



**Adrianna Borysiewicz, Paulina Gonera, Dominika Łęgowik,
Tomasz Dembiczak, Krzysztof Gospodarek**

*Wydział Matematyczno-Przyrodniczy
Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie
al. Armii Krajowej 13/15, 42–200 Częstochowa
e-mail: t.dembiczak@ajd.czyst.pl*

WYKORZYSTANIE METODY PRZYROSTOWEJ W PROTOTYPOWANIU

Streszczenie. W artykule przedstawiono chronologię wykonania fizycznego prototypu przez studentów Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie. Przedstawiono zaprojektowane modele przestrzenne w myśl zasady: od pomysłu do produktu. Opisano metodę szybkiego prototypowania z wykorzystaniem techniki druku 3D, dobór filamentów oraz parametrów druku.

Słowa kluczowe: projektowanie, szybkie prototypowanie.

THE DETERMINATION OF CORRELATION BETWEEN COMPACTIBILITY AND LIQUIDITY OF MOLDING COMPOUNDS UNDER HIGH PRESSURES

Abstract. The article presents a chronology of the physical prototype implementation by students of the Jan Długosz University in Częstochowa. Designed spatial models were presented in accordance with the principle from idea to product. The method of rapid prototyping with the use of 3D printing technology, selection of filaments and printing parameters has been described.

Keywords: design, rapid prototyping.

Wprowadzenie

Coraz szybszy postęp technologiczny oraz rozwój przemysłu sprawiają, iż producenci zmuszeni są stale udoskonalać techniki produkcyjne i zmniejszać koszty wytwarzania, aby móc być konkurencyjnymi na rynku. Od początku XX wieku dokładność obróbki oraz pomiarów wzrosła niemal o 4 razy, wszystko to jest zasługą rozwoju kształtowania przyrostowego [1]. Technika ta polega na automatyzacji procesów wytwarzania za pomocą drukarek 3D oraz obrabiarek wyposażonych w układy sterowania numerycznego. Technologia druku 3D polega na warstwowym wytwarzaniu przedmiotów za pomocą modeli trójwymiarowych zaprojektowanych w środowisku CAD. Dynamiczny rozwój drukarek 3D pozwolił w znacznym stopniu zmniejszyć koszty oraz czas wytwarzania prototypów, a co za tym idzie, zwiększyć dokładność wytwarzanych w procesie produkcji przemysłowej części oraz urządzeń. Drukarki 3D, pomimo zaawansowanej technologii, nie są drogie. Wykorzystywane są głównie do szybkiego prototypowania, począwszy od osób prywatnych aż po wielkie zakłady produkcyjne, stosowanie ich usprawnia system doskonalenia projektów [2].

Metody szybkiego prototypowania

Szybkie prototypowanie, znane też pod nazwą *rapid prototyping*, to adytywne metody i technologie, które umożliwiają zaprojektowanie przedmiotu lub danego modelu 3D w architekturze CAD. Model zapisany w systemie CAD jest kolejno konwertowany do formatu STL, który jest domyślnym dla technologii szybkiego prototypowania. Dzięki jej zastosowaniu możliwe jest stworzenie modeli poglądowych, jak i całych układów funkcjonalnych. Rozwój technologii szybkiego prototypowania sprawił, że pojawiło się wiele odrębnych i różniących się metod. Do najważniejszych i ciągle rozwijających się należą [1]:

- FDM (Fused Deposition Modeling) polega na osadzaniu uplastycznionego materiału za pomocą dwudyszowej głowicy. Materiał jest osadzany na platformie roboczej, obniżającej się stopniowo wraz z nakładaniem kolejnych warstw tworzących model, zgodnie z elektronicznym modelem w formacie STL. Dysza, nakładając materiał porusza się nad platformą w płaszczyźnie XY, platforma wykonuje ruch przestawiający wzdłuż osi Z.
- SLA (stereolitografia) polega na punktowym utwardzaniu ciekłego materiału (żywicy epoksydowej lub akrylowej) przy użyciu wiązki laserowej małej mocy. Naświetlona promieniowaniem ultrafioletowym żywica fotoutwardzalna ulega polimeryzacji – utwardzeniu. Po nałożeniu i utwardzeniu jednej warstwy, proces jest powtarzany dla kolejnej, i tak aż do wyprodukowania całego modelu.

- POLYJET jest to metoda podobna do metody SLA, z tą różnicą, że nie ma konieczności dodatkowego utwardzania warstwa po warstwie. Utwardzanie jest wykonywane dopiero po zakończonym procesie, za pomocą światła UV. Dzięki temu jest możliwe uzyskanie cienkiej warstwy, co wpływa na gładkość powierzchni danego elementu,
- SLS (Selective Laser Sintering) w tej metodzie na stół roboczy nakładane są warstwy proszku, a następnie są one utwardzane za pomocą procesu spiekania światłem laserowym. W technologii tej używa się materiałów ceramicznych i metali, takich jak np. stal, brąz.

Zastosowanie w praktyce technik druku 3D

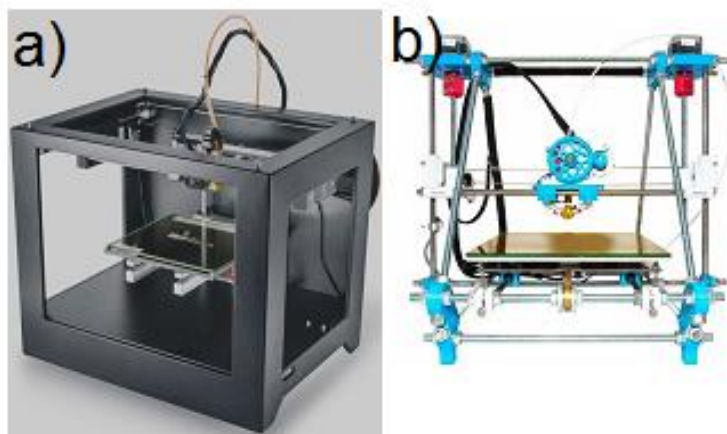
Druk 3D ma szeroki wachlarz zastosowań. Nowoczesna metoda wytwarzania prototypów i modeli znajduje uznanie nie tylko w firmach produkcji przemysłowej dążących do udoskonalenia swoich produktów, ale także w motoryzacji, medycynie czy energetyce. Do głównych obszarów zastosowania druku 3D możemy zaliczyć [3]:

- przemysł maszynowy świetnie wykorzystuje możliwości druku 3D do zmniejszenia kosztów produkcji, ponieważ w przeciwieństwie do tradycyjnych metod produkcji ubytkowej, gdzie usuwa się niepotrzebną część materiału, druk 3D zużywa tylko tyle materiału, ile niezbędne jest do wyprodukowania danego elementu bądź modelu [3],
- motoryzacja również coraz częściej korzysta z tej technologii do zmniejszenia kosztów produkcji oraz ograniczenia czasu prototypowania elementów konstrukcyjnych. Większość przypadków zastosowania druku 3D w motoryzacji, odnosi się do pojedynczych części, między innymi pokryw silnika czy rur wydechowych, z tego rozwiązania korzystają najbardziej znane marki samochodowe, takie jak: Volkswagen, Volvo, Ford czy Opel. Odnotowano również przypadek wyprodukowania technologią druku 3D całego samochodu – pojazd o nazwie Urbee powstał w Kanadzie, jest bardzo ekologiczny i może rozwinać prędkość nawet do 110 km/h pomimo swojej jednocyldrowej, ośmiokonnej jednostki napędowej [3],
- w architekturze i budownictwie druk 3D stał się nieodłącznym elementem w projektowaniu domów, mieszkań, a także całych budynków dzięki możliwości produkowania makiet architektonicznych. W Chinach rozpoczęto również produkcję całych gotowych domów z materiałów pochodzących z recyklingu przeznaczonych dla mniej zamożnej części społeczeństwa, ponieważ koszt wydruku takiego domu nie przekracza 4000 USD [3],

- medycyna rozwija się w kierunku wykorzystywania technologii druku 3D. Niesie to ogromne nadzieje dla ludzi niepełnosprawnych oraz ciężko chorych. Obecnie szybkie prototypowanie wykorzystywane jest między innymi do produkcji protez zastępujących kończyny ruchu, protez stomatologicznych, produkowania całych funkcjonujących prawidłowo narządów [3],
- edukacja obejmująca wiedzę z zakresu szybkiego prototypowania w wielu krajach, między innymi: Japonii, Stanach Zjednoczonych, Australii czy Wielkiej Brytanii, rozpoczyna się już od poziomu szkół gimnazjalnych. Rozwija ona przede wszystkim kreatywność, a dla nauczycieli, którzy korzystają z makiet i modeli 3D jest dużym udogodnieniem i pomocą dydaktyczną, ze względu na fakt, iż dużo łatwiej przyswajają się wiedzę w praktyce niż w teorii [3].

Konstrukcja i eksploatacja drukarki 3D

Budowa drukarek 3D na przestrzeni lat zmieniała się wielokrotnie, w dużej mierze różnice w budowie współczesnych drukarek zależą od tego, czy drukarka ma konstrukcję zamkniętą czy otwartą (rys.1), od jakiego producenta pochodzi, jak również czy ma służyć głównie do prototypowania większych czy mniejszych modeli.



Rys.1. Drukarka 3D: a) z obudową zamkniętą, b) z obudową otwartą [4]

W budowie każdego urządzenia są jednak elementy stanowiące podstawę technologiczną każdej drukarki 3D, możemy do nich zaliczyć między innymi:

- *stelaż* podtrzymujący wszystkie elementy drukarki,
- *stół* na którym drukowany jest zaprojektowany model przestrzenny, stół jest podgrzewany o standardowych wymiarach 150×150 mm,
- *ekstruder* jest to mechanizm popychania filamentu, gdzie dociśnięty do radełka filament jest popychany w głąb głowicy,
- *przewodnice* pozwalające przemieścić podłoże oraz ekstruder w określoną przestrzeń drukowania,
- *silniki krokowe* odpowiadające za przemieszczanie ekstrudera oraz podłoża po przewodnicach,
- *panel sterujący* służący do monitorowania pracy drukarki, informujący o postępach oraz posiadający możliwość ręcznego ustawienia parametrów i kalibracji [5].

Materiałem stosowanym podczas drukowania 3D jest filament (rys.2). Jest to odpowiednik tuszu używanego w klasycznych drukarkach. Pod względem kształtu filament przypomina nić nawiniętą na szpulę [6].



Rys.2. Filament typu PLA [6]

Temperatura drukowania w głównej mierze zależy od rodzaju filamentu oraz szybkości drukowania. Przy zwiększonej prędkości druku, temperatura dyszy powinna być ustawiona przy górnej granicy. We współczesnych małych drukarkach 3D używa się zazwyczaj tylko dwóch rodzajów filamentów, choć obecny rynek oferuje ich o wiele więcej, są to ABS i PLA [6]. Filamenty sprzedawane są w różnych wariantach długości, grubości oraz koloru. Obecnie w sprzedaży mamy dostępne takie filamenty jak [1, 6]:

- Polilaktyd (PLA) jest to jeden z dwóch najpopularniejszych rodzajów filamentów do drukarek 3D domowego użytku, jest to materiał miękki i elastyczny, dostępny w wielu kolorach oraz wariantach przezroczystych czy matowych. Filament PLA produkowany jest z roślin, takich jak kukurydza czy ziemniaki,

- Laywood charakterystyczny filament, który swoim wyglądem oraz zapachem przypomina drewno, ponieważ niemal połowa jego struktury to właśnie przetworzone drewno oraz polimerowe spoiwo. Filament ten może przybierać różną jasność, w zależności od temperatury druku,
- HIPS, czyli inaczej polistyren wysoko udarowy, to stosunkowo tani filament używany do tworzenia ostatecznych wersji modeli lub jako materiał podporowy. Wydrukowane elementy filamentu HIPS posiadają gładką powierzchnię, co oznacza brak widocznych linii tworzących warstwy druku,
- Laybrick to filament o kruchej i łamliwej strukturze, który wyglądem przypomina piaskową skałę. W zależności od temperatury druku może mieć powierzchnię szorstką lub całkowicie gładką,
- Nylon charakteryzuje się elastycznością oraz wysoką odpornością na uszkodzenia mechaniczne. Minusem tego materiału jest duża tendencja do odkształcenia i kurczenia się,
- ABS, czyli Kopolimer akrylonitrylo-butadienowo-styrenowy, to prawie najczęściej stosowany filament w druku 3D. Z tego tworzywa produkowane są klocki LEGO. Materiał ten charakteryzuje się dużą paletą barw.

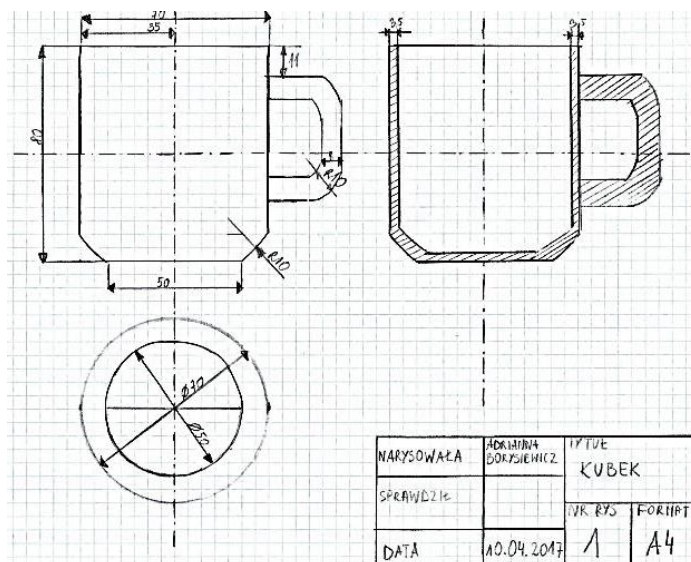
Założenia projektowe

W ramach zajęć dydaktycznych „Projekt Inżynierski II” na kierunku inżynieria bezpieczeństwa Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie studenci pracowali w grupach. Grupy liczyły po trzy osoby. Każdy uczestnik zespołu miał do wykonania następujące zadania:

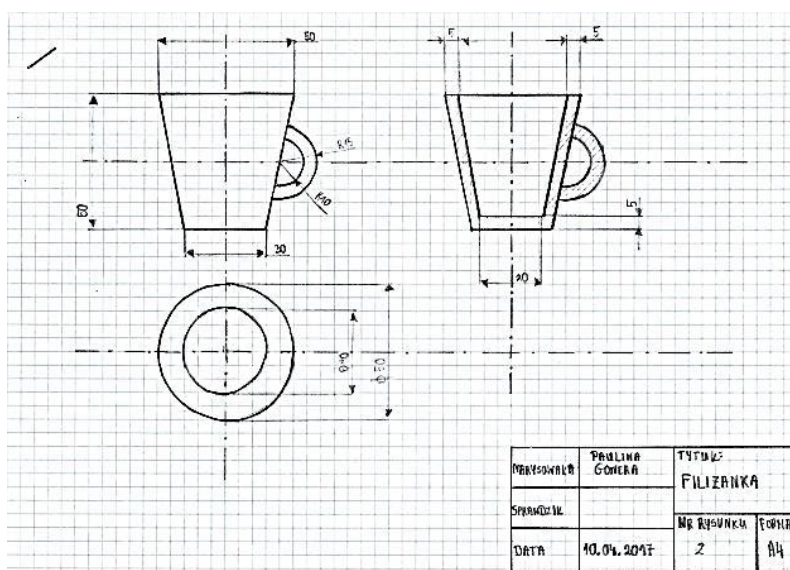
- praca zespołowa w celu omówienia własnych pomysłów,
- wykonanie wstępnych szkiców ręcznych,
- analiza wykonanych szkiców,
- wykonanie modelu przestrzennego na podstawie opracowanych szkiców,
- analiza modeli przestrzennych i wybór najlepszego pomysłu,
- wykonanie fizycznego prototypu najlepszego pomysłu według ustaleń zespołu.

Celem projektu było wykonanie fizycznego prototypu kubka. Do osiągnięcia założonego celu, w pracy wykorzystano program komputerowy do modelowania przestrzennego SolidWorks 2016 oraz drukarkę 3D firmy DEXER. Proces prototypowania podzielono na trzy etapy.

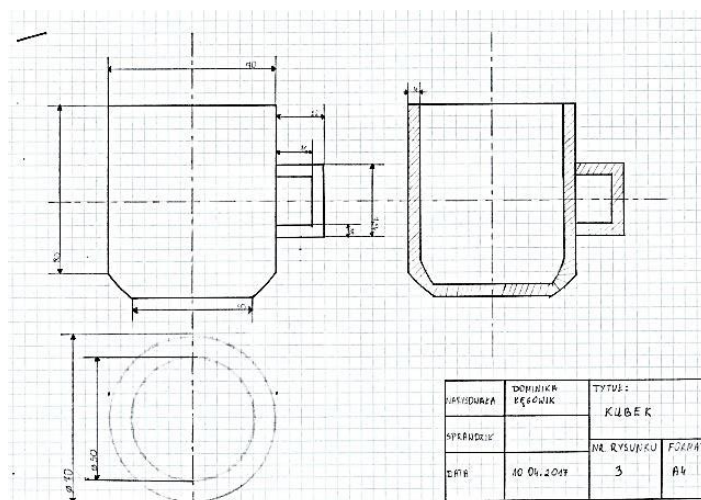
W pierwszym etapie powstały szkice koncepcyjne. Na rysunkach 3÷5 przedstawiono szkice wykonane ręcznie.



Rys. 3. Przykładowy szkic wg pierwszej koncepcji [opracowanie własne]



Rys. 4. Przykładowy szkic wg drugiej koncepcji [opracowanie własne]



Rys. 5. Przykładowy szkic wg trzeciej koncepcji [opracowanie własne]

W etapie drugim powstały modele przestrzenne naszkicowanych kubków. Na rysunku 6 przedstawiono wirtualne prototypy kubków.



Rys. 6. Widok modeli zaprojektowanych kubków [opracowanie własne]

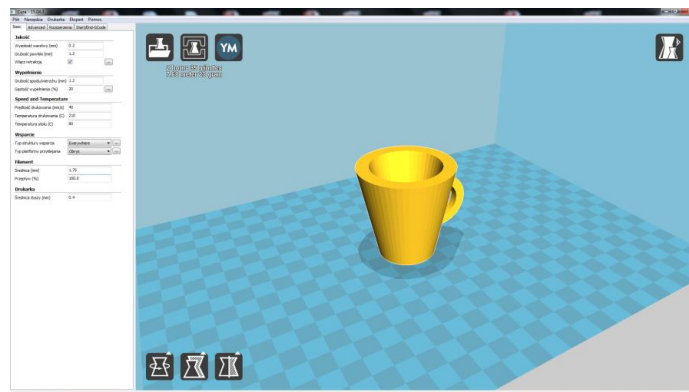
W etapie trzecim wykonano fizyczny prototyp kubka przy wykorzystaniu drukarki 3D. Drukarka znajduje się na wyposażeniu pracowni prototypowania 3D w Instytucie Techniki i Systemów Bezpieczeństwa. Drukarka wyposażona jest w stół nagrzewany do temperatury 100°C o obszarze drukowania 200×200×200 mm. Posiada dwie głowice drukujące o średnicy 0,4 mm, średnica stosowanych filamentów wynosi 1,75 mm.

Proces drukowania 3D możliwy jest po wprowadzeniu parametrów technologicznych oraz wygenerowaniu G-Code. Do tego celu służą slicery są to programy komputerowe z rodziny programów CAM.

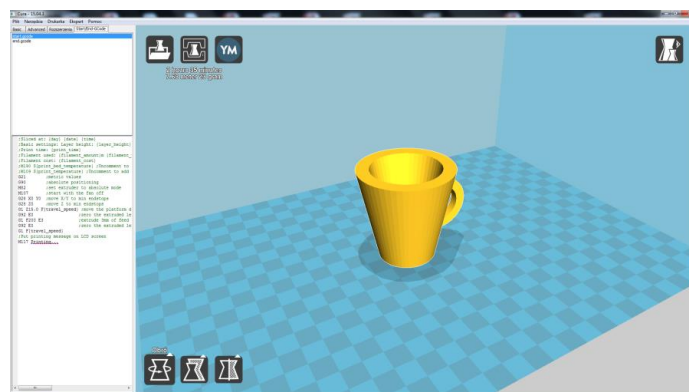
Do przygotowania procesu drukowania fizycznego prototypu wykorzystano darmowy program Cura 15.04. 3, wprowadzając parametry technologiczne druku dla filamentu PLA oraz wygenerowano G-Code.

- wysokość warstwy 0,2 mm,
- grubość powłoki 1,2 mm,
- grubość spodu 1,2 mm,
- gęstość wypełnienia 20%,
- prędkość drukowania 40 mm/s,
- temperatura drukowania 210°C (tj. temperatura głowicy drukującej),
- temperatura stołu 80°C

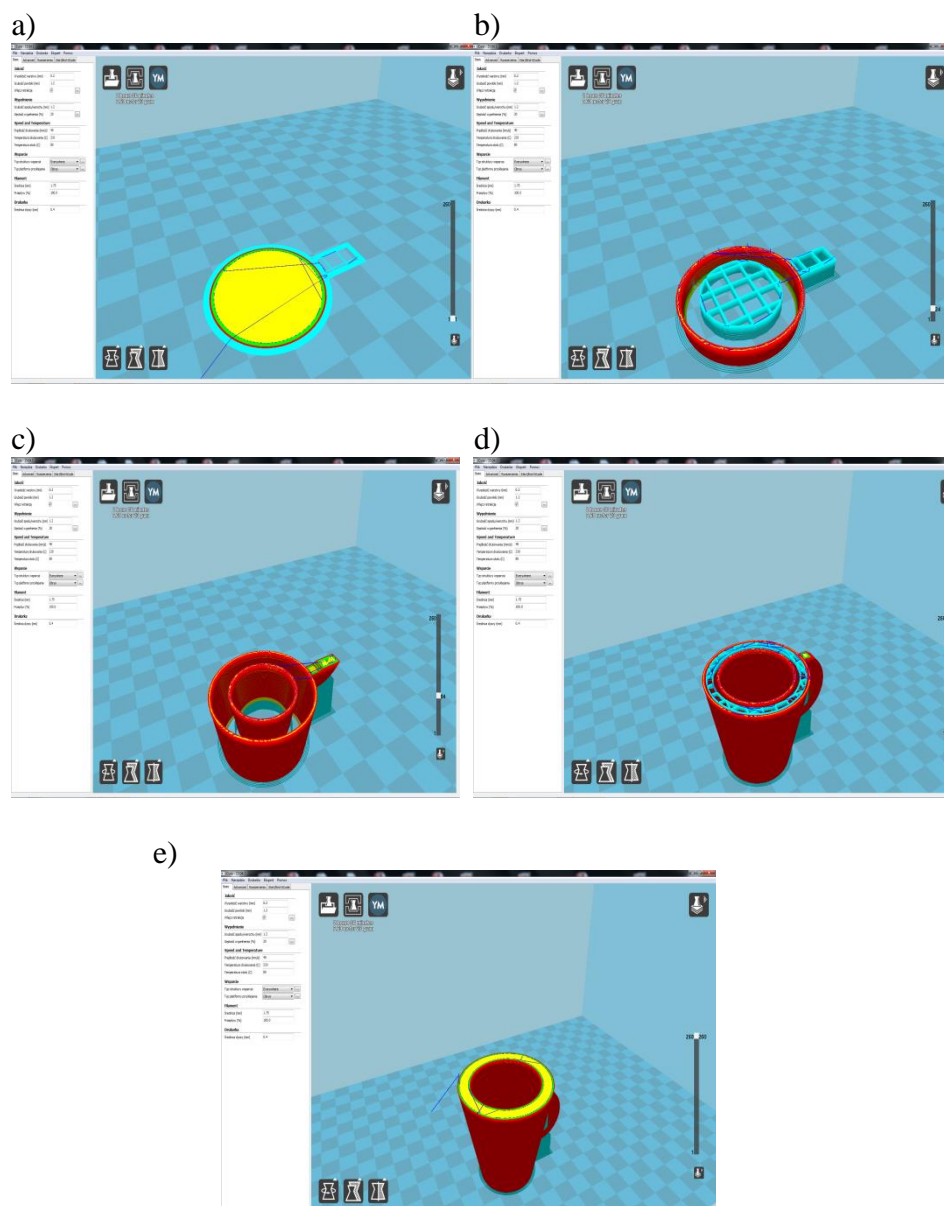
Na rysunku 7 przedstawiono okno programu Cura z wczytanym modelem w formacie pliku STL. Na rysunku 8 przedstawiono wczytany model z wprowadzonymi parametrami druku i wygenerowanym G-Code.



Rys. 7. Wprowadzone parametry technologiczne druku w programie Cura dla filamentu PLA [opracowanie własne]



Rys. 8. Wygenerowany w taki sposób G-Code wprowadzany jest na nośniku karty SD do drukarki [opracowanie własne]

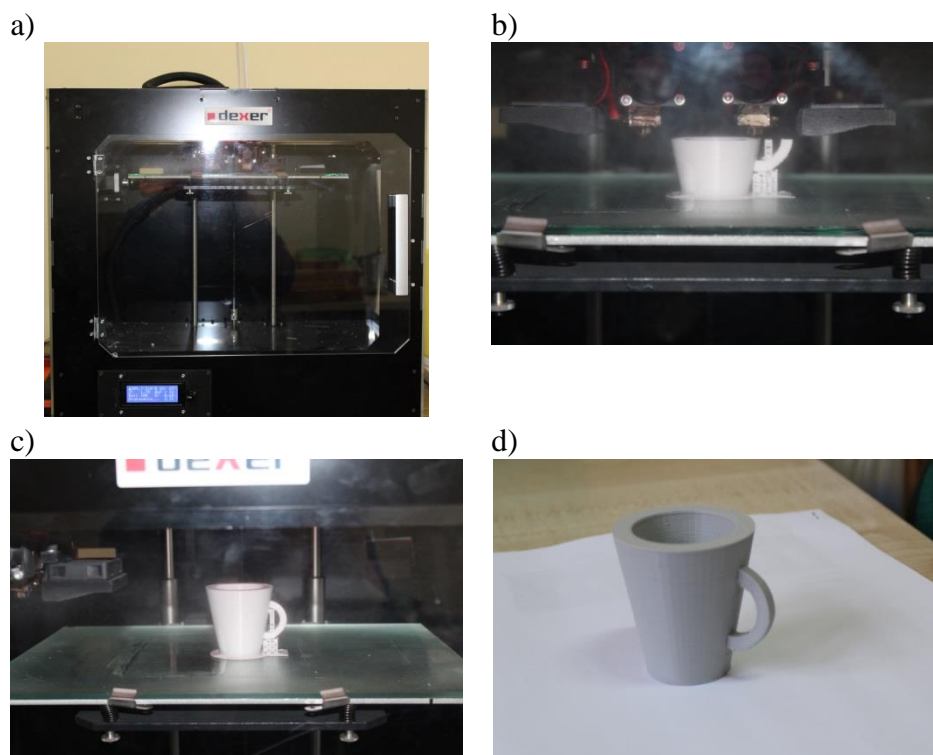


Rys. 9. Widok poszczególnych etapów procesu drukowania: a) obrys podstawy, b) wypełnienie pustych przestrzeni między ściankami, c) budowa ścianki oraz podpory na ucho, d) zaawansowany etap drukowania, e) zakończenie procesu drukowania [opracowanie własne]

W programie Cura możliwa jest wizualizacja procesu drukowania 3D. Na rysunku 9 przedstawiono widok budowania modelu, który składa się z 260

warstw, oszacowano czas drukowania na 2 godzin i 36 minut, określono zużycie filamentu na 26 gram.

Etapy powstawania fizycznego prototypu od pomysłu do produktu przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Szybkie prototypowanie zaprojektowanego kubka [opracowanie własne]

Podsumowanie

W przemyśle, drukarki 3D są wykorzystywane m.in. do tworzenia modeli prototypów, w celu analizy projektowo-konstrukcyjnej danego detalu wprowadzanego do produkcji przemysłowej po raz pierwszy. Wykorzystanie drukarek w szybkim prototypowaniu pozwala na wyeliminowanie błędów konstrukcyjnych, co związane jest z obniżeniem kosztów produkcji.

Cel projektu został zrealizowany z wykorzystaniem nowoczesnych technik szybkiego prototypowania.

Opracowany model fizyczny prototypu jest tylko początkową fazą projektowo konstrukcyjną. Wprowadzenie kubka na rynek wymaga opracowania

opłacalnej technologii jego produkcji. Nie jest opłacalne wykorzystanie drukarki 3D w produkcji seryjnej ponieważ czas drukowania jest zbyt długi.

Projekt Inżynierski II na kierunku inżynieria bezpieczeństwa pierwszego stopnia był dla studentów cennym doświadczeniem pracy w zespołach i ogromną szansą nabycia praktycznych umiejętności projektowo-konstrukcyjnych, szczególnie istotnych w momencie rozpoczęcia życia zawodowego.

Literatura

- [1] Przemysław Siemiński, Grzegorz Budzik: Techniki Przyrostowe – Druk Drukarki 3D Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2015 r.
- [2] Zenobia Weiss, Roman Konieczny, Mirosław Rojek, Dariusz Stępniaak: Projektowanie Technologii Maszyn w Systemach CAD/CAM, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 1996 r.
- [3] <http://www.cadxpert.com.pl/zastosowania-druku-3d-cadxpert.html> [18.12.2017].
- [4] <http://www.naszeoko.pl/budowa-drukarek-3d/> [20.12.2017].
- [5] ABC Drukowania 3D Propox opracowanie w formacie PDF.
- [6] <http://imged.pl/filmenty-pla-do-drukarek-3d-1-75-mm-21588794.html> [15.01.2018].