

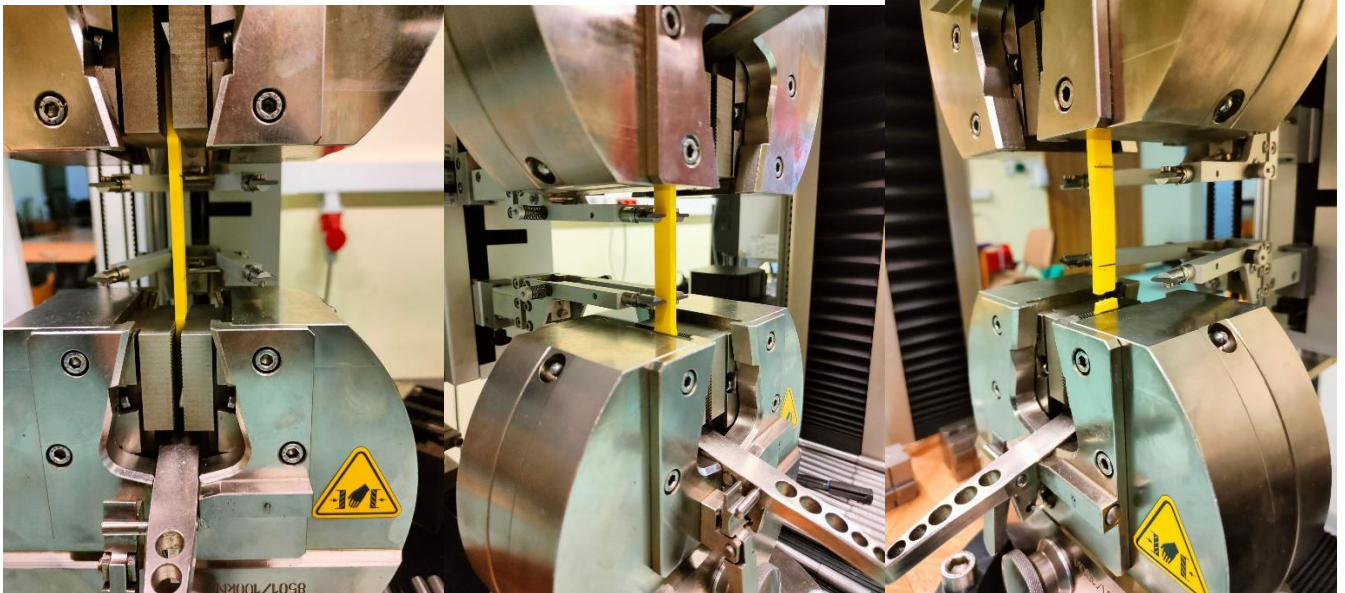
Rozciąganie Próbek Drukowanych 3D

Bartosz Kruszyński

1. Cel doświadczenia:

Celem doświadczenia było sprawdzenie czy wzór wypełnienia wpływa na wytrzymałość elementu.

2. Procedura wykonania:

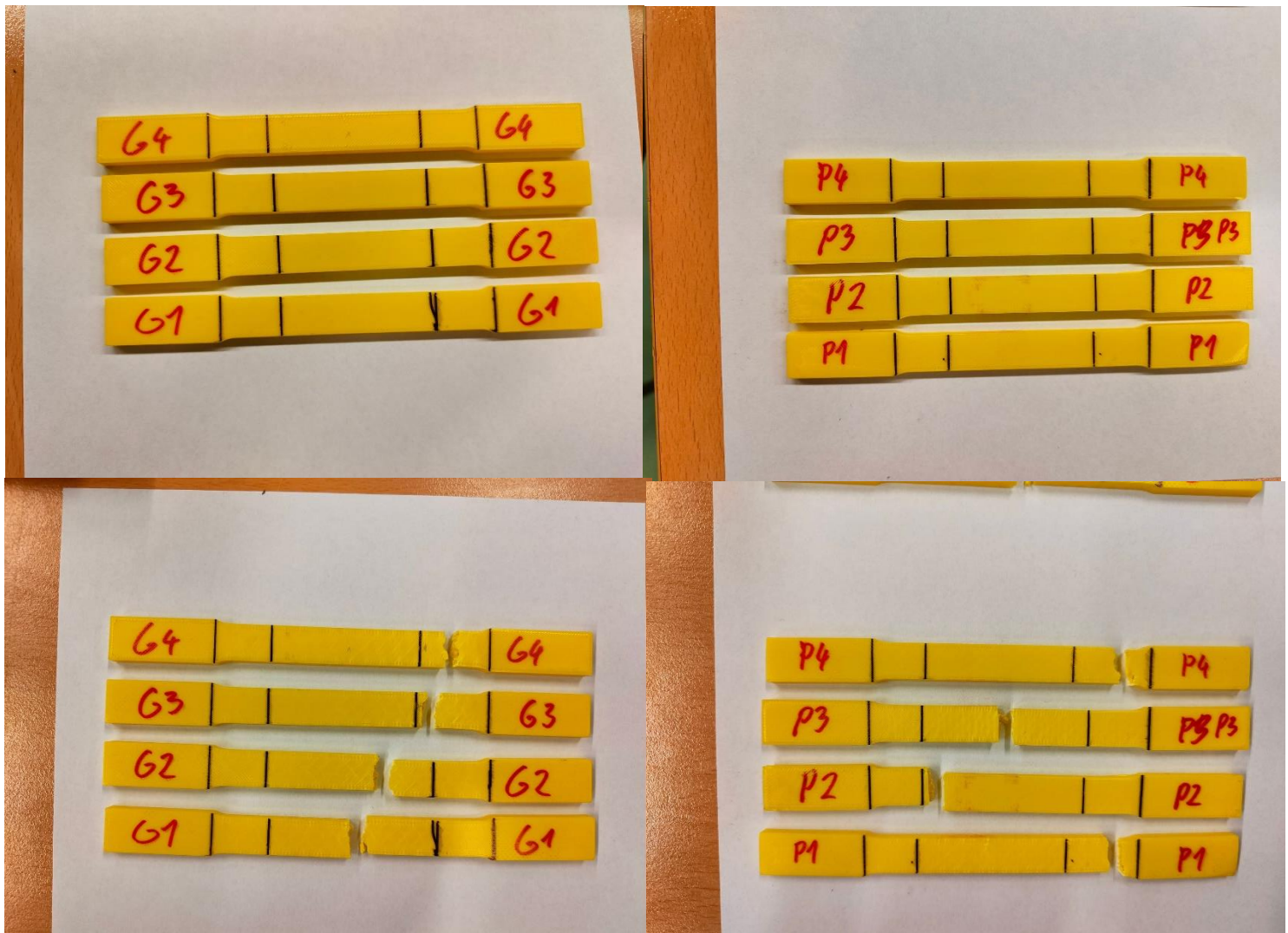


1. Umieszczenie próbki w szczękach

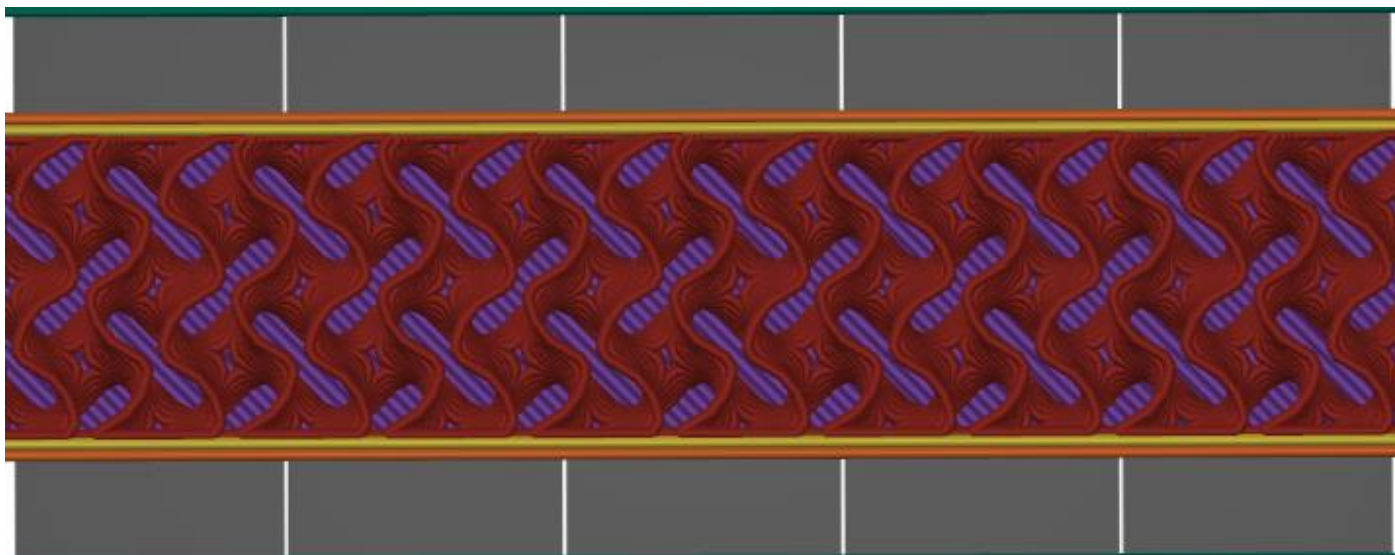
2. Zamknięcie elastometru

3. Przyłożenie siły i zerwanie próbki

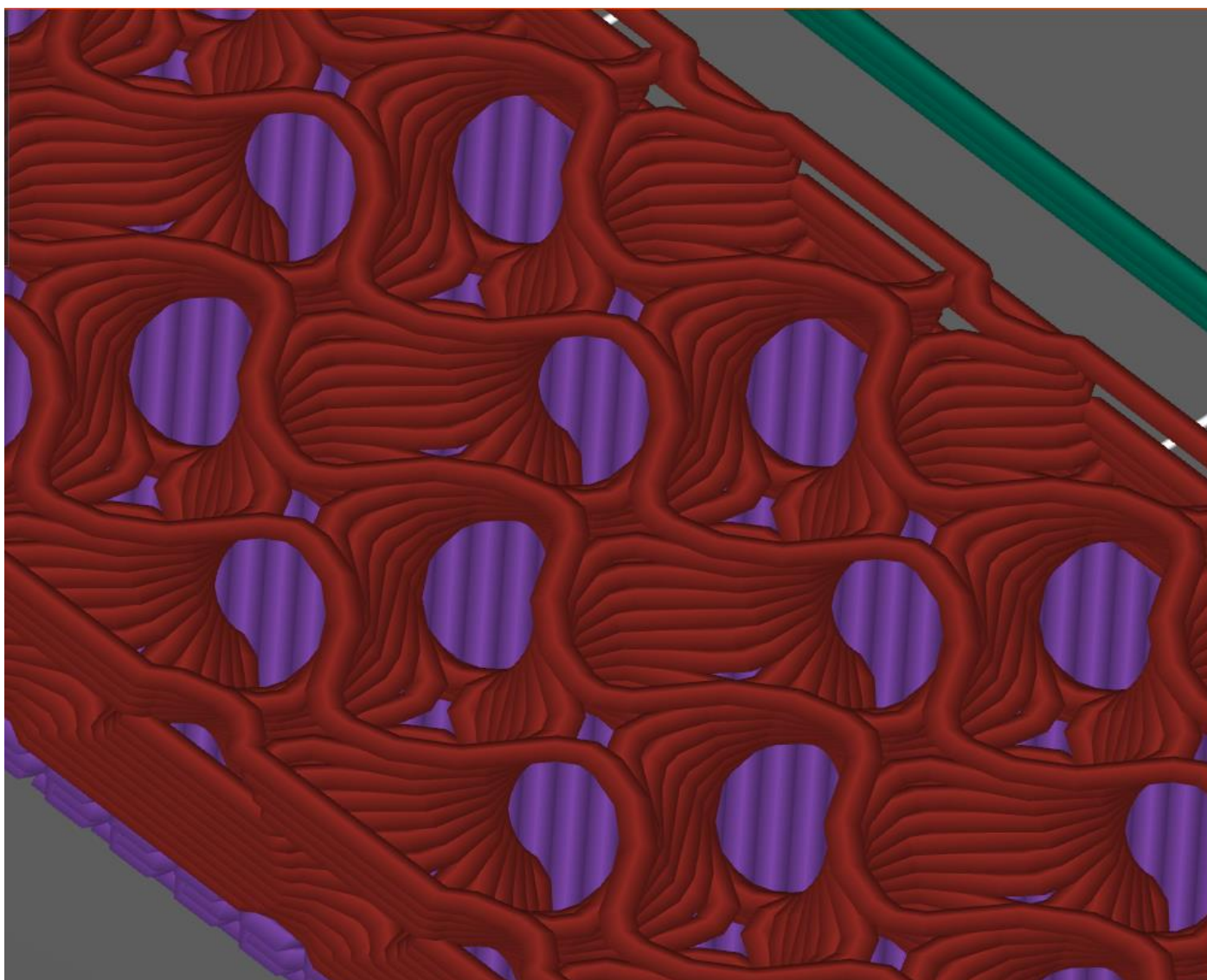
3. Próbki przed i po statycznej próbie rozciągania:



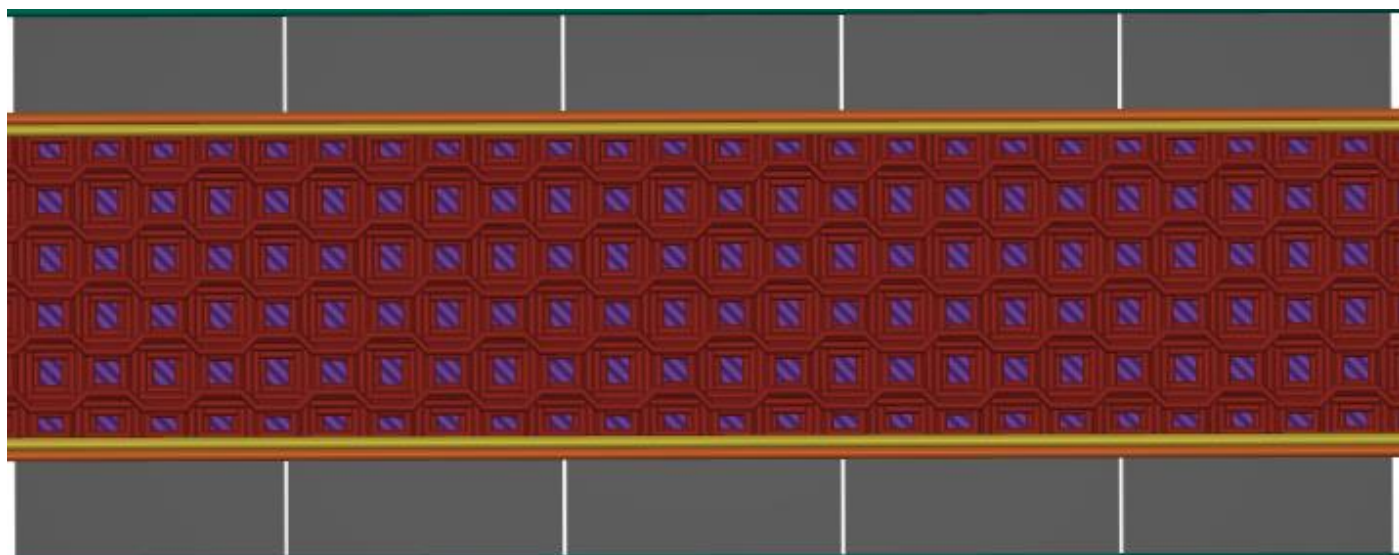
4. Struktura wewnętrzna próbek:



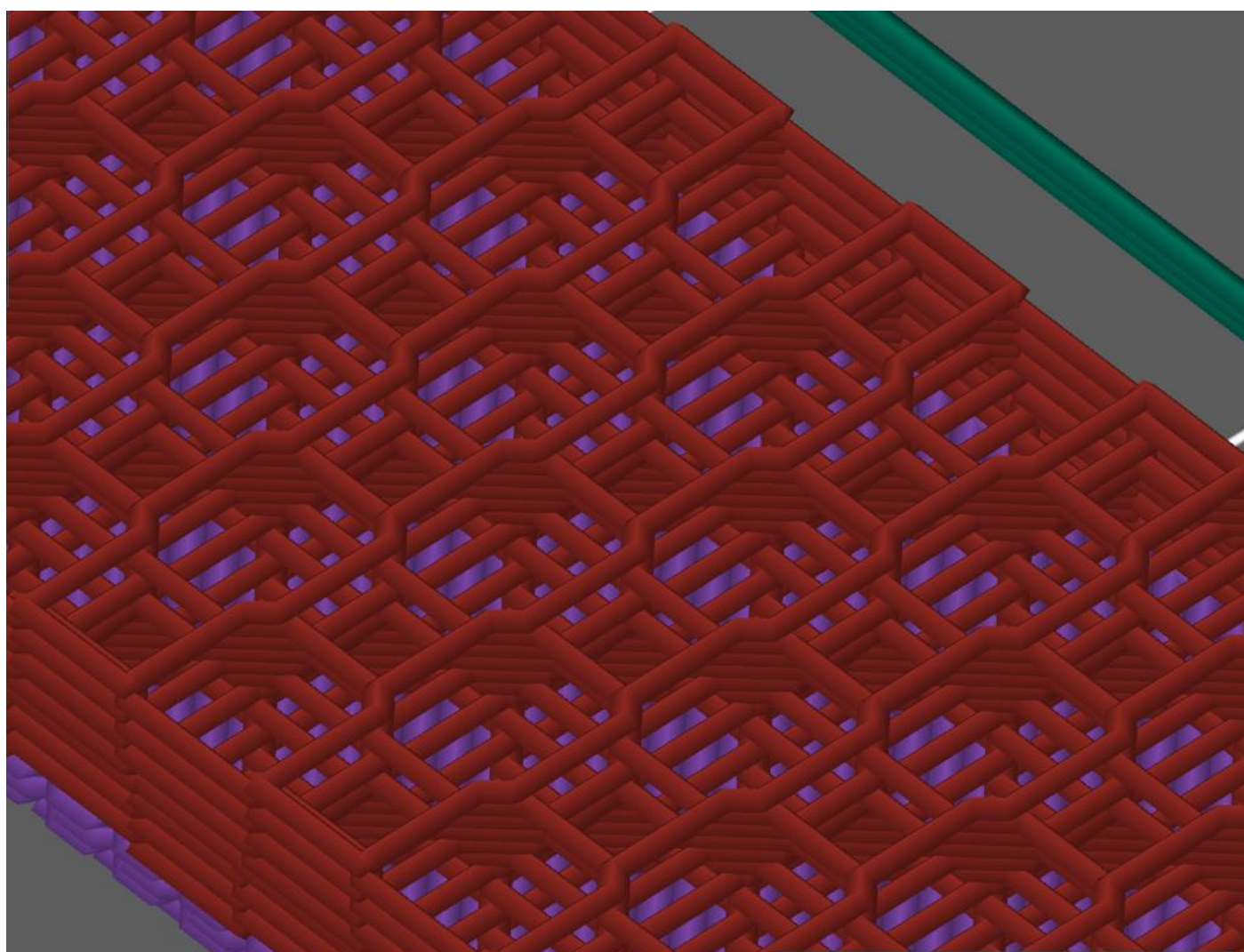
Wzór gyroidalny widok z góry



Wzór gyroidalny widok swobodny



Wzór plaster miodu 3D widok z góry



Wzór plaster miodu 3D widok swobodny

5. Parametry i pomiary:

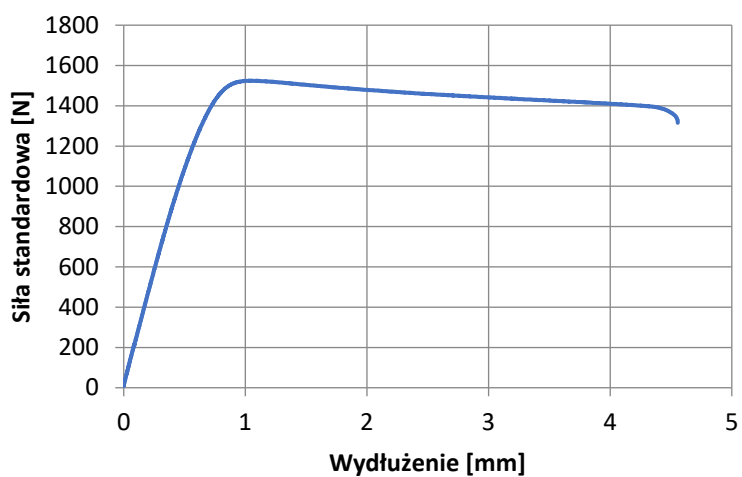
Typ maszyny wytrzymałościowej	ZWICK Z/100	
Temperatura otoczenia	24,1°C	
Materiał	PLA	
Wypełnienie próbki	20%	
Wzór wypełnienia	P1	Plaster miodu 3D
	G1	Gyroidalny

Oznaczenie próby	m_E	E	$R_{p0.2}$	R_m	F_m	A_{gt} (korr.)	A_g	A_{50mm}	a_0	b_0	$d\sigma/dt_{ist}$	$V_{Ist Trav.}$	S_0	m_z	m_{pr}
	GPa	GPa	MPa	MPa	kN	%	%	%	mm	mm	MPa/s	mm/min	mm^2	g	g
P1	1,759	1,759	21,71	23,90	1,525	2,083	0,724	7,958	5,100	12,51	1,795	12	63,80	8,52	8,15
P2	1,747	1,747	22,00	23,76	1,528	2,029	0,669	2,581	5,110	12,59	1,704	12	64,33	8,47	8,15
P3	1,736	1,736	21,64	23,59	1,510	2,093	0,734	8,642	5,120	12,50	1,772	12	64,00	8,49	8,15
P4	1,763	1,763	21,95	23,60	1,511	1,933	0,595	2,887	5,120	12,50	1,723	12	64,00	8,50	8,15
$P_{\acute{s}r}$	1,751	1,751	21,83	23,71	1,518	2,035	0,681	5,517	5,113	12,53	1,748	12	64,03	8,50	8,15
G1	1,676	1,676	21,43	23,12	1,475	2,121	0,742	6,793	5,100	12,51	1,676	12	63,80	7,91	7,66
G2	1,665	1,665	21,45	23,25	1,478	2,116	0,720	6,098	5,090	12,49	1,693	12	63,57	7,91	7,66
G3	1,704	1,704	21,72	23,41	1,490	2,004	0,630	4,080	5,090	12,50	1,729	12	63,63	7,93	7,66
G4	1,665	1,665	21,32	22,81	1,458	1,905	0,535	4,004	5,120	12,49	1,615	12	63,95	7,95	7,66
$G_{\acute{s}r}$	1,678	1,678	21,48	23,15	1,475	2,037	0,657	5,244	5,100	12,50	1,678	12	63,74	7,93	7,66

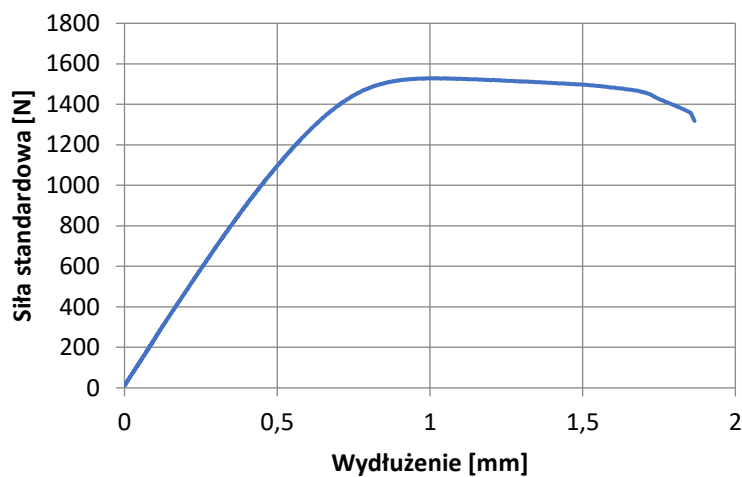
Próbka	t [s]	Δl [mm]	F_m [N]	σ [MPa]
P1	46,53	4,56	1,52	23,90
P2	27,97	1,87	1,53	23,76
P3	48,30	4,92	1,51	23,59
P4	32,34	2,03	1,51	23,60
$P_{\acute{s}r}$	38,78	3,34	1,52	23,71
G1	41,84	3,97	1,47	23,12
G2	38,51	3,65	1,48	23,25
G3	36,96	2,60	1,49	23,41
G4	39,37	2,59	1,46	22,81
$G_{\acute{s}r}$	39,17	3,20	1,48	23,15

6. Wykresy rozciągania:

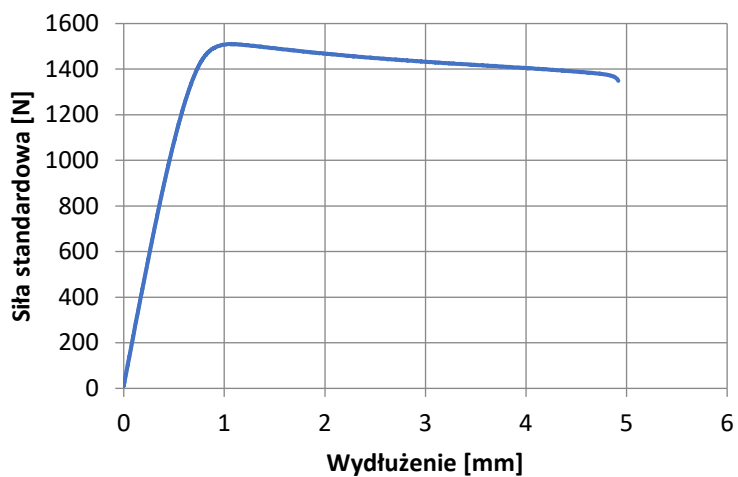
P1



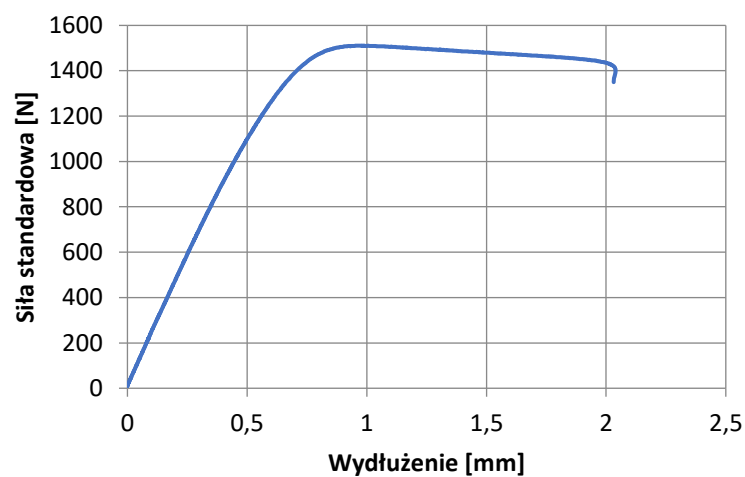
P2



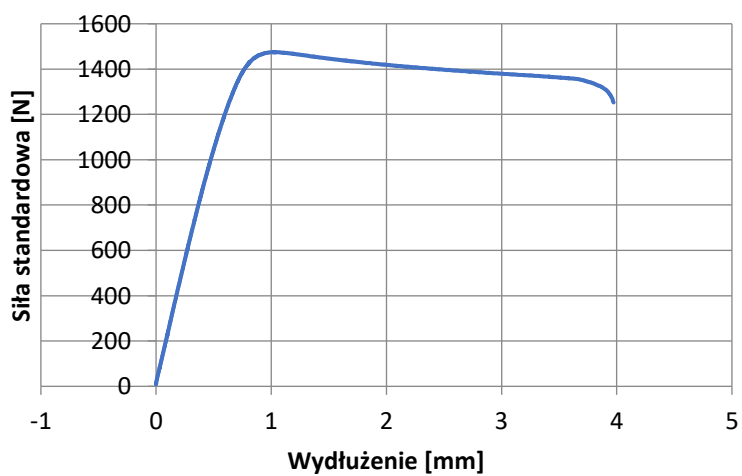
P3



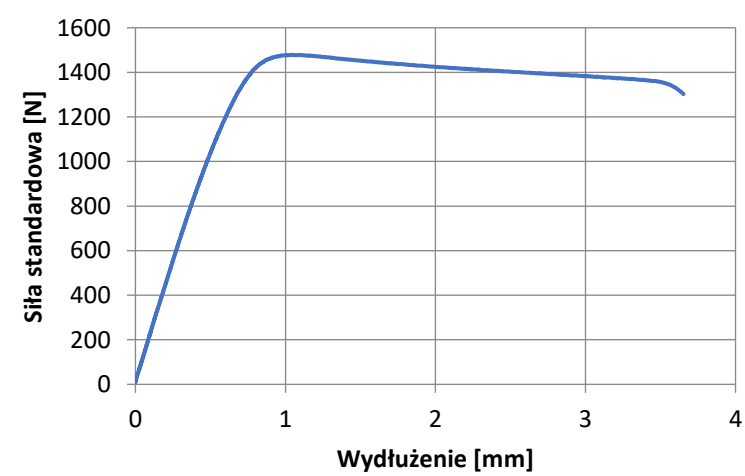
P4



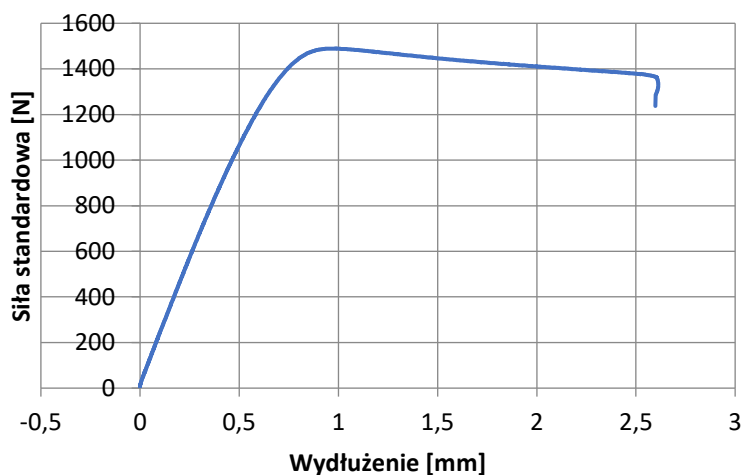
G1



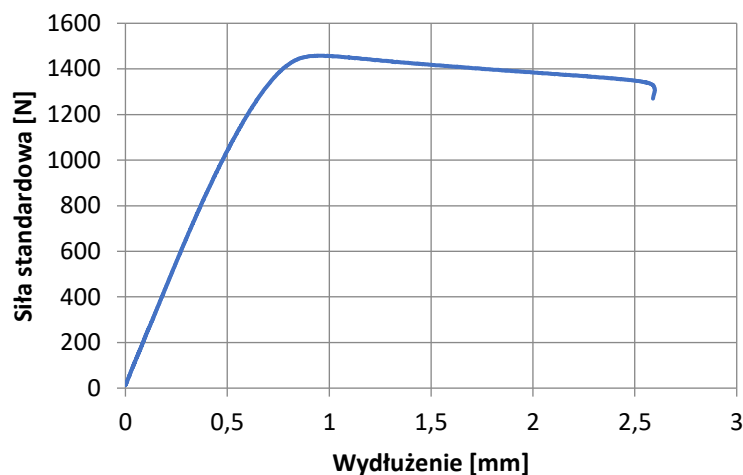
G2



G3



G4



7. Obliczenia:

Porównanie stosunku modułu Younga do gęstości próbek:

$$\frac{E_1}{\rho_1} = \frac{E_2}{\rho_2}$$

Za gęstość ρ podstawiamy:

$$\frac{E_1 * S_1 * l}{m_1} = \frac{E_2 * S_2 * l}{m_2}$$

Upraszczamy wysokość l , która jest jednakowa dla wszystkich próbek:

$$\frac{E_1 * S_1}{m_1} = \frac{E_2 * S_2}{m_2}$$

Wykorzystujemy wzór $\frac{E*S}{m}$ obliczamy parametr dla każdej z próbek i liczymy średnią. Masa $m = m_{pr}$ czyli masie obliczonej przez program:

Próbka	Wartości	Próbka	Wartości
P1	13770	G1	13961
P2	13792	G2	13821
P3	13636	G3	14157
P4	13846	G4	13901
Pśr	13761	Gśr	13960

Odchylenie standardowe:

a) Próbek P $s_P = 89,32$

b) Próbek G $s_G = 143,02$

$$\frac{E_P * S_P}{m_P} < \frac{E_G * S_G}{m_G}$$

$$13761 < 13960 \left[\frac{Nm}{s^2} \right]$$

Rachunek jednostek:

$$\frac{GPa * mm^2}{kg} = \frac{MPa * m^2}{kg} = \frac{\frac{MN}{m^2} * m^2}{kg} = \frac{MN}{kg} = \frac{Mkg * \frac{m}{s^2}}{kg} = \frac{Mm}{s^2}$$

Różnica:

$$|13960 - 13761| = 199 \frac{Mm}{s^2}$$

Dla masy $m = m_z$ czyli masy zmierzonej przy pomocy wagi stosunek $\frac{E \cdot S}{m}$ wyraża się następująco:

Próbka	Wartości	Próbka	Wartości
P1	13172	G1	13520
P2	13271	G2	13384
P3	13089	G3	13675
P4	13275	G4	13394
Pśr	13202	Gśr	13493

Odchylenie standardowe:

a) Próbek P $s_P = 88,89$

b) Próbek G $s_G = 135,7$

$$\frac{E_P \cdot S_P}{m_P} > \frac{E_G \cdot S_G}{m_G}$$

Różnica:

$$|13493 - 13202| = 291 \frac{Mm}{s^2}$$

Parametr $\frac{d\sigma}{dt_{ist}}$ jest większy dla próbek P ($1,748 \frac{MPa}{s}$) niż dla próbek G ($1,678 \frac{MPa}{s}$) różnica $0,070 \frac{MPa}{s}$. Jeżeli weźmiemy pod uwagę masę próbek przedstawia się to następująco:

Dla masy $m = m_{pr}$

Próbka P 214,5 $\frac{MPa}{kg \cdot s}$

Próbka G 219,1 $\frac{MPa}{kg \cdot s}$

Różnica 4,6 $\frac{MPa}{kg \cdot s}$

Dla masy $m = m_z$

Próbka P 205,8 $\frac{MPa}{kg \cdot s}$

Próbka G 211,8 $\frac{MPa}{kg \cdot s}$

Różnica 6,0 $\frac{MPa}{kg \cdot s}$

Granica plastyczności R_m

$$R_{mP} - R_{mG} = 23,71 - 21,15 = 0,56 MPa$$

Granica plastyczności $R_{p0.2}$

$$R_{p0.2P} - R_{p0.2G} = 21,83 - 21,48 = 0,35 MPa$$

Moduł Younga E

$$E_P - E_G = 1,751 - 1,678 = 0,074 GPa$$

Próbka	$\frac{R_m}{m_{pr}} [\frac{MPa}{kg}]$	$\frac{R_m}{m_z} [\frac{MPa}{kg}]$	$\frac{R_{p0.2}}{m_{pr}} [\frac{MPa}{kg}]$	$\frac{R_{p0.2}}{m_z} [\frac{MPa}{kg}]$	$\frac{E}{m_{pr}} [\frac{GPa}{kg}]$	$\frac{E}{m_z} [\frac{GPa}{kg}]$
P	2910	2791	2678	2569	214,9	206,2
G	3022	2921	2804	2710	219,0	211,7
Różnice	112	129	126	141	4	6

8. Obserwacje:

a) Przełomy próbek:

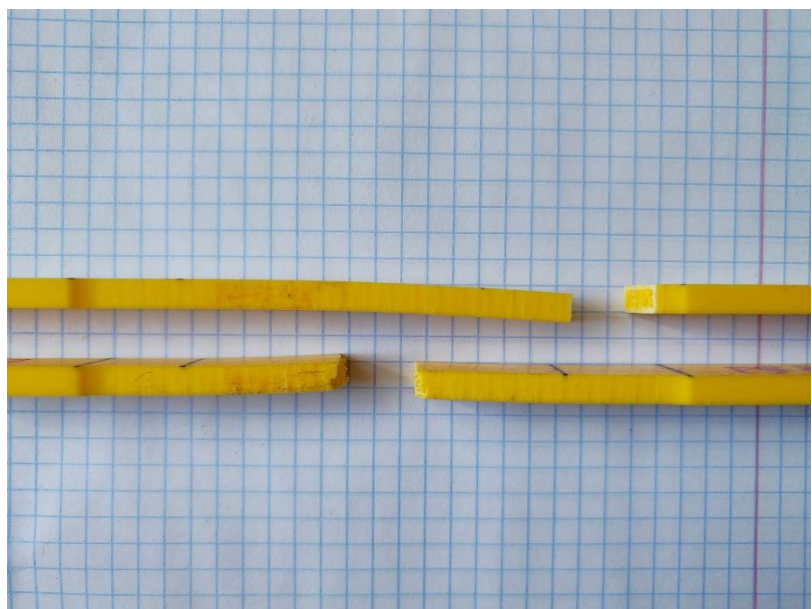
Wszystkie próbki charakteryzuje przełom kruchy. W okolicach przełomu zauważalne są białe linie, których częstotliwość zwiększa się im bliżej do miejsca przełomu, samo miejsce przełomu ma wyraźny biały kolor na całości przekroju bądź na jego dużej części. Możliwym powodem zmiany koloru jest przemiana fazowa w wyniku podwyższonej temperatury na skutek statycznej próby rozciągania.

Pęknięcie wystąpiło w części roboczej dla próbki G1, G2, P2, P3, w części chwytowej dla próbki G3, G4, P1, P4.

Linia pęknięcia dla próbek jest niemal prostopadła do sił rozciągania, przebiega prostopadłe do szerokości próbki. Próbka G4 wyróżnia się są dodatkowymi pęknięciami równoległymi do ścieżek drukowania.

b) Deformacje:

Próbka P1 i P3 charakteryzują się dużymi deformacjami w płaszczyźnie poziomej.



Rysunek 2 Deformacje próbki P1 (górna) i P3 (dolna)

9. Wnioski:

Próbka G oznaczać będzie próbkę o gyroidalnej strukturze wypełniania.

Próbka P oznaczać będzie próbkę z wypełnieniem o strukturze plastra miodu 3D.

Zastosowany skrót zwiększy czytelność tekstu i zmniejszy liczbę powtórzeń.

Podczas statycznej próby rozciągania próbek z PLA drukowanych w 3D w technologii FDM dochodzi do przełomów kruchych, a miejsce przełomu charakteryzuje się białym kolorem. Białe linie można zauważyć w mniejszej częstotliwości również w okolicach przełomu.

Masa próbek zmierzona za pomocą wagi jest wyższa od masy obliczonej przez program. Prawdopodobnie jest to spowodowane higroskopijnością materiału jakim jest PLA.

Próbki G są wytrzymalsze od próbek P jeżeli weźmiemy pod uwagę ich gęstość. Stosunek $\frac{E \cdot S}{m}$ jest większy o 199 $\frac{Mm}{s^2}$ dla próbek G dla masy wyznaczonej przez program Prusa Slicer 2.4.1.

Dla masy zmierzonej przy pomocy wagi różnica stosunków $\frac{E \cdot S}{m}$ wynosi $291 \frac{Mm}{s^2}$ na korzyść próbek G.

Można zauważyć, że średni czas rozciągania próbek był podobny (dla próbek P wynosił 38,78 sekundy, dla próbek G 39,17 sekundy) różnica równa 0,39 sekundy. Możemy zauważyć, że czas rozciągania dla próbek P charakteryzuje się większym odchyleniem standardowym (10,15s) niż dla próbek G (2,04s). Jest wyraźnie dłuższy dla próbek P1 i P3 możliwe, że wynika to z deformacji próbek w płaszczyźnie poziomej.

Zbliżone jest średnie wydłużenie obu próbek (dla P 3,34mm, dla G 3,20mm) różnica 0,14mm. Również tutaj zauważalne jest, że próbki P1 i P3 charakteryzują się większym wydłużeniem. Pytanie czy to deformacja jest skutkiem większego wydłużenia, czy wydłużenie skutkiem deformacji?

Większą siłę F_m wytrzymały próbki P. Różnica między P_{sr} i G_{sr} wynosi 0,04kN. Probki P oraz G charakteryzują się odchyleniem standardowym równym 0,01kN, a łączne odchylenie standardowe dla próbek P i G to 0,02kN. Nie ma korelacji między deformacją a przyłożoną siłą F_m .

Naprężenia są większe dla próbek P niż dla próbek G (odpowiednio 23,71MPa i 23,15MPa) różnica 0,57MPa. Odchylenie standardowe dla próbek P wynosi 0,14MPa, dla próbek G 0,26MPa, a łączne dla próbek P i G to 0,30MPa.

Choć parametr $\frac{d\sigma}{dt_{ist}}$ jest większy dla próbek P o $0,070 \frac{MPa}{s}$, jednak gdy weźmiemy pod uwagę masę różnice wyglądają następująco: dla m_z $6,0 \frac{MPa}{kg \cdot s}$ dla m_{pr} $4,6 \frac{MPa}{kg \cdot s}$ na korzyść próbki G.

Oznacza to, że naprężenia dla próbek G rosną szybciej niż dla próbek P.

Granica plastyczności R_m dla próbek P jest o $0,56MPa$ niż dla próbek G. $R_{p0.2}$ jest o $0,35MPa$ większe dla próbek P. Podobnie z modułem Younga E, który jest wyższy dla próbki P o $0,074GPa$.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę masę próbki G ma przewagę we wszystkich wyżej podanych parametrach $\frac{R_m}{m_{pr}}$ większe o

$$112 \frac{MPa}{kg}, \frac{R_m}{m_z} o 129 \frac{MPa}{kg}, \frac{R_{p0.2}}{m_{pr}} o 126 \frac{MPa}{kg}, \frac{R_{p0.2}}{m_z} o 141 \frac{MPa}{kg}, \frac{E}{m_{pr}} o 4 \frac{GPa}{kg}, \frac{E}{m_z} o 6 \frac{GPa}{kg}$$

Z powyższych obserwacji i obliczeń można wysnuć wniosek, że gyrodialny zwór wypełnienia próbek G ma lepsze właściwości wytrzymałościowe niż plaster miodu 3D próbki P.

Każda z próbek charakteryzuje się liniowym zakresem sprężystym.