



Paweł Stronczek

Adam Sniehotta

Paweł Ciuberek

Piotr Kalus

Krzysztof Polnik

Mateusz Drobny

Mateusz Milej

Mateusz Gwizda

Daniel Krybus

Andrzej Kowolik

Akademia Nauk Stosowanych w Raciborzu

PROJEKT I REALIZACJA DRUKARKI 3D, JAKO NOWOCZESNEJ REALIZACJI STRATEGII ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU

Streszczenie (abstrakt): W ramach prac koła naukowego AIR FORCE Akademii Nauk Stosowanych w Raciborzu studenci wykonali projekt i budowę drukarki 3D pod opieką dr. inż. Piotra Kalusa. Druk 3D łączy się z filozofią 3P (*profit, people & planet*), dając możliwości w postaci samodzielnego wydruku komponentów.

Słowa kluczowe: Druk 3d, filament, sterowanie CNC

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A 3D PRINTER AS A MODERN IMPLEMENTATION OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGY

Abstract: As part of the AIR FORCE scientific circle of the Academy of Applied Sciences in Racibórz, students designed and built a 3D printer under the supervision of PhD. Eng. Piotr Kalus. 3D printing combines with the 3P (*profit, people & planet*) philosophy, giving the possibility of self-printing of components.

Keywords: 3D prints, filament, numerical control

Wstęp

Pierwsze urządzenie spełniające rolę drukarki 3D powstało już 30 lat temu. Nieustanny rozwój techniki pozwolił na dopracowanie metod wytwarzania z zastosowaniem technolo-

gii addytywnych¹. Dzisiaj drukarki 3D są wszechobecne na rynku. Elementy wytwarzane za ich pomocą są przede wszystkim tanie, a ich przeznaczenie, wygląd czy też wymiary zależą wyłącznie od kreatywności twórcy modelu 3D. Dlatego też zastosowanie technologii addytywnych ma miejsce w wielu branżach, takich jak przemysł, modelarstwo oraz w celach naprawczych maszyn lub urządzeń, dla których trudno o części zamienne².

W ramach działalności studenckiego koła naukowego AiRForce Akademii Nauk Stosowanych w Raciborzu opracowano projekt i wykonano drukarkę 3D pod opieką dr inż. Piotra Kalusa. Motywacją do stworzenia opisanej w artykule drukarki była chęć poznania technologii druku 3D oraz udostępnienie drukarki na potrzeby studentów w Akademii Nauk Stosowanych w Raciborzu. Inspiracją do budowy była praca inżynierska absolwenta Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Raciborzu inż. Pawła Ciuberka.

Tworzywa stosowane do druku 3D

Proces druku polega na warstwowym układaniu rozgrzanego do temperatury topnienia filamentu przez odpowiednio wysterowaną dyszę. Drukarka 3D pozwala na tworzenie elementów o niemal dowolnej geometrii, czasem niemożliwej do uzyskania poprzez maszyny CNC (tokarki czy frezarki). Dodatkowo wraz ze skanerem 3D, dzięki inżynierii odwrotnej³, można w łatwy i szybki sposób uzyskać potrzebne elementy. Rozróżnia się kilka podstawowych rodzajów filamentów⁴: PLA, PET-G i ABS.

Jednym z najczęściej wykorzystywanych materiałów jest PLA (polilaktyd). Tworzywo to jest tanie i dostępne w wielu kolorach (od stonowanych, przez bardzo żywe i wyraziste kolory). Materiał ten, choć nie potrzebuje ściśle określonych parametrów temperatury głowicy grzejnej i stołu, wymaga odpowiedniego chłodzenia. W przypadku braku wystarczającego nadmuchu na drukowany element, tworzywo to ma tendencję do „podwijania się” – tworzą się niekontrolowane naddatki. PLA nie nadaje się też do wykonywania elementów, które muszą być odporne na temperaturę, ponieważ mięknie i traci na wytrzymałości. PLA jest zrobione na bazie skrobi kukurydzianej i trzciny cukrowej, zatem jest w pełni biodegradowalny.

Filament PET-G – (kopolimer poli-tereftalanu etylenu z dodatkiem glikolu etylenowego) jest w porównaniu do PLA bardziej wytrzymały, nie pęka przy wywieraniu siły i nie wymaga tak mocnego chłodzenia. Cena tego materiału jest natomiast wyższa, a stół roboczy musi być bardziej rozgrzany dla lepszej adhezji pierwszej warstwy elementu drukowanego.

ABS (terpolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy) jest powszechnie wykorzystywanym materiałem w każdej dziedzinie, zarówno w przemyśle jak i w urządzeniach

¹ Blog poświęcony technologii druku 3D, <https://get3d.pl/2020/06/17/historia-druku-3d> [dostęp: 05.10.2020].

² Strona internetowa firmy order 3D, gdzie znajdują się także zagadnienia teoretyczne technologii druku 3D, <https://www.order3d.pl/metody-druku-3d> [dostęp: 05.11.2020].

³ J. Przepiórkowski, *Silniki elektryczne w praktyce elektronika*, Warszawa 2012.

⁴ Strona internetowa poświęcona tematyce druku 3D, <https://centrumdruku3d.pl/baza-materialow-do-druku-3d/> [dostęp: 05.10.2020].

AGD/RTV. Aby drukować z ABS'u należy przestrzegać kilku reguł. Przede wszystkim utrzymywana musi być odpowiednio wysoka i stała temperatura druku, ze względu na bardzo mocny skurcz termiczny. Fakt ten musi być też uwzględniony przy projektowaniu modelu, aby np. otwory nie okazały się zbyt małe. Chłodzenie powinno zostać wyłączone, ponieważ uniemożliwia utrzymanie wysokiej i stałej temperatury wewnątrz obszaru roboczego. Materiał ten ma jednak wiele zalet. Przede wszystkim jest bardzo wytrzymały, trwały i odporny na działanie wysokich temperatur. Element z ABS'u może zostać poddany dalszej obróbce np. szlifowaniu czy lakierowaniu, a nawet wierceniu i gwintowaniu.

Na rynku dostępne są również filamety do drukarek 3D, które są wykonane z surowców pochodzących z recyklingu lub zasobów odnawialnych oraz zostały wyprodukowane w procesach przyjaznych dla środowiska np.:

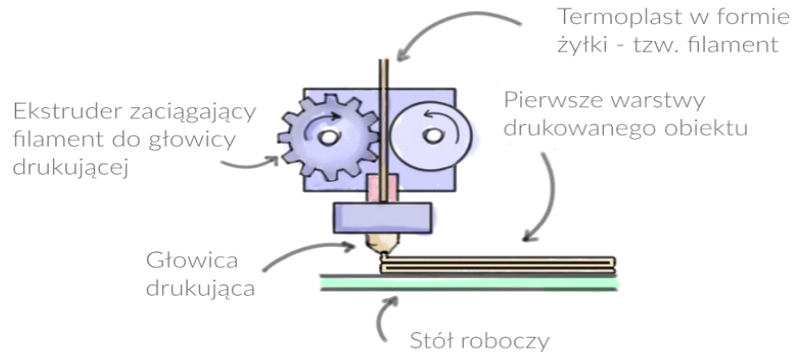
- Filamety PLA z recyklingu: PLA (kwas polilaktynowy) jest biodegradowalnym polimerem pochodzącym z kukurydzy lub trzciny cukrowej. Istnieją firmy, które produkują filamety PLA z surowców pochodzących z recyklingu, takich jak butelki PET. Te filamety są przyjazne dla środowiska i mają podobne właściwości do tradycyjnych filamentów PLA.
- Filamety PET z recyklingu: PET (poli(tereftalan etylenu)) jest innym popularnym tworzywem stosowanym do druku 3D. Filamety PET można również produkować z surowców pochodzących z recyklingu butelek PET. To pozwala na wykorzystanie istniejących odpadów i zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko.
- Filamety z włókien naturalnych: Istnieją także filamety do drukarek 3D wykonane z włókien naturalnych, takich jak drewno, konopie, bambus czy kawa. Te filamety łączą zalety materiałów odnawialnych z możliwością druku 3D. Przykładowo, filamety z włókien drewna dodają wydrukowanym obiektom naturalnego wyglądu.
- Filamety PCL: Policaprolakton (PCL) to biodegradowalny polimer, który można wykorzystać do druku 3D. PCL jest w pełni odnawialny i ulega rozkładowi w naturalnym środowisku. Jest to popularny wybór dla osób poszukujących filamentu przyjaznego dla środowiska.

Warto zauważyć, że dostępność konkretnych filamentów może się różnić w zależności od regionu i dostawców. Jeśli poszukujemy konkretnych filamentów przyjaznych dla środowiska, warto zasięgnąć informacji u producentów filamentów lub w sklepach specjalizujących się w druku 3D.

Zasada działania drukarki 3D

Jednym z ważniejszych elementów drukarki jest głowica drukująca. Filament podawany jest przez ekstruder teflonową rurką PTFE wprost do bloku grzejnego, gdzie jest podgrzewany do zadanej temperatury. Pozwala to na uzyskanie odpowiedniej plastyczności, która umożliwia nakładanie na siebie poszczególnych warstw materiału. Ważny jest nadmuch, który chłodzi poprzednią warstwę. Na rys. 1 pokazana jest zasada działania głowicy drukarki 3D.

Ruch głowicy drukującej uzyskiwany jest za pomocą odpowiednio wysterowanych silników krokowych i pasków zębatych. Prowadnice liniowe odpowiadają za precyzyjne przeniesienie napędu.



Rys. 1 Schemat nakładania warstw podczas druku⁵

Projekt i budowa drukarki 3D

Pierwszym etapem budowy drukarki był dobór części oraz ich zamówienie. Następnym krokiem budowy było złożenie ramy drukarki, opartej na profilach aluminiowych.

Następnie do profili zostały zamocowane prowadnice liniowe. Równoległości i prostopadłości między prowadnicami wszystkich osi zostały zmierzone i ustawione za pomocą czujnika zegarowego. Kolejny etap to zamocowanie silników krokowych wraz z kołami zębatymi i paskami.

Jako stół roboczy wykorzystano odlewaną płytę aluminiową o wymiarach 300x300x10mm, do której zamocowano grzałkę silikonową. Na powierzchnię druku zastosowano płytę szklaną mocowaną bezpośrednio do stołu roboczego. Szkło charakteryzuje się małą odkształcalnością pod wpływem temperatury. Mocowanie stołu wraz ze wzmocnieniem prowadnic liniowych przedstawiono na rys. 2.

⁵ Strona internetowa poświęcona tematyce druku 3D, <https://centrumdruku3d.pl/technologia-fdm-rozdzial-1-co-to-jest-i-na-czym-polega/> [dostęp: 05.10.2020].

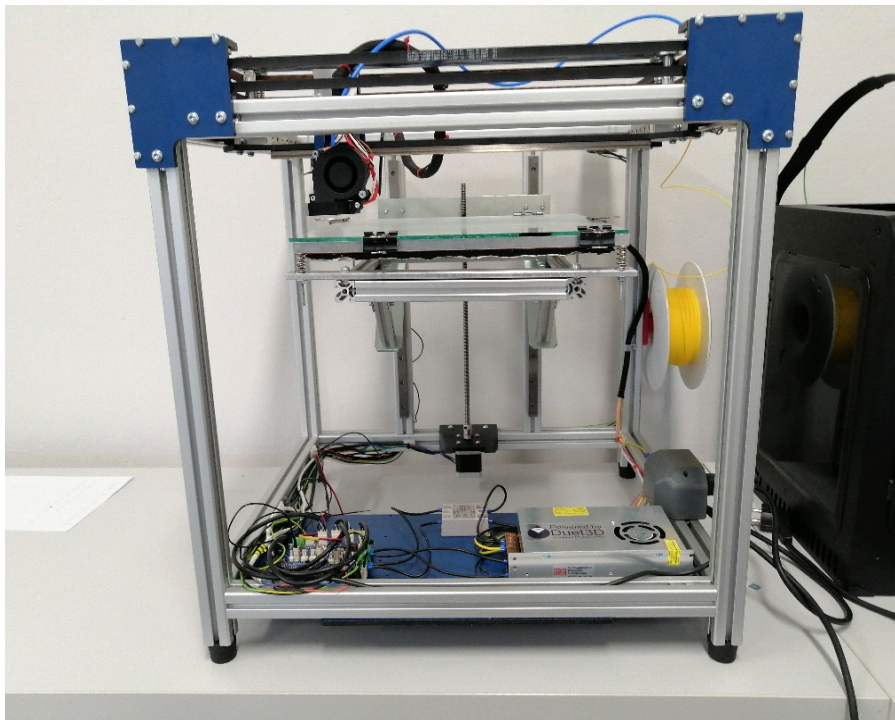
Po podłączeniu elementów elektrycznych zaprogramowano drukarkę. Na rys. 4 przedstawiono jeden z kroków programowania sterownika drukarki. Ostateczną postać zbudowanej drukarki oraz przykład wykonanego na niej elementów pokazano na rys. 5 i 6.

Axes							
Drive	Direction	Microstepping (interpolation)	Steps per mm	Max. Speed Change (mm/s)	Max. Speed (mm/s)	Acceleration (mm/s ²)	Motor Current (mA)
X	Forwards	x16 (on) <small>interpolated to x256</small>	80 ✓	15 ✓	100 ✓	500 ✓	800 ✓
Y	Forwards	x16 (on) <small>interpolated to x256</small>	80 ✓	15 ✓	100 ✓	500 ✓	800 ✓
Z	Forwards	x16 (on) <small>interpolated to x256</small>	400 ✓	1 ✓	3 ✓	20 ✓	800 ✓

Extruders							
Drive	Direction	Microstepping (interpolation)	Steps per mm	Max. Speed Change (mm/s)	Max. Speed (mm/s)	Acceleration (mm/s ²)	Motor Current (mA)
E0	Forwards	x16 (on) <small>interpolated to x256</small>	420 ✓	2 ✓	20 ✓	250 ✓	800 ✓

Motor Current Reduction	
<input checked="" type="checkbox"/> Reduce motor currents when idle	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Idle Current Percentage:</p> <input type="text" value="30"/> % </div> <div> <p>Idle Timeout:</p> <input type="text" value="30"/> s </div> </div>

Rys. 4 Zdjęcie z panelu do programowania



Rys. 5 Zbudowana drukarka



Rys. 6 Przykładowy wydruk z wykonanej drukarki

Podsumowanie

Realizując projekt, studenci zaangażowani w wykonanie drukarki rozwinęli swoje kompetencje w zakresie projektowania maszyn i mechatroniki. Członkowie koła zaprezentowali zaprojektowaną i wykonaną przez siebie drukarkę na Festiwalu Akademickim w Zespole Szkół Ekonomicznych w Wodzisławiu Śląskim.

Jednocześnie należy podkreślić znaczenie druku 3D w rozwoju zrównoważonego rozwoju poprzez:

- łatwe dorabianie podzespołów do uszkodzonych maszyn i urządzeń,
- możliwość zastosowania w autotetailingu, co wydłuża czas życia produktu przez co pozytywnie wpływa na otaczające środowisko,
- powszechnie zastosowanie w produkcji podzespołów do OZE,
- zastosowanie w medycynie np. tworzenie implantów,
- ograniczenie zużywanych materiałów szczególnie w produkcji jednostkowej elementów,
- zmniejszenie ilości odpadów produkcyjnych.

Projektowanie drukarki 3D należy traktować jako wieloaspektowe zadanie, które wymaga uwzględnienia różnych aspektów naukowych, takich jak:

- Inżynieria mechaniczna – Projektowanie drukarki 3D wymaga solidnej wiedzy z zakresu inżynierii mechanicznej. Właściwy projekt mechanizmów, ruchomych osi, układu prowadzenia i precyzyjnego pozycjonowania elementów jest kluczowy dla zapewnienia dokładności i powtarzalności druku.

- Elektronika – Drukarki 3D wymagają odpowiednio zaprojektowanych układów elektronicznych. Zrozumienie elektroniki cyfrowej, sterowników silników, czujników i interfejsów komunikacyjnych jest niezbędne do skutecznego projektowania drukarek 3D.
- Materiałoznawstwo – Wybór odpowiednich materiałów konstrukcyjnych dla elementów drukarki 3D ma istotne znaczenie dla wytrzymałości, trwałości i funkcjonalności urządzenia. Zrozumienie właściwości materiałów, takich jak wytrzymałość, odporność chemiczna i termiczna, elastyczność, jest kluczowe przy wyborze i projektowaniu komponentów drukarki.
- Sterowanie i algorytmy – Drukarki 3D wymagają zaawansowanych algorytmów sterujących, aby precyzyjnie kontrolować ruch osi, prędkość drukowania, warstwy i inne parametry procesu druku. Zrozumienie technik sterowania ruchem, przetwarzania obrazów, kalibracji, kompensacji błędów i innych zagadnień jest niezbędne dla skutecznego projektowania drukarek 3D.
- Bezpieczeństwo – Projektowanie drukarek 3D powinno uwzględniać aspekty bezpieczeństwa, zarówno dla użytkownika, jak i dla otoczenia. Zrozumienie norm i przepisów dotyczących bezpieczeństwa elektrycznego, mechanicznego i ogólnego jest ważne, aby zaprojektować drukarkę, która jest bezpieczna w użytkowaniu.
- Ergonomia i użyteczność – Projektowanie drukarki 3D powinno uwzględniać ergonomię i użyteczność, aby umożliwić wygodne i efektywne korzystanie z urządzenia. Zrozumienie czynników ludzkich, interfejsów użytkownika, ergonomii pracy i dostępności jest istotne dla projektowania drukarek 3D.

Ważne jest również uwzględnienie bieżących badań naukowych, postępów technologicznych i rozwoju w dziedzinie druku 3D. Dzięki temu studenci mogą korzystać z najnowszych osiągnięć naukowych i technologicznych, aby projektować bardziej zaawansowane i efektywne drukarki 3D. W tym celu, co roku studenci koła naukowego AIR-force biorą udział w targach Przemysłowa Wiosna w Kielcach, które są jednymi z największych targów z zakresu druku 3D w Polsce.

Bibliografia

1. Blog poświęcony technologii druku 3D, <https://get3d.pl/2020/06/17/historia-druku-3d/> [dostęp: 05.10.2020].
2. Przepiórkowski, J., *Silniki elektryczne w praktyce elektronika*, Warszawa 2012.
3. Przygotowana przez producenta instrukcja podłączenia, konfiguracji i sterowania drukarką poprzez płytę Duet 2, [https://duet3d.dozuki.com/Guide/2.\)+Wiring+your+your+Duet+2+WiFi-Ethernet/9](https://duet3d.dozuki.com/Guide/2.)+Wiring+your+your+Duet+2+WiFi-Ethernet/9) [dostęp: 06.07.2020].
4. Strona internetowa firmy order 3D, gdzie znajdują się także zagadnienia teoretyczne technologii druku 3D, <https://www.order3d.pl/metody-druku-3d> [dostęp: 05.11.2020].
5. Strona internetowa poświęcona tematyce druku 3D, <https://centrumdruku3d.pl/technologie-fdm-rozdzial-1-co-to-jest-i-na-czym-polega/> [dostęp: 05.10.2020]
6. Strona internetowa poświęcona tematyce druku 3D. Dostęp 05.10.2020: <https://centrumdruku3d.pl/baza-materialow-do-druku-3d/>.