

Utjecaj vrste materijala i tehnologije izrade na svojstva nagrizne udlage

Slaćanin, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:731998>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-24**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Slaćanin

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Zdravko Schauperl

Student:

Ivan Slaćanin

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof.dr.sc. Zdravku Schauperlu na mentorstvu, pomoći i savjetima pri izradi ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se gospodinu Božidaru Bušetinčanu na pomoći pri radu na laboratorijskim ispitivanjima.

Zahvaljujem se doc.dr.sc. Samiru Čimiću sa Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu na pomoći pri sakupljanju materijala za ispitivanje.

Hvala mojoj djevojci, kolegama i prijateljima na podršci tijekom studiranja.

Posebna zahvala mojoj obitelji na podršci tokom studiranja.

Ivan Slaćanin



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	30 - 11 - 2017 Prilog
Klasa:	602-04/17-6/4
Ur. broj:	15-1703-17-426

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ivan Slaćanin** Mat. br.: 0035187850

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Utjecaj vrste materijala i tehnologije izrade na svojstva nagrizne udlage**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Influence of Material Type and Production Technology on Properties of Occlusal Splint**

Opis zadatka:

Jedan način zaštite od bruksizma (škripanje i stiskanje zubima tijekom spavanja) je korištenje udlaga koje se stavljaju na zube prije spavanja čime se smanjuju simptomi nastali škripanjem i stiskanjem zubi. Na tržištu se danas nalazi velik broj udlaga različitih proizvođača koje su izrađene od različitih polimernih materijala različitim postupcima.

Svojstva materijala za izradu tih udlaga su vrlo rijetko deklarirana, pa je u eksperimentalnom dijelu rada potrebno odrediti utjecaj sirovine i procesa izrade udlage na njihova osnovna mehanička svojstva. Stoga je prvo potrebno sakupiti uzorke materijala od kojih se udlage izrađuju. Ti uzorci moraju biti od različitih proizvođača te proizvedeni različitim tehnologijama. Iz dostavljenih uzoraka potrebno je izraditi uzorke za ispitivanje osnovnih mehaničkih svojstava, te provesti ta ispitivanja. Na temelju dobivenih rezultata potrebno je donijeti zaključke vezane uz utjecaj vrste materijala i postupka prerade na mehanička svojstva udlage.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

28. rujna 2017.

Datum predaje rada:

30. studenog 2017.

Predviđeni datum obrane:

6., 7. i 8. prosinca 2017.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Zdravko Schauperl

Predsjednica Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Bruksizam.....	2
2.1.1 Vrste bruksizma.....	3
2.1.2 Uzroci bruksizma	3
2.1.3 Posljedice bruksizma [1]	3
2.1.4 Liječenje bruksizma	5
2.2 Okluzijske udlage	6
2.2.1 Povijesni pregled	6
2.2.2 Zahtjevi na materijal okluzijske udlage	8
2.2.3 Vrste materijala i proizvodni postupci	9
2.2.4 Vrste okluzijskih udlaga.....	13
3. EKSPERIMENTALNI DIO	17
3.1 Uvod.....	17
3.2 Materijali za ispitivanje.....	17
3.2.1 Resilit S	18
3.2.2 Probase Cold	19
3.2.3 Orthocryl	20
3.2.4 Ceramill Splintec.....	21
3.2.5 CopraDur.....	21
3.2.6 Varseo wax splint.....	22
3.2.7 OrthoRigid.....	22
3.3 Ispitivanje tvrdoće	23
3.3.1 Rezultati tvrdoće	25
3.3.2 Analiza rezultata ispitivanja tvrdoće	32
3.4 Ispitivanje savojne čvrstoće	35
3.4.1 Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće	37
3.4.2 Analiza rezultata ispitivanja savojne čvrstoće	42
3.5 Ispitivanje udarne žilavosti.....	45
3.5.1 Rezultati ispitivanja udarne žilavosti	48
3.5.2 Analiza rezultata ispitivanja udarne žilavosti.....	55
4. ZAKLJUČAK.....	58
LITERATURA.....	59
PRILOZI.....	61

POPIS SLIKA

Slika 1. Potpuno istrošeni gornji niz zubiju kao posljedica bruksizma [1]	2
Slika 2. Istrošeni gornji red zubi radi vertikalne abrazije[1]	3
Slika 3. Istrošena oba reda zubi radi djelovanja horizontalne abrazije[1]	4
Slika 4. Skica neželjenog mehaničkog pomaka čeljusnih zglobova[1]	5
Slika 5. Primjena okluzijske udlage na gornjem nizu zubi[1].....	5
Slika 6. Okluzijska udlaga [6]	6
Slika 7. Skica Gunningove okluzijske udlage izrađene od gume[7].....	7
Slika 8. Skicirani prikaz umreženih polimernih lanaca[9]	9
Slika 9. Model čeljusti [12]	10
Slika 10. Modeliranje udlage [12]	10
Slika 11. Gotova okluzijska udlaga na modelu čeljusti [12].....	11
Slika 12. Okluzijska udlaga izrađena glodanjem diska polimernog materijala [14].....	12
Slika 13. Skica dodira prednjih zubi pri korištenju permisivne udlage [16].....	13
Slika 14. Permisivna udlaga na gornjem redu zubi [16]	14
Slika 15. Stabilizacijska udlaga[16]	14
Slika 16. Dodir prednjih zubiju u slučaju korištenja stabilizacijske udlage[16].....	15
Slika 17. Repozicijska udlaga na donjem nizu zubi [16]	15
Slika 18. Polivinilna udlaga za hitne intervencije [16]	16
Slika 19. Prah i kapljevina za dobivanje Resilit S-a [17].....	18
Slika 20. Uzorci Resilit S-a	18
Slika 21. Prah i kapljevina Probase Cold-a [18]	19
Slika 22. Uzorci Probase Cold-a	19
Slika 23. Prah i kapljevina Orthocryl-a [19]	20
Slika 24. Uzorci Orthocryla	20
Slika 25. Uzorci Ceramill Splintec.....	21
Slika 26. Disk napravljen od CopraDur-a	21
Slika 27. Uzorci Varseo wax splint.....	22
Slika 28. Uzorci OrthoRigid-a	22
Slika 29. Shema ispitivanja tvrdoće po Brinell-u.....	23
Slika 30. Uređaj za mjerenje tvrdoće Wwick.....	24
Slika 31. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice	25
Slika 32. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice	26
Slika 33. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice	27
Slika 34. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice	28
Slika 35. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice	29
Slika 36. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice	30
Slika 37. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice	31
Slika 38. Dijagramski prikaz prosječnih izmjerenih vrijednosti tvrdoće za svaku skupinu uzoraka	32
Slika 39. Prosječne vrijednosti tvrdoće uzoraka sortirane prema tehnologiji izrade	34
Slika 40. Shematski prikaz ispitivanja savojne čvrstoće [22]	35
Slika 41. Uređaj za grijanje vode	36
Slika 42. Ispitivanje savojne čvrstoće	36
Slika 43. Uređaj za ispitivanje savojne čvrstoće	36
Slika 44. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti savojne čvrstoće za Resilit S	37

Slika 45. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti savojne čvrstoće za Probase Cold	38
Slika 46. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti savojne čvrstoće za Orthocryl	39
Slika 47. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti savojne čvrstoće za Ceramill Splintec..	40
Slika 48. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti savojne čvrstoće za OrthoRigid.....	41
Slika 49. Potpuno savijeni uzorak	42
Slika 50. Dijagramski prikaz prosječnih vrijednosti savojne čvrstoće skupina uzoraka	43
Slika 51. Prosječne vrijednosti savojne čvrstoće uzoraka sortirane prema tehnologiji proizvodnje.....	44
Slika 52. Charpyev bat	45
Slika 53. Urezivanje V-utora na ispitne uzorke	46
Slika 54. Uređaj za grijanje vode	47
Slika 55. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za Resilit S	48
Slika 56. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za Probase Cold.....	49
Slika 57. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za Orthocryl	50
Slika 58. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za Ceramill Splintec...	51
Slika 59. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za Copradur.....	52
Slika 60. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za Varseo splint.....	53
Slika 61. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za OrthoRigid.....	54
Slika 62. Prosječne vrijednosti udarne žilavosti uzoraka	55
Slika 63. Prosječne vrijednosti udarne žilavosti uzoraka sortirane prema tehnologiji izrade..	57

POPIS TABLICA

Tablica 1. Popis prikupljenih materijala	17
Tablica 2. Rezultati mjerenja tvrdoće Resilit S.....	25
Tablica 3. Rezultati mjerenja tvrdoće Probase Cold	26
Tablica 4. Rezultati mjerenja tvrdoće Orthocryl.....	27
Tablica 5. Rezultati mjerenja tvrdoće Ceramill Splintec	28
Tablica 6. Rezultati mjerenja tvrdoće Copradur	29
Tablica 7. Rezultati mjerenja tvrdoće Varseo wax splint.....	30
Tablica 8. Rezultati mjerenja tvrdoće Orthorigid.....	31
Tablica 9. ANOVA tablica za analizu rezultata izrađena u programu MS Excel 2010.....	33
Tablica 10. Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće za Resilit S	37
Tablica 11. Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće za Probase Cold	38
Tablica 12. Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće za Orthocryl	39
Tablica 13. Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće za Ceramill Splintec.....	40
Tablica 14. Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće za OrthoRigid	41
Tablica 15. ANOVA tablica za analizu rezultata izrađena u programu MS Excel 2010.....	43
Tablica 16. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za Resilit S	48
Tablica 17. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za Probase Cold	49
Tablica 18. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za Orthocryl	50
Tablica 19. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za Ceramill Splintec.....	51
Tablica 20. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za Copradur	52
Tablica 21. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za Varseo wax splint.....	53
Tablica 22. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za OrthoRigid.....	54
Tablica 23. ANOVA tablica za analizu rezultata mjerenja udarnog rada loma izrađena u programu MS Excel 2010.....	56

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
<i>Acu</i>	kJ/m^2	Udarni rad loma
<i>b</i>	mm	Širina ispitne epruvete
<i>D</i>	mm	Promjer ispitne kuglice
<i>Ec</i>	J	Energija loma
<i>Fp</i>	N	Prekidna sila
<i>H</i>	MPa	Tvrdoća
<i>h</i>	mm	Debljina ispitne epruvete
<i>hk</i>	mm	Dubina prodiranja kuglice
<i>L</i>	mm	Razmak između oslonaca
<i>Rms</i>	MPa	Svojna čvrstoća
<i>Tg</i>	°C	Temperatura staklišta

SAŽETAK

Okluzijske udlage se izrađuju već više od 80 godina procesom polimerizacije akrilatnih polimera, tijekom tog perioda su se postupak polimerizacije i polazna sirovina konstantno mijenjali i modificirali u svrhu dobivanja što kvalitetnijeg materijala. U novije vrijeme uvode se u primjenu novi materijali i proizvodne tehnologije sa svrhom pojednostavljenja procesa izrade okluzijskih udlaga i poboljšanja njihove kvalitete. U teoretskom dijelu ovog rada opisane su okluzijske udlage, svrha njihove primjene te materijali i načini njihove izrade. Eksperimentalni dio se sastoji od ispitivanja osnovnih mehaničkih svojstava tvrdoće, savojne čvrstoće i udarne žilavosti materijala koji se primjenjuju u izradi okluzijskih udlaga te analize dobivenih rezultata.

Ključne riječi: okluzijska udlaga, polimeri, mehanička svojstva, tvrdoća, žilavost, savojna čvrstoća

SUMMARY

Occlusal splints are being manufactured by polymerization of acrylate polymers for more than 80 years, during this period process and raw material were being constantly modified for the purpose of improving material properties. New materials and technology of making occlusal splints are being applied recently, which have improved quality of the product and simplified their manufacturing. Theoretical part of this paper contains description of occlusal splints, purpose of their application and materials and ways of making occlusal splint. Experimental part consists of examination of basic mechanical properties such as hardness, flexural strength and impact toughness of materials which are currently used in manufacturing occlusal splints.

Key words: occlusal splint, polymers, mechanical properties, hardness, impact toughness, flexural strength

1. UVOD

Suvremena stomatologija koristi veliki broj materijala dobivenih različitim tehnologijama za proizvodnju implantata i zubnih pomagala. Razvoj implantata i zubnih pomagala tekao je usporedno sa razvojem novih materijala i proizvodnih tehnologija koje danas postaju sve dostupnije i praktičnije za primjenu u zdravstvene svrhe.

Stoga danas imamo široku paletu materijala dobivenih raznim tehnologijama koji se primjenjuju u stomatologiji čija svojstva a time i cijena variraju ovisno o vrsti samog materijala i načina izrade.

Ovaj diplomski rad će se baviti ispitivanjima osnovnih mehaničkih svojstava polimernih materijala koji se primjenjuju u izradi okluzijskih udlaga - pomagala koja se koriste pri liječenju neželjenih posljedica bruksizma, te će se pokušati pronaći veza između vrste materijala, tehnologije i dobivenih rezultata ispitivanja.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Bruksizam

Bruksizam (grč. brukein- škrgutanje zubima) je poremećaj stiskanja i škripanja zuba još od davnina poznat u ljudskoj povijesti čiji je najznačajniji simptom pojava abrazivnog trošenja zubiju (slika 1) ali isto tako može dovesti i do raznih drugih neželjenih simptoma poput preosjetljivosti zubi, škljocanja čeljusti te glavobolje [1].

Pojam bruksizam prvi je skovao Frohman 1931. ali sami poremećaj škripanja zubi je bio opisivan početkom 20. stoljeća [2].



Slika 1. Potpuno istrošeni gornji niz zubiju kao posljedica bruksizma [1]

Stomatologija definira bruksizam kao oralnu parafunkcijsku aktivnost nevezanu uz normalne oralne aktivnosti poput žvakanja ili jedenja, riječ je o vrlo rasprostranjenom poremećaju u današnjoj populaciji (čak i do 30% ljudi pati od nekog oblika bruksizma) kojega većina ljudi zapravo nije ni u potpunosti svjesna [1,3].

Bruksizam se pojavljuje najčešće između 18. i 29. godine života ali također se često pojavljuje i kod djece između 6. i 12. godina života [3].

2.1.1 Vrste bruksizma

Razlikujemo 2 vrste bruksizma [3]: dnevni i noćni bruksizam, kod obje vrste oštećenja zubiju su slična ali razvoj simptoma je drugačiji, dakle kod noćnog bruksizma simptomi se postupno pogoršavaju u snu do buđenja i potom nestaju tijekom dana dok je kod dnevnoga obrnuta situacija.

Dnevni bruksizam je češći kod žena dok je noćni podjednako zastupljen kod oba spola.

2.1.2 Uzroci bruksizma

Samo podrijetlo poremećaja nije u potpunosti razjašnjeno ali vjeruje se da više faktora doprinosi pojavi bruksizma.

Vjeruje se da je za pojavu obje vrste bruksizma najznačajniji faktor svakodnevni stres kome je izložen pojedinac, dok stručna literatura[1,3] također navodi i druge uzroke kao što su poremećaji u živčanom sustavu, nepravilna morfologija zubi, genetska urođenost, korištenje pojedinih lijekova itd.

2.1.3 Posljedice bruksizma [1]

1. Trošenje tvrdog zubnog tkiva

Vertikalna abrazija (slika 2) nastaje kod dubokog zagrizava pri čemu je izraženo trošenje gornjeg reda prednjih zubi. Horizontalna abrazija (slika 3) troši podjednako gornji i donji red zubiju i nastaje kod plitkog pregriza.



Slika 2. Istrošeni gornji red zubi radi vertikalne abrazije[1]



Slika 3. Istrošena oba reda zubi radi djelovanja horizontalne abrazije[1]

2. Povećana pokretljivost zuba

Pojava pukotine i njena daljnja propagacija u parodontom ligamentu-tkivima koji povezuju korijen zuba sa alveolarnom kosti što dovodi do povećane pokretljivosti zubiju.

3. Povećani tonus zubnih mišića

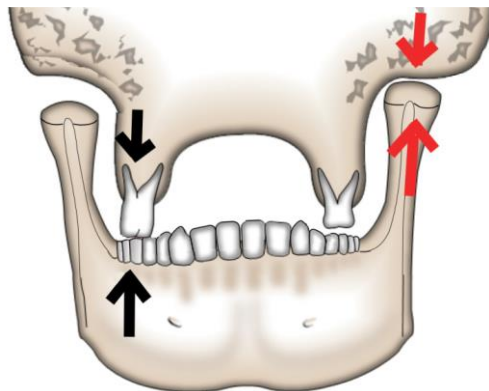
Zbog konstantnog škripanja zubiju mišići glave su konstantno stimulirani i postupno povećavaju tonus.

4. Bolovi u zubnim mišićima i glavobolja

Zbog konstantnog opterećenja mišića glave dolazi do učestalih glavobolja i neugodnih bolova žvačnih mišića.

5. Promjene u čeljusnim zglobovima

Dolazi do mehaničkog pomaka čeljusnih zglobova što dovodi do pojave bolova te smanjenja pokretljivosti čeljusti te otežanog žvakanja(slika 4).



Slika 4. Skica neželjenog mehaničkog pomaka čeljusnih zglobova[1]

2.1.4 Liječenje bruksizma

Zbog nerazjašnjenog uzroka same pojave bruksizma, načini liječenja su različiti ovisno o stanju pojedinca a najčešće dvije metode su kontrola stresa te direktne terapijske metode.[1]

Kontrola stresa se bazira na promjeni načina života pojedinca sa ciljem smanjenja svakodnevnog stresa koji je jedan od glavnih uzroka pojave bruksizma.

U terapijske metode spadaju fizikalna terapija, korištenje lijekova za opuštanje mišića lica te okluzijska terapija pomoću udlaga (slika 5).[5]



Slika 5. Primjena okluzijske udlage na gornjem nizu zubi[1]

2.2 Okluzijske udlage

Okluzijska udlaga (slika 6) je stomatološko pomagalo izrađeno od polimernih materijala koje se koristi pri liječenju termomandibularnih poremećaja poput bolesti zgloba, žvačne muskulature i popratnih struktura uzrokovanih najčešće bruksizmom.

Udlage se ovisno o njihovoj vrsti ili namjeni mogu postaviti na gornji ili donji zubni niz a ponekad i na oba [5].

Učinci udlage su sljedeći: smanjuje hiperaktivnost, opušta žvačne mišiće, postavlja zglobove u prirodni položaj, štiti zube od trošenja i dr [4].



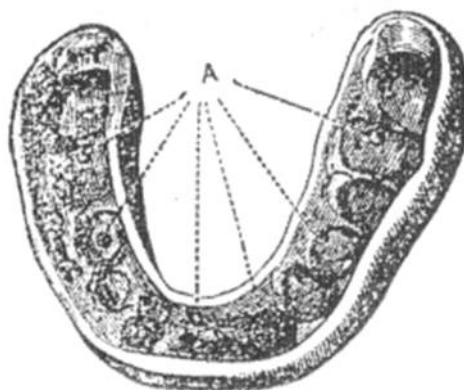
Slika 6. Okluzijska udlaga [6]

2.2.1 Povijesni pregled

Razvoj modernih okluzijskih udlaga i sličnih stomatoloških pomagala započinje sredinom 19. stoljeća otkrićem postupka vulkanizacije kaučukovca kojim se dobiva novi materijal- guma. Charles Goodyear je prvi patentirao postupak vulkanizacije i započeo proizvoditi gumu trgovačkog naziva Ebonit [7].

Ebonit je zbog svojih mehaničkih svojstva i lake obradljivosti imao široku primjenu u različitim proizvodima i djelatnostima a ubrzo su ga i tadašnji stomatolozi počeli koristiti za izradu udlaga koje su se primjenjivale kod pacijenata sa slomljenim čeljustima.

Američki kirurg Thomas Gunning 1862. godine izrađuje okluzijsku udlagu od ebonita sličnu današnjima koju je koristio više od 2 mjeseca radi slomljene čeljusne kosti (slika 7)



Slika 7. Skica Gunningove okluzijske udlage izrađene od gume[7]

Nakon Gunningove udlage još je nekoliko liječnika razvijalo svoje modele okluzijskih udlaga koje su se uglavnom primjenjivale pri liječenju slomljenih kosti lica, nepravilnog rasporeda zubi i dr.

Njemački liječnik Karolyi 1901. godine uvodi okluzijske udlage u liječenje bruksizma, tada još slabo poznatog i nedovoljno istraženog poremećaja.

Guma se primjenjivala za izradu okluzijskih udlaga sve do sredine 30ih godina 20. stoljeća dok ju nije zamijenio poli(metil-metakrilat) PMMA, akrilatni polimer koji se i danas uvelike koristi zbog svojih estetskih odlika, jednostavne pripreme i oblikovanja te dobrih kemijskih i fizičkih svojstava [7].

Daljnji razvoj okluzijskih udlaga vezan je prvenstveno uz brojna modificiranja i poboljšanja procesa polimerizacije akrilatnih polimera i njihovog kemijskog sastava kojima se željelo ukloniti neke od nedostataka procesa poput jako izraženih dimenzijskih promjena za vrijeme trajanja procesa.

Početakom 1971. uvode se CAD/CAM tehnologije u stomatologiju pa se pojavljuju udlage izrađene na CNC stroju iz polaznog materijala u obliku diska ili ploče [8].

Također valja istaknuti i pojavu brzorastućih aditivnih proizvodnih tehnologija koje su se početkom ovog tisućljeća pojavile i u stomatologiji ali danas se još uvijek rjeđe koriste radi visokih početnih troškova.

2.2.2 Zahtjevi na materijal okluzijske udlage

Okluzijske udlage se nalaze smještene u ljudskim ustima na duže periode od više sati, dana ili mjeseci ovisno o namjeni. Stoga su one izložene brojnim i kompleksnim opterećenjima poput djelovanja žvačnih sila, promjena temperature i Ph vrijednosti u usnoj šupljini te djelovanja enzima i bakterija iz sline [9].

Za izradu okluzijskih udloga primjenjuju se isključivo polimerni materijali radi jednostavnosti izrade i zadovoljavajućih svojstava.

Osnovna zahtijevana svojstva na materijal okluzijske udlage su:

1. Biokompatibilnost- temeljni zahtjev, materijal ne smije izazivati pojave iritacije ili alergijskih reakcija u usnoj šupljini te mora ostati inertan tokom primjene

2. Odgovarajuća mehanička svojstva- radi djelovanja žvačnih sila materijal mora imati dobra mehanička svojstva poput tvrdoće, vlačne i savojne čvrstoće, modula elastičnosti te otpornosti na udarno opterećenje.

3. Fizičko- kemijska svojstva- materijal u usnoj šupljini mora biti netopiv, neutralnog okusa, dimenzijski stabilan te male adsorpcije vode

4. Toplinska stabilnost polimera- važan parametar za primjenu u usnoj šupljini jest i temperatura staklišta T_g iznad koje amorfnu polimer prelazi iz čvrstoga staklastog stanja u viskoelastično stanje i pritom gubi prvotna mehanička svojstva

5. Stanje površine- radi nakupljanja štetnog plaka važno je da površinska hrapavost bude što manja, prema [9] $Ra=0,2 \mu m$ se smatra granicom ispod koje se ne očekuje nakupljanje plaka

- poroznost također mora biti što manja radi stabilnosti udlage te izbjegavanja nakupljanja ostataka hrane i štetnih mikroorganizama u strukturi udlage

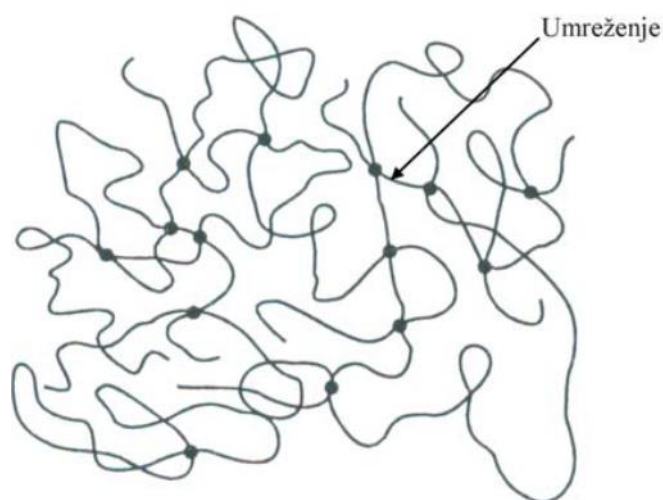
Valja istaknuti i da polimerni materijali uslijed dugotrajne primjene bivaju podložni starenju, biorazgradnji i trošenju radi djelovanja žvačnih sila, te kao posljedica navedenih uzroka dolazi do izlučivanja niskomolekulnih sastojaka i rezidualnog monomera koji se nalaze u polimeru ili nastaju kao posljedica razgradnje polimera. Stoga valja pri odabiru polimernog materijala uzeti u obzir posljedice koje ti sastojci mogu uzrokovati u usnoj šupljini [10].

2.2.3 Vrste materijala i proizvodni postupci

Najčešće primjenjivani materijal okluzijske udlage jest poli(metil-metakrilat), PMMA. Amorfni PMMA se odlikuje postojanošću, dobrim mehaničkim i kemijskim svojstvima (postojan pri izlaganju svjetlu, oksidiranju te djelovanju kiselina i lužina) [11].

Dobiva se lančanom polimerizacijom metil-metakrilata uz dodatak inicijatora zagrijavanjem, visoko energijskim zračenjem ili fotokemijski [11].

Dobiveni polimerni lanci su skloni proklizavanju što izaziva neželjene deformacije u primjeni, stoga se dodaju difunkcionalni monomeri koji omogućuju umreživanje lanaca monomera kovalentnim vezama (slika 8). Tako dobivene polimerne mreže se nazivaju akrilatni polimeri [9].



Slika 8. Skicirani prikaz umreženih polimernih lanaca[9]

U stomatologiji se akrilatni polimeri za izradu pomagala pripremaju iz dvokomponentnih sustava. Jedna komponenta je praškasti PMMA u kojem se još nalazi inicijator i bojilo. Druga komponenta je kapljevina koja sadrži smjesu monomera metil-metakrilata MMA, umreživalo (difunkcionalni monomer) i inhibitor. Svrha kapljevine je također smanjenje efekta smanjenja volumena monomer-polimer i nastale reakcijske topline [7].

Komponente se miješaju u odgovarajućem omjeru i potom slijedi proces polimerizacije i umreživanja. Polimerizacija može biti topla gdje se smjesa postupno zagrijava do temperature od 343 K, hladna (autopolimerizacija) pri sobnoj temperaturi ili pri 313 - 323 K te mikrovalna polimerizacija aktivirana mikrovalovima i mikrovalnoj pećnici [9].

Sama izrada okluzijskih udlaga se sastoji od uzimanja otiska gornje i donje čeljusti pacijenta. Otisak se uzima pomoću žlice i nekog od materijala za uzimanje otisaka (silikoni, polieteri, alginati, itd.). Otisci se izlijevaju iz sadre kako bi se dobili modeli čeljusti (slika 9). Uzima se zagriz (položaj u kojem se radi udlaga). Nakon određivanja zagriža se udlaga modelira (slike 10, 11), najčešće iz hladnopolimerizirajućeg akrilata. Slijedi polimerizacija te završna obrada udlage (glodanje i poliranje).



Slika 9. Model čeljusti [12]



Slika 10. Modeliranje udlage [12]



Slika 11. Gotova okluzijska udlaga na modelu čeljusti [12]

Glavni nedostatak korištenja materijala na bazi PMMA je pojava zaostalog rezidualnog monomera koji već u malim količinama može izazvati neželjene alergijske reakcije, iritacije i upale u usnoj šupljini. Također štetno djeluje i na mehanička svojstva udlage jer uzrokuje poroznost udlage koja može uzrokovati dimenzijsku nestabilnost i pucanje udlage.[9]

Količine zaostalog monomera mogu biti između 0,2 - 0,5% pri toploj polimerizaciji te do 5% pri hladnoj polimerizaciji [9].

Danas postoje razne vrste inicijatora, umreživala i drugih dodataka koji smanjuju količine neproreagirano monomera.

Okluzijske udlage se osim najčešćim postupkom polimerizacije PMMA izrađuju i pomoću računalno potpomognutih CAD/CAM sustava.

Razlikujemo dvije vrste CAD/CAM sustava u stomatologiji [13]:

1. „In Lab“ – otisak zuba se uzima pomoću elastičnih materijala na temelju kojeg se izlije model od gipsa koji se potom skenira pomoću posebnog skenera sa laserskim čitačem , očitani podaci se šalju u računalo koje potom kreira model za izradu udlage

2. „Chairside“- izravan način izrade, nije potreban model otiska zubiju već se oni skeniraju izravno u ustima korisnika pomoću 3D kamere čiji se podaci šalju u računalo i generira se program za izradu udlage koji se potom šalje u CNC stroj

Kod obje vrste CAD/CAM sustava za polazni materijal se koriste blokovi polimernih materijala najčešće PMMA ili sve češće poliamida iz kojih se glodanjem dobiva gotova okluzijska udlaga (slika 12).



Slika 12. Okluzijska udlaga izrađena glodanjem diska polimernog materijala [14]

Ovaj postupak ima brojne prednosti nad klasičnim postupcima dobivanja udlaga hladnom polimerizacijom. Postupak je brži, precizniji, bolje kontrole kvalitete, nema pogrešaka u polimerizaciji i dimenzijske nestabilnosti [13].

Valja još istaknuti i primjenu aditivnih proizvodnih tehnologija u izradi okluzijskih udlaga, gdje se one izrađuju najčešće pomoću postupka stereolitografije (SLA) i njegovih inačica. Za izradu se koriste materijali na bazi akrilatnih polimera ili poliamida. Uzima se 3D slika ustiju pacijenta slično kao i kod CAD/CAM sustava koja se potom šalje u računalo koje generira model okluzijske udlage i način izrade koji se potom šalju u uređaj za izradu udlage [15].

Prednosti izrade udlaga aditivnim proizvodnim tehnologijama su velika iskoristivost materijala, te mogućnost izrade kompleksnijih geometrija otisaka zubi.

Nedostaci aditivnih proizvodnih tehnologija su visoka početna ulaganja te potreba za uklanjanjem potporne strukture koja nastaje u procesu izrade.

2.2.4 Vrste okluzijskih udlaga

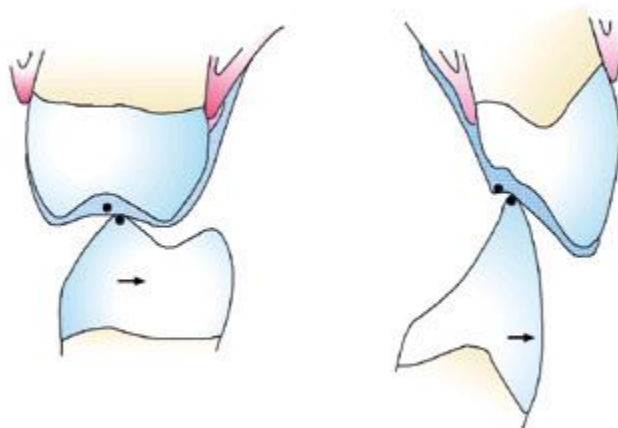
Udlage se prema biomehaničkom djelovanju mogu podijeliti na permisivne, nepermisivne, stabilizirajuće i meke [16].

1. Permisivne udlage(Michigan udlage)

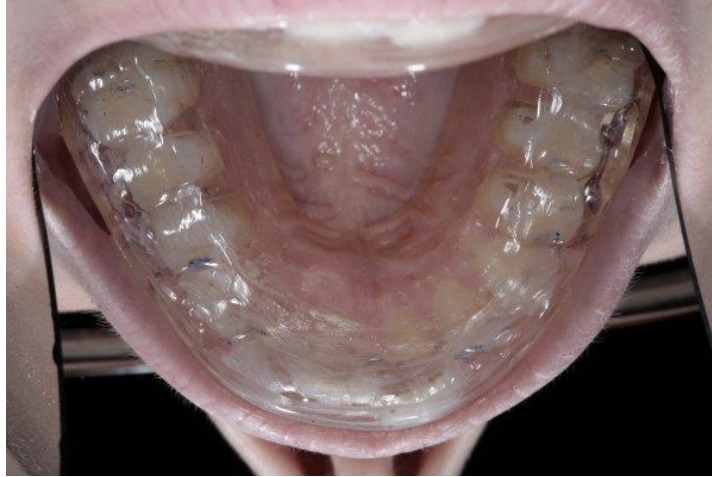
Danas najčešće primijenjivana vrsta udlaga, ima glatke dodirne plohe koje dopuštaju zubima da nesmetano klize po griznim i kontaktnim površinama između 2 zuba (slika 13). Prekriva sve zube da bi se osigurala stabilnost zubi i spriječili neželjeni pokreti (slika 14).

Jedan od glavnih ciljeva liječenja permisivnim udlagama jest namještenje donje čeljusti u prirodan položaj, također se primjenjuje kod bolova u žvačnim mišićima te kod noćnog ili dnevnog bruksizma i drugih poremećaja [15].

Najčešće se stavlja na gornju čeljust ali može biti i na donjoj radi estetskih ili govornih razloga, ne smije se nositi za vrijeme žvakanja jer se brzo oštećuje abrazivnim mehanizmom trošenja i jer smeta pri usitnjavanju hrane.



Slika 13. Skica dodira prednjih zubi pri korištenju permisivne udlage [16]



Slika 14. Permisivna udlaga na gornjem redu zubi [16]

2. Stabilizacijska udlaga

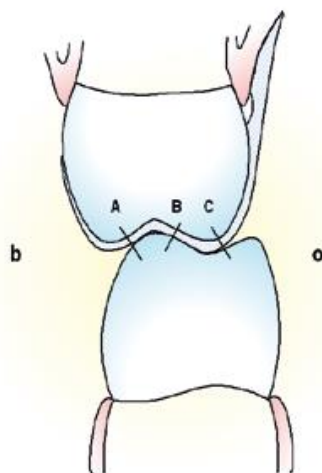
Vrsta udlage koja na svojoj nagriznoj plohi ima imitirane jamice i kvržice prirodnih zubi čime se osigurava ortopedski stabilan položaj čeljusnih zglobova.

U slučaju stabilizacijske udlage zubi se dodiruju u centričnoj relaciji (slika 16).

Najčešće se koristi kod osteoartritisa te u svim slučajevima kada je potrebna stabilnost čeljusnih zglobova primjerice kod sanacije bezubosti ili kirurških zahvata na zubima. Može se nositi tijekom cijelog dana i za vrijeme obroka, skidanje je nužno za vrijeme održavanja oralne higijene [15].



Slika 15. Stabilizacijska udlaga[16]



Slika 16. Dodir prednjih zubiju u slučaju korištenja stabilizacijske udlage [16]

3. Repozicijska udlaga

Služi za namještanje čeljusnih zglobova u fiziološki ispravan položaj, prilagođava se korisniku koji svojom zagrizom definira željeni oblik te se najčešće smješta na donji niz zubi (slika 17) i nosi se danonoćno.



Slika 17. Repozicijska udlaga na donjem nizu zubi [16]

4. Distrakcijska udlaga

Nepermisivan tip udlage, služi za vertikalno rasterećenje čeljusnih zglobova. Djeluje agresivno pa se stoga nosi u kratkom vremenskom periodu.

Također za hitne intervencije kod akutnih termomandibularnih bolova danas postoje i brojne vrste mekanih udlaga koje se najčešće stavljaju na donju čeljust i izrađuju se u vakuumu od polivinilnih materijala debljine 2 mm (slika 18).



Slika 18. Polivinilna udlaga za hitne intervencije [16]

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1 Uvod

Zadatak eksperimentalnog dijela bio je prikupiti više različitih materijala koji se primjenjuju u izradi okluzijskih udlaga potom izraditi i pripremiti uzorke za osnovna mehanička ispitivanja te na temelju dobivenih rezultata ispitivanja donijeti zaključke vezane uz utjecaj vrste materijala i postupka prerade na mehanička svojstva okluzijske udlage.

Materijali su prikupljeni od različitih proizvođača te se obrađuju različitim tehnologijama izrade okluzijskih udlaga.

Uzorci su podvrgnuti ispitivanju tvrdoće po Brinellu, savojne čvrstoće te udarne žilavosti. Sva ispitivanja su odrađena u Laboratoriju za polimere i kompozite na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.

3.2 Materijali za ispitivanje

U tablici 1 se nalazi popis prikupljenih materijala za ispitivanje koji se sastoji od njihovog komercijalnog naziva te tehnologije izrade okluzijske kojom se materijal obrađuje.

Svakom materijalu pridružena je brojana oznaka 1-7 koja će se kasnije primjenjivati i kod označavanja uzoraka.

Tablica 1. Popis prikupljenih materijala

Oznaka	Naziv	Način izrade
1	Resilit S	Hladna polimerizacija
2	Probase Cold	Hladna polimerizacija
3	Orthocryl	Hladna polimerizacija
4	Ceramic Splintec	CAD/CAM proizvodnja
5	Copradur	CAD/CAM proizvodnja
6	Varseo Smile Splint	Aditivne tehnologije
7	OrthoRigid	Aditivne tehnologije

Za svaku vrstu materijala imali smo na raspolaganju 10 uzoraka za ispitivanje savojne čvrstoće i 10 uzoraka za ispitivanje udarne žilavosti, svakom uzorku je pridružena oznaka skupine uzoraka i potom redni broj uzorka od 1 do 10. Tvrdoća se mjerila na uzorcima za ispitivanje savojne čvrstoće.

Uzorci su dostavljeni većinom gotovo izrađeni zadanog oblika i dimenzija, na kojima smo odradili dodatne obrade brušenja i urezivanja utora za lomnu žilavost.

3.2.1 Resilit S

Resilit S spada u grupu hladno polimerizirajućih akrilata koji se dobiva iz dvokomponentnih sustava (slika 19). Tekuća faza jest na bazi metil meta-akrilata, prozirne boje i male gustoće dok je prah bijele boje bez mirisa. Gotovi materijal se dobiva miješanjem tekuće i krute faze u zadanim uvjetima tlaka i temperature. Dobiveni uzorci su bijele prozirne boje bez mirisa (slika 20).



Slika 19. Prah i kapljevina za dobivanje Resilit S-a [17]



Slika 20 Uzorci Resilit S-a

3.2.2 Probase Cold

Hladno polimerizirajući akrilat koji također nastaje iz dvokomponentnog sustava praha i tekućine (slika 21).

Tekuća faza se sastoji od metil metakrilata, dimetakrilata te određene vrste katalizatora.

Prah u sebi sadrži poli (metil-metakrilat), benzoil peroksid, katalizatore, tvari za mekšanje te različite vrste pigmenata kojim se dobije željena nijansa boje udlage.

Prema specifikacijama proizvođača idealan omjer smjese praha i tekućine jest

15g praha: 10 mL tekućine.

Sam proces polimerizacije se vrši na temperaturi od 40 °C i tlaku od 2 - 6 bara u trajanju od 15 minuta.

Dostavljeni uzorci su bijele prozirne boje bez mirisa (slika 22).



Slika 21. Prah i kapljevina Probase Cold-a [18]



Slika 22. Uzorci Probase Cold-a

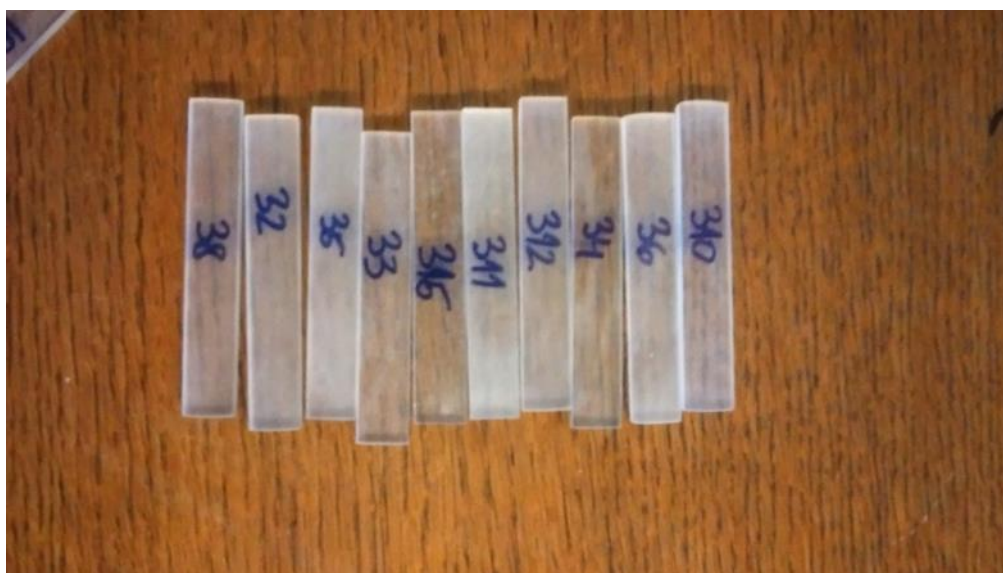
3.2.3 Orthocryl

Hladno polimerizirajući akrilat koji se također dobiva iz dvokomponentnog sustava tekućina-prah (slika 23). Omjer miješanja praha i tekućine jest 2,5g : 1mL, polimerizacija se vrši na temperaturama između 40 - 46 °C i tlaku od 2.2 bara u trajanju od 15 minuta.

Uzorci (slika 24) su bijele prozirne boje bez mirisa.



Slika 23. Prah i kapljevina Orthocryl-a [19]



Slika 24. Uzorci Orthocryla

3.2.4 Ceramill Splintec

Akrilatni polimer koji se primjenjuje u CAD/CAM proizvodnji okluzijskih udlaga. Baza mu je polimetil metakrilat. Obično dolazi u obliku diska ili ploče iz koje se pomoću CNC stroja strojnom obradom oblikuje okluzijska udlaga željenog oblika. Uzorci (slika 25) su bijele prozirne boje bez mirisa.



Slika 25. Uzorci Ceramill Splintec

3.2.5 CopraDur

Materijal na bazi industrijski dobivenog visokoumreženog poliamida koji se koristi u CAD/CAM proizvodnji okluzijskih udlaga. Ima vrlo glatku površinu, proziran i najčešće dolazi u obliku diska (slika 26) iz kojeg se strojnom obradom dobiva okluzijska udlaga.



Slika 26. Disk napravljen od CopraDur-a

3.2.6 Varseo wax splint

Materijal na bazi poliamida koji se koristi u aditivnom načinu proizvodnje okluzijskih udlaga. Uzorci su izrađeni SLA tehnologijom, prozirno ljubičaste boje bez mirisa i dostavljeni na potpornoj strukturi koju je bilo potrebno ukloniti i očistiti uzorke (slika 27).



Slika 27. Uzorci Varseo wax splint

3.2.7 OrthoRigid

Materijal na bazi akrilatnih polimera koji se koristi u aditivnom načinu proizvodnje. Uzorci su dostavljeni u gotovom obliku, zelene prozirne boje bez mirisa (slika 28).



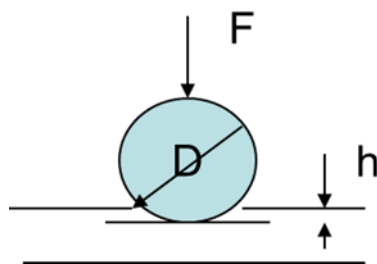
Slika 28. Uzorci OrthoRigid-a

3.3 Ispitivanje tvrdoće

Tvrdoća je definirana kao sposobnost odupiranja materijala prodiranju stranog tijela u njegovu strukturu ili površinu [20]. Podaci o tvrdoći materijala vrlo su važni naročito kada se materijal ručno ili strojno obrađuje što je posebno važno kod materijala okluzijskih odlaga koje se izrađuju CAD/CAM tehnologijama ali i ostalima koje je potrebno naknadno obrađivati da bi se postigao željeni oblik i mjera [7].

Ispitivanje tvrdoće je provedeno sukladno normi EN ISO 2039-1, Brinellovom metodom.

Mjerenje tvrdoće po Brinellu spada u nerazorne metode ispitivanja uzoraka, na mjerni uređaj se postavlja uzorak u koji se utisne kuglica definiranog promjera i sile utiskivanja (slika 29). Utiskivanje traje 60 sekundi a na mjernoj skali očitavamo postignutu dubinu utiskivanja, i to nakon 10, 30 i na koncu 60 sekundi ispitivanja.



Slika 29. Shema ispitivanja tvrdoće po Brinell-u

Dubina utiskivanja kuglice raste s vremenom ali za potrebe ispitivanja dovoljno je trajanje od 60 sekundi jer je kasniji rast dubine zanemarivo malen.

Tvrdoća po Brinellu se računa prema izrazu [21]:

$$H = \frac{1}{\pi \cdot D} \cdot \frac{F}{h_k}$$

gdje je:

H- tvrdoća, MPa

D – promjer kuglice, mm

F – sila opterećenja, N

h_k – dubina prodiranja, mm

Ispitivanje tvrdoće uzoraka proveli smo na mjernom uređaju Wwick (slika 30) u Laboratoriju za polimere i kompozite na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Ispitivanje se je vršilo pomoću kuglice promjera D= 5 mm i sile F= 358 N, osim u slučaju jedne vrste uzoraka za koje se je radi njihove male tvrdoće primijenila sila od 132 N.

Na svakom uzorku napravljeno je 5 mjerenja čiji su rezultati prikazani u tablicama sa izračunatim vrijednostima tvrdoće nakon 60 sekundi ispitivanja. Uz tablične rezultate prikazane su i krivulje dubine prodiranja kuglice u ovisnosti o vremenu za svako mjerenje.

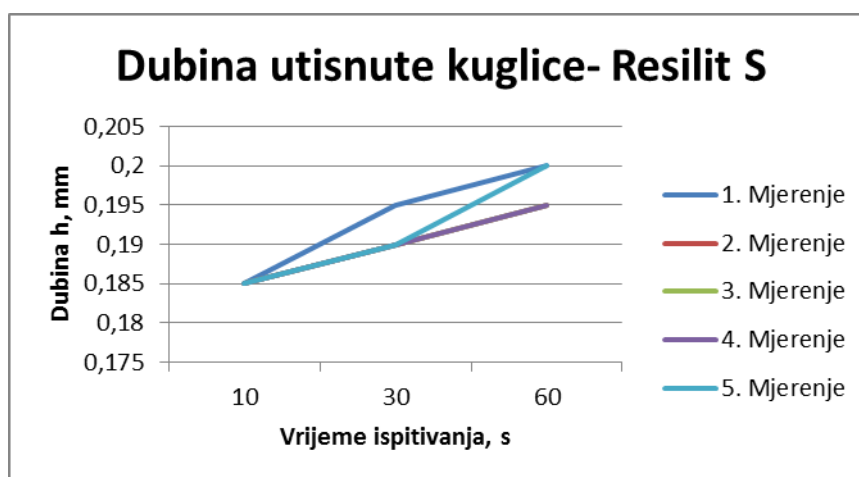


Slika 30. Uređaj za mjerenje tvrdoće Wwick

3.3.1 Rezultati tvrdoće

Tablica 2. Rezultati mjerenja tvrdoće Resilit S

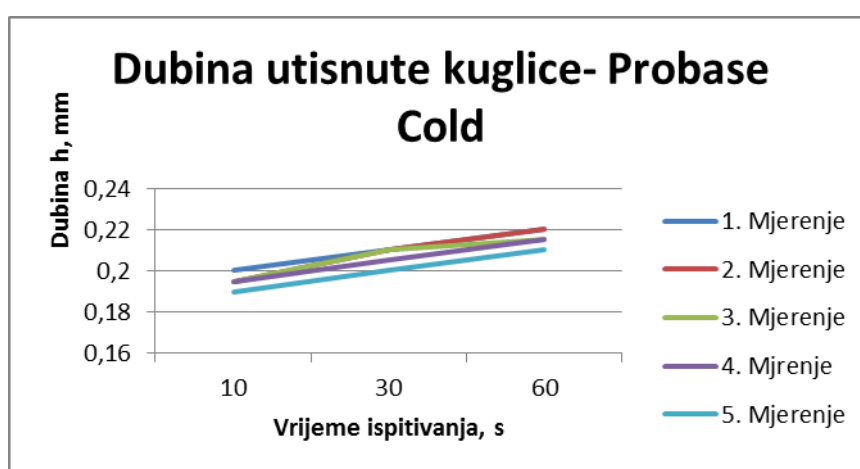
<u>1. Resilit S</u>	<u>10s</u>	<u>30s</u>	<u>60s</u>	<u>F, N</u>	<u>HB</u>
	0,185	0,195	0,2	358	114,5
	0,185	0,19	0,195	358	117,4
	0,185	0,19	0,195	358	117,4
	0,185	0,19	0,195	358	117,4
	0,185	0,19	0,2	358	114,5



Slika 31. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice

Tablica 3. Rezultati mjerenja tvrdoće Probase Cold

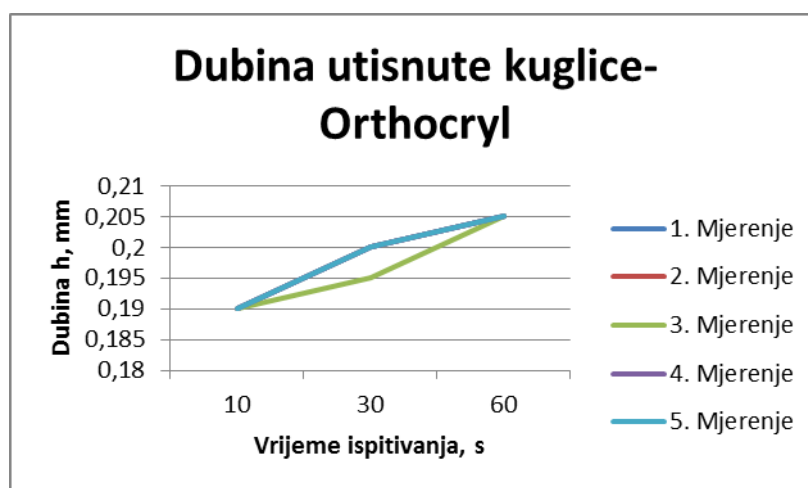
2. Probase Cold	10s	30s	60s	F, N	HB
	0,2	0,21	0,22	358	104
	0,195	0,21	0,22	358	104
	0,195	0,21	0,215	358	106,5
	0,195	0,205	0,215	358	106,5
	0,19	0,2	0,21	358	109



Slika 32. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice

Tablica 4. Rezultati mjerenja tvrdoće Orthocryl

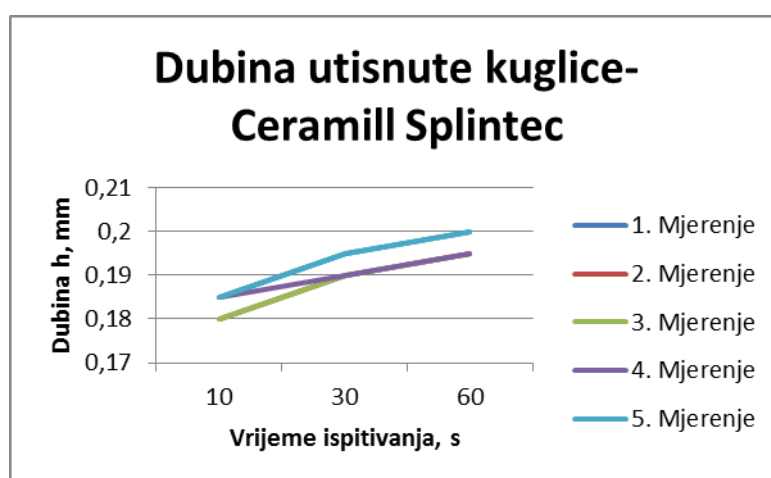
3. Orthocryl	10s	30s	60s	F, N	HB
	0,19	0,2	0,205	358	111,7
	0,19	0,2	0,205	358	111,7
	0,19	0,195	0,205	358	111,7
	0,19	0,2	0,205	358	111,7
	0,19	0,2	0,205	358	111,7



Slika 33. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice

Tablica 5. Rezultati mjerenja tvrdoće Ceramill Splintec

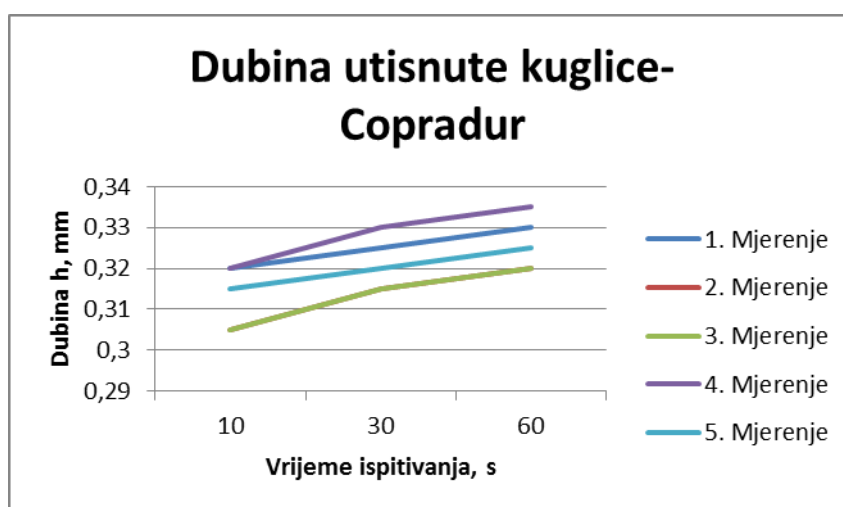
4. Ceramill Splintec	10s	30s	60s	F, N	HB
	0,185	0,195	0,2	358	114,5
	0,18	0,19	0,195	358	117,4
	0,18	0,19	0,195	358	117,4
	0,185	0,19	0,195	358	117,4
	0,185	0,195	0,2	358	114,5



Slika 34. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice

Tablica 6. Rezultati mjerenja tvrdoće Copradur

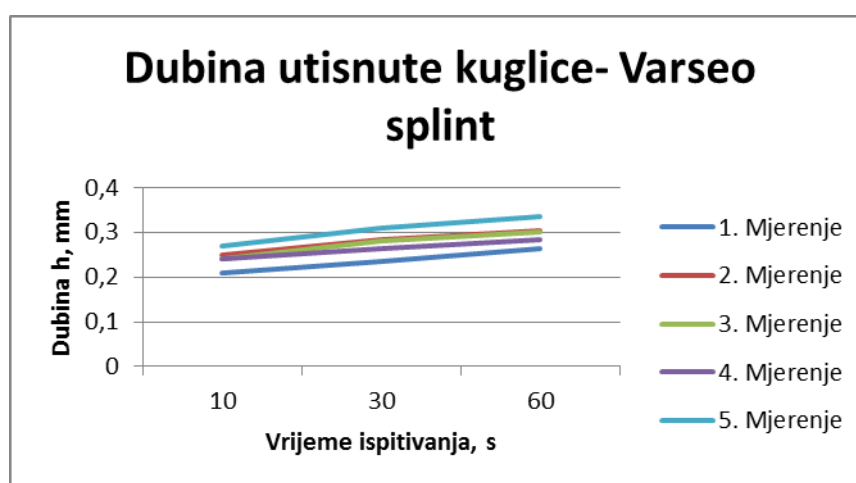
5. Copradur	10s	30s	60s	F, N	HB
	0,32	0,325	0,33	358	69,4
	0,305	0,315	0,32	358	71,6
	0,305	0,315	0,32	358	71,6
	0,32	0,33	0,335	358	68,4
	0,315	0,32	0,325	358	70,5



Slika 35. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice

Tablica 7. Rezultati mjerenja tvrdoće Varseo wax splint

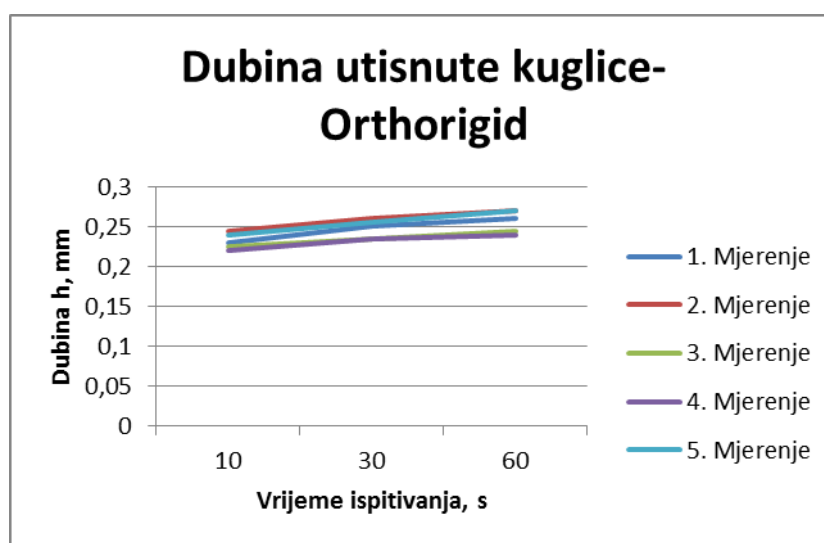
6. Varseo smile splint	10s	30s	60s	F, N	HB
61	0,21	0,235	0,265	132	31,8
61	0,25	0,285	0,305	132	27,6
61	0,24	0,28	0,3	132	28,1
61	0,24	0,265	0,285	132	29,6
61	0,27	0,31	0,335	132	25,2



Slika 36. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice

Tablica 8. Rezultati mjerenja tvrdoće Orthorigid

7. Orthorigid	10s	30s	60s	F, N	HB
	0,23	0,25	0,26	358	88,1
	0,245	0,26	0,27	358	84,8
	0,225	0,235	0,245	358	93,5
	0,22	0,235	0,24	358	95,4
	0,24	0,255	0,27	358	84,8

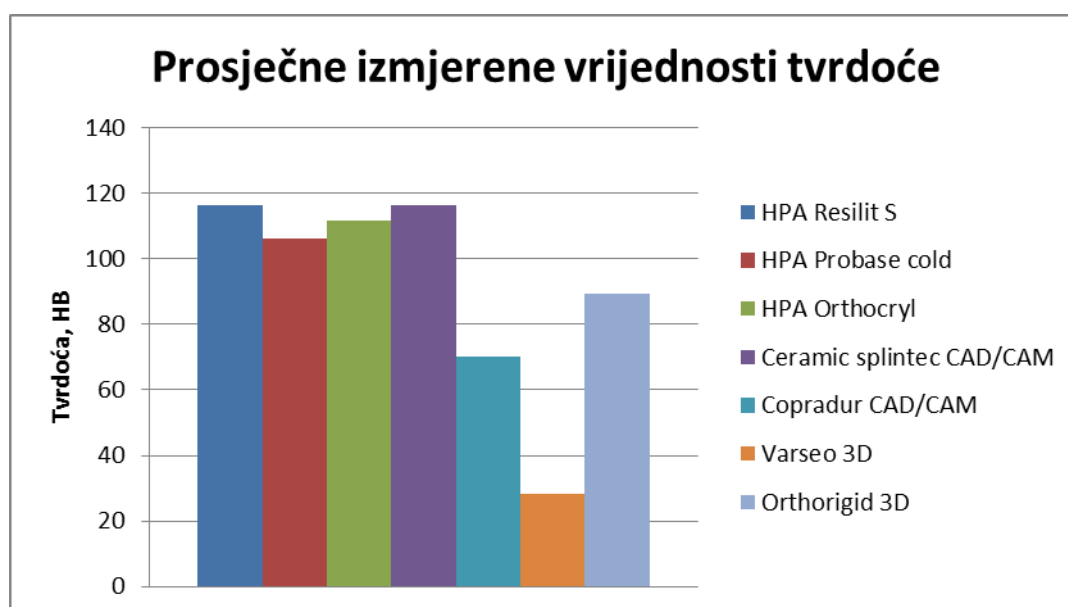


Slika 37. Dijagramski prikaz rezultata mjerenja dubine utisnute kuglice

3.3.2 Analiza rezultata ispitivanja tvrdoće

Izmjerene tvrdoće se nalaze u očekivanim vrijednostima za promatranu vrstu materijala. Iz krivulja dubine utiskivanja se vidi da nema značajnijih disipacija rezultata. Valja istaknuti i skupinu uzoraka 6 (Varseo Splint), za koju je opterećenje od 358 N bilo prejako te se nije mogla očitati dubina prodiranja pa je stoga ta skupina opterećena manjom silom od 132 N.

Na slici 38 vidimo dijagramski prikaz prosječnih izmjerenih tvrdoća za sve skupine uzoraka zajedno.



Slika 38. Dijagramski prikaz prosječnih izmjerenih vrijednosti tvrdoće za svaku skupinu uzoraka

Hladno polimerizirajući akrilati (oznake 1-3) su ostvarili podjednake i ponajbolje rezultate izmjerene tvrdoće uz Ceramill Splintec (4) koji je također materijal na bazi akrilatnih polimera. OrthoRigid ima nešto nižu vrijednost od gore navedenih.

Copradur(5) i Varseo(6) imaju niže vrijednosti tvrdoće, što se može objasniti činjenicom da su oba materijala na bazi poliamida.

Za detaljniju analizu rezultata poslužili smo se i analizom varijance sa jednim promjenjivim faktorom. Cilj je bio statistički utvrditi da li među rezultatima tvrdoće skupina uzoraka postoji

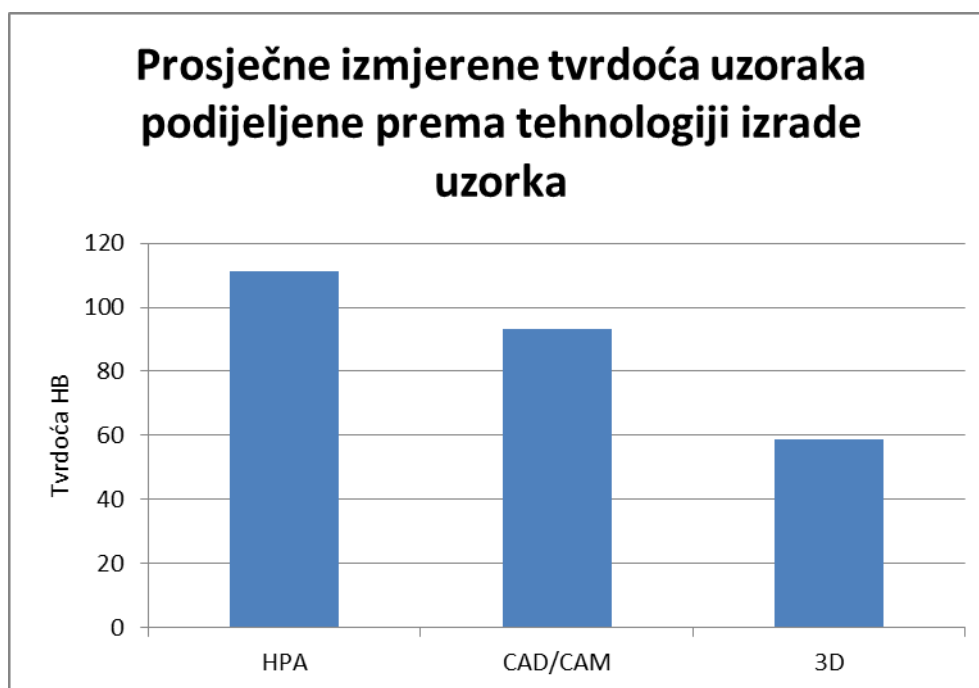
statistički značajna razlika. Pomoću računalnog programa Excel 2010. dobili smo ANOVA tablicu (tablica 9).

Za analizu je najznačajnija dobivena vrijednost F u tablici koja iznosi približno 880, što je znatno više od vrijednosti Fcrit koja iznosi 2,44 stoga se početna hipoteza analize varijance odbacuje i može se zaključiti kako među izmjerenim tvrdoćama uzoraka postoji statistički značajna razlika.

Tablica 9. ANOVA tablica za analizu rezultata izrađena u programu MS Excel 2010

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Column 1	5	581,2	116,24	2,523		
Column 2	5	530	106	4,375		
Column 3	5	558,5	111,7	0		
Column 4	5	581,2	116,24	2,523		
Column 5	5	351,5	70,3	1,96		
Column 6	5	142,3	28,46	5,988		
Column 7	5	446,6	89,32	24,197		
ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	31349,71	6	5224,952	879,9178	1,54E-30	2,445259395
Within Groups	166,264	28	5,938			
Total	31515,98	34				

Na slici 39 vidimo dijagramski prikaz prosječnih izmjerenih tvrdoća uzoraka sortiranih prema proizvodnoj tehnologiji. Iz dijagrama je vidljivo kako su materijali proizvedeni hladnom polimerizacijom imali u prosjeku najvišu postignutu tvrdoću dok su aditivno proizvedeni materijali imali približno 50% manju vrijednost tvrdoće.

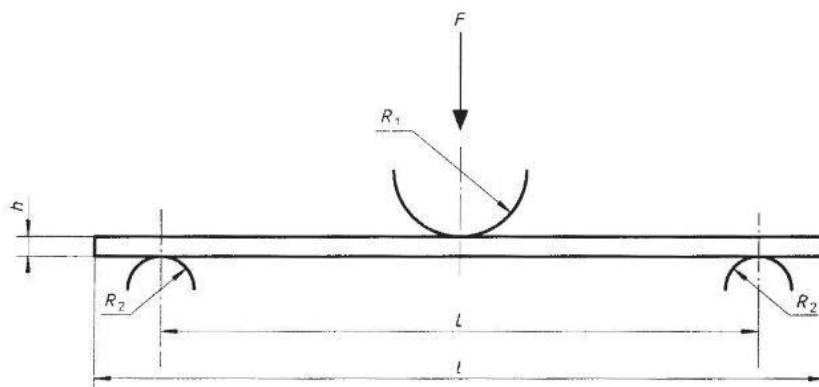


Slika 39. Prosječne vrijednosti tvrdoće uzoraka sortirane prema tehnologiji izrade

3.4 Ispitivanje savojne čvrstoće

Savojna čvrstoća definira se kao naprezanje pri lomu ispitnog uzorka. Važno je svojstvo za materijale okluzijske udlage jer su one prilikom korištenja izložene djelovanju žvačnih sila koje ih mogu deformirati ili čak slomiti.

Na slici 40 vidimo shemu ispitivanja savojne čvrstoće materijala. Riječ je o tro-točkastom ispitivanju gdje se ispitna epruveta postavlja na oslonce definiranog razmaka te se u sredini opterećuje sa savojnom silom F_s putem penetranta. Postupak traje sve do pucanja epruvete pri prekidnoj sili F_p koju smo potom odredili na mjernoj skali [21].



Slika 40. Shematski prikaz ispitivanja savojne čvrstoće [22]

Vrijednost savojne čvrstoće računa se prema izrazu[21]:

$$R_{ms} = \frac{3 \cdot F_p \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

gdje je:

R_{ms} – savojna čvrstoća, MPa

F_p – prekidna sila, N

L – razmak između oslonaca, mm

b – širina ispitnog uzorka, mm

h – debljina ispitnog uzorka, mm

Ispitivanje savojne čvrstoće provedeno je prema normi HRN EN ISO 20795-1.

Za ispitivanje savojne čvrstoće koristili smo epruvete pravokutnog poprečnog presjeka dimenzija 64 x 10 x 3,3 mm.

Epruvete su se sukladno normi najprije držale u vodi na temperaturi od 37 ± 1 °C u trajanju približno 50 sati (slika 41).



Slika 41. Uređaj za grijanje vode

Nakon držanja u vodi epruvete su vađene nasumičnim redom i potom smo mjerili njihove točne dimenzije koje će se koristiti u izračunu. Nakon mjerenja dimenzija epruvete su stavljene na uređaj za mjerenje savojne čvrstoće gdje su bile opterećene do loma.



Slika 43. Uređaj za ispitivanje savojne čvrstoće



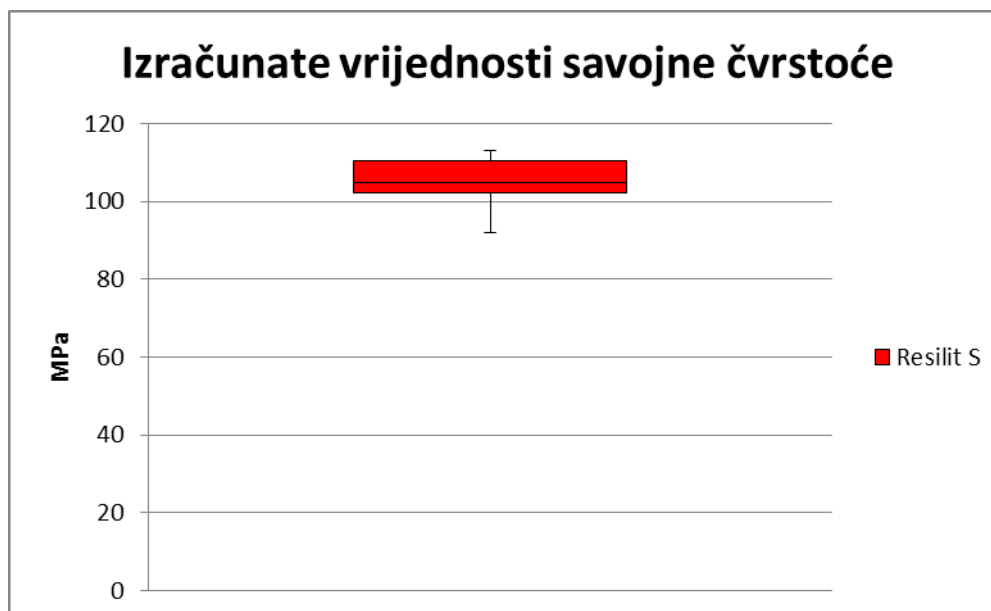
Slika 42. Ispitivanje savojne čvrstoće

3.4.1 Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće

Rezultati ispitivanja dani su u tablicama za svaku skupinu uzorka pojedinačno sa izmjerenim duljinama uzorka, prekidnom silom te izračunatom savojnom čvrstoćom, također je dan prikaz rezultata dijagramski gdje se vidi područje rezultata i označena aritmetička sredina.

Tablica 10. Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće za Resilit S

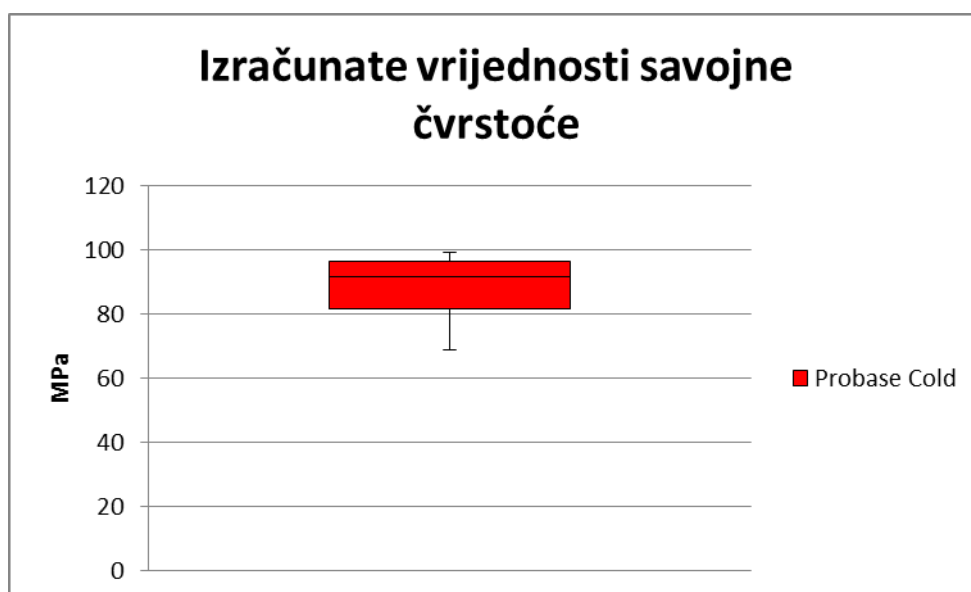
1. Resilit S					
Oznaka uzorka	b, mm	h, mm	l, mm	F, N	Savojna čvrstoća, MPa
110	10,22	3,26	50	150	103,6
14	10,56	3,42	50	170	103,2
12	10,42	3,54	50	180	103,4
19	10,1	3,22	50	148	105,9
16	9,98	3,36	50	170	113,1
15	10,22	3,52	50	188	111,3
11	9,94	3,34	50	158	106,8
13	10,14	3,28	50	134	92,1
18	10,32	3,5	50	186	110,3
17	10,3	3,38	50	156	99,4



Slika 44. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti savojne čvrstoće za Resilit S

Tablica 11. Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće za Probase Cold

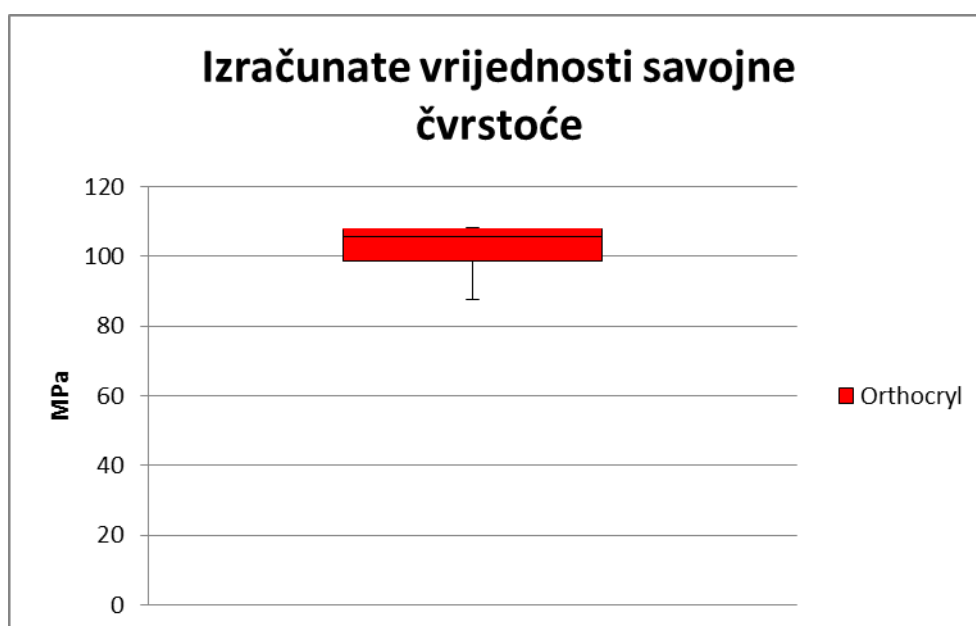
2. Probase Cold					
Oznaka uzorka	b, mm	h,mm	l,mm	F, N	Savojna čvrstoća, MPa
29	10,06	3,44	50	146	91,9
23	10,4	3,3	50	124	82,1
25	10,44	3,12	50	128	94,4
22	10,24	3,52	50	168	99,3
28	9,92	3,36	50	136	91,1
27	10,2	3,48	50	160	97,1
21	10,26	3,74	50	132	68,9
24	10,3	3,38	50	128	81,6



Slika 45. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti savojne čvrstoće za Probase Cold

Tablica 12. Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće za Orthocryl

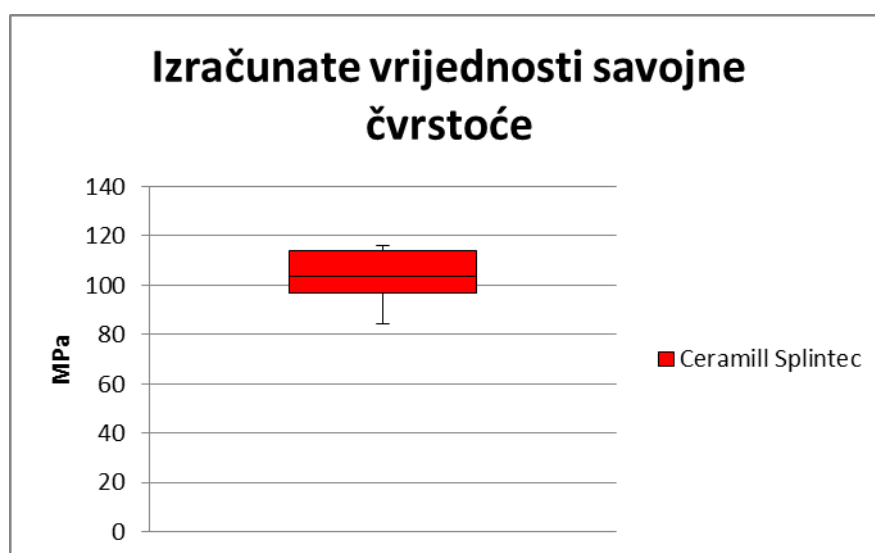
3. Orthocryl					
Oznaka uzorka	b, mm	h,mm	l,mm	F, N	Savojna čvrstoća, Mpa
37	10,56	3,16	50	146	103,8
34	10,38	3,32	50	162	106,1
31	10,58	3,28	50	164	108,1
38	10,56	3,46	50	180	106,7
35	10,22	3,3	50	130	87,6
36	10,48	3,38	50	168	105,2
33	10,54	3,04	50	140	107,8
32	10,6	3,54	50	162	91,5
39	10,44	3,5	50	184	107,9
310	10,6	3,22	50	148	100,9



Slika 46. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti savojne čvrstoće za Orthocryl

Tablica 13. Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće za Ceramill Splintec

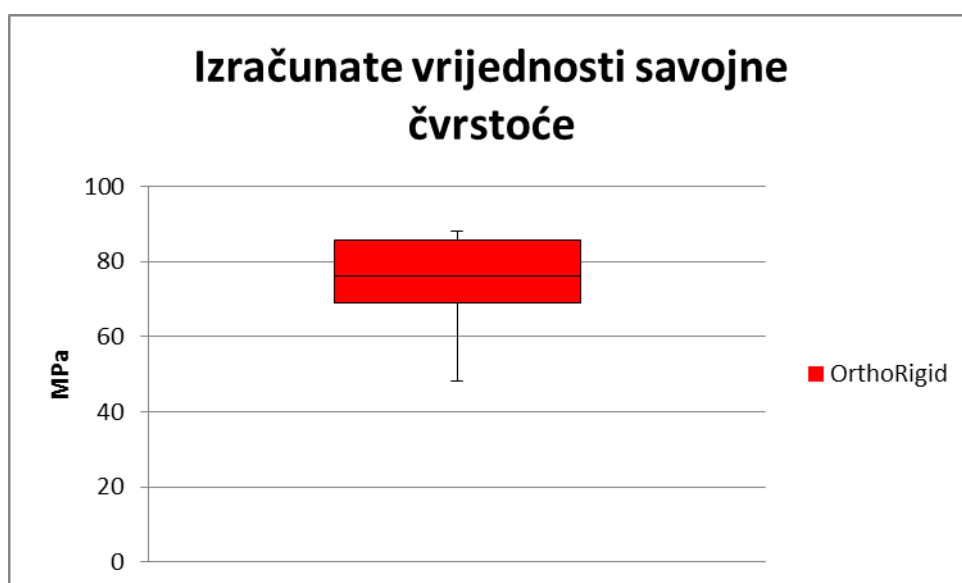
4. Ceramill Splintec					
Oznaka uzorka	b, mm	h,mm	l,mm	F, N	Savojna čvrstoća, MPa
48	9,98	3,42	50	156	100,2
45	9,96	3,38	50	172	113,4
46	9,82	3,42	50	150	97,9
41	10,02	3,42	50	174	111,4
42	9,98	3,4	50	156	101,4
49	10	3,44	50	148	93,8
47	10,18	3,42	50	168	105,8
44	10,04	3,42	50	182	116,2
43	9,98	3,38	50	128	84,2
410	10	3,4	50	178	115,5



Slika 47. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti savojne čvrstoće za Ceramill Splintec

Tablica 14. Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće za OrthoRigid

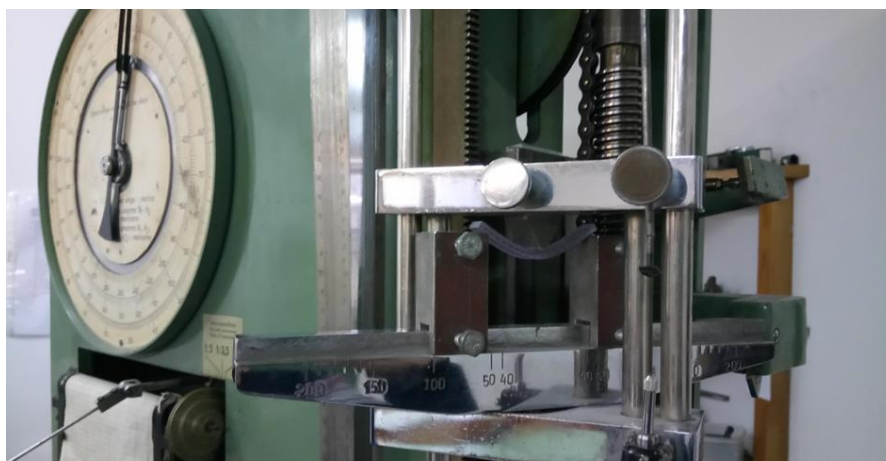
7. OrthoRigid					
Oznaka uzorka	b, mm	h,mm	l,mm	F, N	Savojna čvrstoća, MPa
714	11,89	3,53	50	138	69,8
713	11,86	3,65	50	146	69,3
711	12,15	3,54	50	98	48,3
78	11,72	3,41	50	132	72,6
72	10,13	3,78	50	132	68,4
75	10,08	3,49	50	140	85,5
715	10,33	3,33	50	132	86,4
77	10,44	3,51	50	136	79,3
79	10,11	3,51	50	146	87,9
71	10,11	3,56	50	140	81,9



Slika 48. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti savojne čvrstoće za OrthoRigid

Svi uzorci iz skupine 5(Copratur) i 6(Varseo) su savijeni na uređaju do krajnje granice mogućeg hoda penetranta ali nije došlo do njihovog loma pa stoga nismo mogli odrediti prekidnu silu a time ni savojnu čvrstoću.

Oba materijala su na bazi poliamida dok su svi preostali akrilatni polimeri.



Slika 49. Potpuno savijeni uzorak

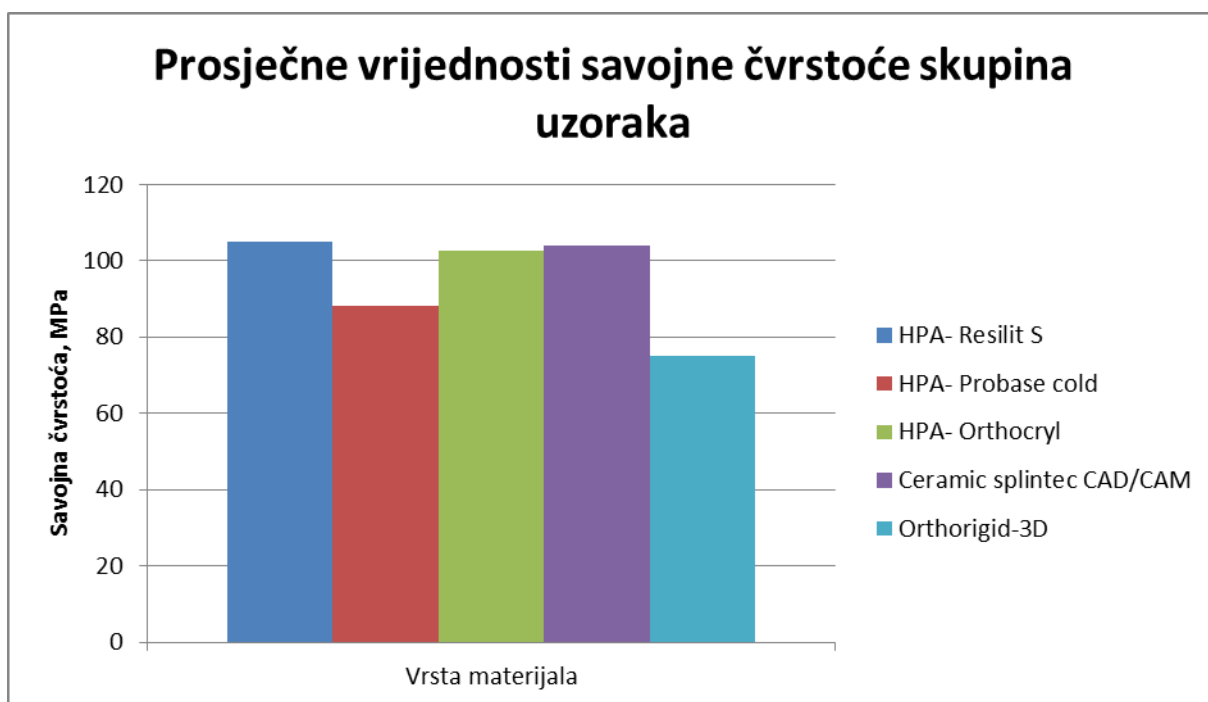
3.4.2 Analiza rezultata ispitivanja savojne čvrstoće

S obzirom na to da se dvije vrste materijala uopće nisu slomile na ispitnom uređaju u daljnju analizu rezultata uzeti ćemo preostalih pet skupina uzoraka.

Rezultati unutar skupina uzoraka imaju nešto veće rasipanje vrijednosti u odnosu na tvrdoću ali su svi materijali pokazali zadovoljavajuće vrijednosti savojne čvrstoće.

Za svaku skupinu uzoraka izračunata je prosječna vrijednost savojne čvrstoće i one su prikazane dijagramski na slici 50. Prikazani prosječni rezultati djeluju ujednačenije naročito hladno polimerizirajući akrilati dok je OrthoRigid, materijal proizveden aditivnom tehnologijom imao najniži rezultat.

Analizom varijance (tablica 15) utvrđena je statistički značajna razlika među prosječnim rezultatima skupova.

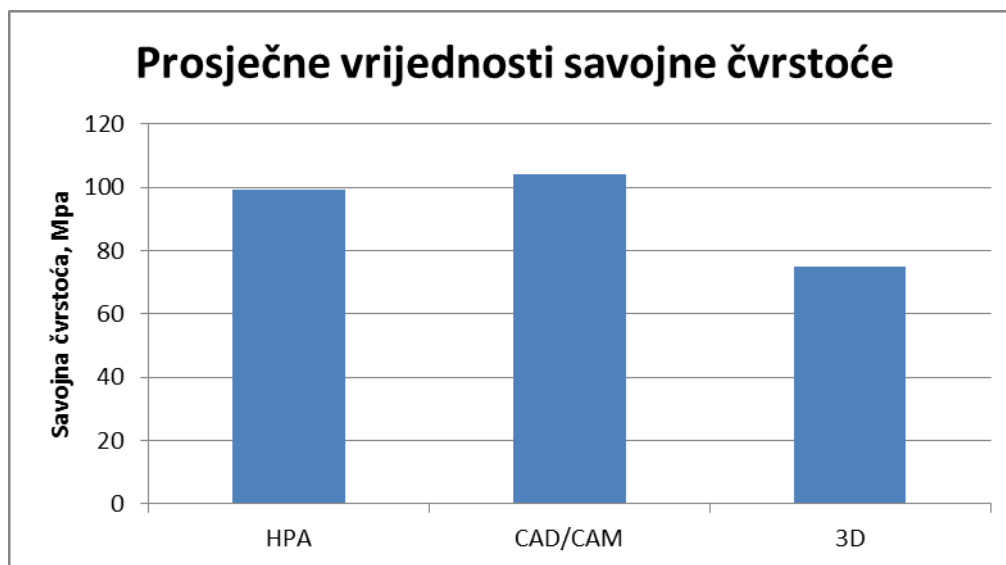


Slika 50. Dijagramski prikaz prosječnih vrijednosti savojne čvrstoće skupina uzoraka

Tablica 15. ANOVA tablica za analizu rezultata izrađena u programu MS Excel 2010

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Column 1	10	1049,464	104,9464	38,27791		
Column 2	8	706,6566	88,33208	102,1664		
Column 3	10	1025,893	102,5893	52,81282		
Column 4	10	1039,854	103,9854	108,9354		
Column 5	10	749,5839	74,95839	144,1287		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	6742,28	4	1685,57	19,01073	4,574E-09	2,5888361
Within Groups	3812,558	43	88,66414			
Total	10554,84	47				

Na slici 51 prikazana je dijagramska usporedba rezultata s obzirom na način izrade uzorka. S obzirom da zbog navedenih razloga nedostaje jedan CAD/CAM materijal i jedan materijal za aditivnu proizvodnju rezultate nije moguće u potpunosti tumačiti ali valja istaknuti podjednako dobre vrijednosti hladno-polimerizirajućih akrilata i CAD/CAM materijala Ceramill Splintec što ujedno i logično s obzirom na to da su to materijali na istoj bazi.



Slika 51. Prosječne vrijednosti savojne čvrstoće uzoraka sortirane prema tehnologiji proizvodnje

3.5 Ispitivanje udarne žilavosti

Udarne žilavost je svojstvo materijala koje iskazuje koliki je otpor materijala na udarac [20]. Ispitivanje udarne žilavosti provedeno je na Charpy-evom bat u laboratoriju za mehanička ispitivanja polimera na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu (slika 52).

Ispitivanje se provodi tako da se ispitnoj epruveti sa odgovarajućim urezanim utorom izmjere točne dimenzije, potom se stavlja u oslonac, te se na nju sa određene visine spusti bat koji slobodnim padom lomi epruvetu. Nakon loma epruvete na mjernoj skali očitavamo energiju loma E_c potrebnu da se slomi epruveta.



Slika 52. Charpyev bat

Izraz za računanje udarne žilavosti glasi[21]:

$$A_{cu} = \frac{E_c}{b \cdot h} \cdot 10^3, KJ / m^2$$

gdje je:

A_{cu} - udarna žilavost, kJ/m²

E_c – energija loma, J

b – širina ispitnog uzorka, mm

h – debljina ispitnog uzorka, mm

Za ispitivanje žilavosti pripremljeni su uzorci pravokutnog poprečnog presjeka dimenzija 39 x 8 x 4 mm na koje smo urezivali V-utor dubine 2 mm (slika 53).



Slika 53. Urezivanje V-utora na ispitne uzorke

Prije samoga ispitivanja uzorci za ispitivanje bili su držani u vodi na 37 °C u trajanju od 168 sati sukladno preporukama norme za ispitivanje stomatoloških polimera.



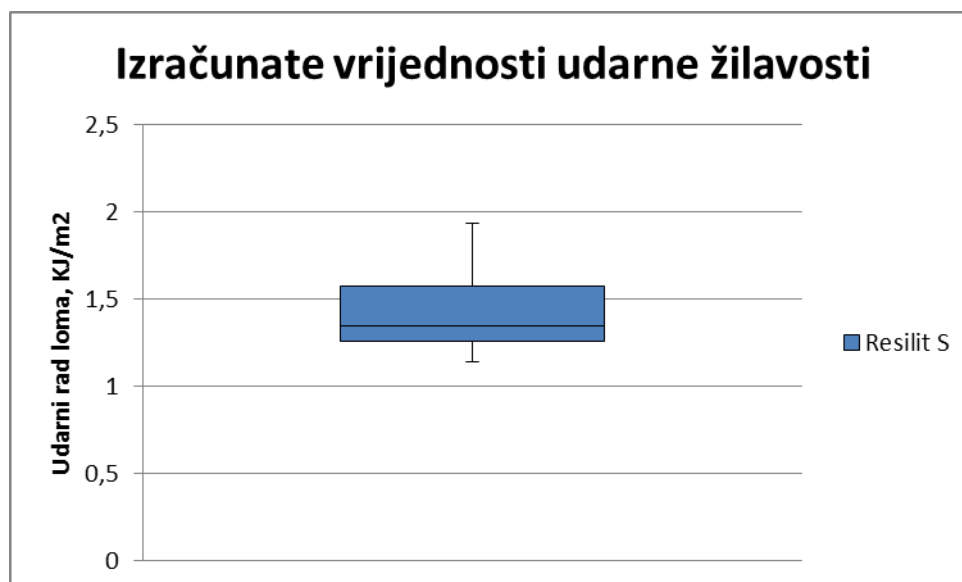
Slika 54. Uređaj za grijanje vode

3.5.1 Rezultati ispitivanja udarne žilavosti

Rezultati ispitivanja dani su u tablicama pojedinačno za svaku skupinu materijala te su prikazani dijagramski sa naznačenim područjima vrijednosti lomne žilavosti.

Tablica 16. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za Resilit S

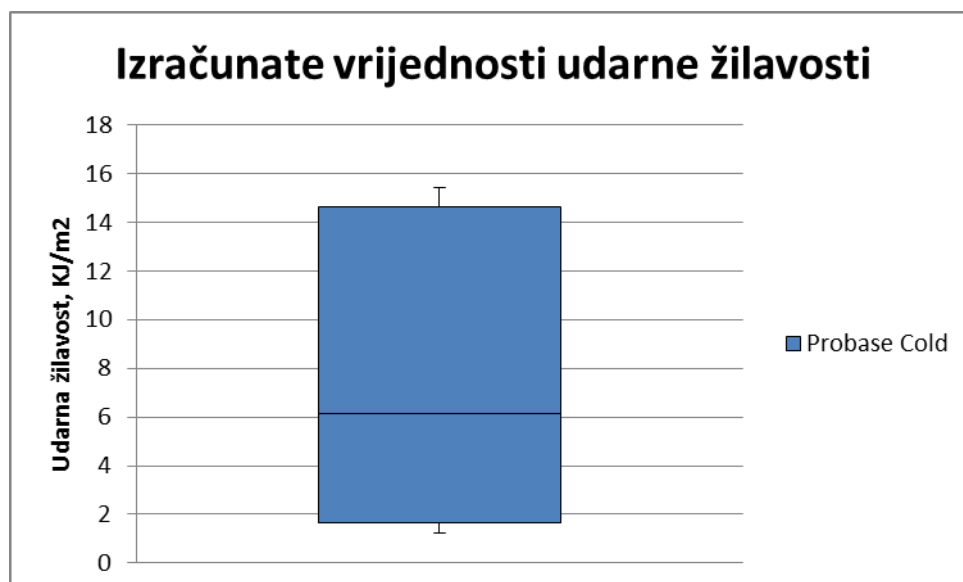
1. Resilit S	Rbr	Oznaka	b, mm	h, mm	Ec, J	Acu, KJ/m ²
	2	15	6,52	4,16	0,031	1,1
	6	13	6,91	4,5	0,043	1,4
	9	12	6,72	4,52	0,04	1,3
	15	11	6,59	4,28	0,035	1,2
	16	18	6,59	4,32	0,055	1,9
	41	16	6,98	4,52	0,041	1,3
	51	19	7,25	4,32	0,045	1,4
	56	110	6,74	4,1	0,043	1,5
	63	14	6,88	4,26	0,048	1,6
	65	17	7,02	4,52	0,04	1,3



Slika 55. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za Resilit S

Tablica 17. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za Probase Cold

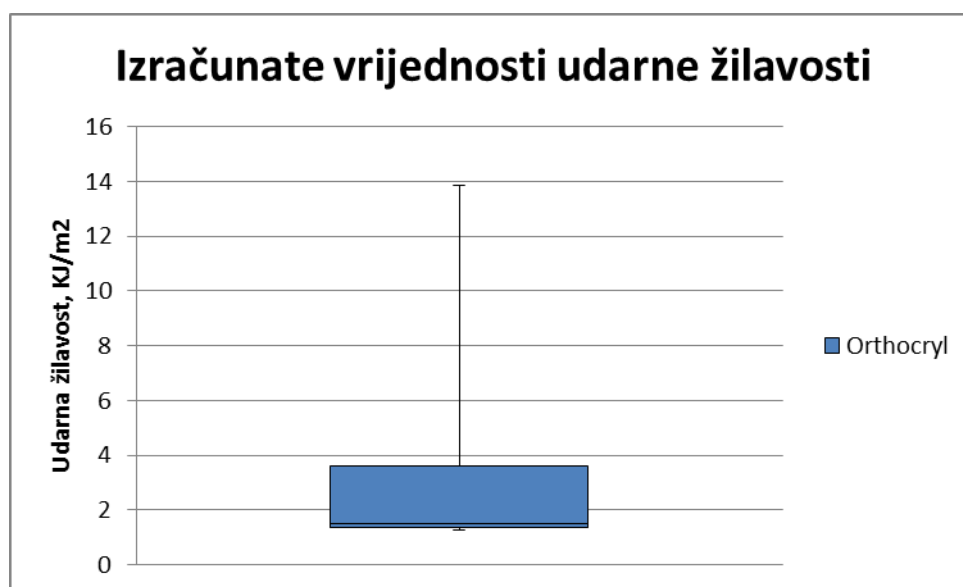
2. Probase Cold	Rbr	Oznaka	b,mm	h, mm	Ec, J	Acu, KJ/m2
	23	23	7,26	4,02	0,45	15,4
	29	22	7	4,54	0,49	15,4
	210	29	7,11	4,8	0,42	12,3
	28	210	6,97	4,34	0,08	2,6
	26	28	7,27	4,5	0,05	1,5
	24	26	7,15	4,32	0,038	1,2
	21	24	7,37	4,24	0,3	9,6
	25	21	6,66	4,46	0,06	2,1



Slika 56. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za Probase Cold

Tablica 18. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za Orthocryl

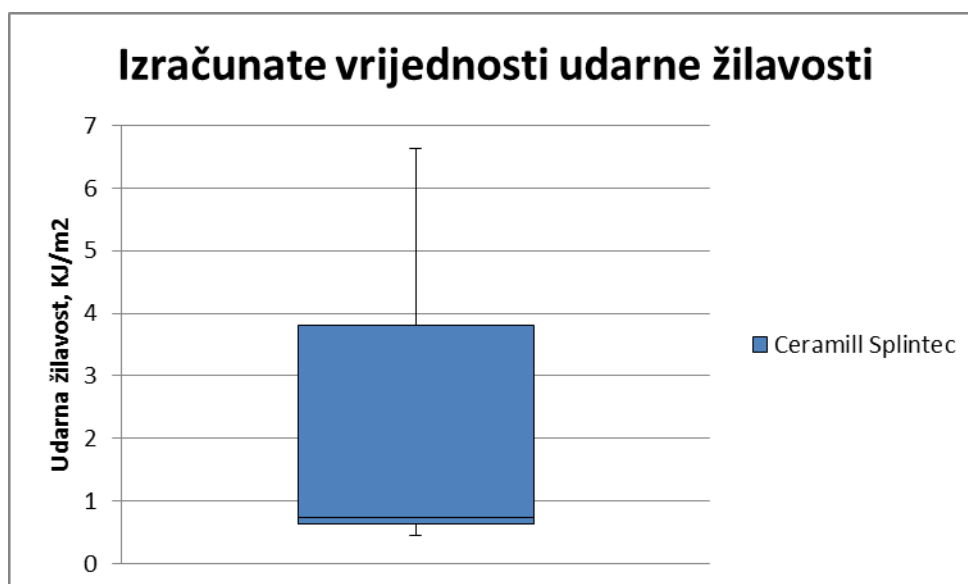
3. Orthocryl	Rbr	Oznaka	b, mm	h, mm	F, N	Acu, KJ/
	1	36	7,32	4,3	0,048	1,5
	7	33	6,76	4,4	0,053	1,8
	20	310	7,03	4,48	0,04	1,3
	30	39	6,91	4,32	0,16	5,3
	32	35	6,67	4,18	0,04	1,4
	33	34	7,43	4,58	0,045	1,3
	36	31	7,02	4,54	0,06	1,8
	37	38	7,32	4,14	0,42	13,8
	54	37	7,13	4,6	0,045	1,3



Slika 57. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za Orthocryl

Tablica 19. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za Ceramill Splintec

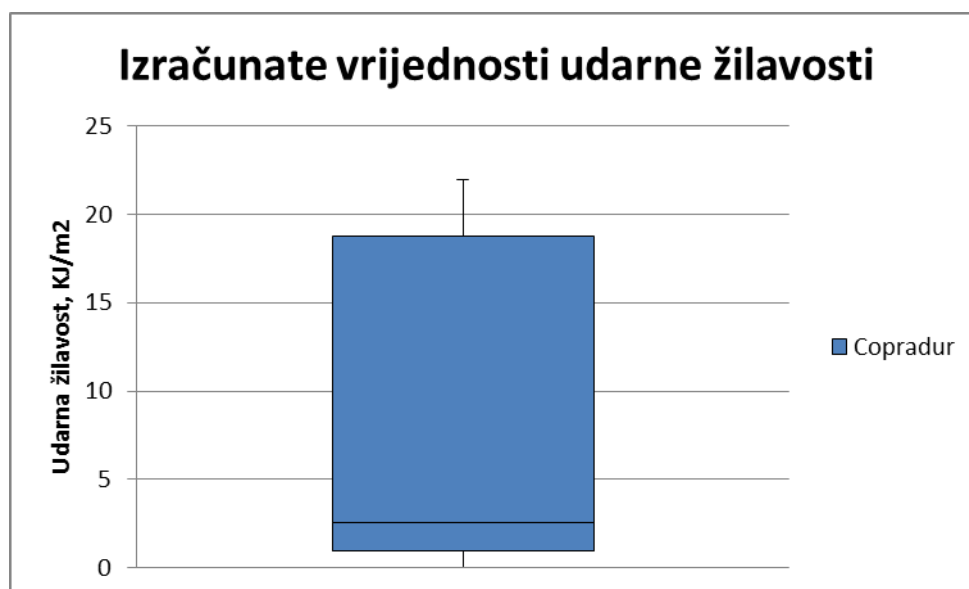
4. Ceramill Splintec	Rbr	Oznaka	b, mm	h, mm	F, N	Acu, KJ/m ²
	10	46	6,4	4,14	0,015	0,6
	12	49	6,48	4,16	0,02	0,7
	14	41	6,6	4,22	0,028	1,0
	42	410	6,45	4,26	0,02	0,7
	43	47	6,49	4,16	0,012	0,4
	46	45	6,66	4,3	0,03	1,0
	59	43	6,36	4,26	0,18	6,6
	70	42	6,16	4,2	0,018	0,7
	53	44	6,28	4,13	0,17	6,5



Slika 58. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za Ceramill Splintec

Tablica 20. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za Copradur

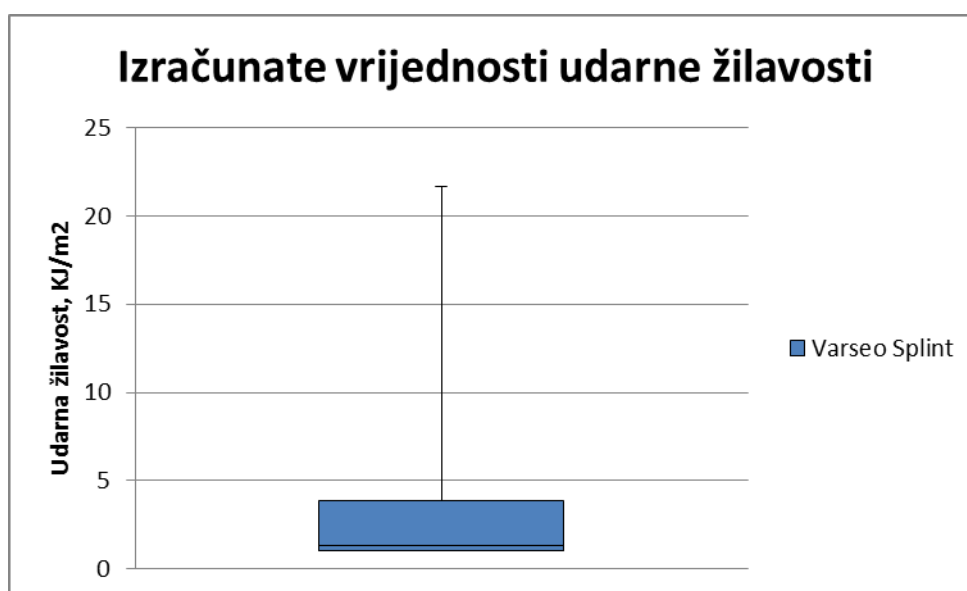
5. Copradur	Rbr	Oznaka	b, mm	h, mm	F, N	Acu, KJ/m ²
	38	52	6,46	4,54	0,56	19,1
	40	510	6,91	4,66	0,011	0,3
	47	55	6,63	4,68	0,1	3,2
	49	51	6,9	4,72	0,052	1,6
	50	58	6,97	4,79	0,55	16,5
	40	510	6,91	4,66	0,011	0,3
	55	57	6,61	4,89	0,72	22,3
	58	54	7,14	4,19	0,049	1,6
	60	56	6,52	4,8	0,08	2,5
	69	53	6,21	4,22	0,33	12,6



Slika 59. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za Copradur

Tablica 21. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za Varseo wax splint

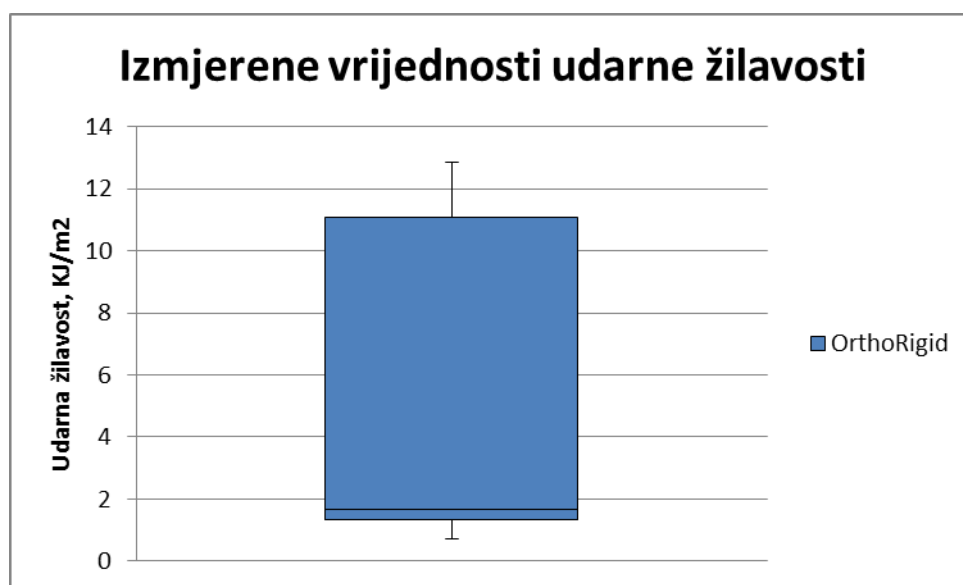
6. Varseo Splint	Rbr	Oznaka	b,mm	h, mm	F, N	Acu, KJ/m2
	5	66	6,57	4,16	0,045	1,6
	8	62	7,36	4,26	0,68	21,7
	17	69	6,38	4,26	0,027	1,0
	19	64	7,38	4,24	0,032	1,1
	31	65	7,48	4,18	0,04	1,3
	35	68	6,76	4,24	0,3	10,5
	57	61	6,79	4,24	0,03	1,1
	66	610	6,97	4,24	0,042	1,4
	67	63	5,85	4,28	0,029	1,2
	5	66	6,57	4,16	0,045	1,6



Slika 60. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za Varseo splint

Tablica 22. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za OrthoRigid

7. OrthoRigid	Rbr	Oznaka	b, mm	h, mm	F, N	Acu, KJ/m ²
	3	78	6,78	4,52	0,34	11,1
	4	75	7,26	4,39	0,052	1,6
	22	710	7,04	4,32	0,039	1,3
	28	73	7,28	4,46	0,32	9,8
	34	74	6,71	4,04	0,019	0,7
	39	76	6,98	4,3	0,05	1,6
	45	72	7,12	4,26	0,39	12,8
	62	79	7,33	4,32	0,042	1,3
	64	71	7,25	4,52	0,04	1,2
	68	77	7,12	4,2	0,037	1,2

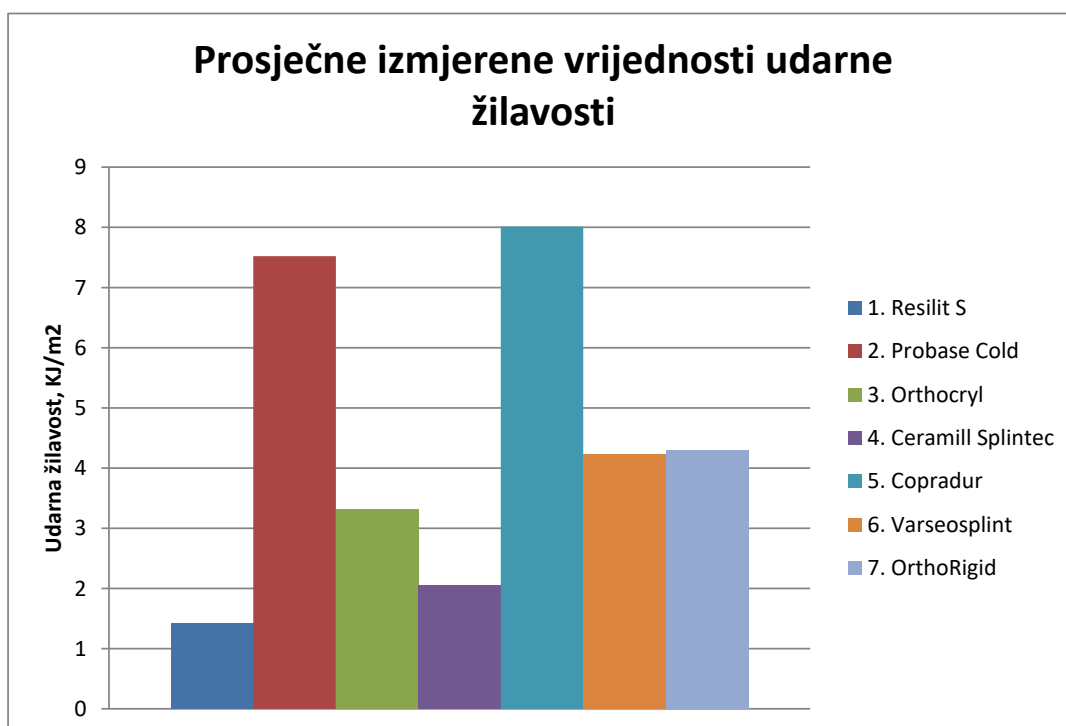


Slika 61. Dijagramski prikaz izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za OrthoRigid

3.5.2 Analiza rezultata ispitivanja udarne žilavosti

Dobiveni rezultati po skupinama uzoraka pokazuju veliko rasipanje što se vidi iz velikih razlika između minimalne i maksimalne vrijednosti udarnog rada loma.

Na slici 62 vidimo dijagramski prikaz usporedbe prosječnih izračunatih vrijednosti udarne žilavosti za sve vrste materijala.



Slika 62. Prosječne vrijednosti udarne žilavosti uzoraka

Najveće prosječne vrijednosti udarne žilavosti imaju Probase Cold i Copradur. Probase cold ima dvostruko bolju žilavost od preostala dva materijala iz skupine hladno polimerizirajućih akrilata. Copradur ima najbolje svojstvo žilavosti, skoro 4 puta veće od drugog CAD/CAM materijala.

Aditivno proizvedeni materijali su imali relativno prosječan rezultat u odnosu na ostale.

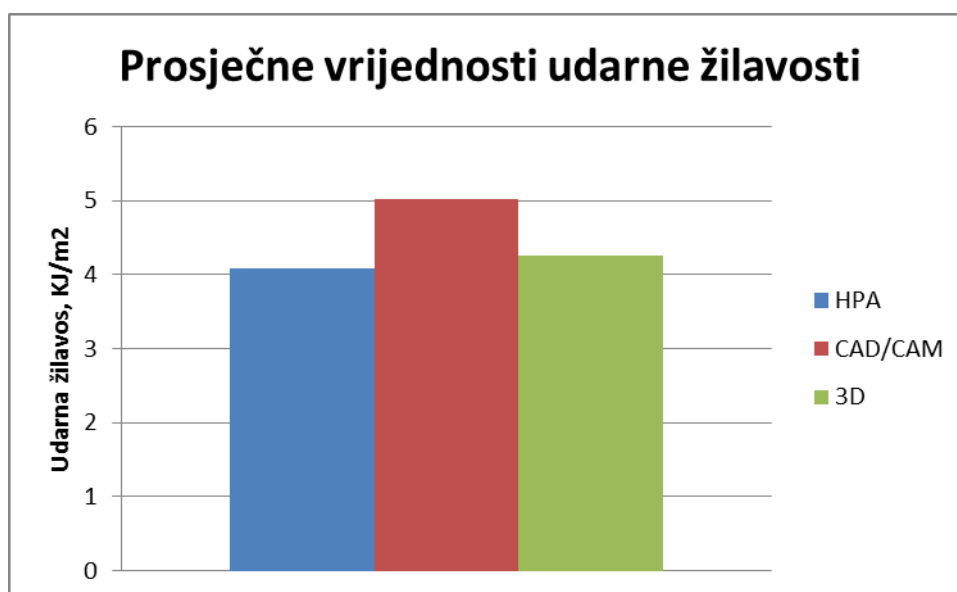
Valja uzeti u obzir i ranije navedene velike disipacije u rezultatima po skupinama gdje su velike razlike između ekstremnih vrijednosti rezultata stoga se ne može donijeti jasan zaključak o žilavosti materijala.

Analiza varijance (Tablica 22) je potvrdila da se radi o statistički značajnim razlikama među skupinama uzoraka.

Tablica 23. ANOVA tablica za analizu rezultata mjerenja udarnog rada loma izrađena u programu MS Excel 2010

Anova: Single Factor						
SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Column 1	8	11,13139	1,391424	0,020523		
Column 2	6	43,51843	7,253072	35,82356		
Column 3	7	14,67847	2,096925	2,113897		
Column 4	7	11,33903	1,619862	4,76443		
Column 5	8	57,51563	7,189454	57,6151		
Column 6	7	18,03659	2,576656	12,15295		
Column 7	8	29,31428	3,664284	17,8098		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	272,7171	6	45,45286	2,434707	0,040481	2,313264
Within Groups	821,4234	44	18,66871			
Total	1094,141	50				

Na slici 63 vidimo prosječne izračunate vrijednosti udarne žilavosti uzoraka sortiranih po tehnologiji izrade. Ovdje nema velikih odstupanja između prosječnih vrijednosti, CAD/CAM materijali imaju nešto veće vrijednosti udarnog rada loma ali se ta razlika smatra zanemarivom.



Slika 63. Prosječne vrijednosti udarne žilavosti uzoraka sortirane prema tehnologiji izrade

4. ZAKLJUČAK

Uz pretpostavku da je za materijal okluzijske udlage poželjno da su ispitivana mehanička svojstva što više iz dobivenih rezultata može se zaključiti sljedeće:

- Statistička analiza rezultata ispitivanja potvrdila je da između dobivenih rezultata svih mjerenja postoje statistički značajne razlike
- Hladno polimerizirajući akrilati imaju najviše vrijednosti tvrdoće te najniže vrijednosti žilavosti što ukazuje na dobru korespondenciju rezultata
- Dobivene vrijednosti savojne čvrstoće odgovaraju očekivanim vrijednostima za polimerne materijale
- Copradur(materijal za CAD/CAM proizvodnju) i Varseo(materijal za aditivnu proizvodnju), jedina dva materijala na bazi poliamida su imali najniže vrijednosti tvrdoće i jedini se nisu slomili pri ispitivanju savojne čvrstoće što dovodi do zaključka da je riječ o elastičnijim i mekšim materijalima u odnosu na ostale
- Copradur i Probase Cold su imali veće prosječne vrijednosti udarnog rada loma ali zbog velike disipacije rezultata ne može se jednoznačno zaključiti da je stvarno riječ o značajno žilavijim materijalima

Svi ispitani materijali su postigli zadovoljavajuće rezultate mehaničkih ispitivanja te se smatraju prikladnima za izradu okluzijskih udlaga, ali valja istaknuti da zbog navedenih razlika u rezultatima ispitivanja primjena pojedine vrste materijala materijala pri izradi okluzijske udlage ovisi o vrsti udlage i uvjetima njene primjene.

LITERATURA

- [1] Khaiat Mardnli, F.: Bruksizam, klinička slika, dijagnostika i terapija, diplomski rad, Stomatološki fakultet, Zagreb 2015.
- [2] Macedo, C.R; Machado MAC; Silva AB; Prado GF 2009 "Pharmacotherapy for sleep bruxism". Cochrane Database of Systematic Reviews. John Wiley & Sons, Ltd., 2009.
- [3] Manfredini D, Winocur E, Guarda-Nardini L, Paesani D, Lobbezoo F.: "Epidemiology of bruxism in adults: a systematic review of the literature", stručni članak, 2013.
- [4] Pitti V, Satish Babu CL, Surendra Kumar GP, Deepthi BC: "Bruxism: a literature review", Journal of Indian Prosthodontic Society, 2010.
- [5] Okeson, J.P.: Management o termomandibular disorders and occlusion, Sveučilište Kentucky, SAD, 1985.
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/Mouthguard>
- [7] Du Pont J.S., Brown C.E.: Occlusal Splints From the Beginning to the Present, stručni članak, SAD, 2006.
- [8] Miyazaki T, Hotta Y, Kunni J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. Dent Mater. 2009; 28(1):44-56.
- [9] Bubalo V., Jerolimov V., Baučić I., Andreis M., Veksli Z.: Akrilatni polimeri u dentalnoj protetici: Priprava i mehanička svojstva, Pregledni rad, Stomatološki fakultet Zagreb, 2012
- [10] Bubalo V., Jerolimov V., Baučić I., Andreis M., Veksli Z: Akrilatni polimeri u dentalnoj protetici: Procesi razgradnje, Pregledni ran, Stomatološki fakultet Zagreb, 2012
- [11] Janović, Z.: Polimerizacije i polimeri, Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa, Zagreb, 1997
- [12] Čimić, S.: Kliničko istraživanje kretnji i položaja donje čeljusti ultrazvučnim postupkom, doktorski rad, Stomatološki fakultet Zagreb, 2014.
- [13] Jelić, K.: Laboratorijska izrada okluzijskih udloga, Stomatološki fakultet Zagreb, 2016.

-
- [14] <http://trends.medicalexpo.com/amann-girrbach/project-71298-421737.html>
- [15] Salmi M., Paloheimo K.S., Tuomi J., Ingman T.: A digital process for additive manufacturing of occlusal splints: a clinical pilot study, The Royal society publishing, 2013.
- [16] Cindrić M.: Okluzijska udlaga u terapiji temporomandibularnih poremećaja, diplomski rad, Stomatološki fakultet, Zagreb 2011.
- [17] <https://panadent.co.uk/shop/prosthetics-thermoforming/erkodent-resilit-s-denture-resin/>
- [18] <http://www.ardental.com.my/detail.asp?pid=370>
- [19] <https://shop.dentaurum.de/index.php?id=p&psn=9189&pgsn=3012&ch=e5fa5b>
- [20] Kraut, B.: Strojarski priručnik
- [21] Franz M., Kovačićek F., Novosel M., Indof J., Inženjerski priručnik ip4, 1. svezak, ŠK, Zagreb, 1998.
- [22] <http://polj.uns.ac.rs/Files/materijali/8%20Mehanicke%20osobine.pdf> 22.11.2014

PRILOZI

I. CD-R disc