



## KARAKTERIZACIJA DENTALNE LEGURE DOBIVENE 3D PRINTANJEM

### *CHARACTERISATION OF DENTAL ALLOY OBTAINED BY 3D PRINTING*

Dalibor Viderščak<sup>1</sup>, Zdravko Schauerl<sup>1</sup>, Amir Ćatić<sup>2</sup>, Elena Pavlek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Ivana Lučića 5, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup> Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Ivana Gundulića 5, Zagreb, Hrvatska

#### **Sažetak**

U suvremenoj stomatologiji je sve češća primjena 3D printera, pogotovo za izradu individualiziranih protetskih nadomjestaka. Osim polimera, sve je učestalije i printanje metalnih legura kao što su Co-Cr legure. To je relativno novo područje u stomatologiji i postoje razne nepoznanice vezane uz povezanost parametara printanja sa strukturom i svojstvima izrađenih dijelova. U istraživanju su provedena laboratorijska ispitivanja strukture i osnovnih mehaničkih svojstva 3D isprintane Co-Cr legure. Dobiveni rezultati su uspoređeni s vrijednostima za Co-Cr legure dobivene tradicionalnim postupcima lijevanja. Rezultati su pokazali značajnu razliku i u strukturi i u svojstvima analiziranih materijala.

**Ključne riječi:** *stomatologija, 3D printanje, Co-Cr legure, mehanička svojstva*

#### **Abstract**

In modern dentistry 3D printing have more frequent application especially for production of individualized prosthetic substitutes. Except polymers, more and more frequent is 3D printing of metal alloys such as Co-Cr alloys. This is relatively new area in dentistry and there are various unknowns related to the connection of the 3D printing parameters with the structure and properties of the manufactured parts. In the research were conducted laboratory testings of the structure and basic mechanical properties of 3D printing Co-Cr alloys. The results were compared with the values of Co-Cr alloys produced with traditional casting processes. The results showed a significant difference in the structure and in the properties of the analyzed materials.

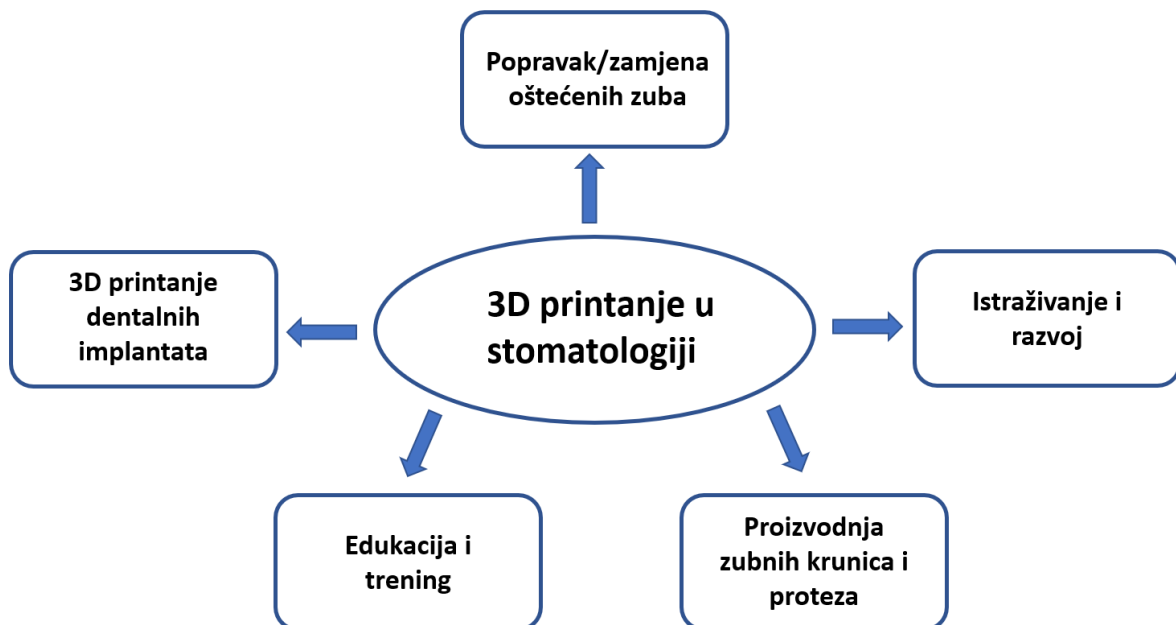
**Keywords:** *Dentistry, 3D Printing, Co-Cr alloys, Mechanical Properties*

## 1. UVOD

Kombiniranjem postupaka introoralnog skeniranja, CT skeniranja, CAD / CAM modeliranja te na kraju 3D printanja u stomatološkoj primjeni se može točno i brzo proizvesti dentalni nadomjestak. S 3D printanjem se eliminiraju nedostaci ručnog modeliranja te se ujedno ubrzava sam process proizvodnje, povećavaju se kapaciteti te preciznost i kvaliteta dentalnih nadomjestaka [1].

### 1.1. Primjena 3D printanja u stomatologiji [2]

U stomatologiji ima nekoliko različitih zahtjeva za pacijenta prilikom proizvodnje dentalnih proizvoda. Svaka tehnologija 3D printanja ima sebi svojstvene prednosti i nedostatke. Pomoću 3D printanja je moguće proizvesti bilo koji dentalni proizvod ili pomagalo te ujedno u mnogoćemu olakšati svakodnevni rad zubnih tehničara. Najčešća upotreba 3D printanja u stomatologiji je prikazano na slici 1.



Slika 1. Primjena 3D printanja u stomatologiji [2]

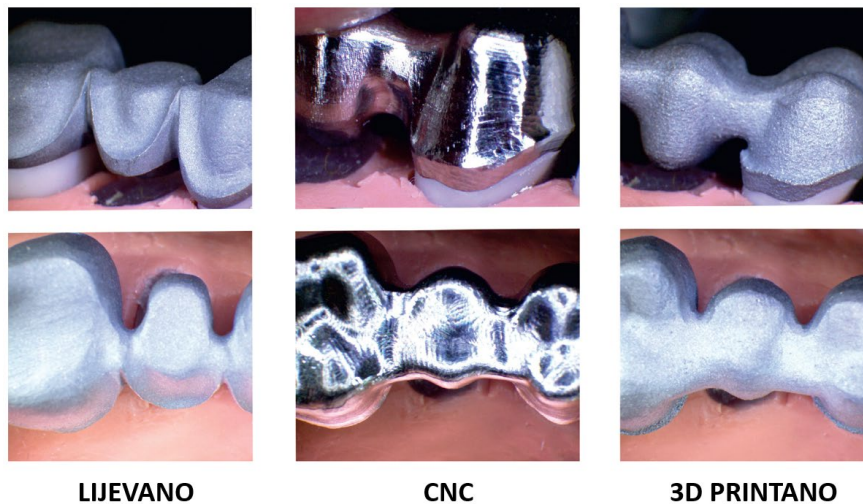
Upotrebom 3D printanja se smanjuje cijena dentalnih izradaka uz bolju kvalitetu i čvrstoću. 3D printanje se usredotočuje na individualiziranu proizvodnju odnosno za svakog pacijenta prilagođeni proizvod. Upotrebom 3D printanja u stomatologiji se postiže:

- Brži i učinkovitiji process njege pacijenta
- Smanjenje troškova
- Jednostavna proizvodnja personaliziranih proizvoda
- Smanjenje vremena izrade i povećanje točnosti
- Smanjenje upotrebe fizičkih prototipova
- Brza prilagodba novog dizajna

Upotrebom 3D printanja se postiže mogućnost upotrebe različitih materijala i njihovih kombinacija, kao npr. keramike, polimera i metalnih legura što doprinosi izradi optimalnog dentalnog proizvoda uz visoku točnost.

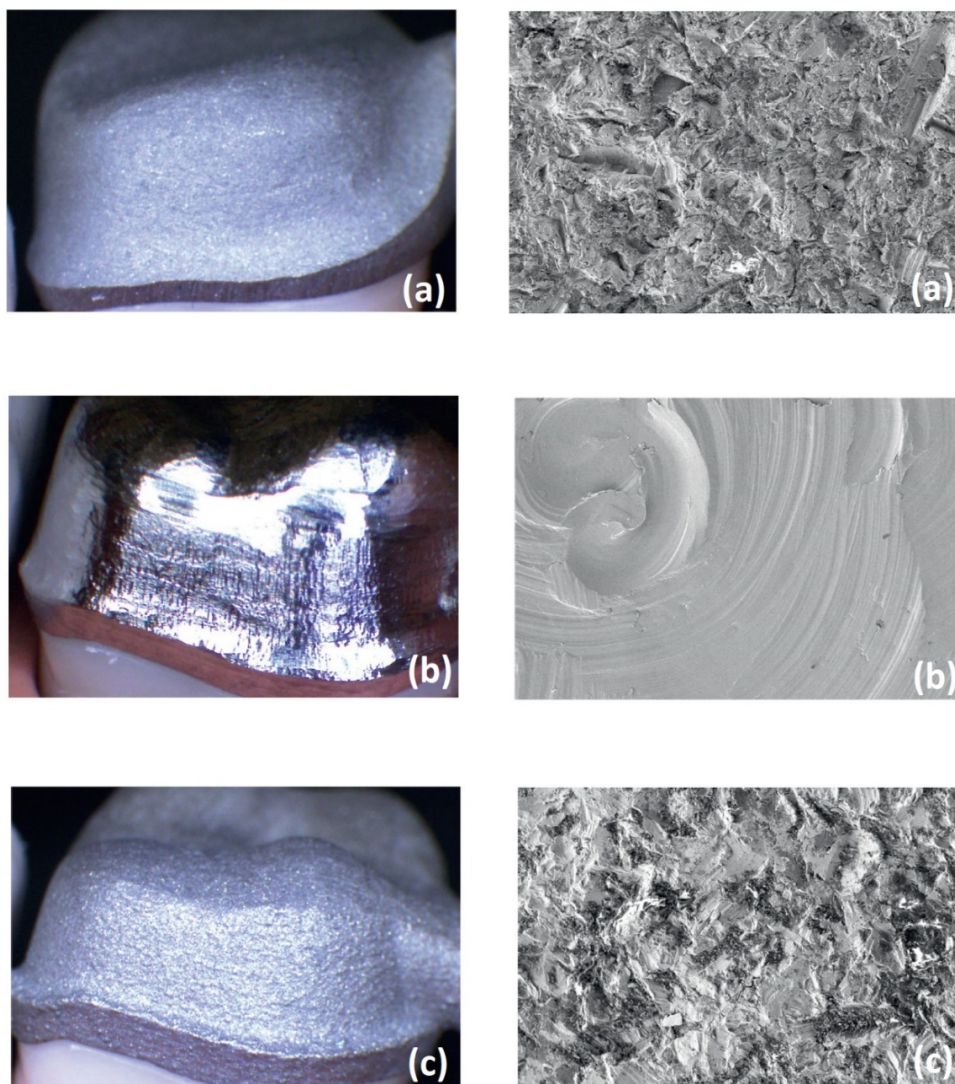
## 1.2. Usporedba svojstava različitih načina proizvodnje Co – Cr dentalnih legura

Najčešći način proizvodnje Co – Cr dentalnih legura je lijevanje, CNC obrada i 3D printanje. U današnje vrijeme kako tehnologije napreduju tako je i sve češća upotreba 3D printanja za proizvodnju dentalnih izradaka. Na slici 2 su prikazani izrađeni dentalni proizvodi pomoću različitih tehnologija te se oni međusobno razlikuju već vizualnim pregledom što dovodi do pretpostavke da će postojati razlike u svojstvima među različitim načinima proizvodnje. Lijevani i 3D printani proizvodi imaju ugađeniju i finiju površinu dok su CNC proizvodi grublji te se vide tragovi obrade odvajanjem čestica [3,4].



Slika 2. Co – Cr dentalni proizvodi nakon različitih načina proizvodnje [3]

Također postoje i velike razlike u mikrostrukturi različitih načina proizvodnje, a prikazane su na slici 3. Mikrostruktura 3D printanih (slika 3. (c)) Co – Cr dentalnih legura ima homogenu raspoređena zrna i raspršene čestice. CNC mikrostruktura (slika 3. (b)) ima tipičnu mikrostrukturu s vidljivim kanalima kojima je tekla obrada odvajanjem čestica dok je u lijevanoj mikrostrukturi (slika 3. (a)) prisutno više poroziteta i nije homogena kao kod 3D printanja.



Slika 3. Mikrostruktura Co - Cr dentalni proizvoda nakon različitih načina proizvodnje: (a) lijevano, (b) CNC, (c) 3D printano [3]

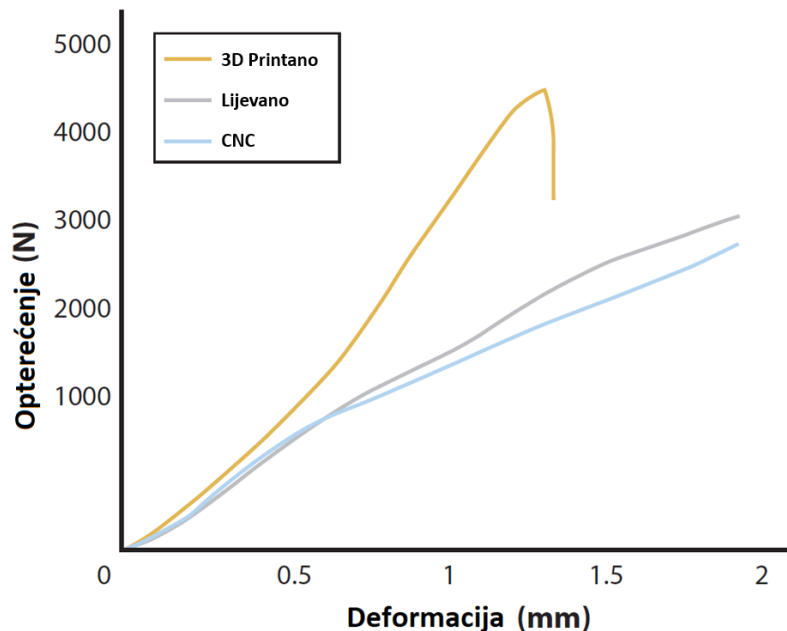
Dobivena su karakteristična svojstva koja su veoma bitna za dentalnu upotrebu te su prikazana u tablici 1.

Tablica 1. Karakteristična svojstva Co - Cr dentalnih legura zrazličitih načina proizvodnje [3]

SVOJSTVO	LIJEVANO	CNC	3D PRINTANO
Masa [g]	3.00 ±0.12	3.08 ±0.02	2.70 ±0.04
Debljina stijenke [mm]	0.5 ±0.08	0.6 ±0.02	0.5 ±0.06
Krutost [N/mm]	2796 ±584	2490 ±557	4072 ±318
Tvrdoća [HV]	264 ±11	270 ±16	466 ±13
Površinska hrapavost Rmax [μm]	12.82 ±2.33	5.49 ±2.18	13.58 ±3.38

Iz tablice 1 se mogu vidjeti kako postoje značajne razlike u svojstvima ovisno o načinu proizvodnje. Najveća razlika je prisutna u svojstvima krutosti i tvrdoće gdje su značajne razlike u dobivenim vrijednostima, odnosno 3D printanje je postiglo mnogo veće vrijednosti, dok je još značajnija razlika u površinskoj hrapavosti gdje je CNC obrada postigla mnogo bolje vrijednosti od ostalih načina proizvodnje.

Karakterističan graf opterećenje – deformacija je prikazan na slici 2.



**Slika 4. Grafički prikaz krivulja opterećenje – deformacija za različite načine izrade [3]**

Iz grafa opterećenje – deformacija je vidljivo da se postupkom lijevanja i CNC obrade dobivaju veće vrijednosti deformacije proizvoda s time da su vrijednosti tih svojstava približno jednake, odnosno materijal je duktilniji i elastičniji dok 3D printani proizvodi imaju nešto manju duktilnost i elastičnost u odnosu na ostale postupke proizvodnje. Te karakteristike dovode i do razlika u mehaničkim svojstvima proizvoda koja su prikazana u tablici 2.

**Tablica 2. Karakteristična mehanička svojstva Co – Cr dentalnih legura z različitih načina proizvodnje [4]**

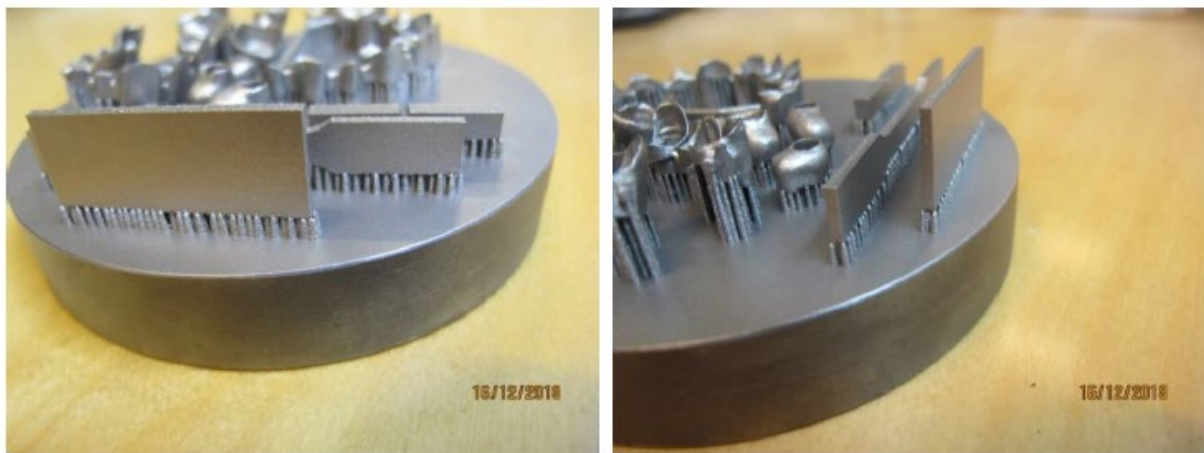
NAČIN PROIZVODNJE	Rp0.2 [Mpa]	Rm [MPa]	ε [%]	Tvrdoća [HV10]
LIJEVANO	520 ±30	658 ±44	8.0 ±0.4	323.7 ±27.2
CNC	495 ±20	638 ±25	11.1 ±1.0	325.2 ±17.8
3D PRINTANO	790 ±11	1072 ±18	12.7 ±1.9	475.3 ±10.2

Prema vrijednostima mehaničkih svojstava iz tablice 2 se može zaključiti da 3D printani proizvodi imaju veće vrijednosti svih relevantnih svojstava bitnih za dentalnu primjenu, dok se mehanička svojstva lijevanih i CNC dobivenih proizvoda međusobno razlikuju u manjem odnosu, odnosno svojstva su približno jednaka.

## 2. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu su ispitivana mehanička svojstva Co-Cr dentalne legure izrađene 3D printanjem tehnologijom DMLS (e. *Direct Metal Laser Sintering*), izravno lasersko srašćivanje metala na 2 različita stroja kako bi se utvrdilo dali postoje razlike među svojstvima konačnog proizvoda. Ispitivanje mehaničkih svojstava se provelo na nestandardnim epruvetama zbog ograničenja u radne podloge 3D stroja koja nije u mogućnosti izraditi dimenzije standardnih epruveta. Za svaku skupinu ispitivanja su korištene garniture od po 3 epruvete. Provedena su sljedeća ispitivanja:

- Ispitivanje tvrdoće
- Ispitivanje savojne čvrstoće
- Ispitivanje uradnog rada loma



Slika 5. 3D isprintane epruveta na radnoj podlozi stroja [5]

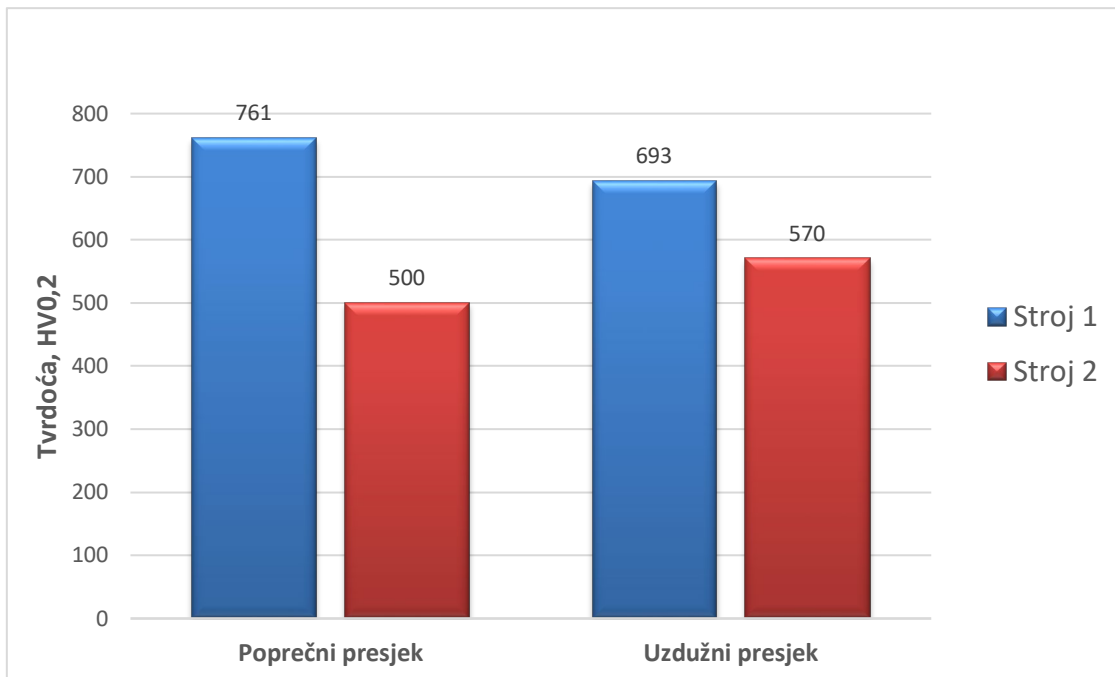
### 2.1. Rezultati ispitivanja [5]

#### 1. Mjerenje tvrdoće HV0,2

Ispitana je tvrdoća po Vickersu HV0,2 i to u poprečnom i uzdužnom presjeku kako bi se utvrdila možebitna odstupanja koja mogu nastati ovisno o pozicioniranju epruvete na radnu podlogu prilikom izrade. Rezultati su prikazani u tablici 1.

Tablica 3. Izmjerene vrijednosti tvrdoće

Mjerenje	Stroj 1		Stroj 2	
	Poprečni presjek, HV0,2	Uzdužni presjek, HV0,2	Poprečni presjek, HV0,2	Uzdužni presjek, HV0,2
1	683	745	441	649
2	833	745	524	549
3	766	589	536	512
$\overline{HV0,2}$	761	693	500	570

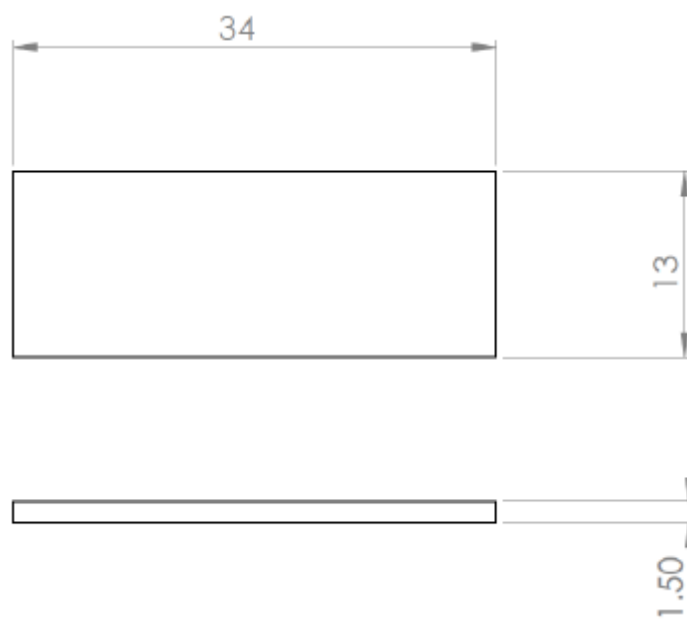


Slika 6. Grafički prikaz rezultata dobivenih ispitivanjem

Prema rezultatima iz tablice i grafičkog prikaza is slike može se zaključiti da postoji značajnija razlika u tvrdoći u poprečnom i uzdužnom presjeku, ali i razlika u tvrdoći između obradaka izrađenim na različitim strojevima. Pošto su parametri proizvodnje nepoznati nije poznato dali su ta 2 stroja radila u istom režimu i dali su proizvodi bili podvrgnuti jednakim postupcima naknadne obrade.

## 2. Ispitivanje savojne čvrstoće

Ispitivanje savojne čvrstoće je provedeno na kidalici *Inspekt table 20 kN* sa razmakom među osloncima  $L=24$  mm brzinom  $v=20$  N/s. Dimenzije epruveta su prikazane na slici. Dobiveni su rezultati u tablicama i grafički prikazani na slici.



Slika 7. Dimenzije epruveta za ispitivanje savojne čvrstoće

Dobiveni su rezultati ispitivanja savojne čvrstoće prikazani u tablicama 2 i 3.

**Tablica 4. Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće na 3D stroju 1**

Ispitivanje	b [mm]	h [mm]	f [mm]	$\sigma_{fB}$ [MPa]	$\sigma_{fM}$ [MPa]	$\epsilon_{fB}$ [MPa]	$F_{max}$ [MPa]
1	13,3	1,45	2,17	1219	2248	2,3	1746
2	13,2	1,60	2,40	1747	1773	2,2	1665
3	13,2	1,50	2,25	1454	2156	2,5	1779
<b>Srednja vrijednost</b>	13,23	1,52	2,27	1473	2059	2,3	1730

**Tablica 5. Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće na 3D stroju 2**

Ispitivanje	b [mm]	h [mm]	f [mm]	$\sigma_{fB}$ [MPa]	$\sigma_{fM}$ [MPa]	$\epsilon_{fB}$ [MPa]	$F_{max}$ [MPa]
1	13,2	1,60	2,40	2012	2073	4,7	1946
2	13,1	1,50	2,25	1415	2251	3,8	1843
3	13,2	1,50	2,25	1943	2207	3,8	1821
<b>Srednja vrijednost</b>	13,17	1,53	2,3	1787	2177	4,1	1870

Gdje su:

**b** – širina epruvete [mm]

**h** – debljina epruvete [mm]

**f** – progib [mm]

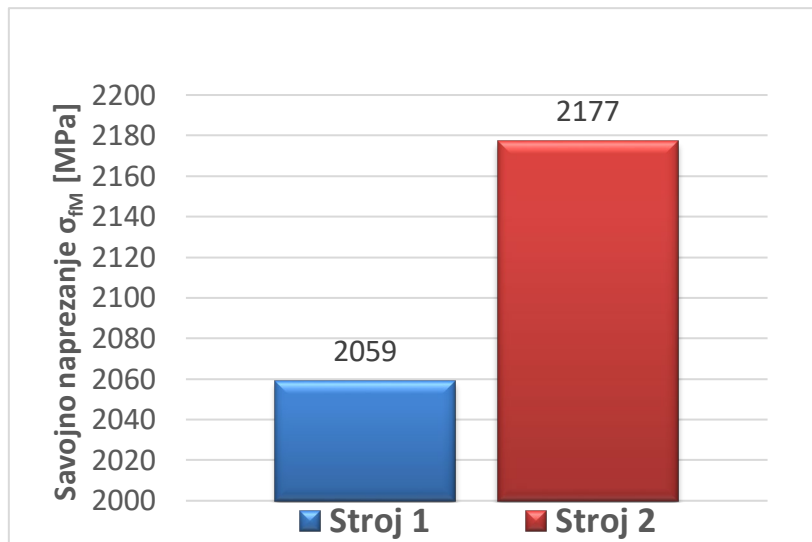
**$\sigma_{fB}$**  – savojno naprezanje u trenutku loma [MPa]

**$\sigma_{fM}$**  – savojno naprezanje [MPa]

**$\epsilon_{fB}$**  – savojna deformacija u trenutku loma [%]

**$F_{max}$**  – maksimalna sila [N]



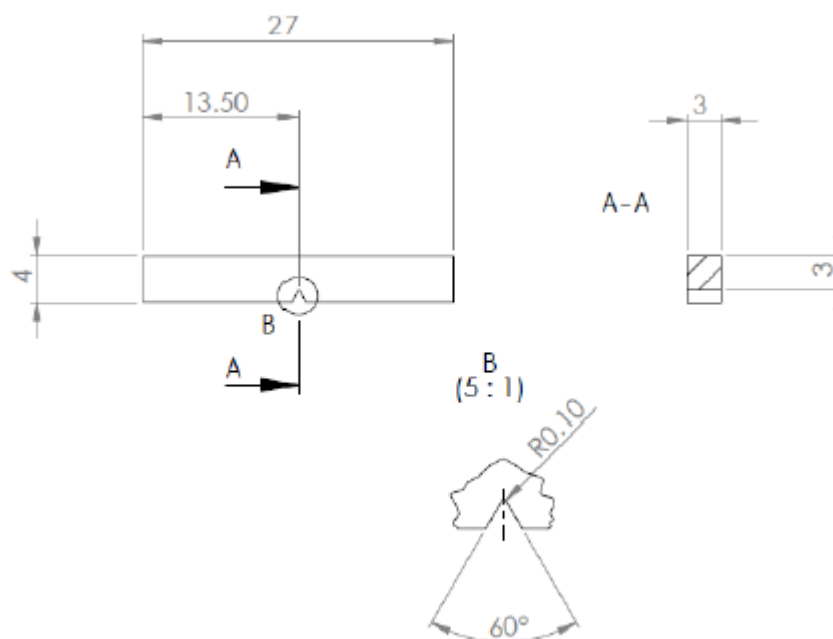


Slika 8. Co - Cr dentalni proizvodi nakon različitih načina proizvodnje

Prema rezultatima iz tablice i grafičkog prikaza na slici može se uočiti da postoji razlika u mehaničkom svojstvu savojnog naprezanja  $\sigma_{fM}$  ovisnom o stroju na kojem su epruvete bile ispitane. Na rezultate su utjecaj imali i parametri izrade koji su nepoznati za strojeve.

### 3. Ispitivanje udarnog rada loma

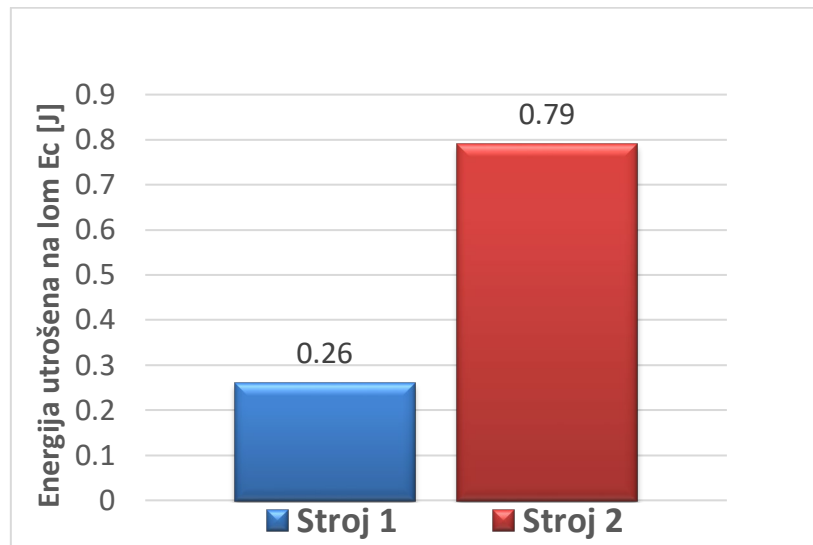
Ispitivanje udarnog rada loma je provedeno na Charpyjevom batu na epruvetama dimenzija prikazanih na slici 9. Postupkom udarnog rada loma utvrđena je vrijednost žilavosti, odnosno energija koja je potrebna za lom epruvete, tj. mogućnost apsorpcije energije prije loma što je veoma bitno kod dentalnih proizvoda koji su vrlo često opterećeni udarnim opterećenjima.



Slika 9. Dimenzije epruveta za ispitivanje udarnog rada loma

Tablica 6. Dobivene vrijednosti ispitivanja udarnog rada loma

	Stroj 1	Stroj 2
Mjerenje	Energija utrošena na lom $E_c$ [J]	
1	0,28	0,9
2	0,26	0,93
3	0,25	0,53
$\bar{E}_c$	0,26	0,79



Slika 10. Co - Cr dentalni proizvodi nakon razlilitih načina proizvodnje

Prema dobivenim vrijednostima udarnog rada loma u tablici 6 i grafičkog prikaza na slici 10 može se zaključiti kako je na stroju 2 mnogo veća žilavost nego na stroju 1, odnosno proizvodi na stroju 2 mogu izdržati puno veća udarna opterećenja nego oni na stroju 1.

### **3. ZAKLJUČAK**

Mikrostruktura i mehanička svojstva Co- Cr dentalnih legura ovise o načinu proizvodnje kao i o stroju na kojemu se proizvodi izrađuju. Mehanička svojstva 3D printanih uzoraka je približno 50% veća u odnosu na lijevane i CNC uzorke. Sve tri vrste načina proizvodnje zadovoljavaju zahtjeve na zubne proteze.

Na temelju analize ispitanih mehaničkih svojstava može se zaključiti da se mehanička svojstva razlikuju ovisno o stroju na kojem se izrađuju, odnosno o primjenjivanim parametrima prilikom izrade samih uzoraka.

Prema dobivenim vrijednostima ispitivanih mehaničkih svojstava može se zaključiti kako se na stroju 2 postižu veće vrijednosti mehaničkih svojstava 3D printanih dentalnih proizvoda.

## LITERATURA

- [1] Primjena 3D Printa u stomatologiji – Stratasys & Izit <http://www.izit.hr/primjena/stomatologija/>, [26.6.2019.]
- [2] Javaid, M., & Haleem, A. (2019). Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*. doi:10.1016/j.jobcr.2019.04.004
- [3] Øilo, M., Nesse, H., Lundberg, O. J., & Gjerdet, N. R. (2018). *Mechanical properties of cobalt-chromium 3-unit fixed dental prostheses fabricated by casting, milling, and additive manufacturing. The Journal of Prosthetic Dentistry, 120(1), 156.e1–156.e7*.doi:10.1016/j.prosdent.2017.12.007
- [4] Zhou, Y., Li, N., Yan, J., & Zeng, Q. (2018). *Comparative analysis of the microstructures and mechanical properties of Co-Cr dental alloys fabricated by different methods. The Journal of Prosthetic Dentistry*.doi:10.1016/j.prosdent.2017.11.015
- [5] Pavlek, E.: Završni rad, *Karakterizacija dentalne legure dobivene 3D printanjem*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2019.