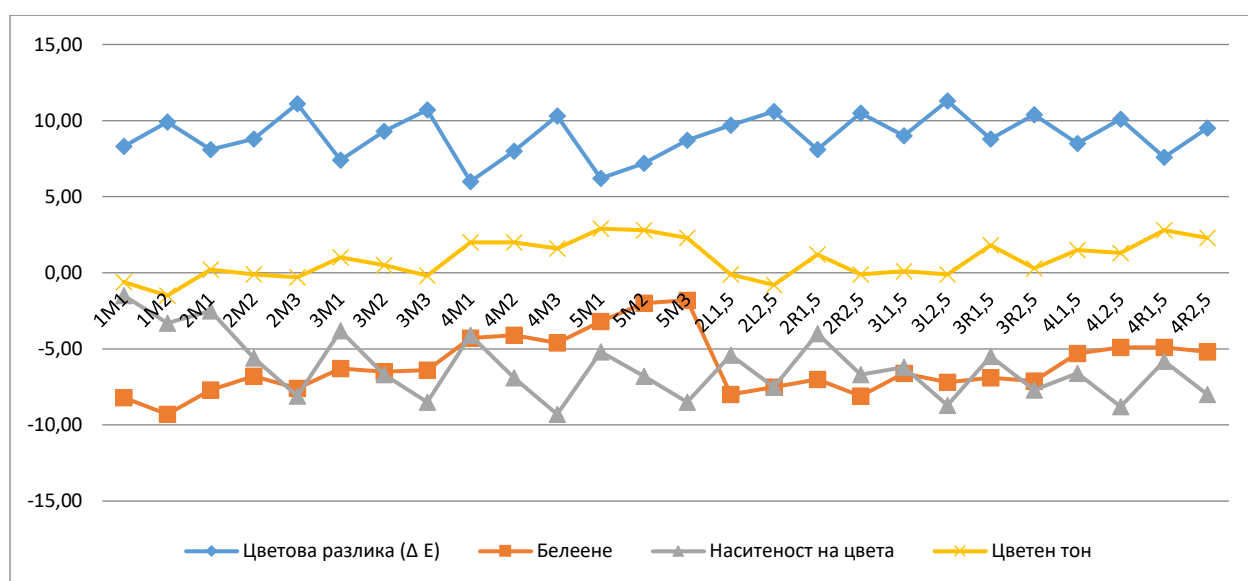
При всички цветове цветовото отклонение при използването на фасета 0.8 мм и Try-in паста transparent е над допустимата норма от 5.0.

По отношение на цветовото отклонение при използването на фасета 0.8 мм и Try-in паста transparent въпреки разликата от основния цвят най-близки стойности се наблюдават в -M1 цветовете, а най-голямо отклонение има при -M3 цветовете ($p < 0.01$).

Белеенето при използването на фасета 0.8 мм и Try-in паста transparent показва най-близки стойности в групата 5M3 и 5M2 ($p < 0.05$).

Изменението в наситеността на цвета е огледален образ на цветовото отклонение, като най-близки стойности се наблюдават в –M1 цветовете, а най-големи отклонения има при –M3 ($p < 0.01$).

Цветният тон при използването на фасета 0.8 мм и Try-in паста transparent се доближава до основния цвят при 1M1, 1M2, 2M2, 2M3, 3M3, 2L1.5, 2L2.5, 2R2.5, 3L1.5 и 3L2.5. При останалите цветове се наблюдава съществено вариране в стойностите ($p < 0.01$).



Фиг. 48. Изменение на цвета според измерените показатели по VITA 3D Master с фасета 0.8 мм и гел.

На **Фиг. 48** е представено изменението на цвета според измерените показатели по VITA 3D Master при използване на фасета 0.5 и гел. Установява се съществена разлика по отношение на цветовото отклонение, белеенето, наситеността на цвета и цветния тон спрямо основния цвят по VITA 3D Master ($p < 0.01$).

При всички цветове цветовото отклонение при използването на фасета 0.8 мм и гел е над допустимата норма от 5.0.

По отношение на цветовото отклонение при използването на фасета 0.8 мм и гел въпреки разликата от основния цвят най-близки стойности се наблюдават в -M1 цветовете, а най-голямо отклонение има при -M3 цветовете ($p < 0.01$).

Белеенето при използването на фасета 0.8 мм и гел показва най-близки стойности в групата 5M3 и 5M2 ($p < 0.05$).

Изменението в наситеността на цвета е огледален образ на цветовото отклонение, като най-близки стойности се наблюдават в –M1 цветовете, а най-големи отклонения има при –M3 ($p < 0.01$).

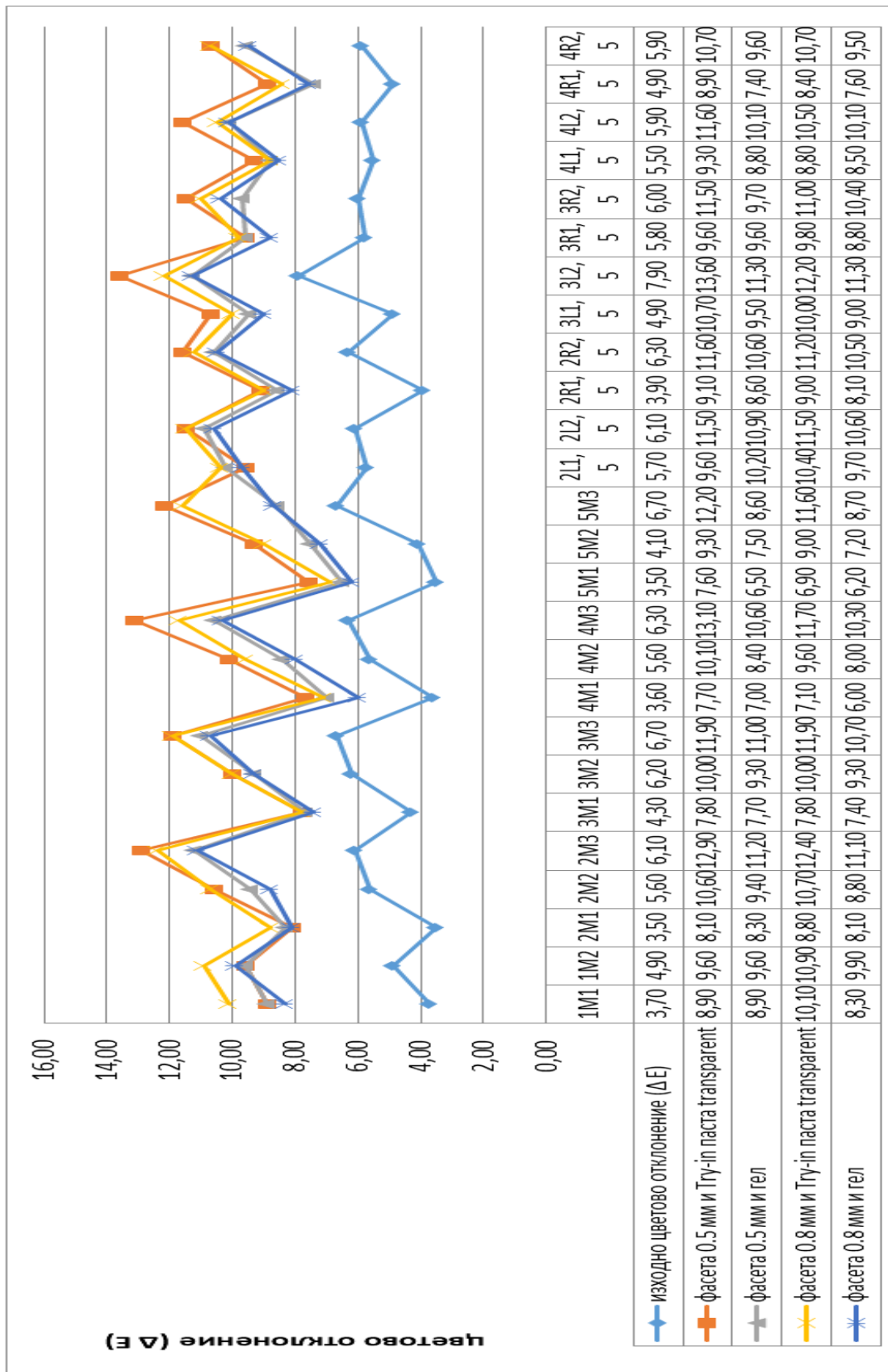
Цветният тон при използването на фасета 0.8 мм и гел се доближава до основния цвят при 1M1, 2M1, 2M2, 2M3, 3M3, 2L1.5, 2R2.5, 3L1.5, 3L2.5 и 3R2.5. При останалите цветове се наблюдава съществено вариране в стойностите ($p < 0.01$).

На **Фиг. 49** е представен сравнителен анализ на изследваните групи според цветовото отклонение по VITA 3D Master.

Установява се съществена разлика в цветовото отклонение по отношение на дебелината на използваната фасета и елиминиращия въздушната среда материал ($p < 0.01$) спрямо изходните резултати. Въпреки установените разлики в стойностите на показателя, най-добри резултати се получават при използването на гел почти при всички цветове с изключение на 1M2, 2M1 и 2L1.5 където се използват фасети 0.5 мм и Try-in паста transparent.

При 5M3, 3R2.5 и 4R1.5 най-добри резултати относно цветовото отклонение спрямо изходните стойности се постигат при използването на фасета 0.5 мм и гел, при останалите цветове най-добри резултати са постигнати при използването на фасета 0.8 мм и гел.

При 3M2 и 4 L2.5 се установи, че върху постигането на добрите резултати по-голямо влияние оказва използването на гел, отколкото дебелината на фасетата, тъй като и при двете използвани фасети с дебелина 0.5 мм и 0.8 мм се постига еднакъв ефект.



Фиг. 49. Сравнителен анализ на цветовото отклонение по VITA 3D Master .

На Фиг. 50 е представен сравнителен анализ на изследваните групи според белеенето по VITA 3D Master. Установява се съществена разлика в белеенето по

отношение на дебелината на използваната фасета и елиминиращия въздушната среда материал ($p < 0.01$) спрямо изходните резултати.

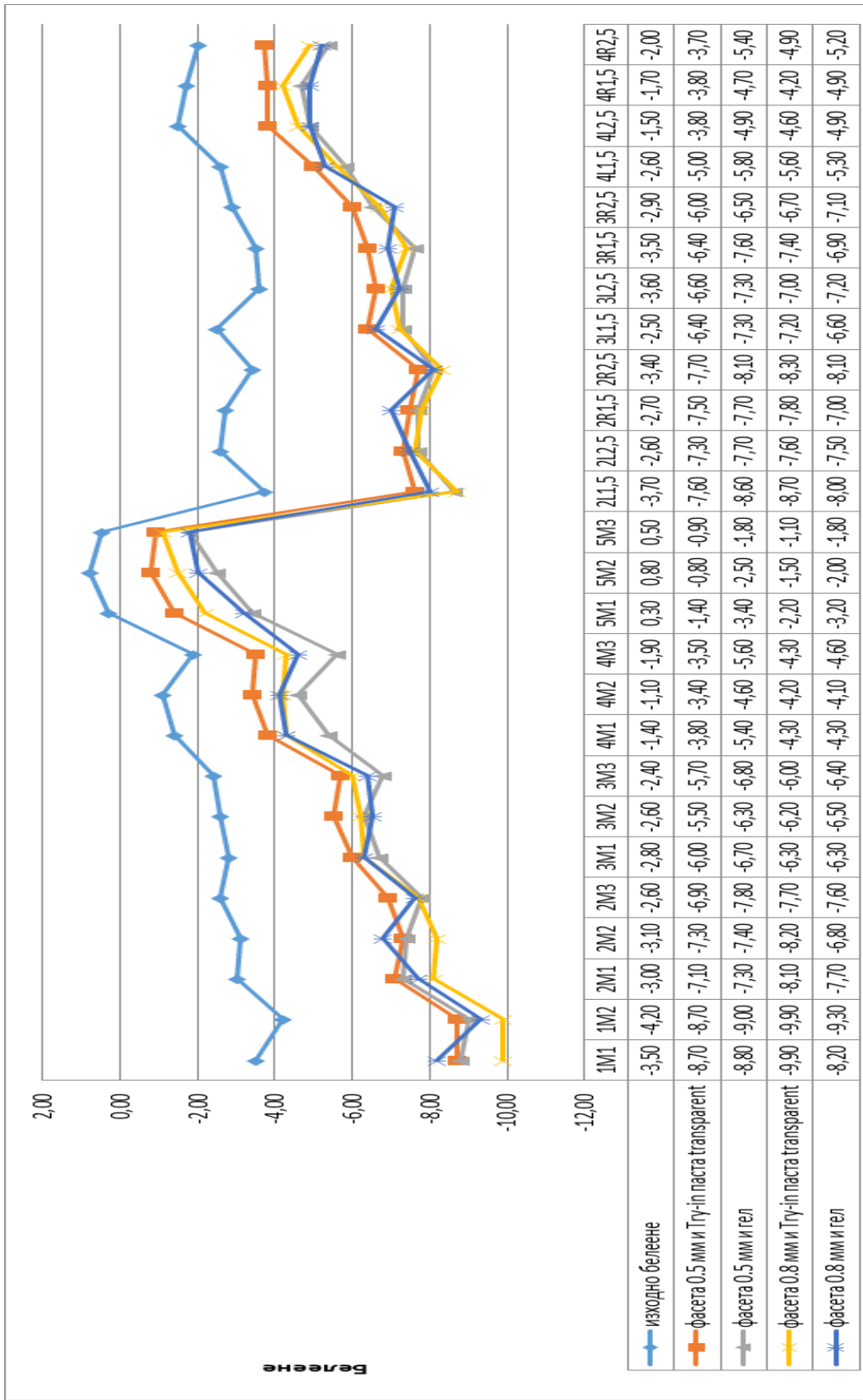
За разлика от цветовото отклонение при изследването на белеенето се оказва, че при основната част от цветовете дебелината на фасетата оказва съществено влияние, като при тези цветове използването на фасети 0.5 мм и Try-in паста transparent показва най-добри резултати спрямо изходните стойности. При 5M2 стойностите получени при използването на фасета 0.5 мм и Try-in паста transparent са еднакви като изходната по отношение на белеенето.

При три цвята (1M1, 2M2 и 2R1.5) най-добри резултати спрямо изходните стойности се постигат при използването на фасета 0.8 мм и гел.

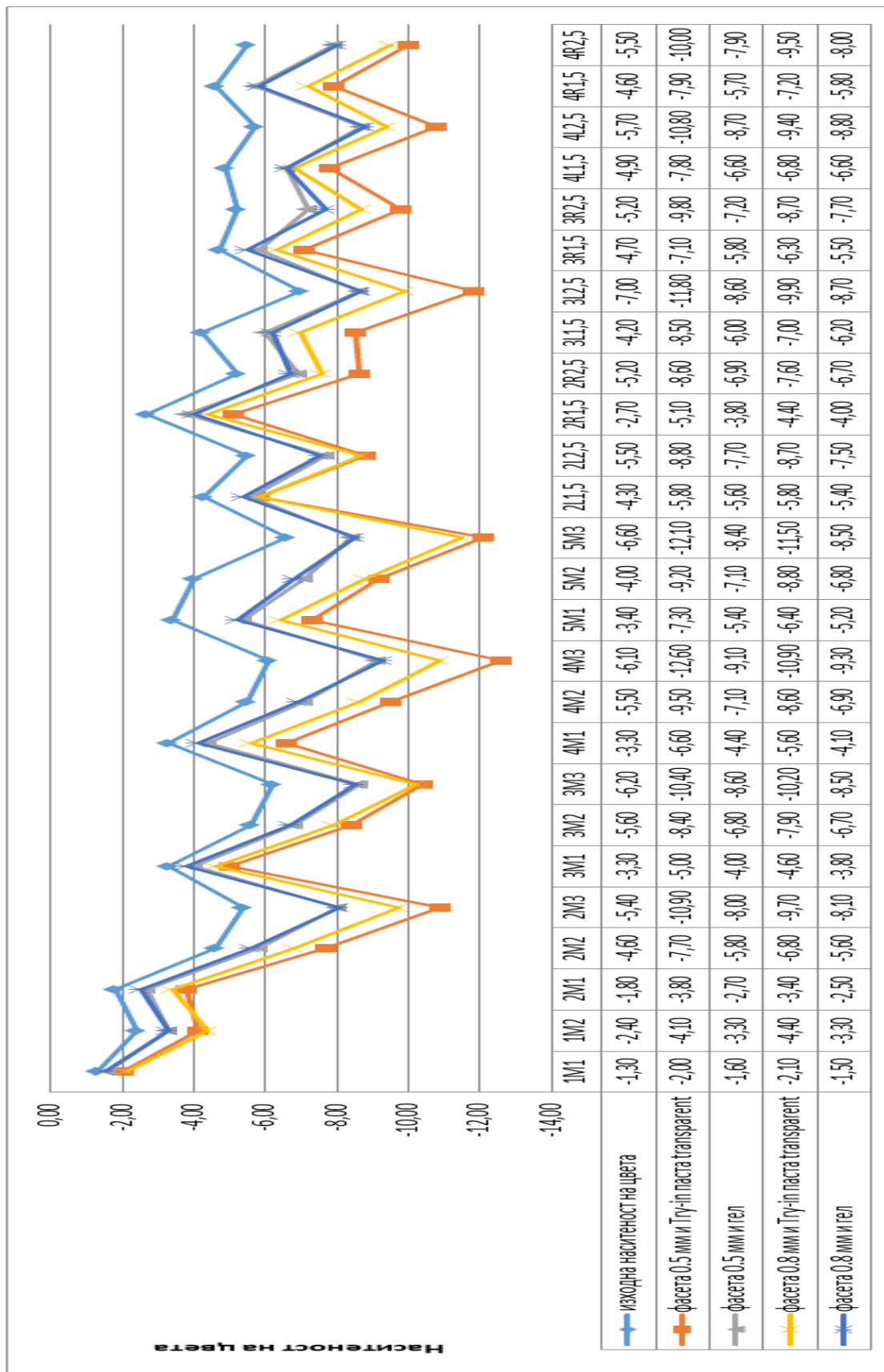
На **Фиг. 51** е представен сравнителен анализ на изследваните групи според белеенето по VITA 3D Master. Установява се съществена разлика в наситеността на цвета по отношение на дебелината на използваната фасета и елиминиращия въздушната среда материал ($p < 0.01$) спрямо изходните резултати. Въпреки това при всички резултатите се отчитат най-добра стойности при използването на гел.

При 7 цвята се постигат най-добри резултати спрямо изходните стойности при използването на фасета с дебелина 0.5 мм – 4M2, 5M3, 2R1.5, 3R2.5, 4L2.5, 4R1.5 и 4R2.5. При два цвята се постигат еднакви резултати по отношение на изходната стойност при използването на фасети с дебелина 0.5 мм и 0.8 мм – 1M2 и 4L1.5.

При останалите цветове дебелината на използваната фасета е 0.8 мм.



Фиг. 50. Сравнителен анализ на белеенето по VITA 3D Master.



Фиг. 51. Сравнителен анализ на наситеността на цвета по VITA 3D Master.

На **Фиг. 52** е представен сравнителен анализ на изследваните групи според цветния тон по VITA 3D Master. Установява се съществена разлика в наситеността на цвета по отношение на дебелината на използваната фасета и елиминиращия въздушната среда материал ($p < 0.01$) спрямо изходните резултати.

При три цвята се получиха стойности еднакви с изходните при използване на гел, като при 2M1 се използва фасета с дебелина 0.5 мм, при 2L2.5 се използва фасета с дебелина 0.8 мм, а при 2R2.5 се използваха фасети с дебелина 0.5 и дебелина 0.8.

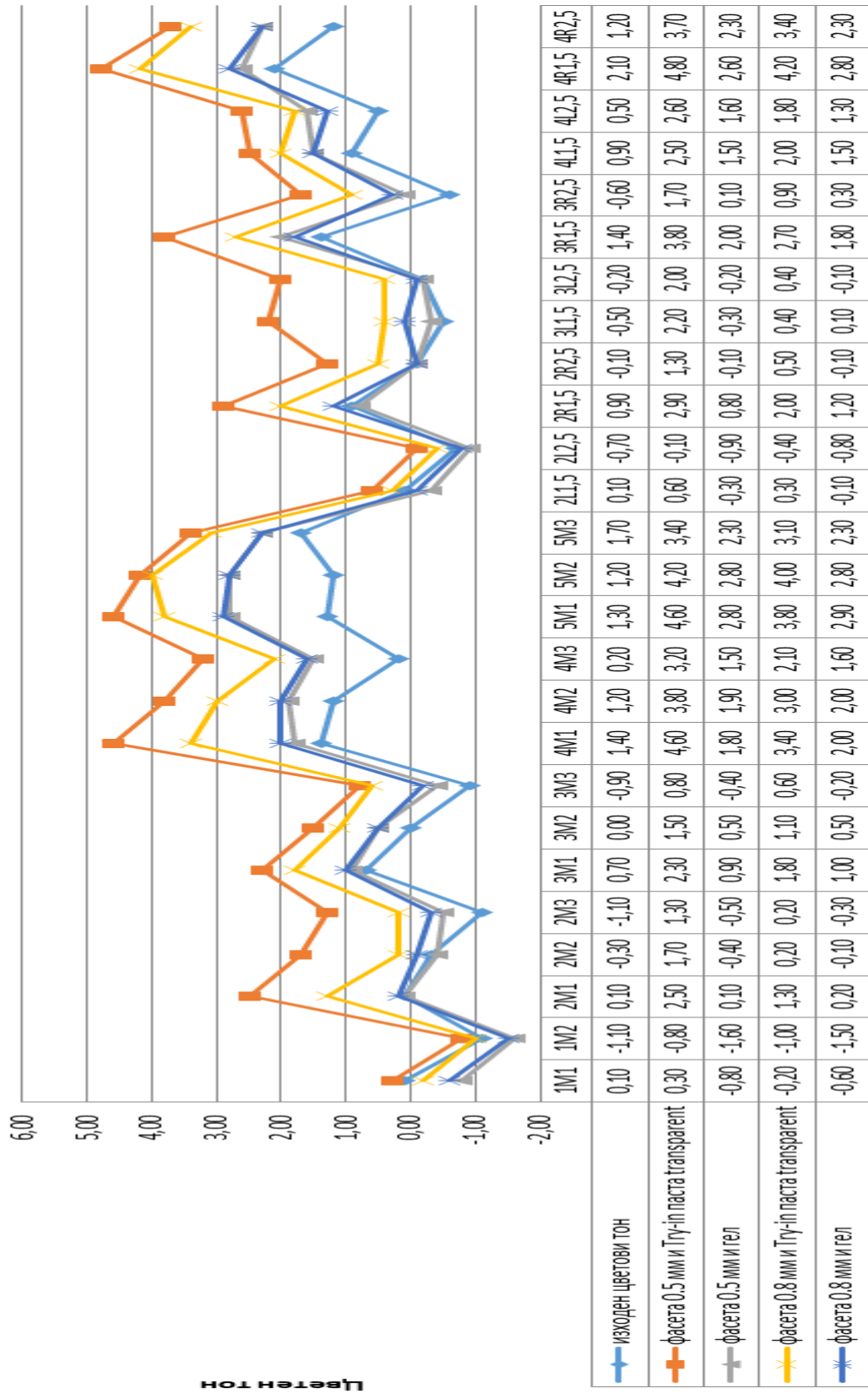
При четири цвята се постигнаха най-добри резултати спрямо изходните стойности при използване на фасети с дебелини 0.5 мм и 0.8 мм и гел – 3M2, 5M2, 5M3 и 4R2.5.

При четири цвята се постигнаха най-добри резултати спрямо изходните стойности при използването на фасети с дебелина 0.8 мм и гел – 2M2, 3M2, 3R1.5 и 4L2.5.

При 1M1 и 2M3 най-добри резултати спрямо изходните стойности се постигнаха при използването на фасети 0.8 мм и Try-in паста transparent.

При 1M2 и 2L2.5 най-добри резултати спрямо изходните стойности се постигнаха при използването на фасети 0.5 мм и Try-in паста transparent.

При всички останали цветове най-добри резултати спрямо изходните стойности се постигнаха при използването на фасети 0.5 мм и гел.



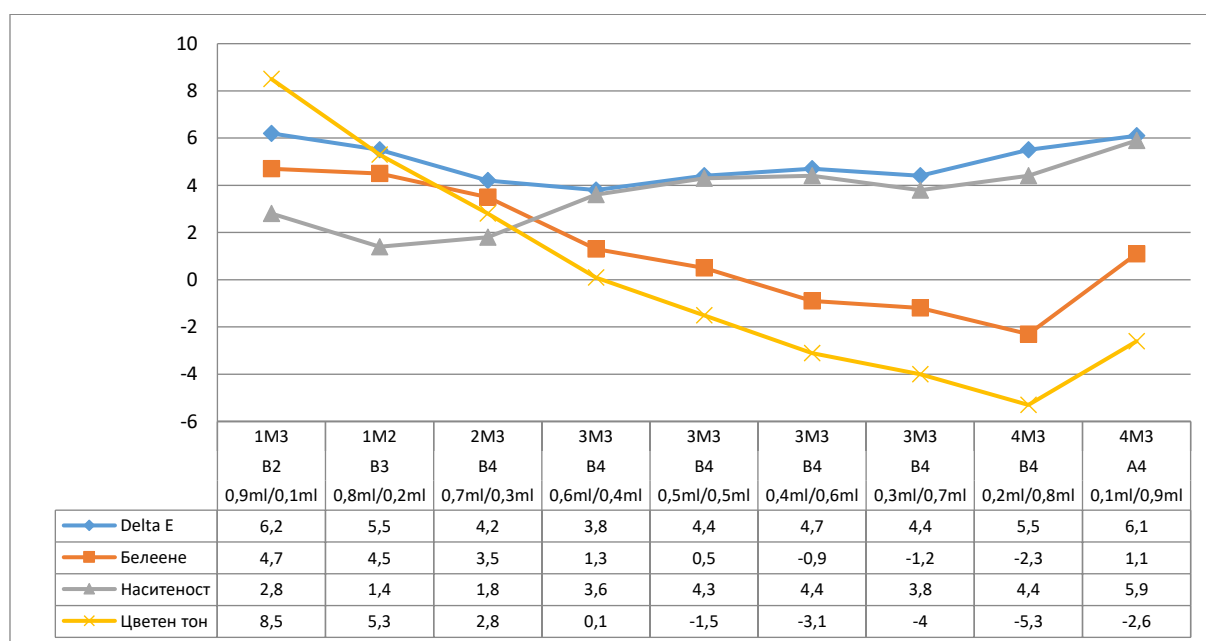
Фиг. 52. Сравнителен анализ на цветният тон по ВИТА 3D Master.

Изводи по задача 1:

От така получените резултати следва да се заключи, че употребата, на *egg-shell* принтирани корони от Dental LT Clear Resin® (Formlabs™), ще се окаже съществено влияние върху по-голямата част от използваните цветове. Описаният по-горе метод за бързо и дигитално планиране и лесно материализиране на прототипите, не е препоръчителен при работа в естетичната зона. Би могъл да се прилага единствено и само в дисталните зони. По тази причина считаме, че приложението му следва да бъде силно редуцирано при стриктно следене на ситуации, където влиянието върху определени цветови комбинации не би било съществено. Това, като цяло ограничава масовото му приложение и за по-прецизно възпроизвеждане на търсените цветове следва да се търсят алтернативни подходи, така че получените цветове да бъдат максимално близки до цветовете еталони.

IV.2. Резултати и обсъждане по задача 2

В първата група са изследвани резултатите при смесването на White Resin® с Model Resin®, като резултатите са представени на **Фиг. 53**.



Фиг. 53. Изменение в характеристиките на цвета в група White Resin® /Model Resin®.

Според получените резултати най-много до основния цвят на цветовите стандарти на VITA Classic и VITA 3D Master се доближава комбинацията White Resin® /Model Resin® в съотношение 0.6 ml/0.4 ml ($\Delta E = 3.8$) ($p < 0.001$).

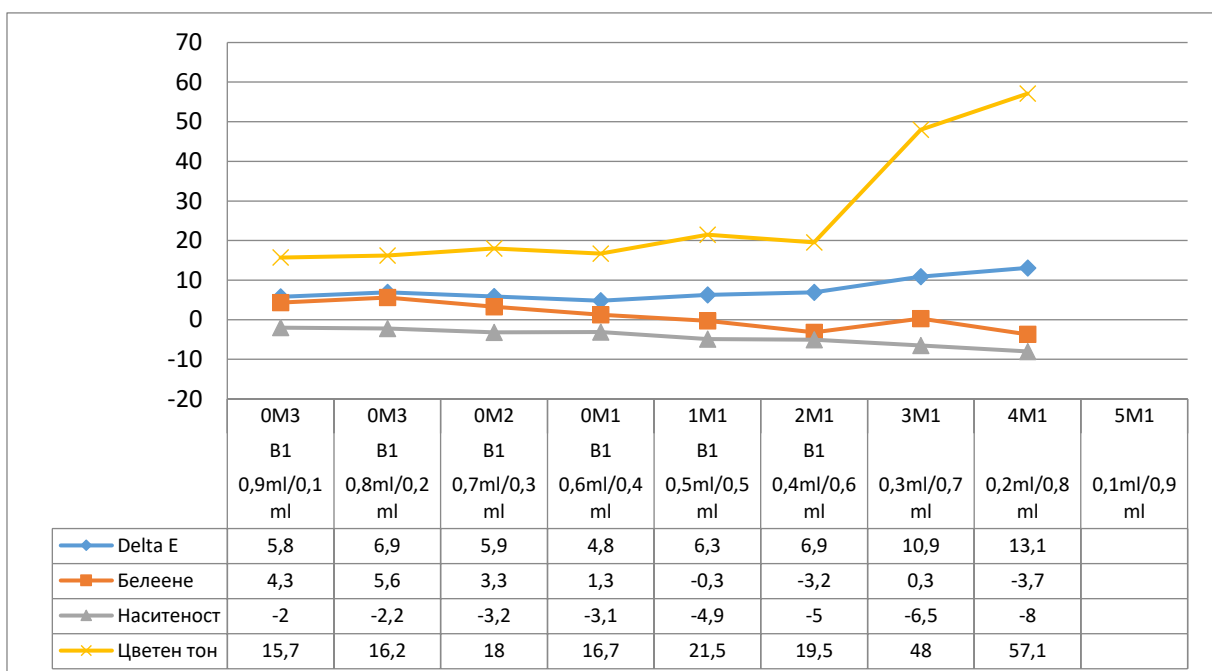
При оценка на ΔE според зададената от нас норма за отклонение (5.0) на използвания уред (VITA Easyshade® V) за оценка на цвета в границите на нормата влизат 55.5 % от комбинациите. Най-голямо отклонение се наблюдава при съотношенията 0.9 ml/0.1 ml и 0.1 ml/0.9 ml (съответно 6.2 и 6.1) ($p < 0.01$).

Белеенето най-много се доближава до основния цвят при съотношение 0.5 ml/0.5 ml (0.5), а се отдалечава при съотношение 0.9 ml/0.1 ml (4.7) ($p < 0.01$).

Наситеността най-много се доближава до основния цвят при съотношение 0.8 ml/0.2 ml (1.4) следвана от тази при съотношение 0.7 ml/0.3 ml (1.8), като най-много се отдалечава при съотношение 0.1 ml/0.9 ml (5.9) ($p < 0.01$).

Цветния тон най-много се доближава до основния цвят на разглежданите разцветки при съотношение 0.6 ml/0.4 ml (0.1), а се отдалечава най-вече при съотношение 0.9 ml/0.1 ml (8.5) ($p < 0.01$).

Във втората група са изследвани резултатите при смесването на White Resin® с Dental LT Clear Resin®, като резултатите са представени на **Фиг. 54**.



Фиг. 54. Изменение в характеристиките на цвета в група White Resin® /Dental LT Clear Resin®.

Според получените резултати най-много до основния цвят на цветовете стандарти на VITA Classic и VITA 3D Master се доближава комбинацията White Resin® / Dental LT Clear Resin® в съотношение 0.6 ml/0.4 ml (Delta E-4.8) ($p<0.001$).

При оценка на ΔE според зададената от нас норма за отклонение (5.0) на използвания уред за оценка (VITA Easyshade® V) на цвета в границите на нормата влизат 12.5 % от комбинациите или само една комбинация (0.6 ml/0.4 ml). Най-голямо отклонение се наблюдава при съотношенията 0.3 ml/0.7 ml и 0.2 ml/0.8 ml (съответно 10.9 и 13.1) ($p<0.01$).

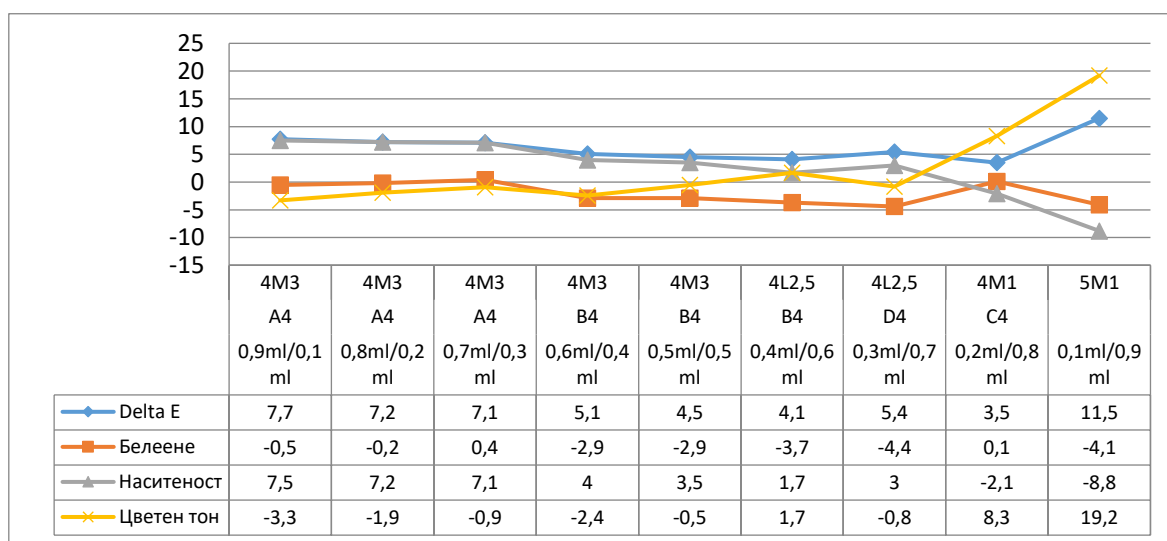
Белеенето най-много се доближава до основния цвят при съотношение 0.5ml/0.5ml и 0.3 ml/0.7 ml (съответно -0.3 и 0.3), а най-много се отдалечава при съотношение 0.8 ml/0.2 ml (5.6) ($p<0.01$).

Наситеността най-много се доближава до основния цвят при съотношение 0.9ml/0.1 ml (-2) следвана от тази при съотношение 0.8 ml/0.2 ml (-2.2), като най-много се отдалечава при съотношение 0.2 ml/0.8 ml (-8) ($p<0.01$).

По отношение на цветния тон се наблюдава значително отклонение от основния цвят на разглежданите разцветки, като най-съществено е при съотношенията 0.3 ml/0.7ml (48.0) и 0.2 ml/0.8 ml (57.1) ($p<0.05$).

При оценка на съотношението White Resin® / Dental LT Clear Resin® 0.1 ml/0.9 ml резултатите не бяха отчетени като цвят от измервателния уред.

В третата група са изследвани резултатите при смесването на Model Resin® с Dental LT Clear Resin®, като резултатите са представени на **Фиг. 55**.



Фиг. 55. Изменение в характеристиките на цвета в група Model Resin® /Dental LT Clear Resin®.

Според получените резултати най-много до основния цвят на цветовете стандарти на VITA Classic и VITA 3D Master се доближава комбинацията Model Resin[®]/Dental LT Clear Resin[®] в съотношение 0.2 ml/0.8 ml ($\Delta E = 3.5$) ($p < 0.001$).

При оценка на Delta E според приетата норма за отклонение (5.0) на използвания уред за оценка на цвета (*VITA Easyshade[®] V*) в границите на нормата влизат 33.3 % от комбинациите. Най-голямо отклонение се наблюдава при съотношенията 0.1 ml/0.9 ml (11.5) ($p < 0.01$).

Белеенето най-много се доближава до основния цвят при съотношение 0.2 ml/0.8 ml (0.1), следвано от съотношението 0.8 ml/0.2 ml (-0.2), 0.7 ml/0.3 ml (0.4) и 0.9 ml/0.1ml (-0.5), а най-много се отдалечава при съотношение 0.3 ml/0.7 ml и 0.1 ml/0.9 ml (съответно -4.4 и -4.1) ($p < 0.01$).

Наситеността най-много се доближава до основния цвят при съотношение 0.4 ml/0.6 ml (1.7) следвана от тази при съотношение 0.2 ml/0.8 ml (-2.1), като най-много се отдалечава при съотношение 0.1 ml/0.9 ml (-8.8) ($p < 0.01$).

Цветния тон най-много се доближава до основния цвят на разглежданите разцветки при съотношение 0.5 ml/0.5 ml (-0.5), а най-много се отдалечава при съотношение 0.1 ml/0.9 ml (19.2) ($p < 0.01$).

На **Фиг. 56** е представен сравнителен анализ на изменението на характеристиките на цвета на изследваните групи и съотношения. Резултатите показват съществена разлика в характеристиките на цвета според цветовете стандарти VITA Classic и VITA 3D Master ($p < 0.001$).

A4 по VITA Classic и 4M3 по VITA 3D Master се постигна при две комбинации и четири съотношения – Model Resin[®]/Dental LT Clear Resin[®] - 0,9ml/0,1ml; Model Resin[®]/Dental LT Clear Resin[®] - 0,8ml/0,2ml; Model Resin[®]/Dental LT Clear Resin[®] - 0,7ml/0,3ml и White Resin[®]/Model Resin[®] - 0,1ml/0,9ml. До цвят A4 най-много се доближава White Resin[®]/Model Resin[®] в съотношение 0,1ml/0,9ml, където ΔE е 6.1, като при останалите три комбинации разликата е минимална. Въпреки това всички използвани комбинации и съотношения са със стойности над приетата норма за отклонение (5.0). Белеенето и цветовия тон най-много се доближава до основния цвят при комбинацията Model Resin[®]/Dental LT Clear Resin[®] и съотношение 0,7ml/0,3ml (съответно 0.4 и -0.9). Наситеността най-много се доближава до основния цвят при комбинацията White Resin[®]/Model Resin[®] в съотношение 0,1ml/0,9ml (5.9).

В1 по VITA Classic и 0M3, 0M2, 0M1, 1M1, 2M1 по VITA 3D Master се постигна при една комбинация White Resin®/Dental LT Clear Resin® в шест различни съотношения - 0,9ml/0,1ml; 0,8ml/0,2ml; 0,7ml/0,3ml; 0,6ml/0,4ml; 0,5ml/0,5ml; 0,4ml/0,6ml. До цвят В1 най-много се доближава комбинацията White Resin® / Dental LT Clear Resin® в съотношение 0,6ml/0,4ml, където ΔЕ е 4.8, при останалите комбинации стойностите варират от 5.8 до 6.9. Белеенето най-много се доближава до основния цвят при комбинацията White Resin®/Dental LT Clear Resin® и съотношение 0,5ml/0,5ml (-0.3). При цветовия тон се наблюдава най-голямо отклонение от основния цвят. Наситеността най-много се доближава до основния цвят при комбинацията White Resin®/Dental LT Clear Resin® в съотношение 0,9ml/0,1ml (-2.0).

В2 по VITA Classic и 1M3 по VITA 3D Master се постигна само при една комбинация White Resin®/Model Resin® в съотношение 0,9ml/0,1ml, където ΔЕ е 6.2.

В3 по VITA Classic и 1M2 по VITA 3D Master също се постигна при една комбинация White Resin®/Model Resin® в съотношение 0,8ml/0,2ml, където ΔЕ е 5.5.

В4 по VITA Classic и 2M3, 3M3, 4M3, 4L2,5 по VITA 3D Master се постигна при две комбинации в девет различни съотношения - White Resin /Model Resin - 0,7ml/0,3ml, White Resin /Model Resin - 0,6ml/0,4ml, White Resin /Model Resin - 0,5ml/0,5ml, White Resin /Model Resin - 0,4ml/0,6ml, White Resin /Model Resin - 0,3ml/0,7ml, White Resin /Model Resin - 0,2ml/0,8ml, Model Resin /Dental LT Clear Resin - 0,6ml/0,4ml, Model Resin /Dental LT Clear Resin - 0,5ml/0,5ml и Model Resin /Dental LT Clear Resin - 0,4ml/0,6ml. До цвят В4 най-много се доближава комбинацията White Resin /Model Resin в съотношение 0,6ml/0,4ml, където ΔЕ е 3.8, при останалите комбинации стойностите варират от 4.1 до 5.5. Според приетата норма за отклонение (5.0), 77.7 % от комбинациите влизат в нормата за този цвят. Белеенето най-много се доближава до основния цвят при комбинацията White Resin®/Model Resin® и съотношение 0,5ml/0,5ml (0.5). При цветовия тон най-много се доближава до основния цвят комбинацията White Resin®/Model Resin® в съотношение 0,6ml/0,4ml (0.1). Наситеността най-много се доближава до основния цвят при комбинацията White Resin®/Dental LT Clear Resin® в съотношение 0,4ml/0,6ml (1.7).

С4 по VITA Classic и 4M1 по VITA 3D Master се постигна само при една комбинация White Resin®/Model Resin® в съотношение 0,9ml/0,1ml, където ΔЕ е 3.5.

Д4 по VITA Classic и 4L2,5 по VITA 3D Master се постигна само при една комбинация White Resin®/Model Resin® в съотношение 0,9ml/0,1ml, където ΔЕ е 5.4.

На базата на тези резултати оптимални са цветовите комбинации:

1. White Resin / Model Resin – в съотношение 9/1, съответстващо на цвят В2;

2. White Resin / Model Resin – в съотношение 8/2, съответстващо на цвят В3;
3. White Resin / Model Resin – в съотношение 7/3, съответстващо на цвят В4;
4. White Resin / Model Resin – в съотношение 6/4, съответстващо на цвят В4;
5. White Resin / Model Resin – в съотношение 1/9, съответстващо на цвят А4;
6. White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 9/1, съответстващо на цвят В1;
7. White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 4/6, съответстващо на цвят В1;
8. White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 3/7, съответстващо на цвят 3М1 (по VITA 3D Master);
9. White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 2/8, съответстващо на цвят 4М1 (по VITA 3D Master);
10. Model Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 5/5, съответстващо на цвят В4.

Обсъждане по задача 2

До цвят А4 по VITA Classic и 4М3 по VITA 3D Master най-много се доближава White Resin /Model Resin в съотношение 0,1ml/0,9ml, където ΔE е 6.1, въпреки, че е над приетата норма на отклонение и разликата в цвета между протезната конструкция и естествените зъби може да бъде доловена от необучено око. Белеенето и цветовия тон най-много се доближава до основния цвят при комбинацията Model Resin /Dental LT Clear Resin и съотношение 0,7ml/0,3ml (съответно 0.4 и -0.9). Наситеността най-много се доближава до основния цвят при комбинацията White Resin /Model Resin в съотношение 0,1ml/0,9ml (5.9).

До цвят В1 по VITA Classic и 0М3, 0М2, 0М1, 1М1, 2М1 по VITA 3D Master най-много се доближава комбинацията White Resin /Dental LT Clear Resin в съотношение 0,6ml/0,4ml, където ΔE е 4.8, което влиза в допустимите граници за постигнат клиничен резултат, като разликата в цвета остава доловима само за обученото око на денталния специалист. Белеенето най-много се доближава до основния цвят при комбинацията White Resin /Dental LT Clear Resin и съотношение 0,5ml/0,5ml (-0.3). От гледна точка на цветовия тон в тази група се наблюдават значителни отклонения и не може да се определи комбинация и съотношение, които да се доближават до основния цвят. Наситеността най-много се доближава до основния цвят при комбинацията White Resin /Dental LT Clear Resin в съотношение 0,9ml/0,1ml (-2.0).

Въпреки, че се установява значителна разлика в цветовото отклонение цвят В2 по VITA Classic и 1М3 по VITA 3D Master се постигна само при една комбинация White Resin /Model Resin в съотношение 0,9ml/0,1ml, където ΔE е 6.2.

Цвят В3 по VITA Classic и 1М2 по VITA 3D Master също се постигна при една комбинация White Resin /Model Resin в съотношение 0,8ml/0,2ml, където ΔE е 5.5, малко над приетата граница за отклонение.

До цвят В4 по VITA Classic и 2М3, 3М3, 4М3, 4L2,5 по VITA 3D Master най-много се доближава комбинацията White Resin /Model Resin в съотношение 0,6ml/0,4ml, където ΔE е 3.8, като разликата в цвета попада в допустимата норма на отклонение и остава неуловима за необученото око на пациента. Белеенето най-много се доближава до основния цвят при комбинацията White Resin /Model Resin и съотношение 0,5ml/0,5ml (0.5). При цветовия тон най-много се доближава до основния цвят комбинацията White Resin /Model Resin в съотношение 0,6ml/0,4ml (0.1). Наситеността най-много се

доближава до основния цвят при комбинацията White Resin /Dental LT Clear Resin в съотношение 0,4ml/0,6ml (1.7).

C4 по VITA Classic и 4M1 по VITA 3D Master се постигна само при една комбинация White Resin /Model Resin в съотношение 0,9ml/0,1ml, където ΔE е 3.5.

D4 по VITA Classic и 4L2,5 по VITA 3D Master се постигна само при една комбинация White Resin /Model Resin в съотношение 0,9ml/0,1ml, където ΔE е 5.4.

По отношение на комбинацията White Resin / Model Resin най-добри резултати от гледна точка на ΔE се постигат при съотношение 0.6ml към 0.4ml, където цвета оптически се доближава до B4 по VITA Classic и 3M3 по VITA 3D Master.

Резултатите от изследването показват, че комбинацията на тези две смоли (White Resin и Model Resin) постига най-добри показатели по отношение на ΔE (под приетата норма от 5.0), белеене, наситеност и цветен тон при цвят B4.

Комбинацията White Resin / Dental LT Clear Resin дава най-добър резултат по отношение на ΔE при постигането на цвят B1 по VITA Classic и 0M1 по VITA 3D Master в съотношение 0.6ml към 0.4ml, като тази комбинация може да бъде използвана при изработването на временни конструкции предимно с цвят B1.

Комбинацията Model Resin / Dental LT Clear Resin показва най-добри резултати по отношение на Delta E в съотношение 0.2ml към 0.8ml и постигането на цвят C4 по VITA Classic и 4M1 по VITA 3D Master.

Комбинацията Model Resin / Dental LT Clear Resin показва добри резултати по отношение на Delta E и при цвят B4.

При нито една от комбинациите на използваните смоли не се достигна до постигането на цвят A4, B1, B2, B3 и D4 при ΔE под установената норма.

Изводи по задача 2:

Получените резултати от проведеното изследване за определяне на цвета на получените тестови образци потвърждават първоначално формулираната хипотеза, че различните комбинации на трите изходни смоли влияят върху крайния цвят и покриват широк спектър от възможни цветове при избор за лечение и максимално доближаване до естествения нюанс на зъбите на пациента, в резултат на което се гарантират високите естетични качества на конструкцията. От проведените тестове и анализи може да се каже, че цветовете B1, B4 и C4 могат да бъдат възпроизведени без проблем от новополучените смоли за временни конструкции, докато при цветовете A4, B2, B3 и D4

резултатите се отклоняват значително от допустимата норма за цвetoва разлика, която е видима за пациента и се свързва с евентуален незадоволителен клиничен резултат относно естетиката. Ограниченията на новосъздадените смоли са свързани с това, че не могат да възпроизведат по-голямо разнообразие на цвetoве, а избора се свежда до 7 основни цвета, от които само 3 попадат в границите на допустимото цвetoво отклонение и са незабележими за необученото око на пациента.

Неуточнен остава въпросът дали така постигнатите резултати на конструираните цвetoви рецепри биха покрили изискванията за механично якостни показатели, съобразени с ISO стандартите.

IV.3. Резултати и обсъждане по задача 3

Чрез триточков тест за якост на огъване се извърши сравнителен анализ на определените новополучени смоли.

В групата White Resin[®]/Model Resin[®] са избрани пет комбинации, от които две попадат в зададената допустима норма на отклонение 5.0 на ΔE . Съотношението 0.6ml/0.4ml се доближава най-много до основния цвят 3M3/B4 ($\Delta E=3.8$) следвано от съотношението 0.7ml/0.3ml, което се доближава до основния цвят 2M3/B4 ($\Delta E=4.2$). Останалите три съотношения са над допустимата норма за отклонение - 0.9ml/0.1ml ($\Delta E=6.2$ за 1M3/B2), 0.8 ml/0.2 ml ($\Delta E=5.5$ за 1M2/B3) и 0.1 ml/0.9 ml ($\Delta E=6.1$ за 4M3/A4).

В групата White Resin[®]/Dental LT Clear Resin[®] са избрани четири комбинации, като нито една не попада в допустимата норма на отклонение 5.0: 0.9ml/0.1ml ($\Delta E=5.8$ за 0M3/B1), 0.4ml/0.6ml ($\Delta E=6.9$ за 2M1/B1), 0.3ml/0.7ml ($\Delta E=10.9$ за 3M1) и 0.2ml/0.8ml ($\Delta E=13.1$ за 4M1).

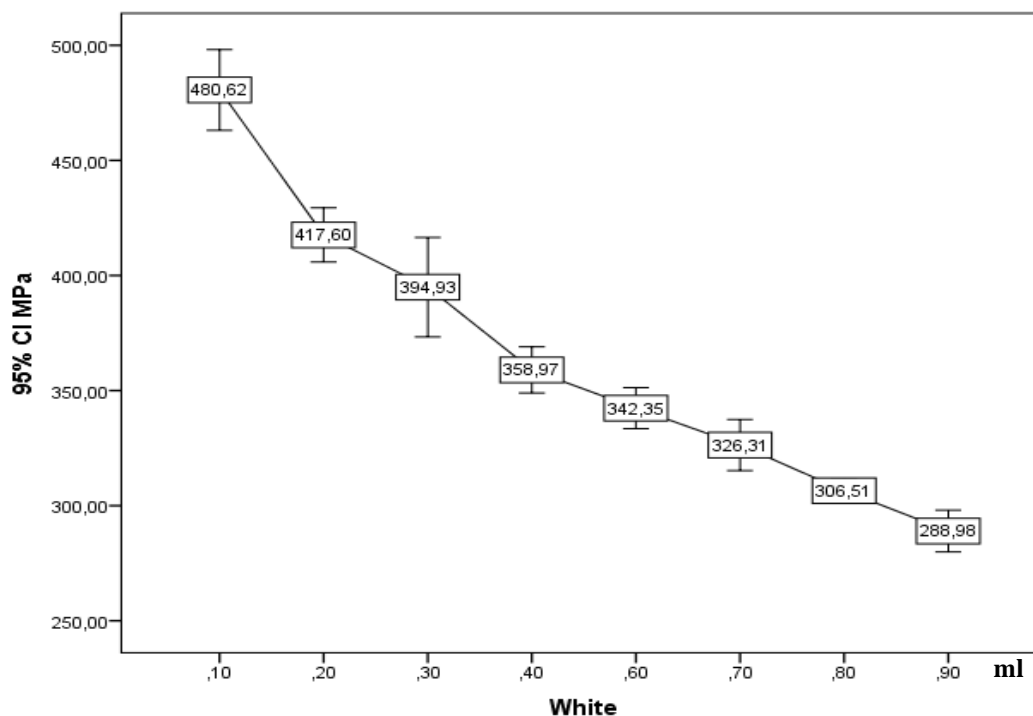
В групата Model Resin[®]/Dental LT Clear Resin[®] се избра само една комбинация 0.5ml/0.5ml при която отклонението попада в допустимата норма за основен цвят 4M3/B4 ($\Delta E=4.5$).

Проведен е сравнителен анализ на изменението на силата на огъване при различни концентрации на White Resin[®]. Резултатите показаха съществена разлика в силата на огъване при отделните концентрации с тенденция към намаляването ѝ при увеличаване на концентрацията на White Resin[®] ($F=112.87$; $p<0.001$) (**Таблица 1**).

Табл. 1. Сравнителен анализ на силата на огъване според различните концентрации на White Resin®.

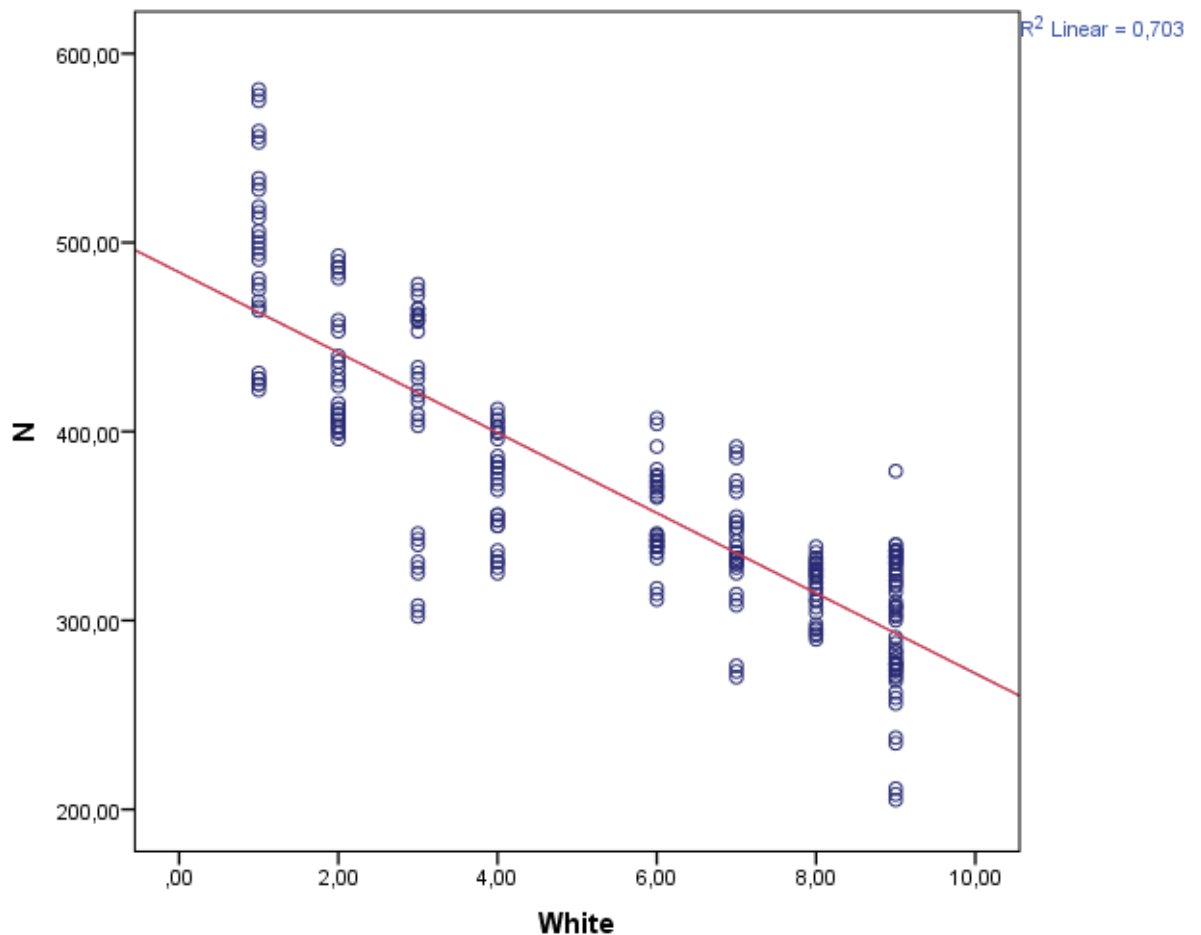
Концентрация на White (в ml)	Брой пробни тела	Средна стойност на силата (N)	Стандартно отклонение (SD)	Стандартна грешка (SEM)	95% Конфиденциален интервал на средната стойност		Минимум	Максимум
					Долна граница	Горна граница		
0.1	30	497,5333	48,67821	8,88738	479,3566	515,7101	422,00	581,00
0.2	30	432,3000	32,62340	5,95619	420,1182	444,4818	396,00	493,00
0.3	30	408,8333	59,91435	10,93881	386,4609	431,2057	302,00	478,00
0.4	30	371,6000	27,75086	5,06659	361,2377	381,9623	325,00	412,00
0.6	30	354,4000	24,74783	4,51832	345,1590	363,6410	311,00	407,00
0.7	30	337,8000	30,80237	5,62372	326,2982	349,3018	270,00	392,00
0.8	30	317,3000	14,47030	2,64190	311,8967	322,7033	290,00	339,00
0.9	60	299,1500	36,39372	4,69841	289,7485	308,5515	205,00	379,00
Общо	270	368,6741	72,85070	4,43355	359,9452	377,4029	205,00	581,00

Разликата между силата на огъване при концентрация на White Resin 0.1 ml и 0.9 ml е 198.38 N в полза на по-малката концентрация. Получените стойности от апарата в Нютони (N) бяха преобразувани в Мегапаскали (MPa), използвайки формулата за якост на огъване, посочена в методиката по задачата. Средните стойности при различните концентрации от тази група са представени на **Фиг.57**.



Фиг. 57. Средна стойност на якостта на огъване според различните концентрации на White Resin® в MPa.

От друга страна се установи и силна обратнопропорционална зависимост между силата на огъване при различните концентрации на White Resin[®] ($r=-0.839$; $p<0.001$), която показва, че концентрацията на White Resin[®] оказва 70.3 % влияние върху силата на огъване на пробните тела (Фиг. 58).



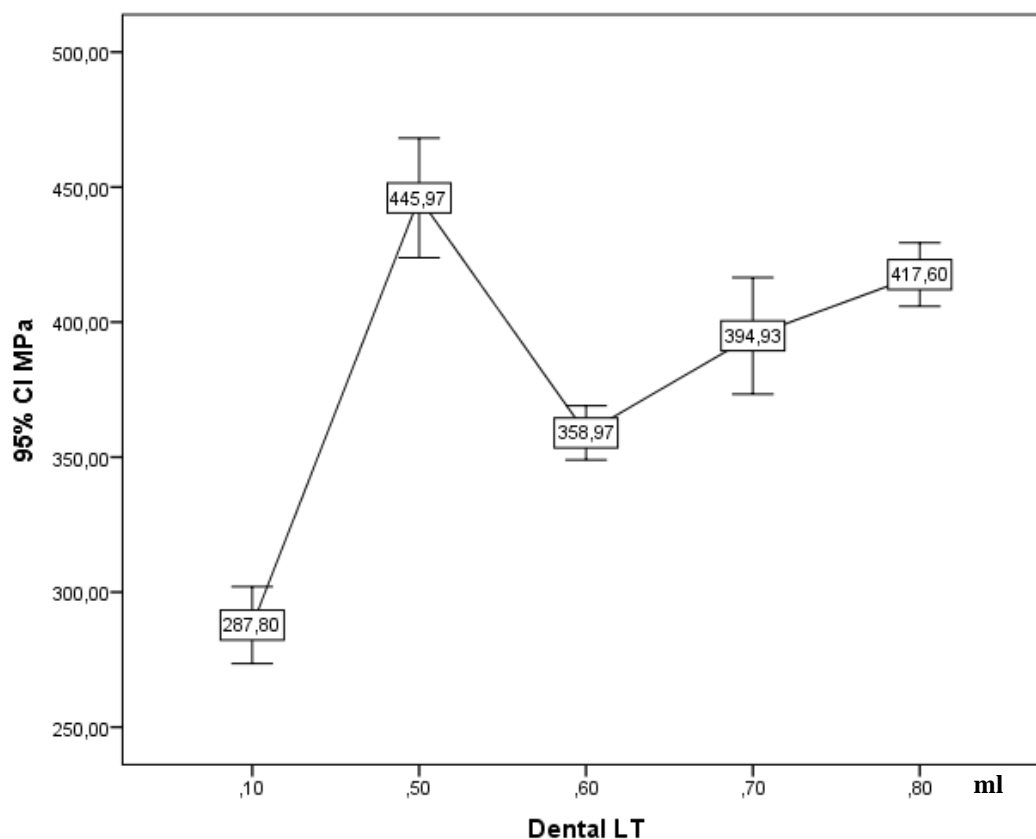
Фиг. 58. Корелационен анализ между White Resin и силата на огъване.

При извършването на сравнителен анализ на силата на огъване при различни концентрации на Dental LT Clear Resin се установи наличието на съществена разлика и тенденция към увеличаване на силата при по-високи концентрации на тази смола ($F=55.81$; $p<0.001$) (Табл. 2). По-ниските концентрации на Dental LT Clear Resin са свързани с по-малки стойности на якост на огъване.

Таблица 2. Сравнителен анализ на силата на огъване според различните концентрации на Dental LT Clear Resin.

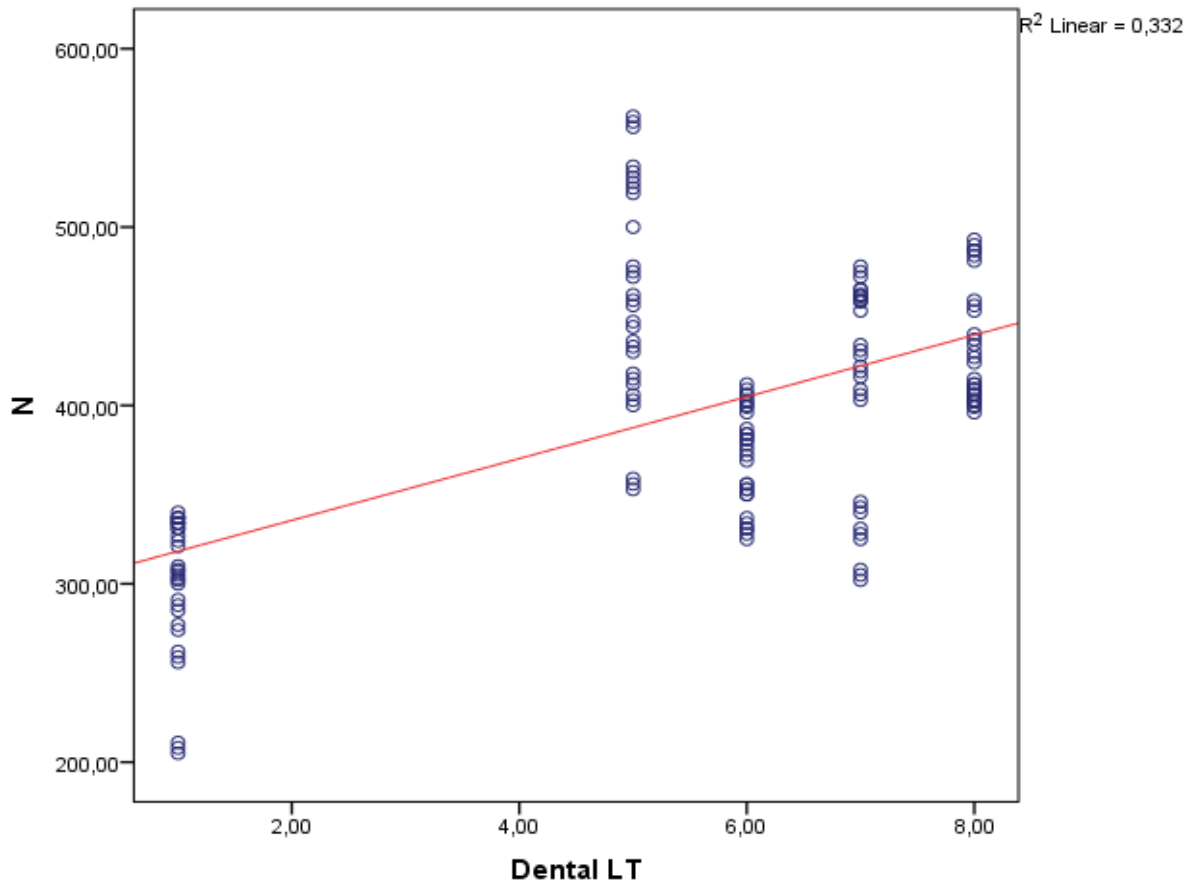
Концентрация на Dental LT (в ml)	Брой пробни тела	Средна стойност на силата (N)	Стандартно отклонение (SD)	Стандартна грешка (SEM)	95% Конфиденциален интервал на средната стойност		Минимум	Максимум
					Долна граница	Горна граница		
0.1	30	297,9333	39,43212	7,19929	283,2091	312,6575	205,00	340,00
0.5	30	461,6667	61,39096	11,20841	438,7429	484,5904	353,00	562,00
0.6	30	371,6000	27,75086	5,06659	361,2377	381,9623	325,00	412,00
0.7	30	408,8333	59,91435	10,93881	386,4609	431,2057	302,00	478,00
0.8	30	432,3000	32,62340	5,95619	420,1182	444,4818	396,00	493,00
Общо	150	394,4667	72,88602	5,95112	382,7072	406,2262	205,00	562,00

Получените стойности от апарата в Нютони (N) бяха преобразувани в Мегапаскали (MPa), използвайки формулата за якост на огъване, посочена в методиката по задачата. Средните стойности при различните концентрации от тази група са представени на **Фиг. 59**.



Фиг. 59. Средна стойност на силата на огъване според различните концентрации на Dental LT в MPa.

Установи се и значителна правопрпорционална зависимост между силата на огъване при различните концентрации на Dental LT Clear Resin ($r=0.576$; $p<0.001$), която показва, че концентрацията на тази смола оказва влияние 33.2% върху силата на огъване на пробните тела (**Фиг. 60**).



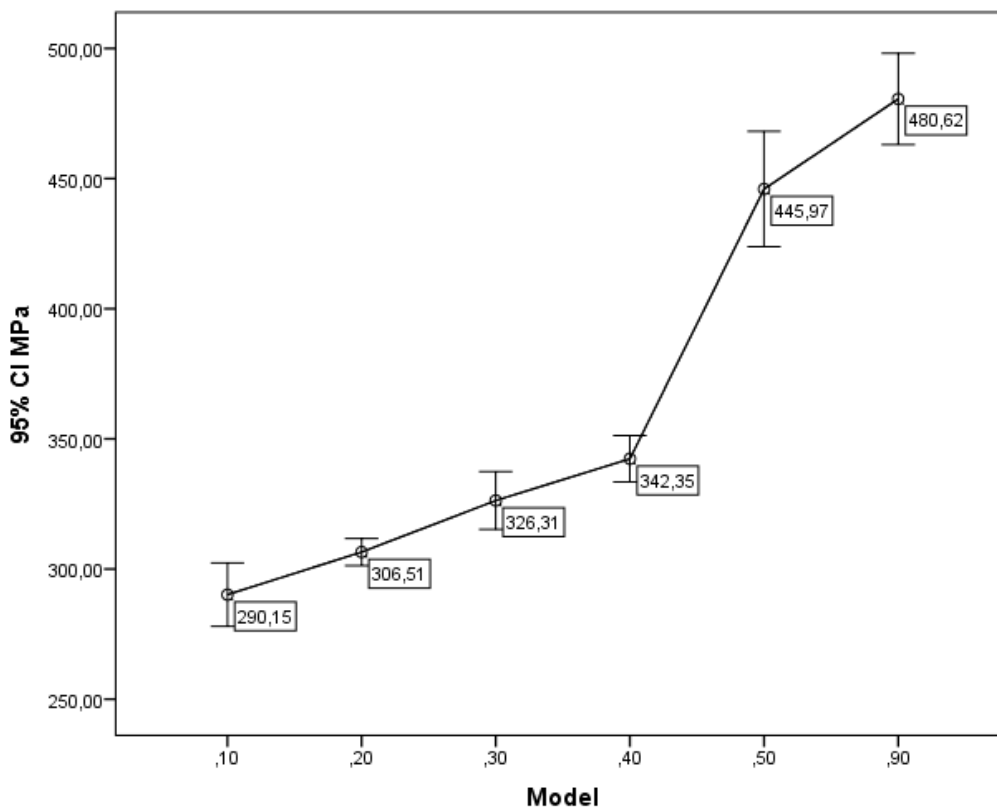
Фиг. 60. Корелационен анализ между Dental LT Clear Resin и силата на огъване.

Подобна тенденция се наблюдава и при концентрация на Model Resin. Сравнителният анализ на силата на огъване при различни концентрации на тази смола показва наличието на съществена разлика и тенденция към увеличаване на силата при нейни по-високи концентрации ($F=132.02$; $p<0.001$) (**Табл. 3**). По-ниските концентрации на Model Resin са свързани с по-малки стойности на якост на огъване.

Табл. 3. Сравнителен анализ на силата на огъване според различните концентрации на Model Resin.

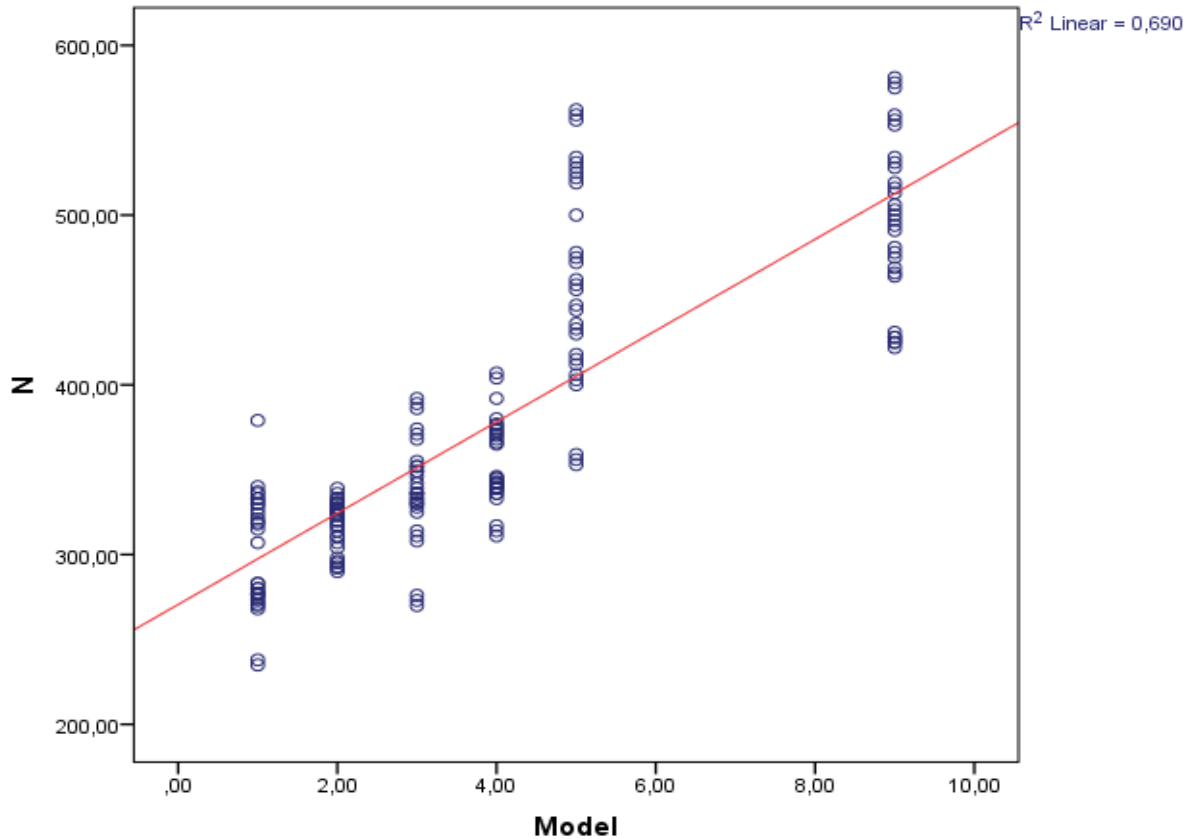
Концентрация на Model (в ml)	Брой пробни тела	Средна стойност на силата (N)	Стандартно отклонение (SD)	Стандартна грешка (SEM)	95% Конфиденциален интервал на средната стойност		Минимум	Максимум
					Долна граница	Горна граница		
0.1	30	300,3667	33,71532	6,15555	287,7772	312,9562	235,00	379,00
0.2	30	317,3000	14,47030	2,64190	311,8967	322,7033	290,00	339,00
0.3	30	337,8000	30,80237	5,62372	326,2982	349,3018	270,00	392,00
0.4	30	354,4000	24,74783	4,51832	345,1590	363,6410	311,00	407,00
0.5	30	461,6667	61,39096	11,20841	438,7429	484,5904	353,00	562,00
0.9	30	497,5333	48,67821	8,88738	479,3566	515,7101	422,00	581,00
Общо	180	378,1778	83,81625	6,24729	365,8500	390,5056	235,00	581,00

Получените стойности от апарата в Нютони (N) бяха преобразувани в Мегапаскали (MPa), използвайки формулата за якост на огъване, посочена в методиката по задачата. Средните стойности при различните концентрации от тази група са представени на **Фиг. 61**.



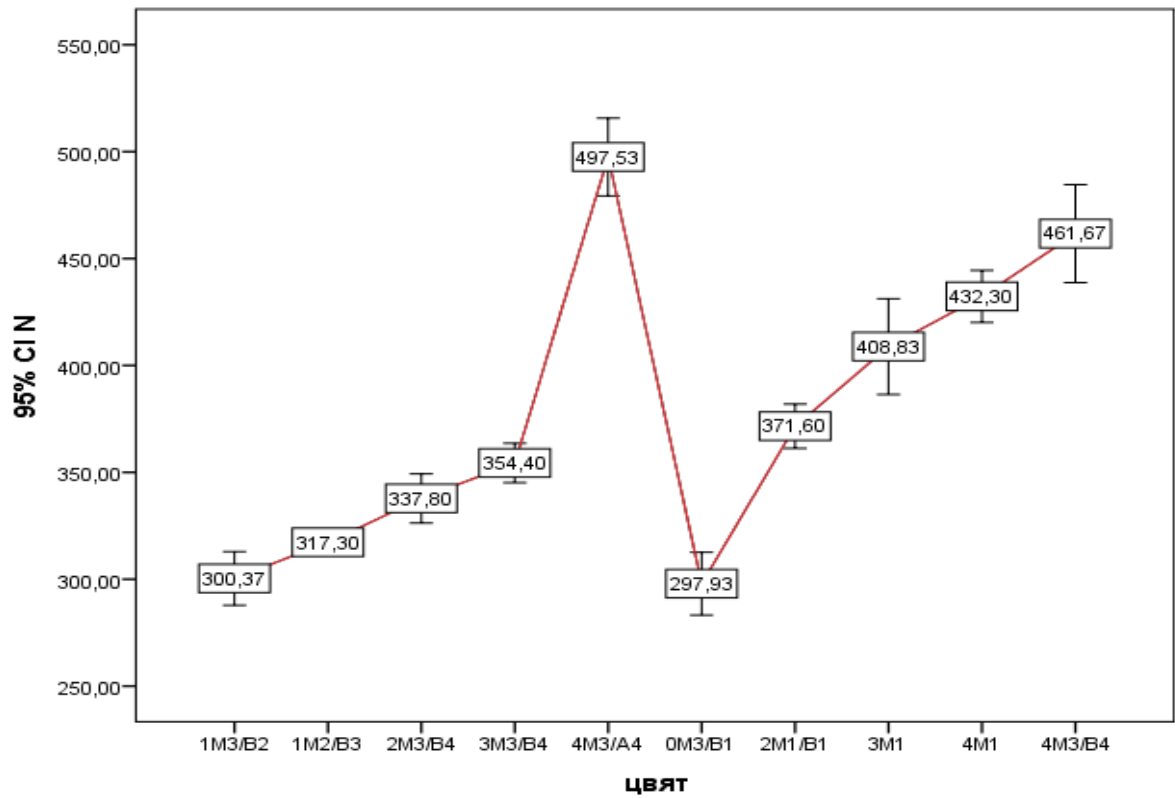
Фиг. 61. Средна стойност на силата на огъване според различните концентрации на Model Resin в MPa.

Установи се и силна правопрпорционална зависимост между силата на огъване при различните концентрации на Model Resin ($r=0.831$; $p<0.001$), която показва, че концентрацията на тази смола оказва влияние 69.0 % върху силата на огъване на пробните тела (**Фиг. 62**).

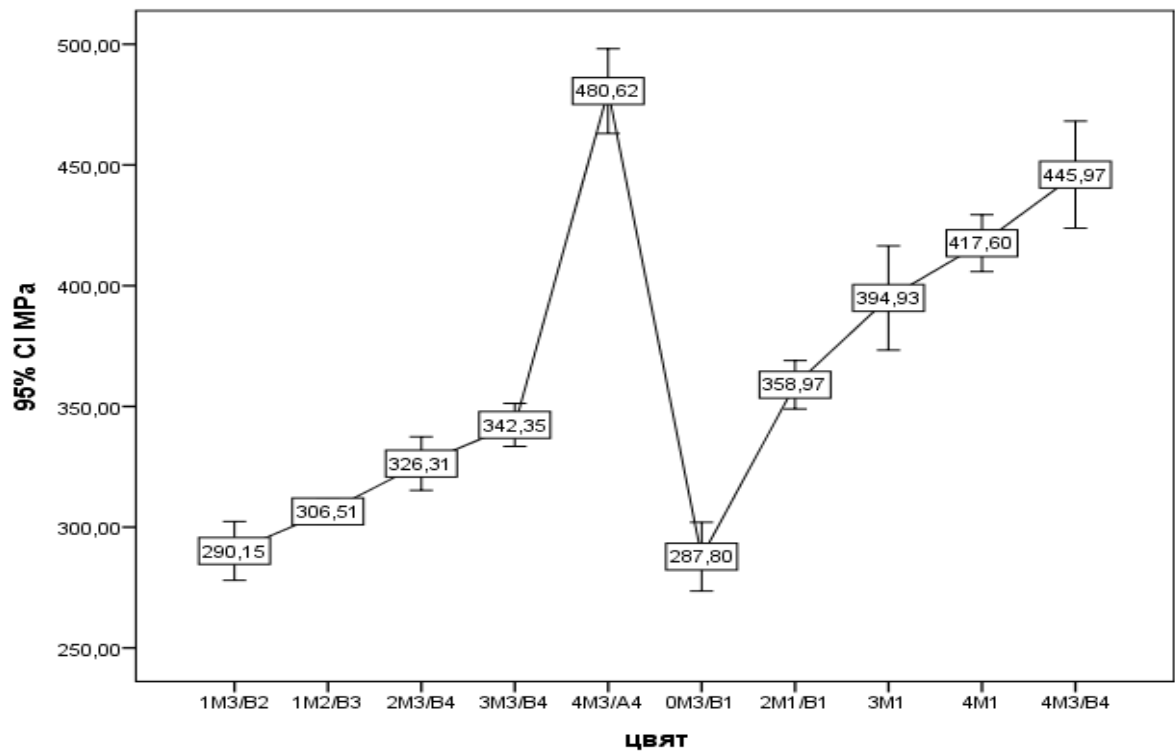


Фиг. 62. Корелационен анализ между Model Resin и силата на огъване.

Установява се съществена разлика в силата на огъване според цвета на пробните тела ($F=90.53$; $p<0.001$) (**Фиг. 63**). Най-високи стойности на якост на огъване са постигнати при цвят 4МЗ/А4, а най-ниски при цвят 0МЗ/В1 (**Фиг. 64**).



Фиг. 63. Средни стойности на силата на огъване според цвета.



Фиг. 64. Средни стойности на якостта на огъване според цвета в MPa.

Обсъждане по задача 3

Механично-якостните качества на новополучените смоли зависят от съотношенията на използваните изходни смоли, като съществено значение за тяхното повишаване оказва концентрацията на смолите Dental LT Clear[®] и Model Resin[®].

Изпитванията бяха избрани въз основа на международните стандарти: ISO 10477 “Dentistry – Polymer-based crown and bridge materials” и ISO 4049 “Dentistry- Polymer-based restorative materials”. В стандарт ISO 10477 посочената за допустима минимална якост на огъване е по-голяма или равна на 50MPa, а в стандарт ISO 4049 тя е минимум 100 MPa. Въпреки, че се установява съществена разлика в якостта на огъване на трите използвани изходни смоли може да се каже, че всички са над допустимата минимална граница от 50 MPa и 100 MPa.

Резултатите от изследването показват, че при комбинациите с White Resin се наблюдава понижаване на якостта на огъване с увеличаване на концентрацията и по-скоро тази смола има отношение към белеенето на протезната конструкция отколкото към нейната якост на огъване.

Използването на Dental LT Clear Resin в различни концентрации също показва съществена разлика в якостта на огъване, но се установява положителна зависимост между повишената концентрация на смолата и якостта на огъване.

Третата смола използвана в изследването-Model Resin показва най-силна положителна връзка между концентрацията и якостта на огъване, като може да се каже, че комбинациите с висока концентрация на Model Resin се характеризират с високи стойности на якост на огъване и са най-устойчиви на механични фрактури.

С най-голяма якост на огъване се открие комбинацията White Resin / Model Resin в съотношение 1/9, съответстващо на цвят А4/4М3 – 480.62 MPa, но според характеристиките на цвета се наблюдава значително отклонение, което е видимо за пациента. Конструкциите изработени от тази смола се характеризират с високи механично-якостни свойства, но с нисък естетичен показател, което ги прави подходящи за възстановявания в дисталните области на съзъбието където дъвкателната сила е по-висока. Високият показател на якост на огъване прави тази новосъздадена смола подходяща за мостови конструкции.

При конструкциите, където има висока концентрация на White Resin логично се наблюдават по-ниски стойности на якостта на огъване, но имат високи естетични характеристики, което прави конструкциите по-предпочитани от пациентите особено във

фронталната област на съзъбието (White Resin / Model Resin – в съотношение 9/1, съответстващо на цвят B2/1M3 и White Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 9/1, съответстващо на цвят B1/0M3). В тази връзка е желателно тези смоли да се използват за единични възстановявания с временни корони.

Установена е обратнопропорционална зависимост между силата на огъване и концентрацията на White Resin, която показва, че с повишаването на концентрацията на смолата намаляват нейните механично-якостни качества.

Концентрацията на смолите Dental LT Clear Resin и Model Resin корелира положително със силата на огъване и показва, че повишаването на концентрацията води до подобряване на механично-якостните качества на смолите.

Комбинацията между White Resin и Dental LT Clear Resin или Model Resin се свързва с по-добри естетични свойства, но с по-ниски механично-якостни качества, докато комбинацията между Dental LT Clear Resin и Model Resin се свързва с по-добри механично-якостни качества, но и с по-ниска естетика.

Разликата в механично-якостните и естетични качества прави смолите предпочитани за определени участъци на съзъбието, комбинациите с високи концентрации на White Resin могат да бъдат използвани за изработването на временни неснимаеми конструкции във фронталната област, докато комбинациите с високи концентрации на Dental LT Clear Resin и Model Resin са подходящи за възстановявания в дисталната област.

Комбинацията на двете смоли с положителна зависимост между концентрацията на смолата и якостта на огъване също показва високи механично-якостни свойства (Model Resin / Dental LT Clear Resin – в съотношение 5/5, съответстващо на цвят B4/4M3), но разликата в цвета е над допустимата норма за отклонение, което прави конструкциите изработени от тази смола подходящи за дисталната област на съзъбието.

Изводи по задача 3:

Оптималният вариант за временни конструкции, при които се постигат едновременно високи естетични и механични характеристики е при комбинацията White Resin / Dental LT Clear Resin в съотношение 4/6, съответстващо на цвят B1/2M1. При тези конструкции концентрацията на White Resin отговаря за постигането на един от най-препочитаните от пациентите цвят (B1), отговарящ на цвета на избелените зъби, докато

концентрацията на Dental LT Clear Resin се свързва с добрите механични характеристики. При тези условия комбинацията на White Resin / Dental LT Clear Resin в съотношение 4/6 прави смолата подходяща за използване както във фронталния, така и в дисталните области на съзъбието. Концентрацията на Dental LT Clear Resin до 60% се свързва с трансперентността на естественото съзъбие, като допринася за имитирането на емайла на зъбите и постигането на по-близък до естествения цвят на твърдите зъбни тъкани.

Неуточнен остава въпросът дали е възможно модифицирането на смолите които са с по-ниска якост на опън така, че да се постигне оптимална, дори по-висока здравина от заложените в стандартите в случаите когато е необходимо да се прилагат смоли с по-ниска здравина в зони подложени на голямо натоварване за нуждите на дълготрайновременото протезиране.

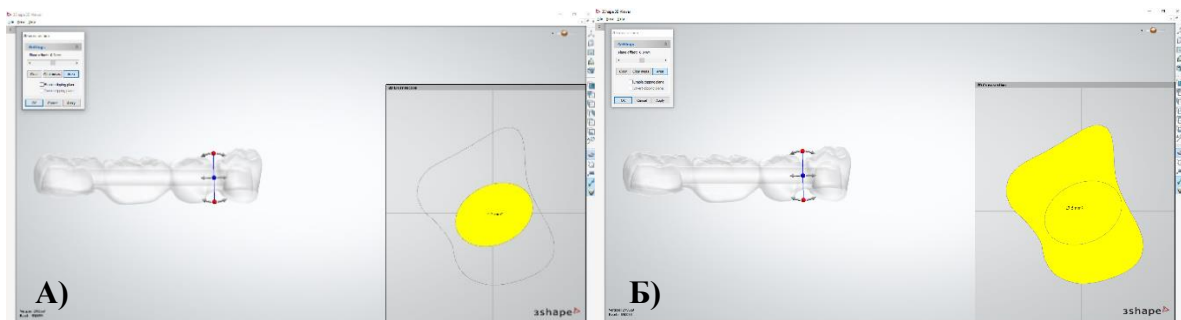
IV.4. Резултати и обсъждане по задача 4

Резултатите от измерването при мостова конструкция 44-47, чрез направената модификация позволяват обемно заместване с хетерогенен материал в областта на свързките в проценти както следва:

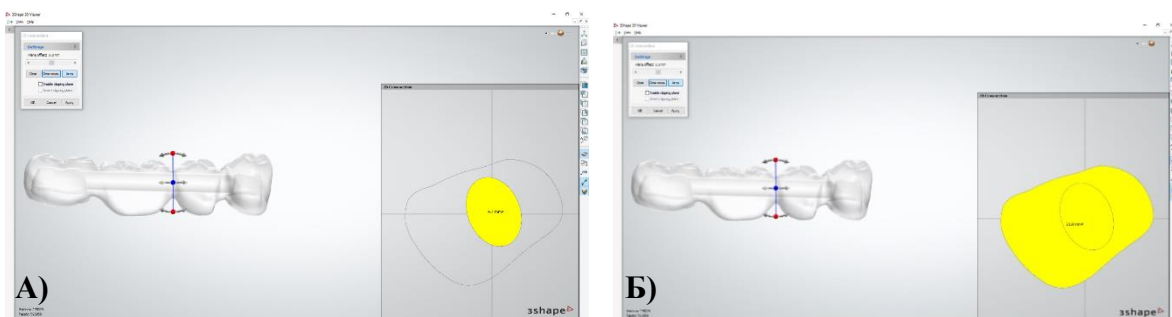
- между четвърти и пети зъб-27,37% (Фиг. 65);
- между пети и шести зъб 22,58% (Фиг. 66);
- между шести и седми зъб 18,84% (Фиг. 67);
- в областта на най-голямото сечение достига до 9,53% (Фиг. 68).

Респективно в линейно отношение спрямо дължината на най-малкото сечение на същите места възможностите за заместване са:

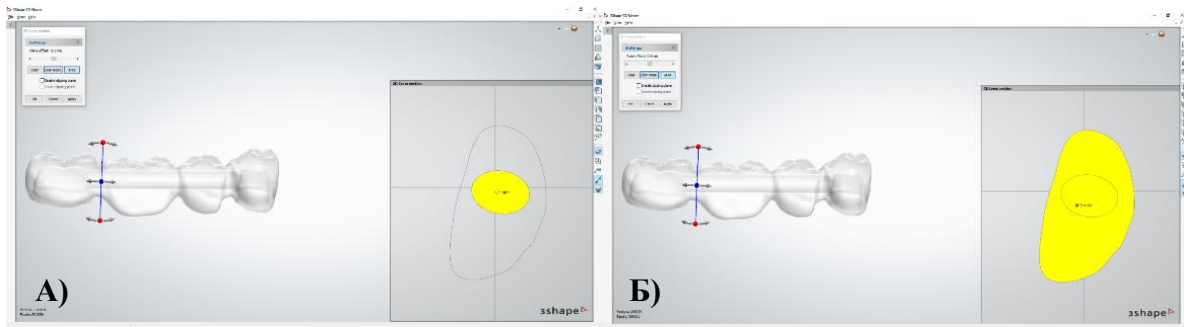
- между четвърти и пети зъб -88,23% (Фиг. 69);
- между пети и шести зъб -75,9% (Фиг. 70);
- между шести и седми зъб-74,85% (Фиг. 71);
- в областта на най-голямото сечение до 64,29% (Фиг. 72).



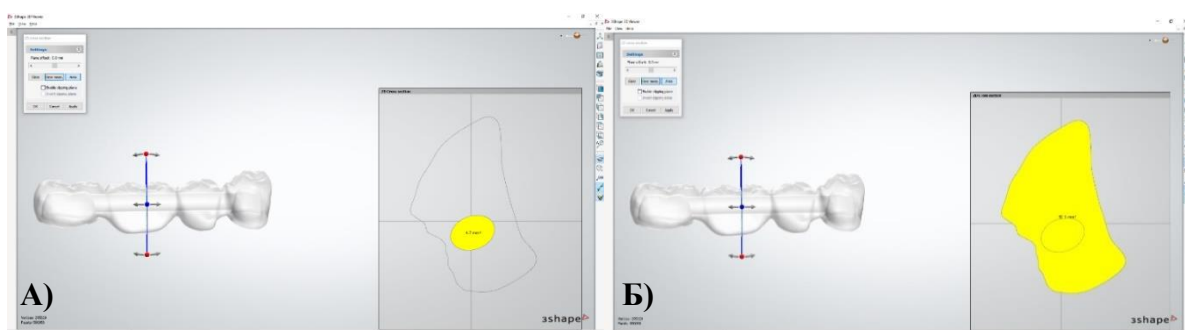
Фиг. 65. Напречно сечение в областта на свързките между зъб 44 и 45 и процентно разпределение на заеманата площ. **А)** Напречно сечение на канала;
Б) Площ на свързката.



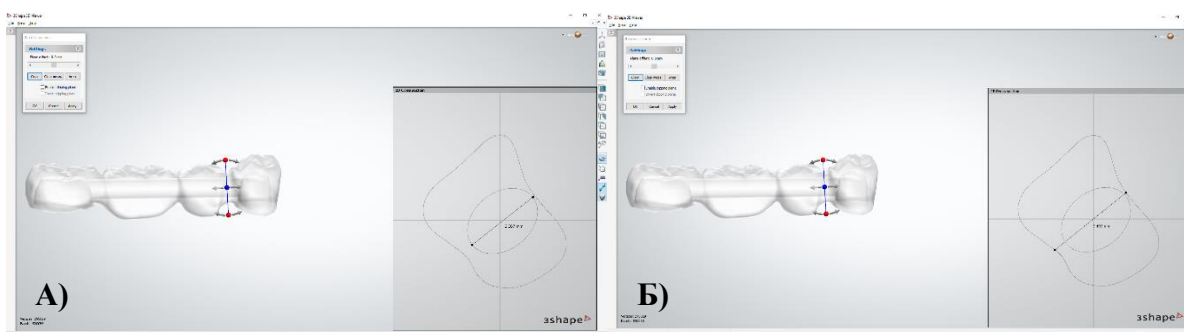
Фиг. 66. Напречно сечение в областта на свързките между зъб 45 и 46 и процентно разпределение на заеманата площ. **А)** Напречно сечение на канала;
Б) Площ на свързката.



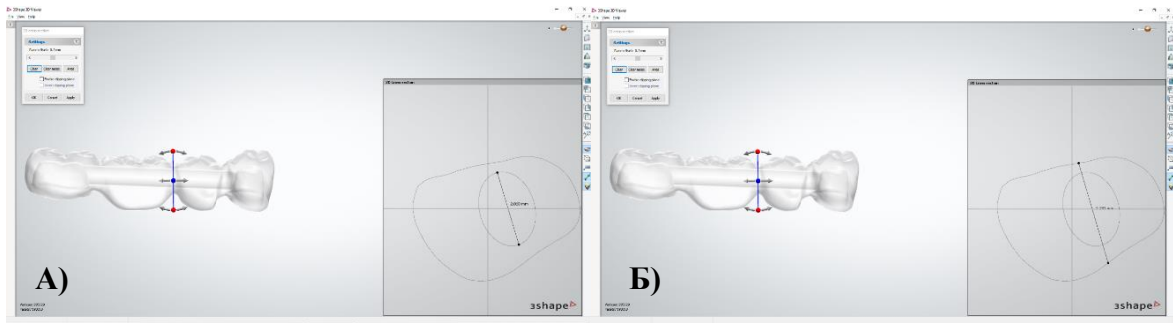
Фиг. 67. *Напечно сечение в областта на свързките между зъб 46 и 47 и процентно разпределение на заеманата площ. А) Напечно сечение на канала; Б) Площ на свързката.*



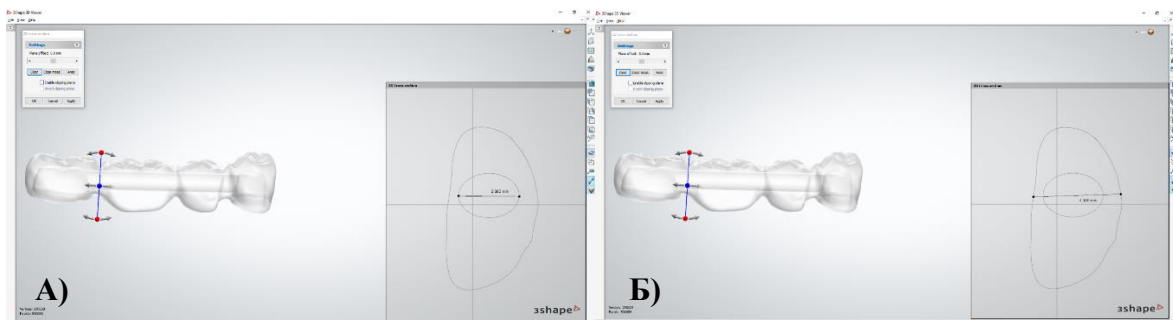
Фиг. 68. *Най-голямото сечение в областта на мостово тяло 46 и процентно разпределение на заеманата площ. А) Напечно сечение на канала; Б) Площ на сечението.*



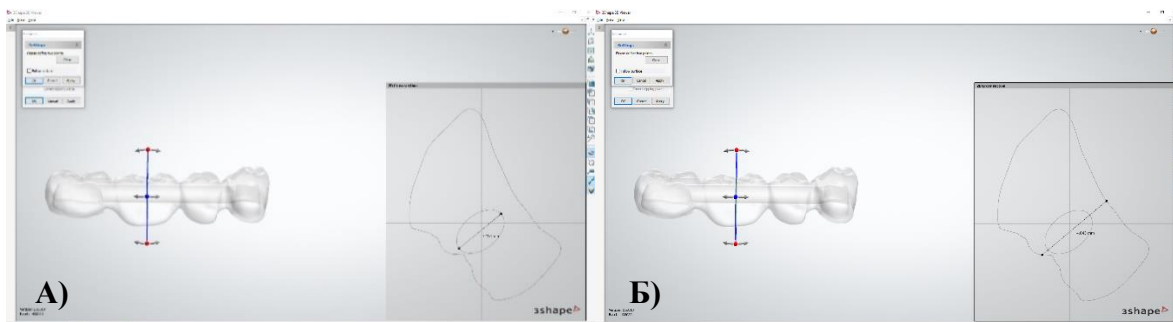
Фиг. 69. *А) Широчина на сечението в милиметри между зъб 44 и 45, и процентно съотношение към цялата му широчина; Б) Широчина на сечението.*



Фиг. 70. А) Ширина на сечението в милиметри между зъб 45 и 46, и процентно съотношение към цялата му ширина; Б) Ширина на сечението.



Фиг. 71. А) Ширина на сечението в милиметри между зъб 46 и 47, и процентно съотношение към цялата му ширина; Б) Ширина на сечението.



Фиг. 72. А) Ширина на сечението в областта на мостовото тяло на зъб 46 и процентно съотношение към цялата му ширина; Б) Ширина на сечението.

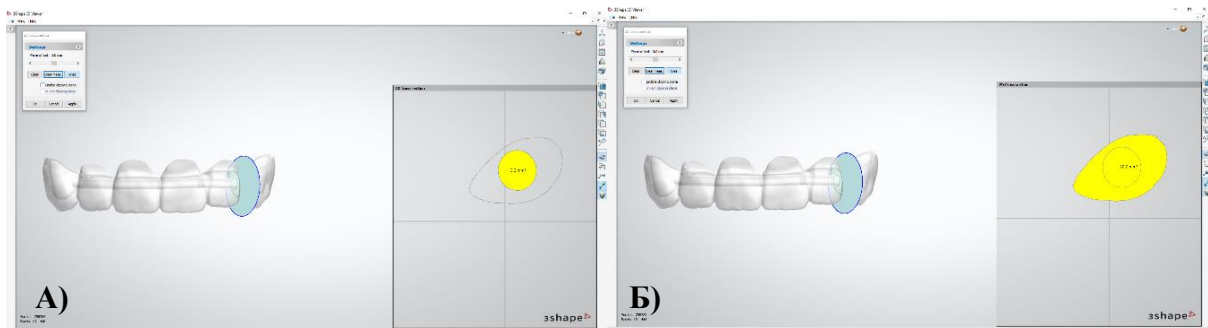
Резултатите от измерването при мостова конструкция 13-23, чрез направената модификация позволяват обемно заместване с хетерогенен материал в областта на свързките в проценти както следва:

- между втори и трети зъб-25.39% (Фиг. 73);
- между първи и втори зъб- 22,06% (Фиг. 74);

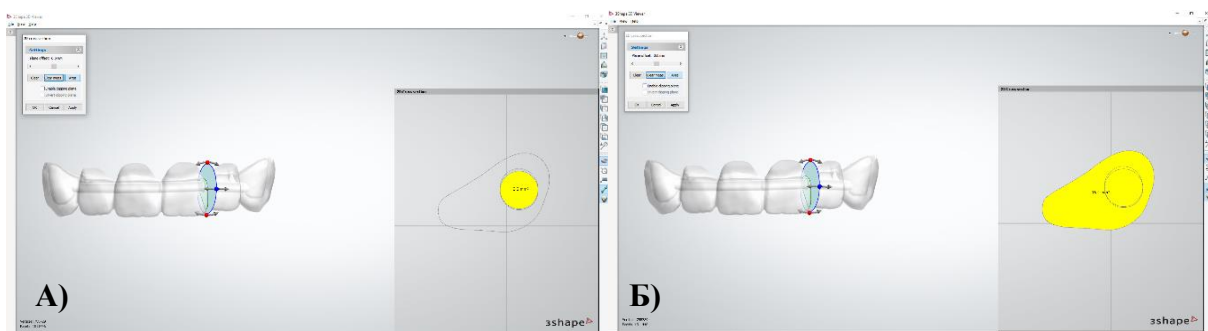
- между двата централни резца- 19.2% (Фиг. 75);
- в областта на най-голямото сечение до 7,9% (Фиг. 76).

Респективно в линейно отношение спрямо дължината на най-малкото сечение на същите места възможностите за заместване са:

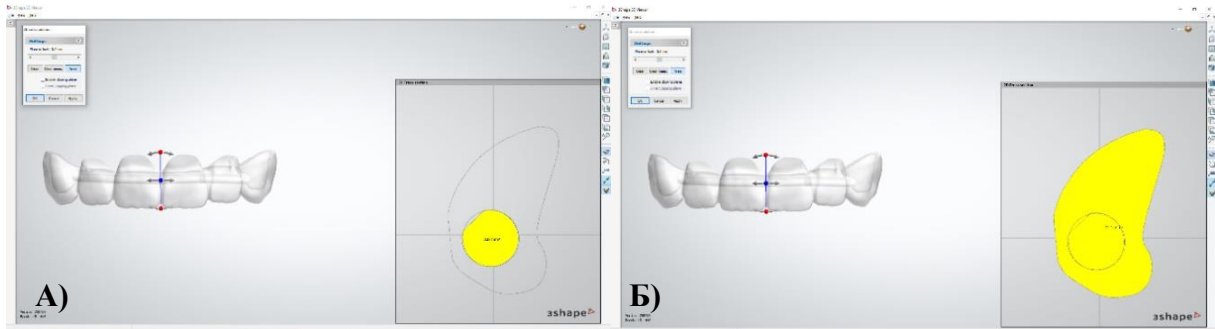
- между втори и трети зъб-38.29% (Фиг. 77);
- между първи и втори зъб-41,92% (Фиг. 78);
- между двата централни резца-40,32% (Фиг. 79);
- в областта на най-голямото сечение до 37.7% (Фиг. 80).



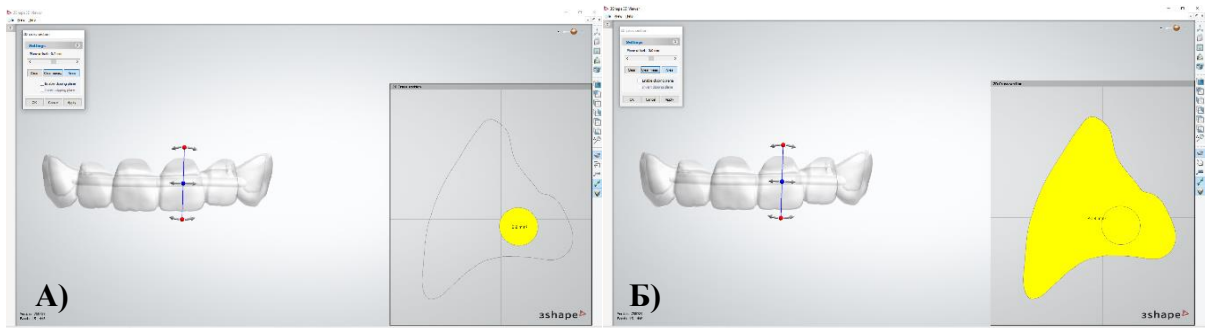
Фиг. 73. Напречно сечение в областта на свързките между зъб 22 и 23 и процентно разпределение на заеманата площ. **А)** Напречно сечение на канала;
Б) Площ на свързката.



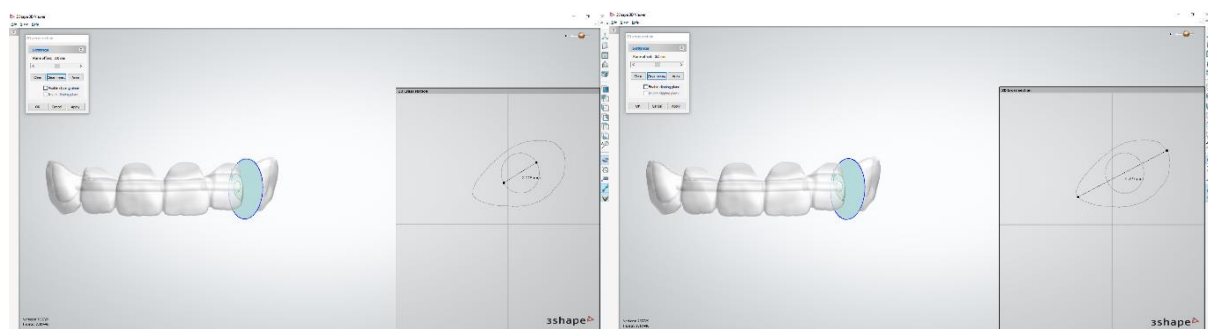
Фиг. 74. Напречно сечение в областта на свързките между зъб 21 и 22 и процентно разпределение на заеманата площ. **А)** Напречно сечение на канала;
Б) Площ на свързката.



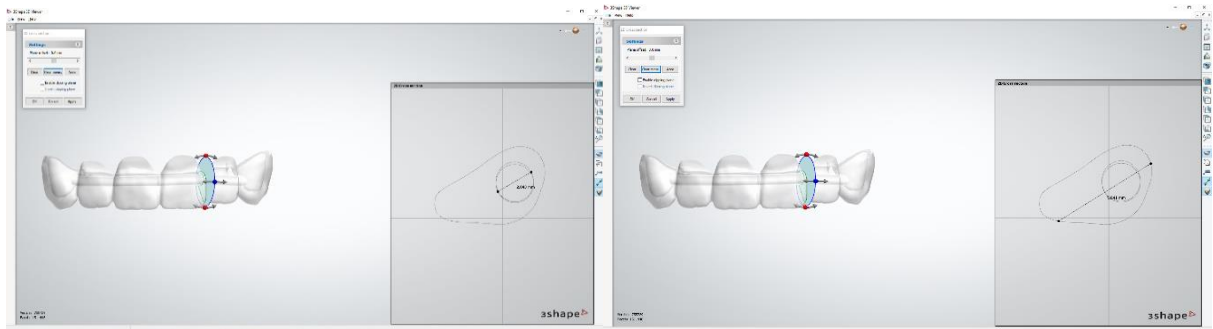
Фиг. 75. Напречно сечение в областта на свързките между двата централни резеца и процентно разпределение на заеманата площ. **А)** Напречно сечение на канала; **Б)** Площ на свързката.



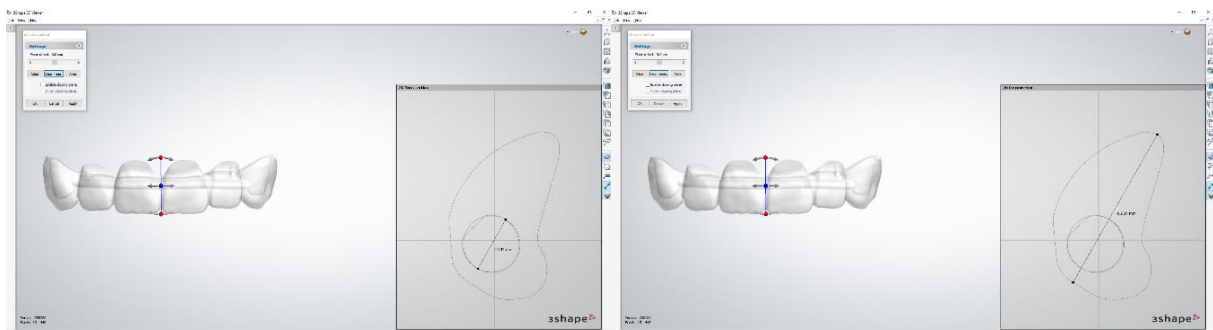
Фиг. 76. Напречно сечение в областта на най-голямото сечение на мостово тяло 21 и процентно разпределение на заеманата площ. **А)** Напречно сечение на канала; **Б)** Площ на свързката.



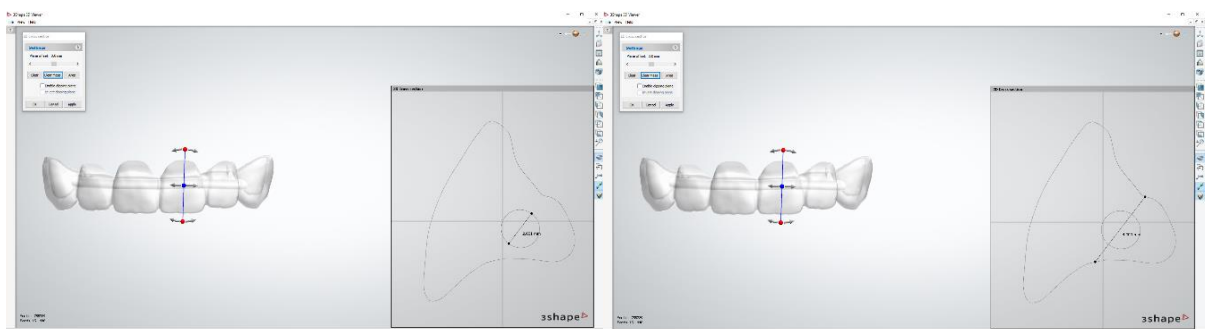
Фиг. 77. **А)** Ширина на сечението в милиметри между зъб 22 и 23, и процентно съотношение към цялата му ширина; **Б)** Ширина на сечението.



Фиг. 78. А) Ширина на сечението в милиметри между зъб 21 и 22, и процентно съотношение към цялата му ширина; **Б)** Ширина на сечението.



Фиг. 79. А) Ширина на сечението в милиметри двата централни резца и процентно съотношение към цялата му ширина; **Б)** Ширина на сечението.



Фиг. 80. А) Ширина на сечението в областта на мостовото тяло на зъб 21 и процентно съотношение към цялата му ширина; **Б)** Ширина на сечението.

Изводи по задача 4

Създадената модификация позволява формирането на пространство, което да бъде заместено при необходимост. В критичните, за поява на фрактури, зони в областта на свързките на мостовите тела с мостокрепителите се представя значително място за заместване. Съществена полза е и възможността за подсилване в линейна посока насочена по посока на действие на дъвкательните сили, което е видно от високите измерени стойности на заместването във вертикална посока и при двете конструкции.

Така получените резултати и при двата моста доказват категорично, че чрез предложената модификация се формира едно значително пространство, което може да бъде запълнено с материал с различна структура като например фибро влакна, или в новообразуваната кухина да бъде инжектиран материал, който да доминира със своите механично-якостни характеристики над, тези които се явяват като ограничение по предните задачи от настоящата разработка.

Остава недоизяснен въпросът как и какви материали биха допринесли оптимално за повишаване на якостта в зоните на свързване, но определено предложената модификация, представлява ключов фактор за бъдещи изследвания в тази насока и разнообразие за проучване на влиянието от взаимодействията с различни материали.

V. ИЗВОДИ

1. Използването на *egg-shell* принтирани временни корони от Dental LT Clear Resin[®] (Formlabs[™]) оказва влияние върху използваните цветове, което ограничава масовото им приложение. Употребата им във видимата естетична зона не е препоръчително и биха могли да се прилагат само в дисталните участъци от съзъбието.
2. Проведените тестове и анализи показват, че различните комбинации на трите изходни смоли: *White Resin*[®], *Model Resin*[®] и *Dental LT Clear Resin*[®] влияят върху крайния цвят и осигуряват спектър от 7 възможни цвята. Цветовете B1, B4 и C4 могат да се възпроизведат с голяма точност при стойности на цветовото отклонение ΔE под зададената норма. Получените цветове A4, B2, B3 и D4 надвишават приетата допустима норма на ΔE и тяхното отклонение е видимо за пациента.
3. Комбинациите с високи концентрации на *White Resin* могат да бъдат използвани за изработването на временни неснимаеми конструкции във фронталната област, докато комбинациите с високи концентрации на *Dental LT Clear Resin* или *Model Resin* са подходящи за възстановявания в дисталната област.
4. Оптималният вариант за временни конструкции, при които се постигат едновременно високи естетични и механични характеристики е при комбинацията *White Resin* / *Dental LT Clear Resin* в съотношение 4/6, съответстващо на цвят B1/2M1.
5. Концентрацията на смолата *White Resin* отговаря за постигането на един от най-препочитаните от пациентите цвят, отговарящ на цвета на избелените зъби -B1, а повишената концентрация на *Dental LT Clear Resin* осигурява по-добрите механични характеристики на смолите.
6. Концентрацията на смолата *Dental LT Clear Resin* до 60% се свързва с трансперентността на естественото съзъбие, като допринася за имитирането на емайла на зъбите и постигането на по-близък до естествения цвят на твърдите зъбни тъкани.
7. Всички комбинации между трите изходни смоли: *White Resin*[®], *Model Resin*[®] и *Dental LT Clear Resin*[®] показват якост на огъване над минимално допустимата граница посочена в международните стандарти *ISO 10477* и *ISO 4049*.
8. Създадената софтуерна модификация на дигиталните файлове позволява формирането на значително пространство, което може да бъде запълнено с материал с различна структура фибро влакна или в новообразуваната кухина да бъде инжектиран материал с по-високи механичноякостни характеристики.
9. В критичните зони за поява на фрактури-в областта на свързките на мостовите тела с мостокрепителите, заместването с хетерогенен материал с по-голяма якост на огъване би повишил цялостната здравина на конструкциите и позволява използването им като метод за дълготрайно временно протезиране.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящият дисертационен труд е продиктуван от все по-бързо развиващите се адитивни технологии и навлизането им в денталната медицина. От друга страна има все още неясноти относно приложението им във временното протезиране.

Резултатите от проведените наши изследвания потвърждават възможностите за приложение на временните конструкции принтирани със стереолитографски принтер. Цветообразуването на провизорните възстановявания е резултат от действието на редица фактори като физичните качества на изходните смоли- техният цветен тон, плътност и белеене. За тази цел по **задача 1** бе изследвано и доказано, че приложението *egg-shell* принтирани временни конструкции от *Dental LT Clear Resin*[®] (*Formlabs*[™]) е подходящо само за дисталните области на съзъбието поради отклонението, което създава тази смола върху подлежащия цвят.

Ограниченият избор от налични цветове за 3D-принтиране на временните възстановявания обуславя поставената ни от нас цел за разработването на рецепти за смоли по **задача 2**, които да покрият по-широк спектър от цветови стандарти. Създадените от нас възможни цветове покриват изцяло *B*-гамата по разцветката *Vita Classic*[®], както и по-тъмните тонове от останалите гамите- *A4*, *C4* и *D4*. Установена е логическа и закономерна промяна в цвета на получените смоли при изменение на съотношението на изходните *White Resin*[®], *Model Resin*[®] и *Dental LT Clear Resin*[®]. Доказано е увеличаване на стойностите на белеенето при повишаване на концентрацията на *White Resin*[®] в смолата, а също така и, че количеството на *Model Resin*[®] влияе върху цветния тон. Отчетено е влиянието на концентрацията на *Dental LT Clear Resin*[®] върху плътността и полупрозрачността на цвета.

Относно механично-якостните качества на новополучените смоли за 3D печат на временни конструкции бе установено чрез извършване на специално създадена опитна постановка по **задача 3**, че те отговарят напълно на минималните изисквания за якост на огъване заложи в международните стандарти *ISO 10477* и *ISO 4049*. Въпреки удовлетворителните резултати от механично-якостните качества на изследваните смоли се достигна до извода, че високите концентрации на *White Resin*[®] водят до понижаване на якостта на огъване, а респективно тези на *Model Resin*[®] и *Dental LT Clear Resin*[®] увеличават якостта им.

С оглед получените резултати по предходната задача и с цел създаване на условия за повишаване на механично-якостните качества на временните конструкции от тези смоли за нуждите на дълготрайновременното протезиране бе създадена софтуерна модификация на дигиталните им файлове в **задача 4**. Доказа се формирането на значително пространство в обема на конструкциите, което дава възможност за запълването му с хетерогенен материал с по-високи стойности на якост на огъване, които да повишат цялостната здравина на конструкциите, особено когато се разполагат в зони с повишено дъвкателно натоварване и е необходим по-дългият им престой в устната кухина.

VII. ПРИНОСИ

Приноси с научно-приложен характер:

• Приноси с оригинален за страната характер:

1. За първи път у нас е регистрирано и документирано влиянието на *egg-shell* принтираните временни конструкции от *Dental LT Clear Resin® (Formlabs™)* върху цветовете на подлежащите структури.
2. За първи път се комбинират *White Resin®*, *Model Resin®* и *Dental LT Clear Resin®* с цел създаване на рецепти за смоли, пресъздаващи пропорционално и закономерно цветовете стандарти, логически свързани с теорията на Munsell за триизмерно цветообразуване.
3. Доказана е якостта на огъване на новополучените смоли според международните стандарти *ISO 10477* и *ISO 4049*.

Приноси с приложен характер:

• Приноси с оригинален за страната характер:

1. Създадени са 7 цвята смоли подходящи за 3D печат на временни неснемаеми конструкции- B1, B2, B3, B4, A4, C4 и D4.
2. Създаден е метод за модификация на дигиталните файлове на временните конструкции с цел повишаване на механично-якостните им качества.

VIII. ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Delyan Georgiev, Magdalena Gugleva, "Elaboration of Recipes for 3D - Printing Resins, Reproducing Proportionally and Properly the Color Standards", International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 10 Issue 10, October 2021, 284 – 288
2. Delyan Georgiev, "In - vitro Flexural Strength Assessment of 3D Printed Custom Resins for Temporary Fixed Dental Restorations", International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 10 Issue 10, October 2021, 274 – 278
3. Delyan Georgiev, Stoyan Katsarov "A Digital Modification of 3D Printed Temporary Restorations", International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 10 Issue 11, November 2021, 1038-1041
4. Stoyan Katsarov, Delyan Georgiev, Clinical assessment of plaque accumulation capacity of 3D printed temporary screw retained crowns, compared to resin and composite based temporary screw retained crowns on single implants, Clinical Oral Implants Research, 2020/10, 219-219

