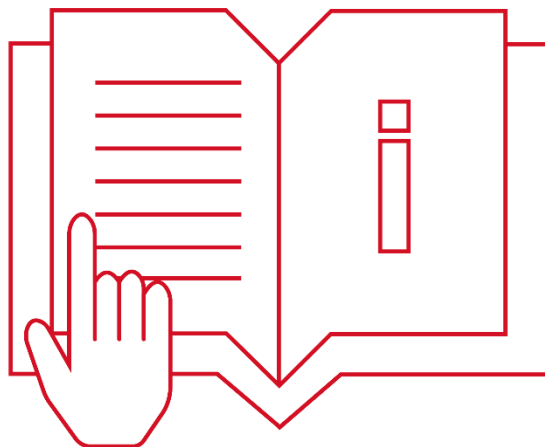


# 3DGENCE PEEK

---

## DOBRE PRAKTYKI



## Spis treści

1. WSTĘP.....	3
2. PORÓWNANIE PARAMETRÓW PEEK W POSTACI AMORFICZNEJ I KRYSTALICZNEJ.....	3
3. MATERIAŁY PODPOROWE DLA PEEK .....	5
4. PEEK – ZALECENIA.....	6
5. WYGRZEWANIE PEEK.....	7
5.1. Wstęp.....	7
5.2. Bezpieczeństwo .....	7
5.3. Sprzęt .....	7
5.4. Przygotowanie .....	9
5.5. Wygrzewanie .....	9
6. DODATKOWE INFORMACJE.....	11

## 1. WSTĘP

**PEEK** (polieteroeteroketon) - to polimer semikrystaliczny, z grupy tworzyw wysokogatunkowych. Materiał charakteryzuje się dobrymi właściwościami mechanicznymi, chemicznymi oraz fizycznymi. Do najważniejszych właściwości tworzywa PEEK należą:

- niski współczynnik tarcia,
- wysoka odporność na działanie czynników zewnętrznych,
- niska palność,
- odporność na wysokie temperatury,
- odporność na promieniowanie UV,
- odporność na promieniowanie wysokoenergetyczne,
- wysoka wytrzymałość mechaniczna.

Połączenie bardzo dobrej odporności na działanie podwyższonych temperatur, doskonałych właściwości ślizgowych oraz wysokiej wytrzymałości mechanicznej sprawia, że jest to materiał szeroko wykorzystywany w produkcji różnych elementów. To właśnie z niego produkowane są precyzyjne podzespoły niezbędne do właściwej pracy wielu maszyn i urządzeń takie jak: koła zębate, pierścienie, łożyska ślizgowe, elementy armatury oraz elementy narażone na oddziaływanie wysokiej temperatury.

PEEK występuje w dwóch fazach: amorficznej oraz semikrystalicznej. Podczas druku na urządzeniach 3DGence powstaje model w fazie amorficznej, która pozwala na precyzyjny i trwały wydruk nawet dużych modeli. PEEK w tej formie charakteryzuje się mniejszym skurczem oraz lepszym rozkładem naprężeń podczas druku. W celu przejścia do fazy semikrystalicznej wymagane jest zastosowanie dodatkowej obróbki cieplnej. Rozwiązanie to uzupełnia system 3DGence o możliwość uzyskania modelu zarówno w postaci amorficznej jak i semikrystalicznej. Fazy te charakteryzują się odmiennymi właściwościami termomechanicznymi, które zostały opisane w kolejnym rozdziale.

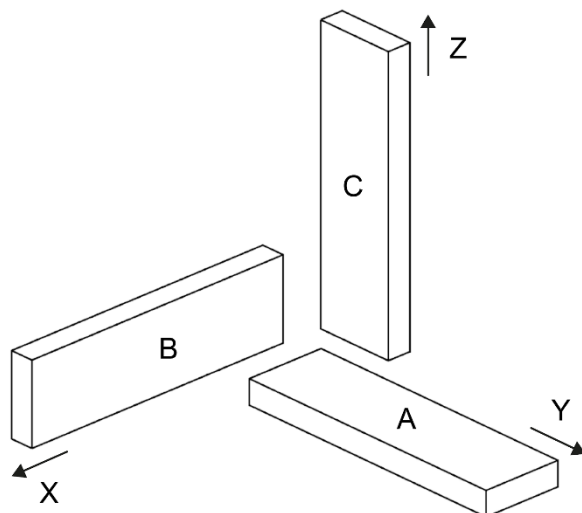
### Dodatkowe informacje

**Polimery amorficzne** – zwane również bezpostaciowymi zgodnie z zasadą termodynamiki są w stanie cieczy przechłodzonej. Makrocząsteczki przyjmują postać kłęбка, tworząc struktury nieuporządkowane sklębione, o słabych oddziaływaniach energetycznych. W tej strukturze jest możliwe jedynie uporządkowanie bliskiego zasięgu do około 1 nm. Polimery amorficzne mogą się znajdować w jednym z czterech stanów fizycznych: szklistym, lepkosprężystym, wysokoelastycznym, plastycznym (ciekłym). Poniżej pewnej wartości temperatury polimery wykazują właściwości charakterystyczne dla kruchych ciał stałych lub szkła. Zmieniają się prawie wszystkie jego cechy, np. przewodnictwo cieplne, objętość właściwa, rozszerzalność termiczna, moduł elastyczności. Powyżej temperatury zeszklenia polimery mają właściwości ciała wysokoelastycznego.

**Polimery krystaliczne** – polimery o regularnej, liniowej budowie łańcucha lub zawierające grupy o dużej polarności, rozmieszczone równomiernie wzdłuż makrocząsteczki. Powstają na skutek ruchów termicznych oraz sił oddziaływań międzycząsteczkowych sklębionych łańcuchów.

## 2. PORÓWNANIE PARAMETRÓW PEEK W POSTACI AMORFICZNEJ I KRYSZALICZNEJ

W tab.1,2,3 zestawiono parametry mechaniczne i termiczne wydruków próbek z materiału PEEK w fazie amorficznej oraz semikrystalicznej. Próbki do badań zostały wykonane na drukarce 3DGence INDUSTRY F340. W celu uzyskania próbek w fazie semikrystalicznej zostały one poddane dodatkowej obróbce opisanej w rozdziale 6. Badania wykonane zostały na próbkach rzeczywistych, zgodnie z normami podanymi w tabelach poniżej. Objasnienie orientacji próbek przedstawione jest na rys.1.



Rys. 1 Orientacje próbek

Tab. 1 Tabela właściwości mechanicznych

Właściwości mechaniczne	Metoda badawcza	Jednostka	Faza amorficzna			Faza semikrystaliczna		
			Próbka A	Próbka B	Próbka C	Próbka A	Próbka B	Próbka C
Tensile Strength at Yield	ASTM D638	MPa	26.73	22.51	4.82	26.86	27.19	5.80
Tensile Strength Ultimate	ASTM D638	MPa	43.08	43.67	10.04	43.67	38.76	12.21
Tensile Modulus	ASTM D638	GPa	2.26	2.38	2.18	2.78	2.83	2.69
Tensile Elongation at Break	ASTM D638	%	0.022	0.021	0.005	0.017	0.013	0.004
Tensile Elongation at Yield	ASTM D638	%	0.012	0.009	0.002	0.010	0.010	0.002
Poisson's Ratio	ASTM D638	-	0.40	0.40	0.36	0.38	0.38	0.35
Flexural Stress at Break	ASTM D790	MPa	91.58	103.37	N/A	129.02	144.52	N/A
Flexural Stress	ASTM D790	MPa	29.79	35.01	N/A	47.75	58.63	N/A
Flexural Modulus	ASTM D790	GPa	2.54	2.79	N/A	3.37	3.36	N/A
Flexural Strain	ASTM D790	%	0.012	0.013	N/A	0.014	0.018	N/A
Flexural strain at break	ASTM D790	%	2.517	2.296	N/A	2.107	2.619	N/A
Density	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1.30			1.30		

Tab. 2 Tabela właściwości mechanicznych

Właściwości mechaniczne	Metoda badawcza	Jednostka	Faza amorficzna	Faza semikrystaliczna
Charpy Impact(notch A)	ISO 179-1	KJ/m <sup>2</sup>	12.80	7.66
Charpy Impact(notch B)	ISO 179-1	KJ/m <sup>2</sup>	21.16	14.59
Charpy Impact(notch C)	ISO 179-1	KJ/m <sup>2</sup>	12.60	6.57
Charpy Impact(un-notched)	ISO 179-1	KJ/m <sup>2</sup>	112.09	23.96



Tab. 3 Tabela właściwości termicznych

Właściwości termiczne*	Metoda badawcza	Jednostka	Faza amorficzna	Faza semikrystaliczna
Operating temperature		°C	147	250
Heat deflection	ISO 75A-f	°C	N/A**	167
Vicat softening temperature	ISO 306	°C	N/A**	250
Glass transition	ISO 11357	°C	N/A**	147
Coefficient of thermal expansion Below Tg	ISO 11359	ppm/K <sup>-1</sup>	55	55
Coefficient of thermal expansion Above Tg	ISO 11359	ppm/K <sup>-1</sup>	N/A**	140
Melting point	ISO 11357	°C	N/A**	343
*Literature Values				
**At 143°C the material starts to undergo recrystallization process and samples turn semicrystalline. Thus temperatures given may apply to semicrystalline samples only.				

### 3. MATERIAŁY PODPOROWE DLA PEEK

Urządzenia 3DGence pozwalają na wydruk PEEK-u w połączeniu z wyłamywanym lub rozpuszczalnym materiałem podporowym (tab.4). Wybór odpowiedniego rodzaju materiału podporowego zależy w głównej mierze od geometrii modelu.

Tab. 4 Zestawienie materiałów podporowych dla PEEK-u

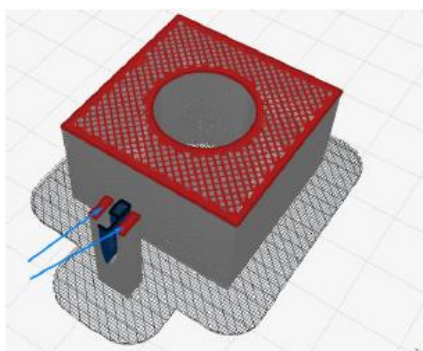
Materiały podporowe dla PEEK-u	
<p><b>Dedykowany wyłamywany materiał podporowy</b></p> 	<p><b>Rozpuszczalny materiał podporowy ESM-10</b></p> 
Cechy	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• usuwany mechanicznie</li> <li>• ekonomiczny w użyciu</li> <li>• model po wydruku nie wymaga dodatkowego urządzenia do wypłukiwania struktur podporowych oraz suszenia przed wygrzewaniem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• usuwany w roztworze wodnym</li> <li>• brak ryzyka uszkodzenia modelu podczas usuwania podpór</li> <li>• wyższa niezawodność</li> </ul>

Więcej informacji odnośnie materiałów podporowych dostępne jest w dokumencie „3DGence materiały podporowe - dobre praktyki” na stronie: [www.3dgence.com/support](http://www.3dgence.com/support).

#### 4. PEEK – ZALECENIA

Każdorazowo przed użyciem PEEK należy wygrzać poprzez umieszczenie go w temperaturze 75°C na około 24h. Można do tego celu wykorzystać komorę roboczą drukarki 3DGence INDUSTRY F340 lub dedykowaną suszarkę do wygrzewania. Nawet mała ilość wilgoci w materiale negatywnie wpłynie na parametry mechaniczne oraz jakość modelu – na ściankach pojawią się pęcherzyki powietrza.

Przy procesie projektowania należy uwzględnić, że minimalny przekrój w modelu nie powinien być mniejszy niż 25mm<sup>2</sup>. Rys.2 pokazuje przykład elementu, który w miejscu oznaczonym strzałkami nie zachowa odpowiedniej jakości. Minimalna grubość drukowanej ścianki bez utraty jej wytrzymałości to 2mm. Możliwe jest drukowanie cieńszych ścianek, ale będą miały one znacznie obniżoną wytrzymałość mechaniczną.



Rys. 2 Przykład modelu, który nie zachowa odpowiedniej jakości

W tab. 5 zestawiono zalecenia dotyczące druku materiału PEEK z różnymi materiałami podporowymi.

Tab. 5 Zalecenia dotyczące druku PEEK

PEEK + dedykowany materiał wyłamywany	PEEK + materiał rozpuszczalny ESM-10
<b>Przed rozpoczęciem procesu druku</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Wygrzać materiał PEEK w temperaturze 75°C przez około 24h</li> <li>Na stolik należy nałożyć co najmniej 2 warstwy preparatu Dimafix w sztyfcie</li> <li>Ustawić temperaturę w komorze filamentów na 60°C</li> <li>Korzystne jest przeprowadzenie automatycznej kalibracji offsetu w osi Z poprzez wybór: <i>Menu</i> → <i>Calibration</i> → <i>Printing module</i> → <i>Measure T1 Offset</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wygrzać materiał PEEK w temperaturze 75°C przez około 24h</li> <li>Na stolik należy nałożyć co najmniej 4 warstwy preparatu Dimafix w sztyfcie</li> <li>Ustawić temperaturę w komorze filamentów na 60°C</li> <li>Korzystne jest przeprowadzenie automatycznej kalibracji offsetu w osi Z poprzez wybór: <i>Menu</i> → <i>Calibration</i> → <i>Printing module</i> → <i>Measure T1 Offset</i></li> </ul>
<b>Po zakończeniu procesu druku</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Zaczekać do całkowitego schłodzenia urządzenia i następnie ściągnąć model ze stolika</li> <li>Przechowywać materiał w podgrzewanym miejscu np. w komorze filamentów drukarki INDUSTRY F340 (temperatura 60°C). Innym rozwiązaniem jest zapakowanie materiału próżniowo lub w szczelnym pojemniku z pochłaniaczem wilgoci.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zaczekać do całkowitego schłodzenia urządzenia i następnie ściągnąć model ze stolika</li> <li>Przechowywać materiał w podgrzewanym miejscu np. w komorze filamentów drukarki INDUSTRY F340 (temperatura 60°C). Innym rozwiązaniem jest zapakowanie materiału próżniowo lub w szczelnym pojemniku z pochłaniaczem wilgoci.</li> </ul>

## 5. WYGRZEWANIE PEEK

### 5.1. Wstęp

Podczas druku filamentu PEEK w drukarce 3DGence INDUSTRY F340 otrzymujemy model w postaci amorficznej. Zmiana fazy materiału z amorficznej na semikrystaliczną wymaga przeprowadzenia dodatkowej obróbki termicznej modelu w odpowiednich warunkach. Proces wygrzewania przeprowadzany jest w suszarce laboratoryjnej wyposażonej w pojemnik stalowy. Model w pojemniku zasypywany jest piaskiem kwarcowym, aby zminimalizować skurcz materiału i naprężenia powstałe podczas druku. Zasypanie w postaci piasku kwarcowego zapewnia odpowiednie utrzymanie geometrii obrabianego modelu oraz równomierny i stopniowy wzrost temperatury, co zapobiega deformacji i powstawaniu wewnętrznych naprężeń. PEEK w postaci amorficznej i semikrystalicznej charakteryzuje się zróżnicowanymi parametrami mechanicznymi i termicznymi zestawionymi w tab.1,2,3. Proces wygrzewania nie musi zostać przeprowadzony, jeśli parametry wydruku w formie amorficznej są wystarczające. Decyzję o wykorzystaniu dodatkowej obróbki należy podjąć w oparciu o pożądane własności fizykochemiczne, w odniesieniu do konkretnego zastosowania w procesie inżynierii.

### 5.2. Bezpieczeństwo

Podczas procesu wygrzewania i korzystania z suszarki laboratoryjnej należy:

- postępować zgodnie z instrukcją obsługi suszarki laboratoryjnej i przestrzegać zawartych w niej zasad bezpieczeństwa,
- używać ochronnych rękawic zapewniających odpowiedni stopień ochrony przy pracy w warunkach wysokiej temperatury,
- zachować szczególną ostrożność ze względu na wysoką temperaturę suszarki i tego co się w niej znajduje.

### 5.3. Sprzęt

Do procesu wygrzewania modeli wydrukowanych z PEEK-u niezbędne są następujące akcesoria:

1. Suszarka laboratoryjna (rys.3), która powinna posiadać:
  - programowalne krzywe nagrzewania,
  - wymuszony obieg powietrza,
  - temperaturę pracy minimum 250°C,
  - przestrzeń roboczą umożliwiającą umieszczenie pojemnika o żądanych wymiarach.



Rys. 3 Przykładowa suszarka laboratoryjna

2. Pojemnik do wygrzewania (rys.4):

- powinien być wykonany ze stali nierdzewnej,
- wymiary wewnętrzne pojemnika muszą pozwolić na umieszczenie modelu z zachowaniem marginesu minimum 5 mm pomiędzy modelem, a każdą ze ścianek pojemnika.



*Rys. 4 Przykładowy pojemnik do wygrzewania*

3. Piasek kwarcowy SiO<sub>2</sub>:

- niebarwiony, oczyszczony (płukany),
- gradacja ziaren 0,2 - 0,8mm.

4. Dodatkowe akcesoria (rys.5):

- rękawice chroniące przed temperaturą,
- plastikowy pojemnik do przesypywania piasku, większy od pojemnika do wygrzewania,
- pędzel lub szczotka do oczyszczenia wygrzanych modeli z piasku.



*Rys. 5 Przykładowe akcesoria*

W ofercie 3DGence dostępne jest kompletne oprzyrządowanie zawierające dedykowane urządzenia i akcesoria. Więcej informacji handlowych dostępnych jest po wysłaniu zapytania na adres: [sales@3dgence.com](mailto:sales@3dgence.com).



## 5.4. Przygotowanie

### Etap 1 - Suszenie:

W przypadku modelu wydrukowanego z materiału PEEK z rozpuszczalną podporą po procesie rozpuszczania wymagane jest wysuszenie wydrukowanego modelu w temperaturze 80°C przez około 12h. W zależności od wielkości modelu czas może być krótszy lub dłuższy. Model należy całkowicie wysuszyć. W przypadku dużej ilości cieczy zamkniętej wewnątrz modelu można umieścić model na ociekaczu lub ręczniku papierowym, co kilka minut obracając aby umożliwić swobodny wypływ wody z modelu. Przed przystąpieniem do kolejnego etapu model musi być całkowicie suchy, ponieważ parująca woda ochładza piasek i powoduje jego zbrylenie.

### Etap 2 – Zасыpywanie:

- Wsypać piasek do pojemnika stalowego do wysokości umożliwiającej umieszczenie wygrzewanego modelu w środku geometrycznym pojemnika. W przypadku wygrzewania większej ilości modeli należy zachować margines minimum 5 mm pomiędzy modelem a każdą ze ścianek pojemnika.
- Umieścić model w pojemniku, w taki sposób, aby w trakcie zasypywania piasek wypełnił wszystkie przestrzenie modelu. Modele, w których warunek ten nie zostanie spełniony mogą ulec poważniejszej deformacji.
- Zasypać model piaskiem do pełnej objętości pojemnika.
- Ostatnim etapem zasypywania jest zagęszczenie zasypu poprzez wywołanie wibracji pojemnika. Czynność tą można wykonać poprzez wielokrotne uderzenie w krawędzie pojemnika np. za pomocą gumowego młotka. Umożliwi to drobinom piasku dostanie się w niewielkie szczeliny modelu i dodatkowo zagęści piasek wokół elementu zapewniając odpowiednie utrzymanie modelu.

**Uwaga:** plastikowy pojemnik służy do przechowywania wystudzonego piasku.

## 5.5. Wygrzewanie

W trakcie procesu wygrzewania tworzywo PEEK ulega rekrytalizacji. Dzięki zastosowanej metodzie, skurcz podczas wygrzewania został ograniczony do 1,5 - 2%. W przypadku niektórych geometrii skurcz może wynieść 4%. Ze względu na warstwową metodę wytwarzania modeli skurcz występuje głównie w płaszczyźnie XY. Skurcz w osi Z praktycznie nie występuje lub może wystąpić niewielkie zwiększenie wymiaru na skutek skurczu w płaszczyźnie XY. Należy wziąć to pod uwagę podczas projektowania modelu, który zostanie poddany wygrzewaniu lub przeskalować model w oprogramowaniu 3DGence Slicer. Zalecamy przeprowadzenie testu na jednym modelu, w celu ustalenia koniecznych do wprowadzenia korekt wymiarowych. Na rys.6 pokazano model w fazie amorficznej przed wygraniem razem z materiałem podporowym, natomiast na rys.7 pokazano model w fazie semikrytalicznej po wygraniu bez materiału podporowego.



Rys. 6 Model w fazie amorficznej przed wygraniem



Rys. 7 Model w fazie semikrytalicznej po wygraniu

Poniżej przedstawiono procedurę wygrzewania rekomendowaną przez 3DGence.

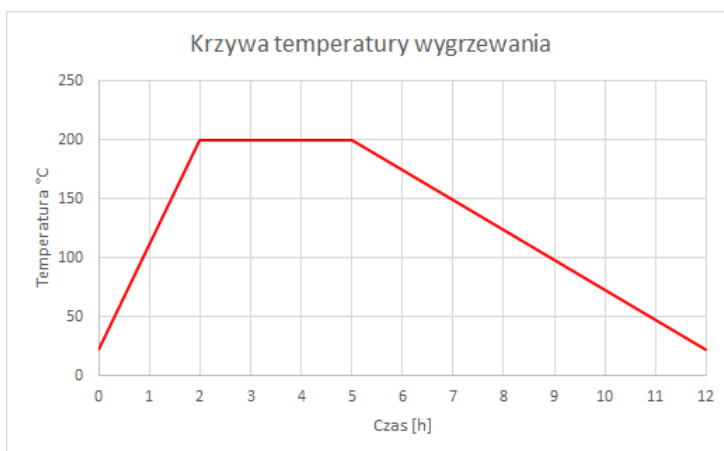
1. Włączyć i zaprogramować suszarkę laboratoryjną zgodnie z tab.6. Krzywa temperatury wygrzewania dla danych podanych w tab.6 została przedstawiona na rys.8.

Tab. 6 Programowanie suszarki laboratoryjnej

Ilość piasku*	25kg
Temperatura	200°C
Czas uzyskania temperatury	120min
Czas utrzymania temperatury*	180min
Wychładzanie	swobodnie do temp. pokojowej

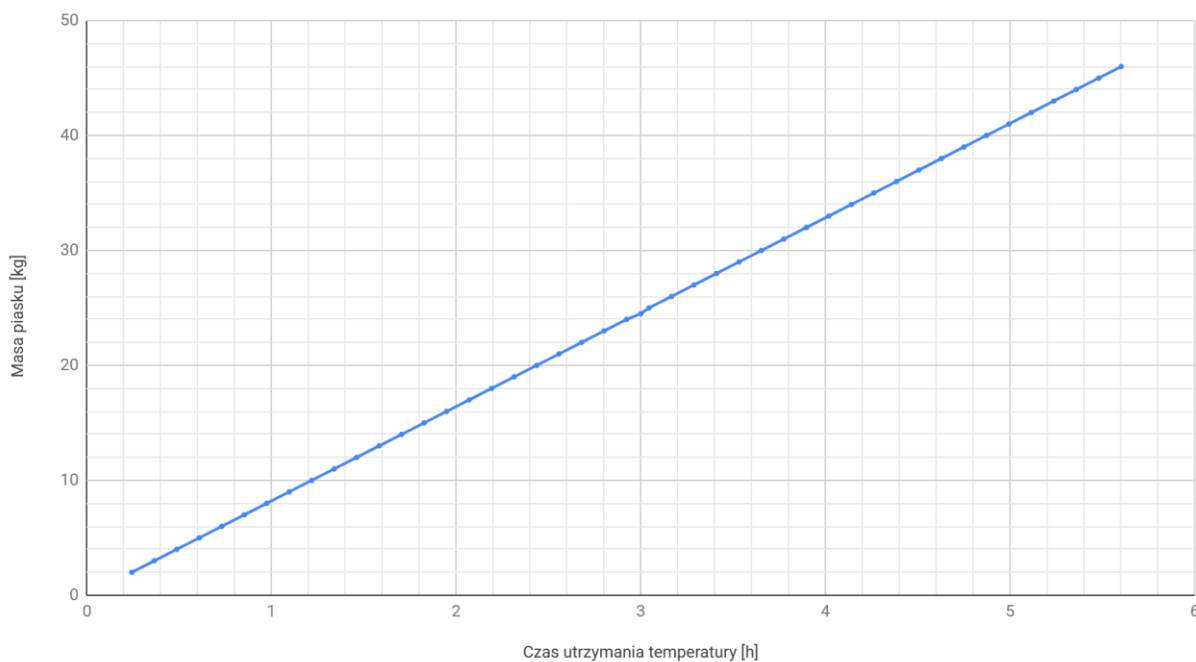
\*W przypadku większej ilości zasypu należy dobrać czas utrzymania temperatury na podstawie wykresu przedstawionego na rys.9.

**Uwaga:** wentylator obiegu wewnętrznego powinien być ustawiony na 100%.



Rys. 8 Krzywa temperatury wygrzewania

Czas utrzymania temperatury dla różnych ilości piasku



Rys. 9 Czas utrzymania temperatury dla różnych ilości piasku

2. Umieścić stalowy pojemnik do wygrzewania w suszarce laboratoryjnej.
3. Uruchomić program.
4. Wyciągnąć pojemnik z suszarki po całkowitym wystudzeniu urządzenia (zakończeniu programu).
5. Wyciągnąć z pojemnika wygrzane modele. Najlepszym sposobem na odseparowanie wielu modeli jest przesypanie piasku przez sito, bądź siatkę o drobnym oczku do plastikowego pojemnika, z którego będziemy zasypywać kolejny wsad do pieca.
6. Pozostały na modelu piasek usunąć np.: za pomocą pędzla.

Wystudzony piasek nadaje się do ponownego użycia.

**Uwaga:** w przypadku gdy modele nie wygrzały się w całości zalecane jest zwiększenie czasu utrzymania temperatury o 25% i powtórzenie procedury.

## 6. DODATKOWE INFORMACJE

Zalecane jest korzystanie z najnowszych wersji profili dla materiału PEEK. W tym celu należy włączyć opcję automatycznych aktualizacji w oprogramowaniu 3DGence Slicer lub zaktualizować profile ręcznie. Więcej informacji znajduje się w instrukcji obsługi 3DGence Slicer dostępnej na [www.3dgence.com/support](http://www.3dgence.com/support).

Karty charakterystyki i bezpieczeństwa producenta materiału PEEK dostępne są na stronie: [www.3dgence.com/support](http://www.3dgence.com/support).

W sprawie oferty handlowej prosimy o kontakt pod adresem e-mail: [sales@3dgence.com](mailto:sales@3dgence.com).

W sprawie pytań technicznych prosimy o kontaktem pod adresem e-mail: [support@3dgence.com](mailto:support@3dgence.com).