

# Selektivno lasersko sintranje sladkornega prahu

AVTORJI: URH JURJEC, JAN ČASL, MARTIN PRODAN,  
NEJC KRUH VESELIČ

Raziskovalna naloga pri predmetu Laserska  
obdelovalna tehnologija

Laboratorij za lasersko tehniko



# 1. Motivacija in cilji

*Ali je možno ?*

---

Izvesti **KARAMELIZACIJO** sladkornega prahu z uporabo **LASERSKE SVETLOBE**

---

S predhodno opisanim načinom ustvariti **TOGO** in **POVEZANO** karamelizirano **1D** in **2D** strukturo

---

Ugotoviti optimalni **TIP LASERSKEGA SISTEMA**  
*(valovna dolžina svetlobe, bliskovni/kontinuirani način)*

---

Ugotoviti optimalne **PARAMETRE LASERSKE OBDELAVE**  
*(hitrost skeniranje, razmik med linijami, moč, strategija, število prehodov)*

---

✓ **NADALJNIH RAZISKAVAH** kreirati **3D** strukturo

## 2. Pregled obstoječega stanja

3D TISKALNIK: Sharebot SnowWhite

TERMOPLASTI: PA 12, PA 11 and TPU

LASER: CO2, 14 W

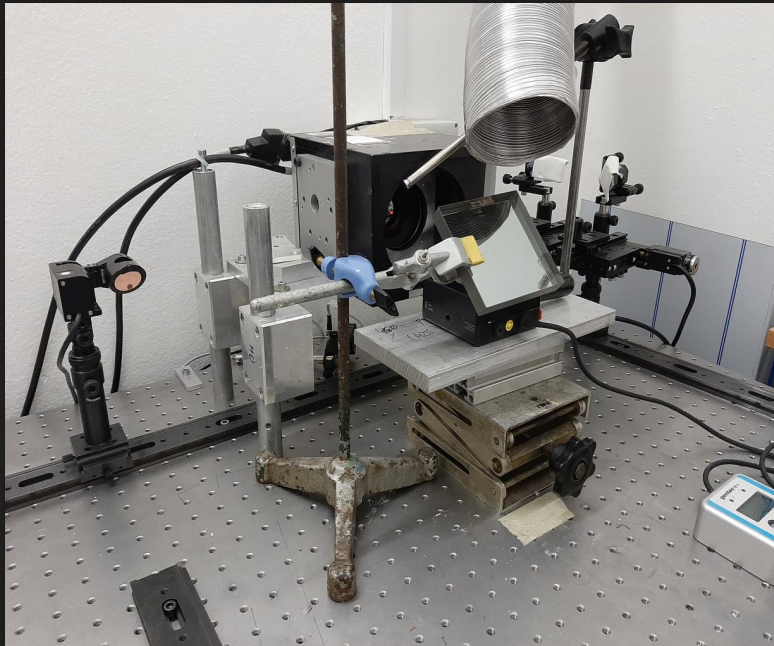


*Slika 1.) 3D tiskani izdelki iz sladkorja*



# 3. Popis eksperimentalne opreme in uporabljenih vzorcev

**CO<sub>2</sub>** (9 400 – 10 400 nm)



*Slika 2.) CO<sub>2</sub> laserski sistem*

**Nd:YAG** (1064 nm)



*Slika 3.) Nd:YAG laserski sistem*

**Rb laser** (3 940 nm)



*Slika 4.) Rb laserski sistem*

# 3. Popis eksperimentalne opreme in uporabljenih vzorcev - (CO2)

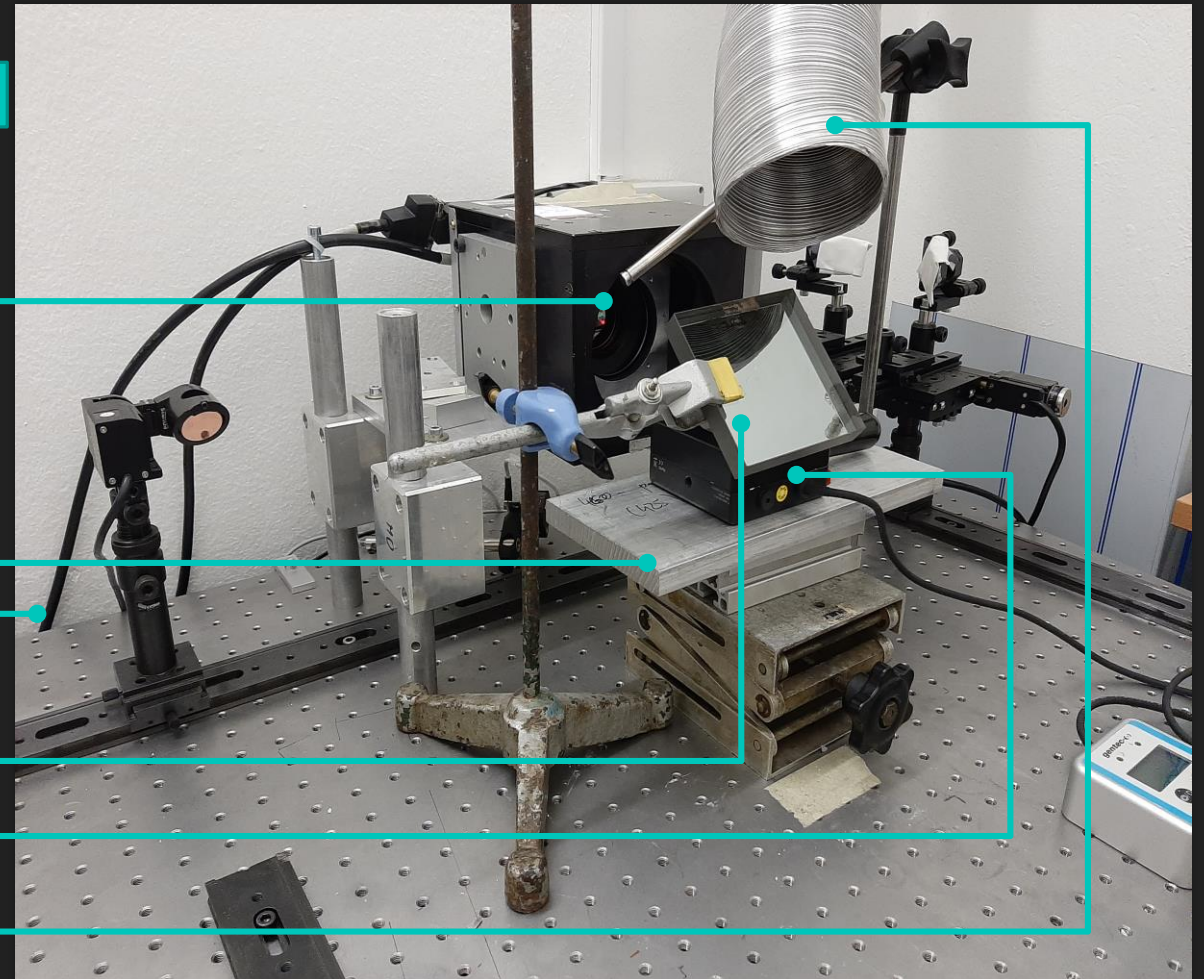
Zakaj smo se odločili za CO2 laser ?

**CO2 laser:**

- valovna dolžina (9 400 – 10 400 nm)
- največja moč (~11 W)

**Druge komponente sistema:**

- skenirna glava
- pomična miza
- optično vlakno
- zrcalo (45°)
- merilec moči laserske svetlobe
- ventilacijski jašek za odvajanje plinov



Slika 5.) CO2 laserski sistem

## 4. Izvedba eksperimentov (CO<sub>2</sub>)

# LINIJSKA (1D) karamelizacija

### Konstantni parametri:

- prašna sladkorna plast (**3 - 4mm**)
- 5 vzporednih linij – (**4cm** dolzine, **0,5 cm** razmika)
- valovna dolžina (**9 400 – 10 400 nm**)
- premer žarka v gorišču (**300 μm**)
- frekvenca (**10 kHz**)

### Spremenljivi parametri:

- relativna moč – **Pr [%]**
- število prehodov – **N [/]**
- hitrost skeniranja – **v [m/s]**



# 4. Izvedba eksperimentov

## LINIJSKI – 1D parametri

	krmilni parametri					krmilni parametri					krmilni parametri			
	konstantni		spremenljivi			konstantni		spremenljivi			konstantni		spremenljivi	
1	v[mm/s]	500	P[%]	10	4	N[/]	5	v[mm/s]	50	7	v[mm/s]	500	N[/]	25
	f[kHz]	10		20		f[kHz]	10		40		f[kHz]	10		20
	d_0[μm]	300		30		d_0[μm]	300		30		d_0[μm]	300		15
	dolžina [cm]	4		40		dolžina [cm]	4		20		dolžina [cm]	4		10
	razmik[cm]	0,5		50		razmik[cm]	0,5		10		razmik[cm]	0,5		5
	N[/]	1		/		P[%]	5		/		P[%]	5		/
2	v[mm/s]	250	N[/]	2	5	N[/]	5	v[mm/s]	50	8	v[mm/s]	500	N[/]	25
	f[kHz]	10		4		f[kHz]	10		40		f[kHz]	10		50
	d_0[μm]	300		6		d_0[μm]	424,264		30		d_0[μm]	300		75
	dolžina [cm]	4		8		dolžina [cm]	4		20		dolžina [cm]	4		100
	razmik[cm]	0,5		10		razmik[cm]	0,5		10		razmik[cm]	0,5		125
	P[%]	10		/		P[%]	5		/		P[%]	5		/
3	N[/]	5	v[mm/s]	250	6	N[/]	1	v[mm/s]	50	9	v[mm/s]	500	N[/]	150
	f[kHz]	10		200		f[kHz]	10		40		f[kHz]	10		175
	d_0[μm]	300		150		d_0[μm]	300		30		d_0[μm]	300		200
	dolžina [cm]	4		100		dolžina [cm]	4		20		dolžina [cm]	4		225
	razmik[cm]	0,5		50		razmik[cm]	0,5		10		razmik[cm]	0,5		250
	P[%]	5		/		P[%]	5		/		P[%]	5		/

## 5. Predstavitev rezultatov

# LINIJSKO 1D – neuspešno – poskus št 3.

Poskus številka 3. - neuspešen

	krmilni parametri			
	konstantni		spremenljivi	
3	N[/]	5	v[mm/s]	250
	f[kHz]	10		200
	d_0[ $\mu\text{m}$ ]	300		150
	dolžina [cm]	4		100
	razmik[cm]	0,5		50
	P[%]	5		/



Slika 7.) Nastanek ne karameliziranih kapljic



## 5. Predstavitev rezultatov

# LINIJSKO 1D – neuspešno - poskus št 4.

Poskus številka 4. - neuspešen

	krmilni parametri			
	konstantni		spremenljivi	
4	N[°]	5	v[mm/s]	50
	f[kHz]	10		40
	d <sub>0</sub> [μm]	300		30
	dolžina [cm]	4		20
	razmik[cm]	0,5		10
	P[%]	5		/



Slika 6.) Nastanek karameliziranih kapljic

## 5. Predstavitev rezultatov

# LINIJSKO 1D – uspešno (najboljši rezultati) – poskus 8.

Pri linijski karamelizaciji smo dosegli najboljše rezultate pri poskusu **št. 8**.

Eksperiment je bil uspešen ker:

- **idealna karamelizacija** (barva, okus)
- **homogena struktura**
- **konstantna debelina linije**
- **visoka togost**
- **niso prisotne kapljice**

	krmilni parametri			
	konstantni		spremenljivi	
8	v[mm/s]	500	N[/]	25
	f[kHz]	10		50
	d_0[μm]	300		75
	dolžina [cm]	4		100
	razmik[cm]	0,5		125
	P[%]	5		/

## 5. Predstavitev rezultatov

# LINIJSKO 1D – uspešno (najboljši rezultati) – poskus 8.



**Konstantna debelina linije**

*Slika 8.) Karamelizirane linije v sladkorju*



**Zadostna togost**

*Slika 9.) Toge karamelizirane linije izven sladkorja*



## 6. Izvedba eksperimentov (CO<sub>2</sub>)

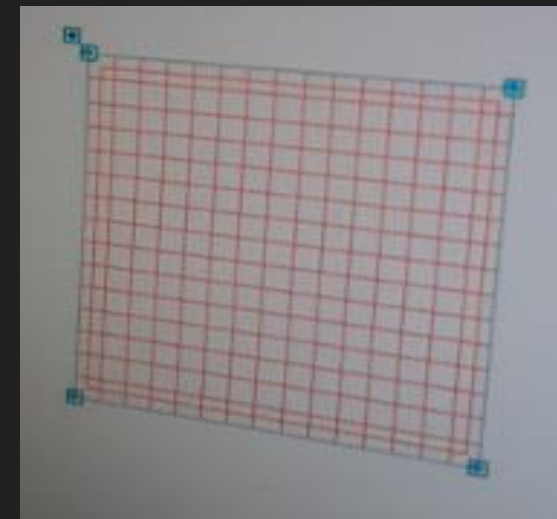
# PLOSKOVNA (2D) karamelizacija

### Konstantni parametri:

- strategija (**0°**, **90°**)
- oblika (**kvadrat**)
- frekvenca (**10 kHz**)
- premer žarka v gorišču (**300 μm**)
- valovna dolžina (**9 400 – 10 400 nm**)
- premer žarka v gorišču (**300 μm**)
- prašna sladkorna plast (**3 - 4mm**)

### Spremenljivi parametri:

- relativna moč – **Pr [%]**
- število prehodov – **N [/]**
- razmik vzporednih linij – **[mm]**
- hitrost skeniranja – **v [m/s]**
- obroba mreže – **z in brez**
- velikost kvadrata



Slika 10.) Strategija skeniranja

# 6. Izvedba eksperimentov (CO2)

## PLOSKOVNI – 2D parametri

	krmilni parametri					krmilni parametri					krmilni parametri			
	konstantni		spremenljivi			konstantni		spremenljivi			konstantni		spremenljivi	
10	v[mm/s]	500	N[/]	50	13	v[mm/s]	500	P[%]	3	16	v[mm/s]	500	N[/]	125
	f[kHz]	10		10x1		f[kHz]	10		2		f[kHz]	10		
	d_0[μm]	300		10		d_0[μm]	300		/		d_0[μm]	300		
	dolžina črte[r]	5x5		/		dolžina črte[r]	15x15		/		dolžina črte[r]	15x15		
	razmik[mm]	0,1; 0,2		/		razmik[mm]	0,1		/		razmik[mm]	1,25		
	P[%]	5		/		N[/]	50		/		P[%]	5		
11	v[mm/s]	500	P[%]	5	14	v[mm/s]	500	N[/]	4x25	17	v[mm/s]	500	N[/]	100
	f[kHz]	10		4		f[kHz]	10		100		f[kHz]	10		
	d_0[μm]	300		3		d_0[μm]	300		Nrob=100		d_0[μm]	300		
	dolžina črte[r]	5x5		2		dolžina črte[r]	15x15		/		dolžina črte[r]	15x15		
	razmik[mm]	0,1		1		razmik[mm]	1		/		razmik[mm]	1		
	N[/]	50		/		P[%]	5		/		P[%]	5		Nrob
12	v[mm/s]	500	P[%]	5	15	v[mm/s]	500	N[/]	4x25	17	v[mm/s]	500	N[/]	100
	f[kHz]	10		4		f[kHz]	10		100		f[kHz]	10		
	d_0[μm]	300		3		d_0[μm]	300		Nrob=100		d_0[μm]	300		
	dolžina črte[r]	5x5		2		dolžina črte[r]	15x15		/		dolžina črte[r]	15x15		
	razmik[mm]	0,1		1		razmik[mm]	1		/		razmik[mm]	1		
	N[/]	50		/		P[%]	5		/		P[%]	5		Nrob

## 7. Predstavitev rezultatov

# PLOSKOVNO 2D – uspešno (najboljši rezultati)

Pri linijski karamelizaciji smo dosegli najboljše rezultate pri poskusu **št. 15**.

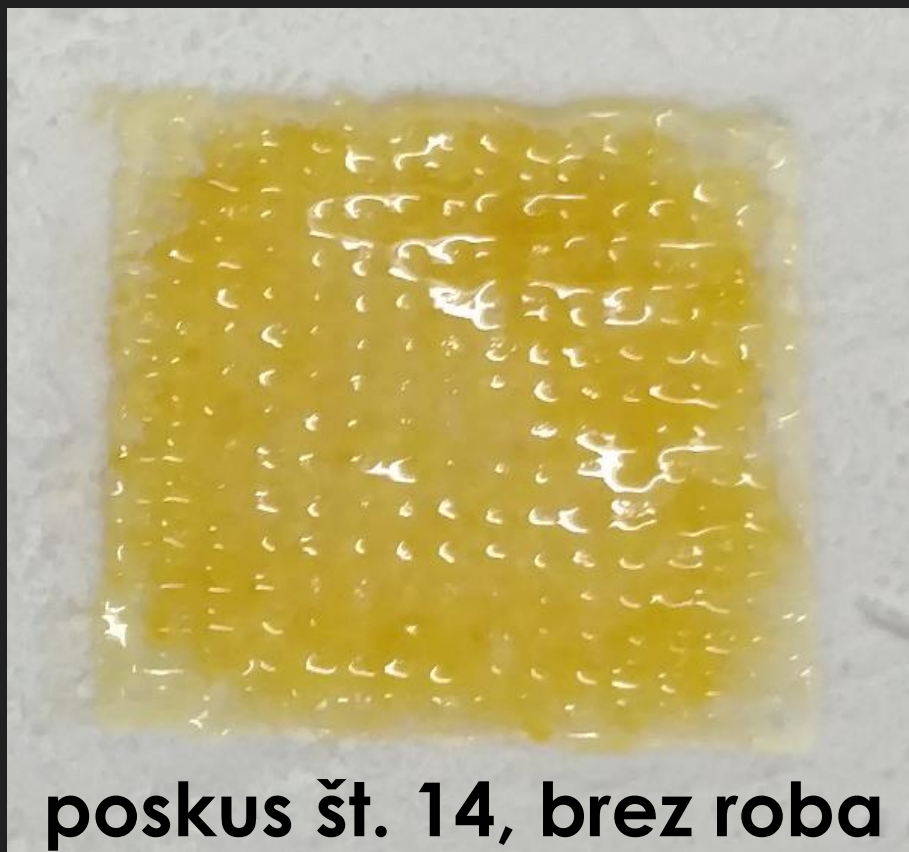
Eksperiment je bil uspešen ker:

- **idealna karamelizacija** (barva, okus)
- **homogena struktura**
- **konstantna debelina linije**
- **visoka togost**
- **niso prisotne kapljice**

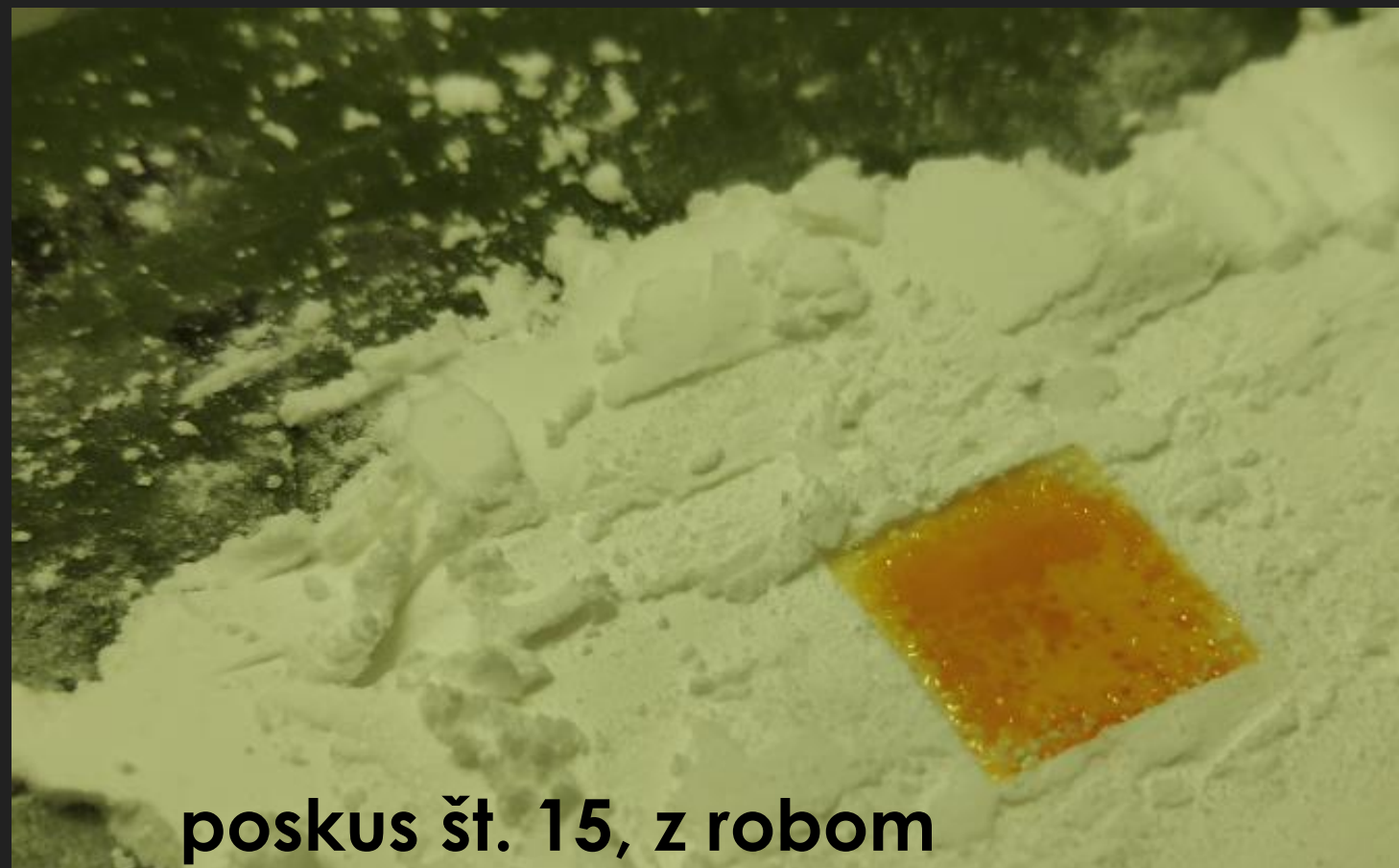
	krmilni parametri			
	konstantni		spremenljivi	
15	v[mm/s]	500	N[/]	4x25
	f[kHz]	10		100
	d_0[μm]	300		Nrob=100
	dolžina črte[mm]	15x15		/
	razmik[mm]	1		/
	P[%]	5		/



## 7. Predstavitev rezultatov **PLOSKOVNO 2D** – najboljši rezultati



*Slika 11.) Kvadrat brez roba*



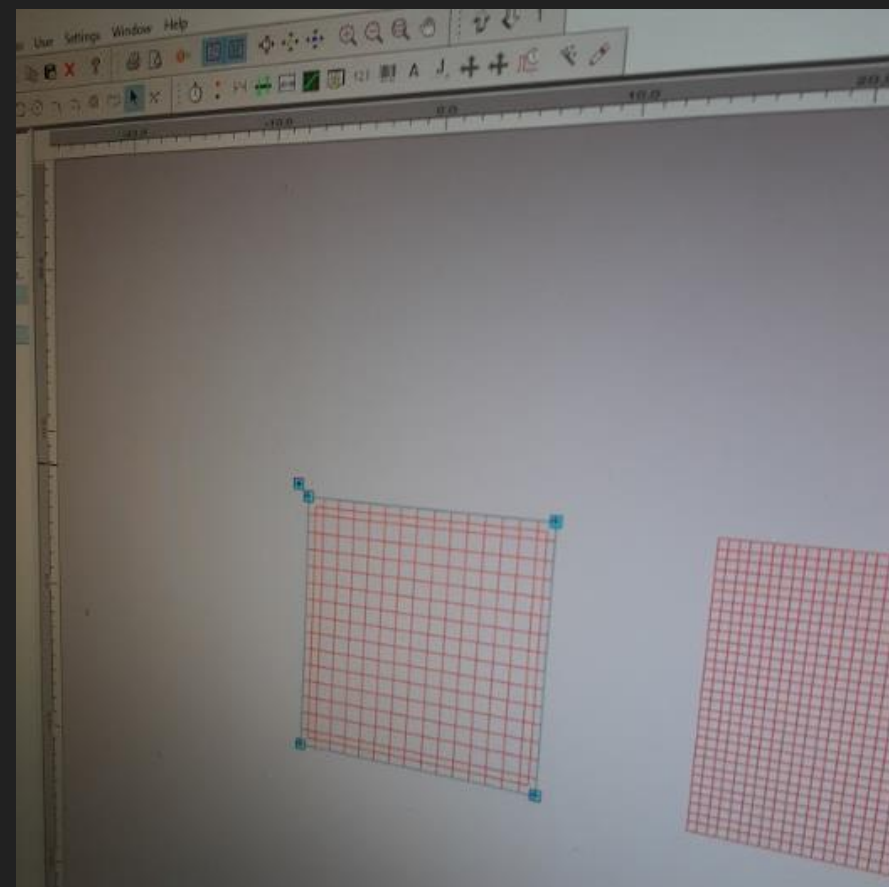
*Slika 12.) Kvadrat z robom*

## 5. Predstavitev rezultatov **PLOSKOVNO 2D** – najboljši rezultati



**Poskus št. 15**

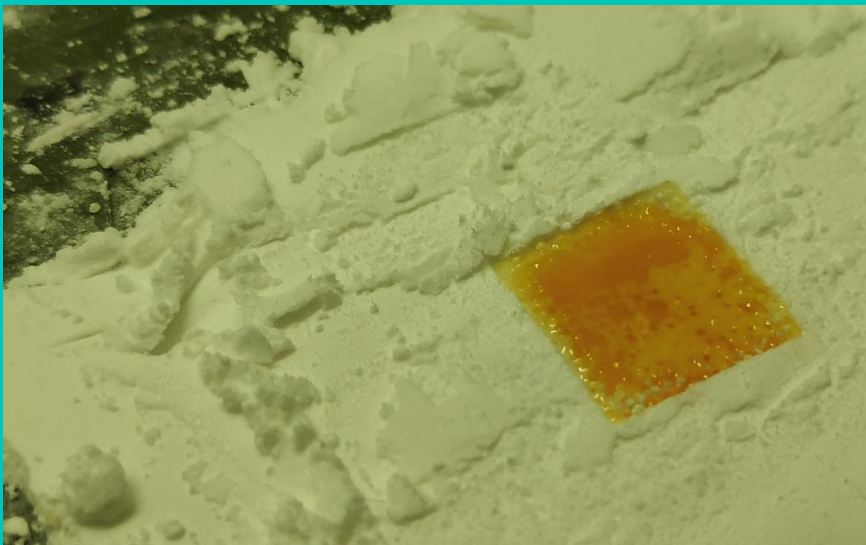
*Slika 13.) Toga kvadratna struktura izven sladkorja*



*Slika 14.) Strategija skeniranja z obrobo*



# 7. Zaključki



Ugotovili smo:

---

da je možno izvesti **KARAMELIZACIJO** sladkornega prahu z uporabo **LASERSKE SVETLOBE**

---

da je možno s predhodno opisanim načinom ustvariti **TOGO** in **POVEZANO** karamelizirano **1D** in **2D** strukturo

---

da je najbolj primeren sistem za izbrani problem **CO2 laser**

---

da so optimalni parametri za **1D**:

$v = 500 \text{ mm/s}$ ,  $f = 10 \text{ kHz}$ ,  $Pr = 5 \%$ ,  $N = 75 \text{ do } 100$

---

da so optimalni parametri za **2D**:

$v = 500 \text{ mm/s}$ ,  $f = 10 \text{ kHz}$ ,  $Pr = 5 \%$ ,  $N = 75 \text{ do } 100$ ,  $\text{razmik} = 1 \text{ mm}$ ,  $\text{z robom}$

---

da je možno ustvariti 3D strukture