

1. Czego potrzebujemy do wydrukowania modelu 3D?
2. Budowa i działanie drukarki 3D
3. Przygotowanie modelu 3D do druku w programie typu slicer
4. Drukowanie modelu 3D
5. Kilka praktycznych zasad dotyczących druku 3D

1. Czego potrzebujemy do wydrukowania modelu 3D?



Druk 3D (z ang. *three-dimensional*, pol. trójwymiarowy) to drukowanie przestrzenne, które polega na wytwarzaniu obiektu fizycznego na podstawie modelu komputerowego poprzez nanoszenie kolejnych warstw materiału (tzw. metoda przyrostowa).

Aby wydrukować model 3D, potrzebujemy:

1. trójwymiarowego modelu komputerowego, utworzonego w edytorze grafiki do modelowania obiektów 3D i zapisanego w pliku, najczęściej z rozszerzeniem *stl*, *obj*,
2. programu do obróbki modelu 3D, tzw. slicera, za pomocą którego przygotujemy plik do wydruku,
3. drukarki 3D,
4. materiału do druku, w postaci np. żyłki, żywicy czy proszku – zależnie od wybranej technologii druku.

Trójwymiarowy model możemy pozyskać na kilka sposobów:

- utworzyć go w programie do modelowania grafiki 3D,
- za pomocą specjalnego urządzenia zeskanować obiekt do drukowania,
- pobrać gotowy model z darmowych stron internetowych, m.in.:

<https://www.thingiverse.com/>

<https://www.yeggi.com/>

<https://www.myminifactory.com/>

<https://nasa3d.arc.nasa.gov/models>

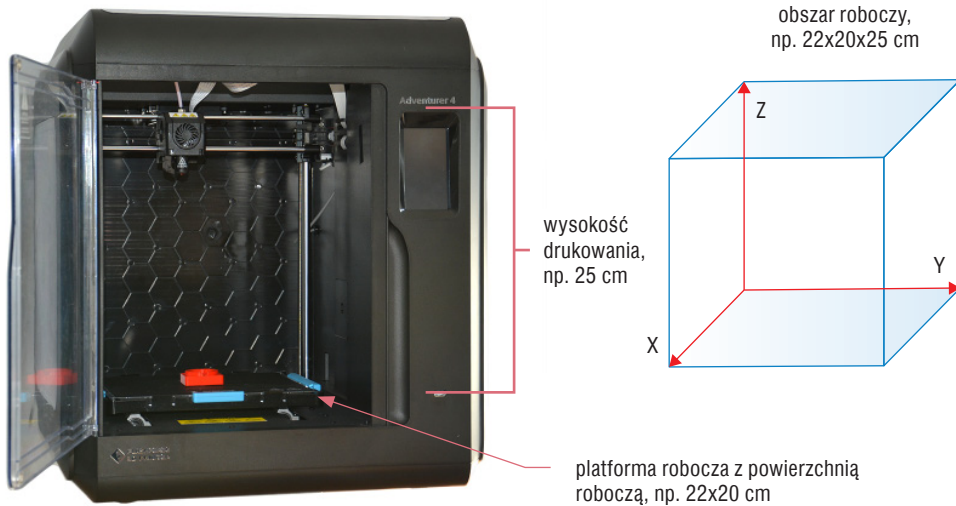
<https://free3d.com/pl/3d-models/>

<https://open3dmodel.com/pl/3d-models/>

<https://all3dp.com/printables/>

2. Budowa i działanie drukarki 3D

Każda drukarka ma **obszar roboczy** wyznaczający wielkość bryły, którą możemy wydrukować. Drukarka jest wyposażona w **platformę roboczą (stół roboczy)** o ustalonej **powierzchni roboczej** (np.: 22x20 cm) oraz ma ograniczoną **wysokość drukowania** (rys. 1).



Rys. 1. Przykładowa drukarka 3D

Budowa i działanie drukarki 3D zależą od zastosowanej technologii. Najbardziej dostępnym, najtańszym i najpopularniejszym sposobem drukowania 3D jest **FDM** (z ang. *Fused Deposition Modelling*) – technologia drukowania termoplastycznym materiałem wyciskającym przez dysze. W tej technologii materiał do druku (zwany **filamentem**) ma postać żyłki ze sztucznego tworzywa, którą umieszcza się na szpuli (rys. 2.).



Rys. 2. Szpula z materiałem do druku (filamentem) – żyłką ze sztucznego tworzywa

Ogólna zasada działania drukarki 3D (korzystającej przyrostowej metody druku) opiera się o **warstwy**:

- Każdy przedmiot, który powstaje w drukarce 3D, składa się z wielu warstw układanych jedna na drugiej (rys. 3).
- Materiał ze spuli trafia do elementu drukarki zwanego **ekstruderem**, gdzie pod wpływem wysokiej temperatury topi się, a następnie jest przepychany do dyszy, która układa kolejne warstwy.
- Każda warstwa ma swoją, na ogół niewielką, wysokość (np.: 0,2 mm). Im mniejsza wysokość warstwy, tym większa rozdzielczość wydruku. Oznacza to, że wysokość warstwy ma bezpośredni wpływ na gładkość wydrukowanych powierzchni oraz na to, czy wydruk będzie dobrze wyglądał. Jednocześnie im mniejsza wysokość warstwy, tym czas wydruku będzie się wydłużał. Jakość wydruku 3D zależy również od użytego materiału i zastosowanej technologii drukowania.



Rys. 3. Warstwy widoczne na wydruku modelu 3D

3. Przygotowanie modelu 3D do druku w programie typu slicer

Drukarka 3D nie wydrukuje trójwymiarowego modelu zapisanego w pliku (np. z rozszerzeniem *stl*) bez użycia specjalnego programu, tzw. **slicera** (pol. *krajalnica*). Program tego rodzaju umożliwia import modelu (np. w postaci pliku *stl*) i przygotowanie go do druku 3D, m.in. „pocięcie” modelu na warstwy. W przypadku, gdy model jest większy niż obszar roboczy, slicer pozwala podzielić projektowany model na mniejsze części, które można oddzielnie wydrukować, a potem skleić.

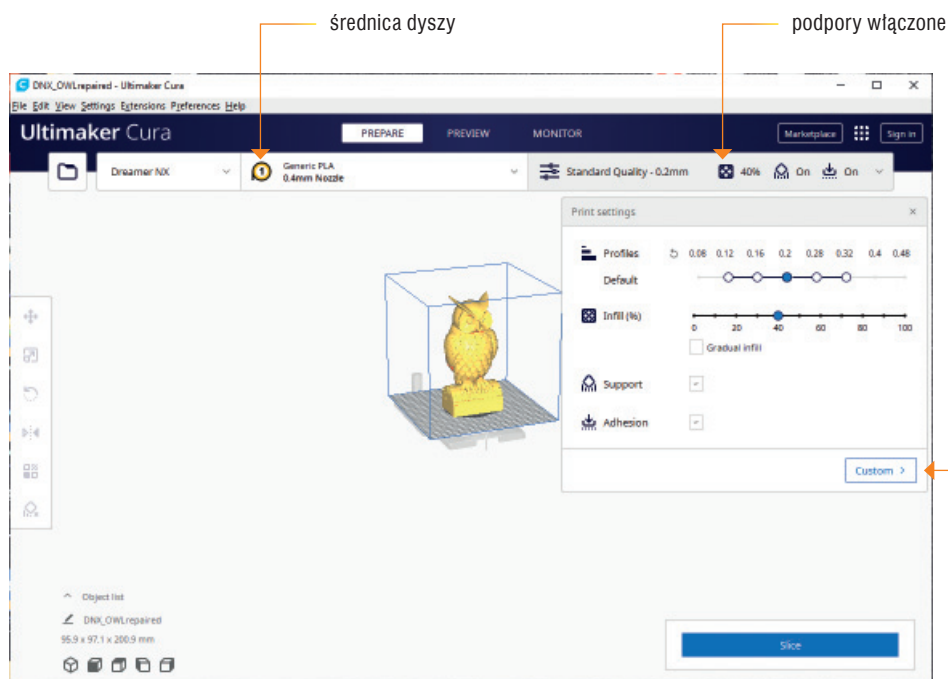
W Internecie są dostępne darmowe programy współpracujące z prawie każdą drukarką, np.:

- Cura (rys. 4a i 4b): <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>,
- KISSlicer: <https://www.kisslicer.com/>,
- Slic3r: <https://slic3r.org/>.

Niektórzy producenci dołączają do swojego sprzętu slicer przeznaczony dla własnych drukarek 3D, np.:

- Flashprint (rys. 5a-5c): <https://www.flashforge.com/product-detail/FlashPrint-slicer-for-flashforge-fdm-3d-printers>,
- Z-Suite (rys. 6a-6b): <https://support.zortrax.com/downloads/>.

Na rysunkach 4a-4b, 5a-5c i 6a-6b pokazano okna przykładowych programów typu slicer z opisem podstawowych i zaawansowanych parametrów.



Rys. 4a. Wygląd okna przykładowego programu do obróbki modelu 3D – slicera Cura (podstawowe ustawienia)

Profile: Standard Quality - 0.2mm

Search settings

Quality

Layer Height: 0.2 mm

Walls

Wall Thickness: 0.8 mm

Wall Line Count: 2

Horizontal Expansion: 0.0 mm

Top/Bottom

Top/Bottom Thickness: 0.8 mm

Top Thickness: 0.8 mm

Top Layers: 4

Bottom Thickness: 0.8 mm

Bottom Layers: 4

Infill

Infill Density: 40.0 %

Infill Pattern: Cubic

Material

Printing Temperature: 200.0 °C

Build Plate Temperature: 35 °C

Speed

Print Speed: 50.0 mm/s

Travel

Enable Retraction:

Z Hop When Retracted:

Cooling

Enable Print Cooling:

Fan Speed: 100.0 %

Support

Generate Support:

< Recommended

wysokość warstw

gęstość wypełnienia

wzór wypełnienia

temperatura ekstrudera

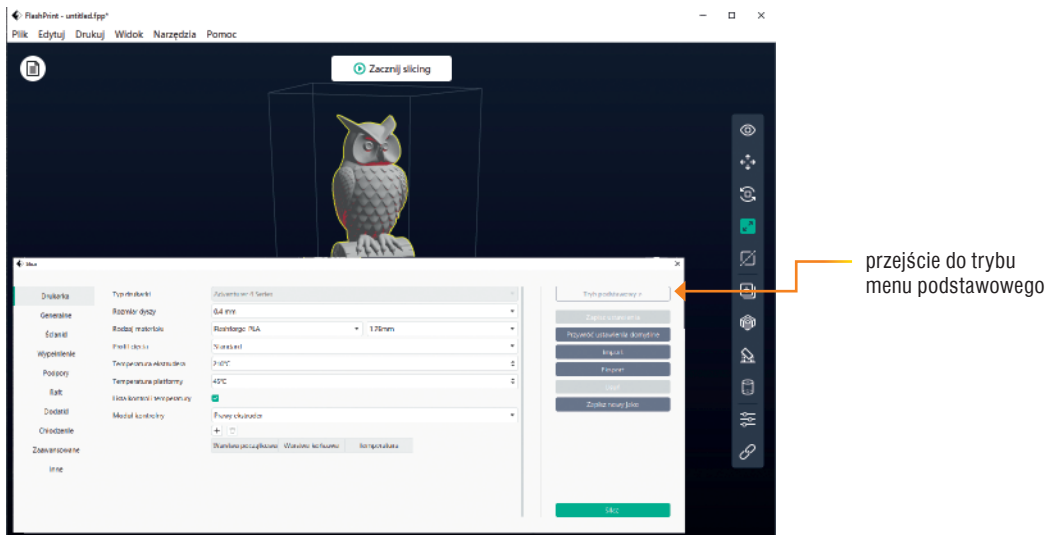
temperatura stołu

prędkość wydruku

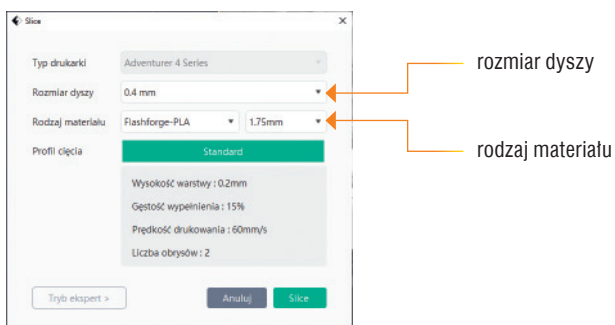
ustawienia chłodzenia

włączanie podpór

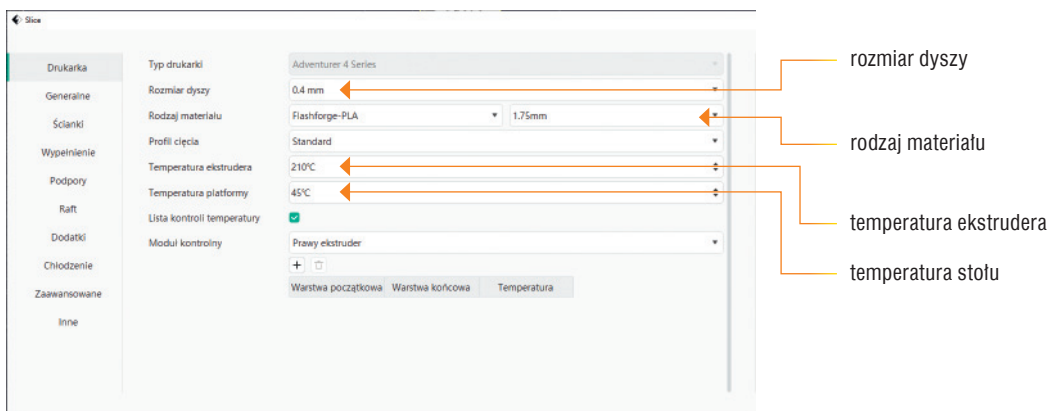
Rys. 4b. Zaawansowane ustawianie parametrów wydruku w programie Cura



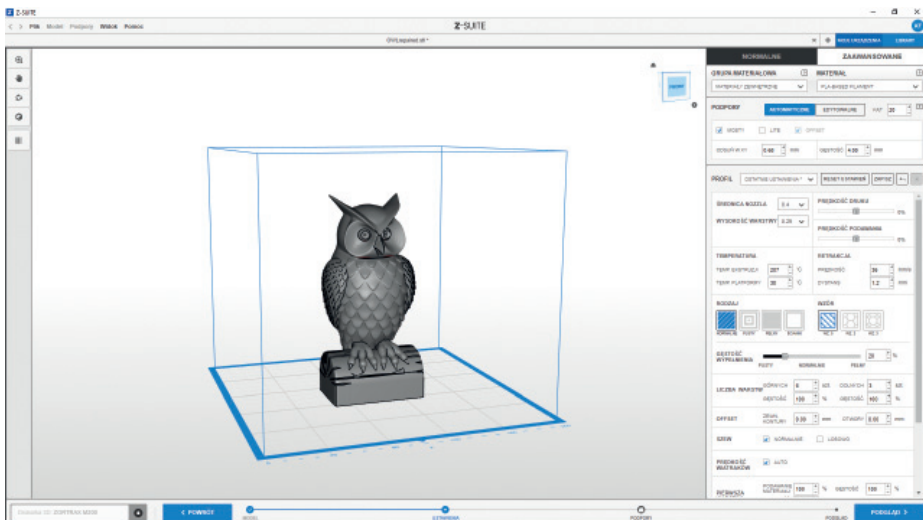
Rys. 5a. Wygląd okna przykładowego programu do obróbki modelu 3D – slicera Flashprint



Rys. 5b. Podstawowe ustawienia parametrów wydruku w programie Flashprint



Rys. 5c. Zaawansowane ustawienia parametrów wydruku w programie Flashprint



Rys. 6a. Wygląd okna przykładowego programu do obróbki modelu 3D – slicera Z-Suite

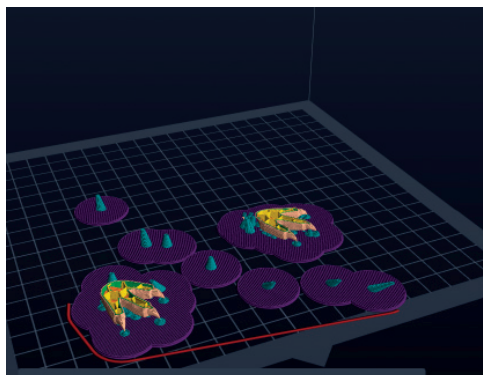
NORMALNE		ZAAWANSOWANE	
GRUPA MATERIAŁOWA		MATERIAŁ	
MATERIAŁY ZEWNĘTRZNE		PLA-BASED FILAMENT	
PODPORY		KĄT 20	
<input checked="" type="checkbox"/> MOSTY <input type="checkbox"/> LITE <input checked="" type="checkbox"/> OFFSET		ustawienie podpór	
ODSUŃ W XY 0.68 mm		GĘSTOŚĆ 4.00 mm	
PROFIL		RESET USTAWIEŃ ZAPISZ	
ŚREDNICA NOZDZA 0.4		PRĘDKOŚĆ DRUKU	
WYSOKOŚĆ WARSTWY 0.29		PRĘDKOŚĆ PODAWANIA	
TEMPERATURA		RETRAKCJA	
TEMP. EKSTRUZJI 207 °C		PRĘDKOŚĆ 36 mm/s	
TEMP. PLATFORMY 30 °C		DYSTANS 1.2 mm	
RODZAJ		WZÓR	
<input checked="" type="checkbox"/> NORMALNE <input type="checkbox"/> PUSTY <input type="checkbox"/> PEŁNY <input type="checkbox"/> ŚCIĄGNIĘTY		<input checked="" type="checkbox"/> WZ. 0 <input type="checkbox"/> WZ. 2 <input type="checkbox"/> WZ. 3	
GĘSTOŚĆ WYPEŁNIENIA		20 %	
LICZBA WARSTW		liczba warstw rozpoczynających i kończących	
GÓRNYCH 6 DOLNYCH 3		GĘSTOŚĆ 100 % GĘSTOŚĆ 100 %	
OFFSET		szew (początek i koniec każdej warstwy)	
ZEWN. KONTURY 0.00 mm OTWORY 0.00 mm		<input checked="" type="checkbox"/> NORMALNE <input type="checkbox"/> LOSOWO	
SZEW		PRĘDKOŚĆ WIĄTRAKÓW	
<input checked="" type="checkbox"/> NORMALNE <input type="checkbox"/> LOSOWO		<input checked="" type="checkbox"/> AUTO	

Rys. 6b. Zaawansowane ustawienia parametrów wydruku w programie Z-Suite

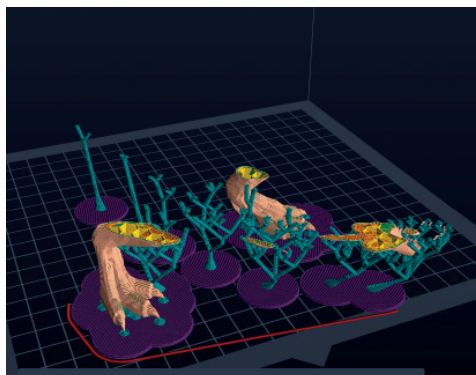
Etapy przygotowania modelu 3D do druku

1. Przygotowany model 3D (zapisany w pliku, np. z rozszerzeniem *stl*) należy zaimportować do dowolnego programu typu slicer.
2. W programie slicer ustawiamy odpowiednie dla naszego projektu parametry wydruku i tniemy model na warstwy. Na rysunkach 7a-7h pokazano kilka przykładowych faz cięcia modelu na warstwy (ten model został pocięty na 448 warstw).

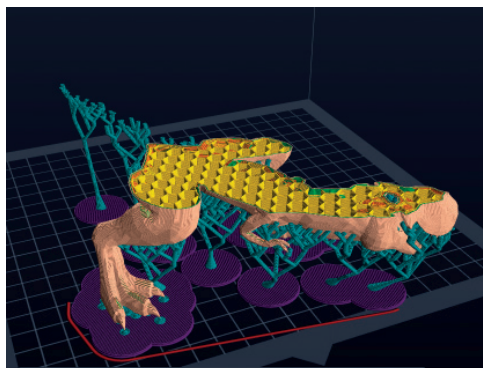
a



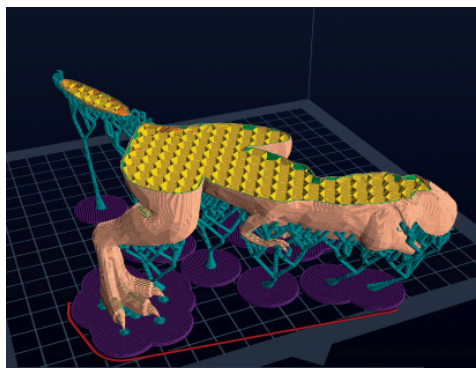
b



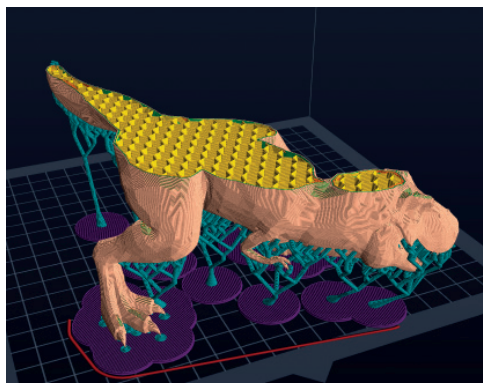
c



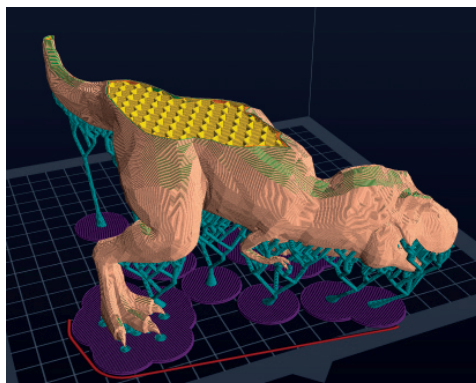
d



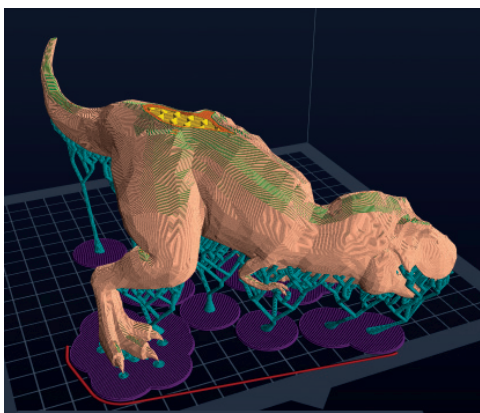
e



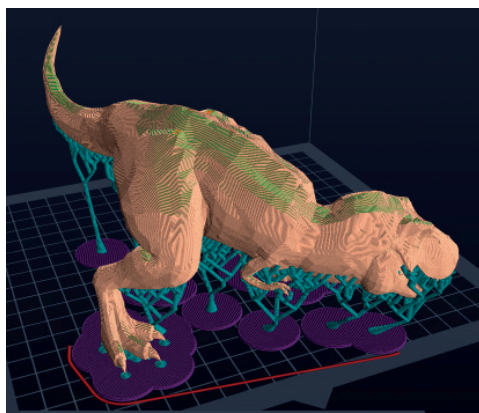
f



g



h



Rys. 7. Przykład przygotowania modelu do druku – kilka przykładowych faz cięcia modelu na warstwy

3. Po pocięciu modelu na warstwy otrzymamy przybliżoną informację, jak długo potrwa druk i ile materiału zużyjemy na jego wykonanie (filament – w gramach i w metrach).
4. Pocięty na warstwy model zapisujemy w pliku z rozszerzeniem *gcode* lub innym, jeżeli slicer jest dedykowany do danego modelu drukarki.

4. Drukowanie modelu 3D

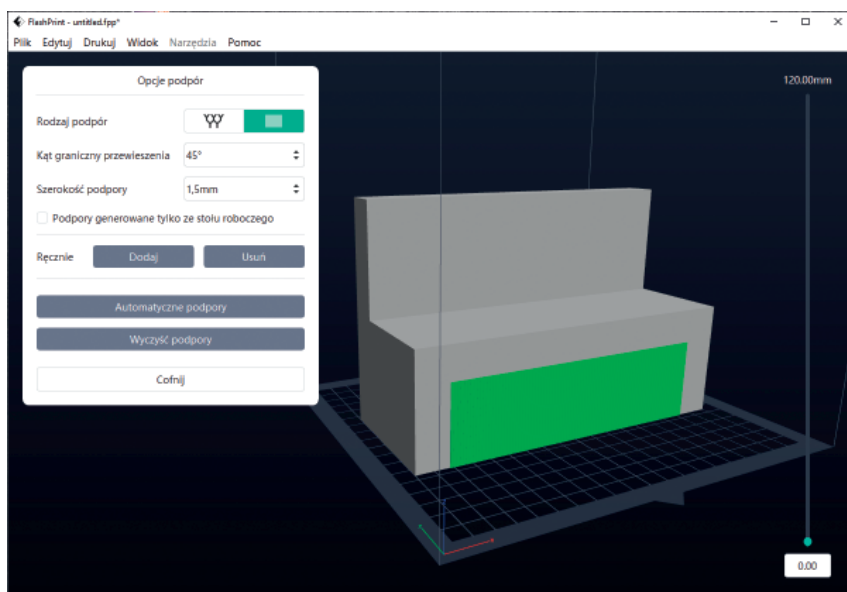
1. W programie slicer ustawiamy parametry drukowania:
 - a. w wariantcie uproszczonym ustawiamy podstawowe parametry: rodzaj materiału (np. PLA), wielkość zainstalowanej w drukarce dyszy (najczęściej 0,4 milimetra), a pozostałe pozostawiamy jako domyślne,
 - b. w wariantcie zaawansowanym możemy ustawiać pozostałe parametry drukowania, m.in.: wysokość warstwy, temperaturę ekstrudera, temperaturę stołu roboczego, rodzaj i gęstość wypełnienia, grubość ścianek, liczbę warstw początkowych i zamykających, prędkość drukowania, moc chłodzenia z wentylatorów i wiele innych.
2. Niektóre powierzchnie w procesie drukowania muszą być podparte, dlatego slicer poinformuje o niewralgicznych punktach modelu, podświetlając je kolorem czerwonym. Należy wtedy wygenerować (ręcznie lub automatycznie) **podpory** (ang. *support*), które umożliwią wydruk wskazanych powierzchni. Po zakończeniu drukowania podpory należy mechanicznie usunąć. Zważywszy na to, bardzo ważne jest usytuowanie drukowanego modelu na stole roboczym tak, aby wygenerować jak najmniej podpór lub ich całkowicie uniknąć.

P Podpory

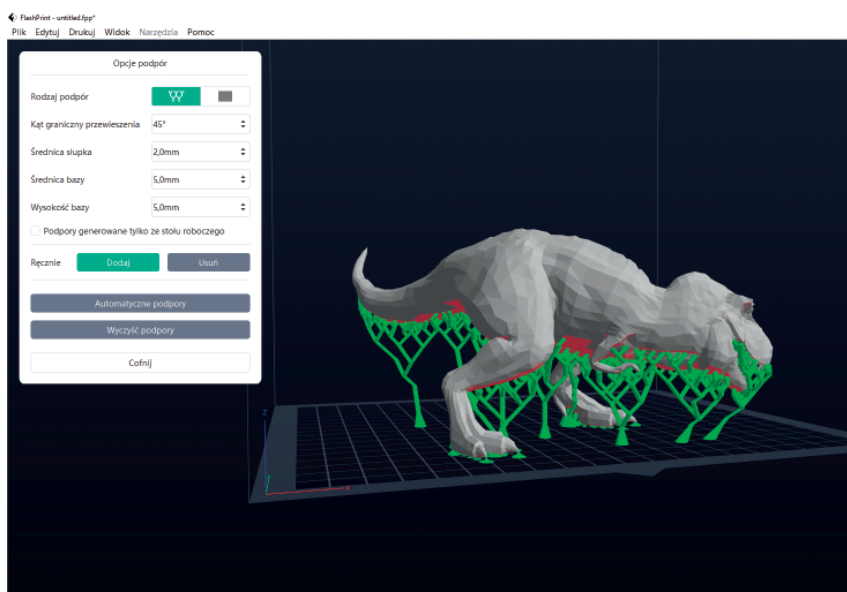
Rusztowania (tworzone w czasie procesu drukowania) podtrzymujące powierzchnie drukowane pod kątem lub pozbawione własnej podpory.

Stosujemy dwa podstawowe rodzaje podpór:

- **liniowe**, których użycie wygeneruje słupki po dokonaniu cięcia; podpory liniowe stosuje się do dużych płaskich powierzchni (rys. 8a),
- **drzewkowe**, które stosuje się przy nieregularnym kształcie powierzchni; zużyte zostanie mniej filamentu (rys. 8b).



Rys. 8a. Przykład podpór liniowych

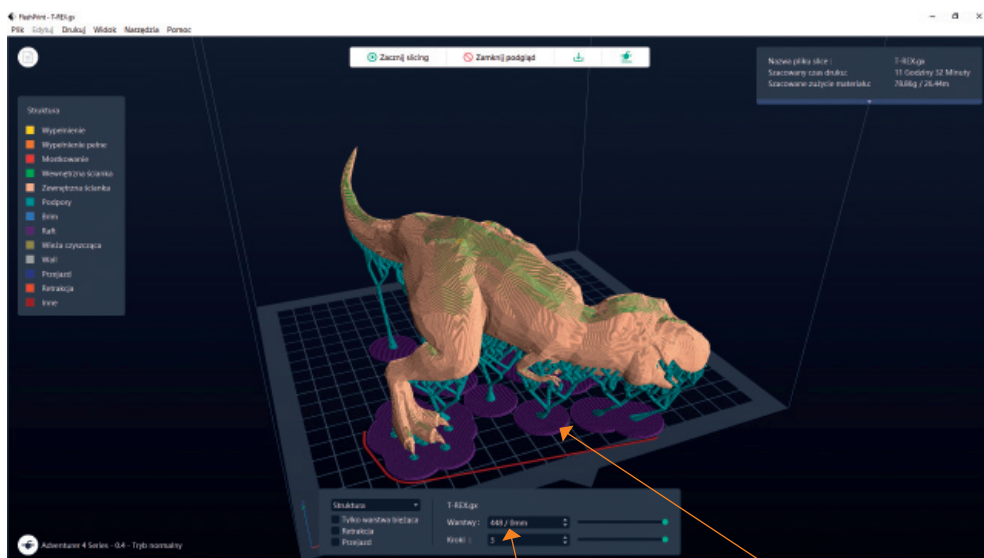


Rys. 8b. Przykład podpór drzewkowych

3. Kolejny element, który możemy włączyć, to **raft** (pol. *tratwa*), czyli wydrukowana, pozioma siatka, umiejscowiona na powierzchni platformy roboczej (rys. 9). Raft jest rodzajem dodatkowej platformy, na której drukowany jest właściwy model. Najczęściej składa się ona z kilku warstw o różnej gęstości. Raft jest szerszy od dolnej powierzchni drukowanego modelu. Zadaniem raftu jest przede wszystkim zwiększenie powierzchni przywierania modelu do stołu roboczego i wyeliminowanie nierówności stołu roboczego, tak aby pierwsza układana warstwa modelu była możliwie najgładza. Dodatkowo raft minimalizuje ryzyko podwijania się krawędzi pierwszych warstw wydruku. Po wydrukowaniu i odspojeniu wydruku od stołu raft jest stosunkowo łatwy do usunięcia.

P Plik zapisany w formacie GCODE

Plik, który zawiera polecenia w języku G-Code, który służy do opisu sposobu pracy drukarki 3D. Instrukcje są zapisane w postaci zwykłego tekstu. Każda kolejna linia zawiera inne polecenie, takie jak: szybkość drukowania, temperatura, miejsce, i wszystkie pozostałe, które ustawia się na etapie slicerowania.



liczba warstw (448)

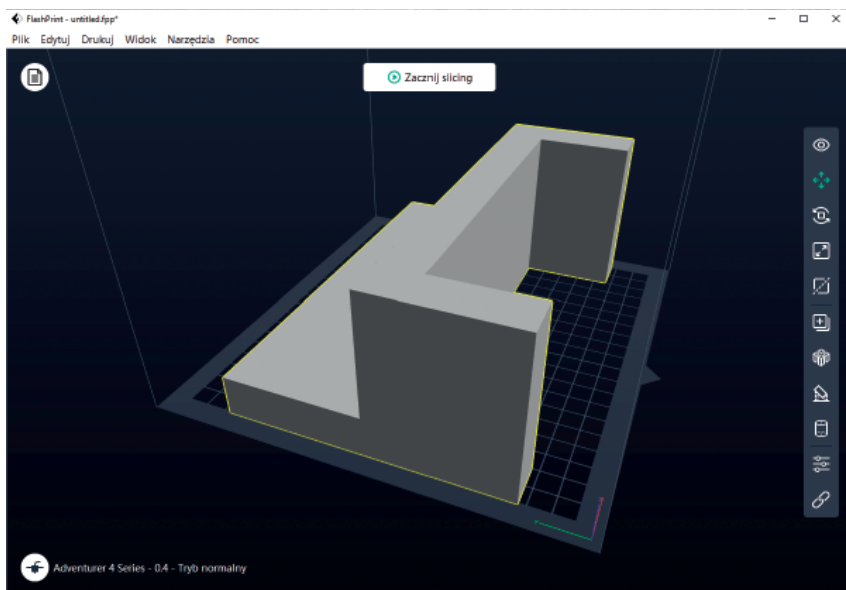
raft

Rys. 9. Raft (w kolorze fioletowym) widoczny pod modelem

4. Plik z rozszerzeniem **gcode** odczytujemy w drukarce (np. za pomocą pendriv'a, karty pamięci, sieci komputerowej) i wybieramy opcję drukowania.
5. Po zatwierdzeniu drukowania nastąpi automatyczne rozgrzanie stołu roboczego i ekstrudera. Gdy zostaną osiągnięte zadane temperatury, drukarka rozpocznie drukowanie.

5. Kilka praktycznych zasad dotyczących druku 3D

1. Wydruk należy tak zaplanować, aby wygenerować jak najmniej podpór. Nie można ułożyć materiału w powietrzu – powinien być podparty. Podpory są odpadem, którego już nie wykorzystamy, więc podnoszą koszty wydruku oraz są nieekologiczne. Jednocześnie przez podpory zwiększa się czas potrzebny do wydrukowania przedmiotu. Żeby uniknąć stosowania podpór, można podzielić model na części lub spróbować inaczej ustawić model, np. ławeczkę (z rysunku 8a) można położyć (rys. 10).



Rys. 10. Prawidłowo ustawiony model ławeczki – uniknięto stosowania podpór

2. Przy wyborze materiału musimy wziąć pod uwagę, że niektóre materiały wymagają podgrzewanej platformy roboczej, aby zmniejszyć szybkość stygnięcia drukowanego modelu (szybkie stygnięcie może doprowadzić do deformacji).
3. Niektóre materiały (np. ABS) podczas stygnięcia są podatne na kurczenie i pękanie. Drukowanie takim materiałem zaleca się wykonywać w drukarkach z zamkniętą komorą roboczą, co pozwoli na uzyskanie stałej temperatury podczas drukowania.
4. Bardzo ważne jest określenie sposobu wypełnienia drukowanego modelu. Musimy ustalić, w ilu procentach model ma zostać wypełniony i jaką ma mieć strukturę. Można drukować model bez wypełnienia, ale wówczas będzie on bardzo delikatny. Standardowo przyjmuje się, że wystarczy wypełnienie 15-30%. Jeśli potrzebujemy większej wytrzymałości, zwiększamy wypełnienie, nawet do 90%. Możemy też drukować w 100% wypełnione modele, ale nie każdy materiał na to pozwala ze względu na kurczenie i deformowanie podczas stygnięcia.

5. Aby drukowany element dobrze przywarł do stołu roboczego, stosuje się różne techniki, np. stół perforowany lub inny, którego powierzchnię roboczą smaruje się lub spryskuje specjalnym preparatem klejącym lub nakleja się naklejki adhezyjne. Wielu użytkowników drukarek 3D ma problemy z uzyskaniem prawidłowej pierwszej warstwy wydruku, a to właśnie ona ma kluczowe znaczenie dla pomyślnego zakończenia procesu drukowania.
6. Aby uniknąć problemów podczas druku, takich jak: brak właściwej przyczepności, nierówna powierzchnia, wypaczenie wydruku, należy stosować raft. Raft planujemy na etapie przygotowania modelu do druku. Ponieważ na rafcie nanoszona jest pierwsza warstwa właściwego wydruku, jest to sposób na poprawę jakości tej warstwy, a także na przytwierdzenie wydruku do platformy roboczej. Raftu używamy podczas drukowania z materiału podatnego na odkształcenia. Raft musimy zastosować zawsze wtedy, gdy drukowany element ma bardzo małą powierzchnię styku z platformą roboczą.
7. Parametry druku ustawiane na etapie krojenia należy dostosować do materiału, którego użyjemy do drukowania, a także do drukowanego modelu i jego przeznaczenia. Niektórzy producenci filamentów na opakowaniach podają zalecane parametry drukowania danym materiałem.

Autor: Grażyna Koba
Współpraca autorska: Krzysztof Fortuna
Konsultacja merytoryczno-dydaktyczna: Michał Łętowski, Marta Skąła-Kowalczyk

Redakcja i korekta: dr Halina Kubicka
Projekt graficzny i skład: Studio Grafiki INCOLOR Roman Jankowski

Fotografie: Krzysztof Fortuna – str. 2 (rys. 1. i 2.), str. 3 (rys. 3.).

Modele 3D wykorzystane w ilustracjach:

Hand Holding Cup 2 by rickfleharty on Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:2414101>
– str. 3 (wazon w dłoniach na rys. 3.),

Owl with 4x4 post inset by Danyz250 on Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:5451649>
– str. 4, 6 i 7 (sowa na rys. 4a, 5a i 6a),

T-REX by JackTheTinkerer on Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:5444616>
– str. 8-11 (dinozaur na rys. 7a-7h, 8b i 9.).

Copyright © by MIGRA Sp. z o.o., Wrocław 2022

MIGRA Sp. z o.o.

ul. Świeradowska 51/57

50-559 Wrocław

tel.: 71 75 06 230

faks: 71 75 06 235

e-mail: biuro@migra.pl