

# Analiza możliwości wykorzystania druku 3D do produkcji części zamiennych do podnośników płytkowych – studium przypadku przedsiębiorstwa X

**Gabriela Hryniewicka**

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: 70518@student.pb.edu.pl

**Łukasz Dragun** 

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: l.dragun@pb.edu.pl

DOI: 10.24427/az-2023-0025

## Streszczenie

Celem artykułu jest stworzenie i wdrożenie prototypu 3D ogniwa wchodzącego w skład przenośnika płytkowego, przy jednoczesnym logistycznym i ekonomicznym uzasadnieniu tego działania. Materiał badawczy stanowił oryginalny element owego urządzenia wykorzystywanego do transportu bliskiego. Na jego podstawie poprzez inżynierię odwrotną powstał trójwymiarowy model w środowisku programu z rodziny CAD. Program CAM we współpracy z urządzeniem wytwarzającym przyrostowo w technologii FDM umożliwił wydruk części zamiennych z przykładowego materiału dostępnego w laboratorium druku 3D Politechniki Białostockiej. Na podstawie uzyskanego wydruku stwierdzono, że odwzorowanie kształtu i wymiaru spełnia wymogi, by element mógł zostać połączony z częściami oryginalnymi. Z kolei materiał użyty do wydruku w warunkach laboratoryjnych nie spełnia warunków wytrzymałościowych, dlatego do wydruku nadającego się do zastosowania w systemie przenośników należy użyć materiału, z którego stworzony jest pierwotny element. Zabieg ten nie stanowi żadnej przeszkody, bowiem w technologii FDM dostępny jest filament właśnie z tego materiału. Na bazie zestawień dotyczących cen i możliwości różnych programów z rodziny CAD oraz cen wydruków oferowanych przez kilka przedsiębiorstw z branży druku 3D przeprowadzono analizę finansową implementacji druku 3D w system przenośników płytkowych.

## Słowa kluczowe

prototypowanie, druk 3D, łańcuch dostaw, Przemysł 4.0, inżynieria odwrotna

## **Wstęp**

Druk 3D znany ludzkości od ponad trzydziestu lat, dopiero od niedawna zaczął być postrzegany jako alternatywne źródło wytwarzania w zestawieniu z konwencjonalnymi metodami produkcji. Jest on zarówno metodą umożliwiającą produkcję seryjną oraz narzędziem pozwalającym w krótkim czasie stworzyć przedmioty mające zastąpić brakujący oryginalny element. O ile przy produkcji masowej potrzebny jest od podstaw zaprojektowany model, tak w przypadku części zamiennych stosuje się inżynierię odwrotną. Konstruktor w takiej sytuacji może obrać dwie ścieżki realizacji projektu części zamiennej. Pierwsza z nich opiera się na dokładnym zdjęciu wymiarów z części pierwotnej i przeniesieniu ich w środowisko programu do modelowania trójwymiarowego, w efekcie czego powstaje model 3D. W przypadku drugiej ścieżki z pomocą projektantom przychodzą producenci skanerów 3D. Urządzenia te pozwalają zrezygnować ze żmudnego procesu mierzenia, zastępując je konwertowaniem geometrii obiektu rzeczywistego na cyfrowy plik edytowalny w programie modelującym 3D. Technologia druku 3D inaczej nazywana technologią wytwarzania przyrostowego, czy też addytywnego jest niebywale skutecznym narzędziem w rękach inżynierów, bowiem w krótkim czasie pozwala stworzyć przedmioty o bardzo złożonej geometrii, na które trzeba by było czekać znacznie dłużej, jeżeli zostałyby wytwarzane w sposób tradycyjny. Ponadto wytwarzanie addytywne (z ang. add – dodaj), jak sama nazwa wskazuje polega na dodawaniu materiału podczas powstawania i tym niewątpliwie uzyskuje przewagę nad konwencjonalną obróbką skrawaniem, która polega na zdejmowaniu kolejnych warstw materiału, z którego ma powstać końcowy przedmiot. Drukarka 3D jest urządzeniem bardziej oszczędnym w porównaniu do tokarki czy frezarki, a sama technologia wytwarzania przyrostowego jest odpowiedzią na pytanie jak stosunkowo tanio, szybko i skutecznie pozyskiwać zamienniki dorównujące niejednokrotnie jakością oryginałowi. Celem artykułu jest stworzenie i wdrożenie prototypu 3D ogniwa wchodzącego w skład przenośnika płytkowego, przy jednoczesnym logistycznym i ekonomicznym uzasadnieniu tego działania. W artykule zastosowano metodę analizy i krytyki piśmiennictwa oraz metodę symulacji komputerowej. Pierwsza z nich posłużyła procesowi poznania zagadnień szeroko rozumianego druku 3D oraz pozwoliła scalić treści dotyczące przedmiotu badań. Druga metoda z kolei wykorzystuje współpracę programów typu CAD/CAM z urządzeniami wytwarzającymi przyrostowo. W przeglądzie literatury przedstawiono najbardziej znane i wykorzystywane metody wytwarzania addytywnego. Ten element artykułu zawiera również charakterystyki materiałów najczęściej wykorzystywanych w tworzeniu trójwymiarowym. W metodyce badań

omówiono zaś proces implementacji druku 3D do systemu przenośników płytkowych stosowanych w transporcie bliskim. Z uwagi na brak możliwości pozyskania potrzebnych podzespołów z innych źródeł w artykule zaproponowano wytwarzanie przedmiotowych elementów we własnym zakresie oraz przedstawiono finansową analizę tego przedsięwzięcia.

## 1. Przegląd literatury

Technologia wytwarzania w druku 3D wydaje się być czymś nowym, tymczasem rzeczywistość jest zupełnie inna. Początki technologii druku 3D sięgają roku 1984, kiedy to Charles Hull zaproponował pierwszą technologię druku przestrzennego – stereolitografię (SLA) i uzyskał patent na urządzenie wytwarzające przedmioty tą metodą – aparaturę stereolitograficzną [Milewski, 2017, s. 5; <https://get3d.pl/2020/06/17/historia-druku-3d/>, 01.07.2021]. W latach 1987 – 1989 zostały zgłoszone kolejne patenty na technologie takie jak Selective Laser Sintering (SLS) przez Carla Deckarda z Uniwersytetu w Texasie oraz Fused Deposition Modeling (FDM) przez Scotta Crumpa, współzałożyciela organizacji Stratasys [<https://cubicinch.pl/historia-druku-3d-wyscig-patentow/>, 01.07.2021]. Z początkiem lat 90 XX wieku SLS i FDM wcielono w życie. Co ciekawe, mimo opatentowanych technologii w latach 80 XX wieku pojęcie druku 3D nie było znane. Po raz pierwszy zostało ono użyte w roku 1995 przez profesora Emanuela Sachsa z Massachusetts Institute of Technology (MIT) [Dodziuk, 2019, s. 11]. Kolejnym przełomem, kiedy w 2006 roku wygasł patent na FDM, stał się projekt RepRap autorstwa wykładowcy z Uniwersytetu w Bath w Wielkiej Brytanii – Adriana Bowyer. Polegał on na wyprodukowaniu samoreplikującej się drukarki 3D, dzięki której można będzie drukować elementy jej samej. Pierwszym urządzeniem tego typu był Darwin 1.0, z premierą w 2008 roku [<https://centrumdruku3d.pl/reprap-polska-sie-zaczelo/>, 13.07.2021]. Dzięki Bowyerowi drukarki 3D z bardzo drogich urządzeń zmieniły się w znacznie tańsze i bardziej dostępne społeczeństwu.

W ogólnym ujęciu druk 3D jest przyrostową metodą wytwarzania (z ang. Additive Manufacturing), która polega na nakładaniu na siebie kolejno występujących po sobie warstw, z których składa się obiekt [Zgryza i in., 2018, s.16]. Z przeszło trzydziestoletniej historii wyróżnić można kilkanaście sposobów, które składają się na druk przestrzenny. W literaturze wymienionych jest wiele metod, jednak przedmiotowa praca skupia się na tych technologiach, których powstanie w szczególności sposób zapisało się na kartach historii druku 3D.

Stereolitografia (z ang. stereolithography) bazuje na fotopolimeryzacji, która jest reakcją polimeryzacji powodowaną przez światło widzialne (VIS) lub tak jak

w przypadku SLA przez światło ultrafioletowe (UV). W jej wyniku płynne żywice fotopolimerowe poddawane są procesowi utwardzenia [<https://automatykab2b.pl/temat-miesiaca/52328-przemyslowy-druk-3d/strona/3-na-czym-polega-stereolitografia>, 14.07.2021]. Warto zaznaczyć, że SLA reprezentują dwa podejścia. Pierwszym z nich jest metoda powierzchni ograniczonej, polega na tym, że zbiornik drukarki wypełniany jest żywicą fotopolimerową, następnie do poziomu cieczy opuszczany jest stół roboczy, do którego przytwierdza się pierwsza warstwa utwardzonej żywicy tworząc jednocześnie podstawę drukowanego obiektu. Druk odbywa się „do góry nogami”, model unosi się, a część nazywana zgarniaczem, poruszająca się po powierzchni zbiornika z żywicą nanosi i wyrównuje kolejne warstwy obiektu [Terczyński, i in., 2018, s. 63]. Każda warstwa jest utwardzana przy pomocy lasera, który dzięki ruchomym lustrzom kieruje wiązkę światła na kontur elementu, następnie na przekrój i wypełnienie [<https://drukarki3d.pl/technologie/technologie-sla/>, 14.07.2021]. Drugim podejściem do SLA jest metoda swobodna, w niej platforma, do której przytwierdzana jest podstawa drukowanego modelu opuszcza się w głąb kadzi z żywicą, a naświetlanie odbywa się z góry zbiornika [Schmidleithner i Kalaster, 2018, s. 5]. W obu metodach nakładanie i utwardzanie warstw, jest powtarzane do momentu ukończenia modelu, po czym jest on jeszcze raz w całości naświetlany dla uzyskania lepszej trwałości. Po zakończonym procesie druku z elementu usuwane są podpory, najczęściej przy pomocy cążków, po czym jest on zanurzany bądź przemywany alkoholem izopropylowym [Terczyński, i in., 2018, s. 63].

Kolejną wspomnianą metodą druku addytywnego jest FDM (ang. Fused Deposition Modelling). Warto zaznaczyć, że jest ona najbardziej rozpowszechniona, za sprawą tanich drukarek oraz materiałów eksploatacyjnych wykorzystywanych w tej technice. FDM korzysta z tworzyw termoplastycznych jako materiału modelującego, nazywanego filamentem [Sriwatsan, Sudarshan, 2016, s. 9], jak również z prawie wszystkich stopów metali z domieszką materiału termoplastycznego, których temperatura topnienia nie przekracza 300°C [Czerwiński i Czerwiński, 2013, s. 22]. Ma on postać cienkich włókien o średnicy od 1,75 do 3 mm [Lalagaki Dezaki i in., 2021, s. 564]. Wspomniane tworzywo za pomocą mechanizmu, zwanego ekstruderem, przekazywane jest do głowicy drukującej, gdzie następuje proces jego podgrzania do temperatury 190-280°C (w zależności od rodzaju materiału i jego właściwości) [Szmidt i Rebosz-Kurdek, 2017, s. 258]. Podgrzany filament w płynnej formie rozprawdany jest za pomocą dyszy głowicy po stole roboczym, warstwa po warstwie, budując drukowany element. Głowica drukarki porusza się w układzie X – Y i nakłada materiał zgodnie z geometrią obecnie drukowanej warstwy zaprogramowanego modelu. Następnie stół roboczy opuszcza się w płaszczyźnie Z na zadaną

wysokość, tak aby dysza mogła nadrukować kolejną warstwę komponentu [Dudek, 2013, s. 1415]. Ten proces powtarza się do momentu ukończenia druku.

Metoda SLS (ang. Selective Laser Sintering) w ogólnym ujęciu oparta jest na selektywnym spiekaniu kolejnych warstw sproszkowanego termoplastycznego polimeru za pomocą lasera [Horvath, 2014, s. 5]. Wiązka lasera podobnie jak w SLA jest kierowana przez układ optyczny, tak by spiekać warstwy proszku zgodnie z wcześniej założoną geometrią w oprogramowaniu CAD [Zhang i in., 2015, s. 26]. Szczelna komora drukarki SLS jest zamykana i wypełniana gazem, najczęściej azotem, w celach bezpieczeństwa, tak by proszek polimerowy nie uległ spłonięciu. W pierwszym etapie drukowania pojemnik z proszkiem i obszar roboczy są podgrzewane do temperatury nieprzekraczającej temperatury topnienia wykorzystywanego polimeru, a zgarniacz rozprowadza równomiernie pierwszą warstwę materiału po stole roboczym [<https://drukarki3d.pl/technologie/technologie-sls/>, 04.10.2021]. W następnej fazie laser skanuje kontur danej warstwy i poprzez spiekanie selektywnie łączy ze sobą cząsteczki sproszkowanego polimeru. Po zakończonym spiekaniu i jednocześnie utwardzaniu jednej warstwy stół roboczy obniża się a zgarniacz nanosi świeżą warstwę proszku, po czym następuje etap spiekania kolejnej warstwy [<https://www.protolabs.pl/uslugi/druk-3d/selektywne-spiekanie-laserowe/>, 29.11.2021]. Czynność ta jest powtarzana do momentu uzyskania pełnej bryły modelu. Po zakończonym procesie drukowania gotowy element należy przenieść do urządzenia, w którym zostanie on pozbawiony resztek proszku za pomocą sprężonego powietrza [Terczyński, i in., 2018, s. 58].

Cechą wspólną opisanych technologii jest przede wszystkim to, że wszystkie przekształcają geometryczny model CAD w fizyczny model produkowany warstwa po warstwie [Bartolo, 2011, s. 4]. Oprogramowanie z rodziny CAD (ang. Computer Aided Design) wraz ze sprzętem komputerowym tworzy rodzaj zaawansowanego narzędzia wspomagającego pracę inżynierów, dzięki któremu możliwe jest projektowanie przestrzennych modeli taniej i w krótszym czasie niżeli miałyby się to odbywać za pomocą zestawu kreślarskiego. Przygotowany model 3D w oprogramowaniu komputerowym jest kompatybilny z systemami urządzeń drukujących przestrzennie, a przykładami programów typu CAD są: Autodesk Inventor Professional, Autodesk Fusion 360, czy SolidWorks [Domański, 2020, s. 11]. Aby zaistniało to wspomniane powiązanie między oprogramowaniem, w którym się projektuje, a samą drukarką niezbędne są jeszcze dwa programy komputerowe. Pierwszy z nich jest zaliczany do kategorii wspomaganego komputerowo wytwarzania CAM (ang. Computer Aided Manufacturing) i ma on za zadanie przekształcić model CAD w sekwencję mechanicznych poleceń dla drukarki w tak zwanym kodzie G [Kaziunas i France, 2014, s. 31]. Kod G jest językiem zrozumiałym dla urządzenia i zawiera

takie informacje jak: temperatura głowicy i dyszy, pozycjonowanie głowicy w osiach X i Y, pozycjonowanie stołu w osi Z oraz jego temperaturę, polecenia ekstruzji, czyli grubości nakładanych warstw oraz kierowanie systemem mechaniczno-elektrycznym [Rabek, 2020, s. 142]. Drugi zaś to program kliencki, którego zadaniem jest sterowanie bezpośrednią pracą drukarki za pomocą komputera [Kaziunas, France, 2014, s. 31]. Co ciekawe oprogramowanie klienckie nie zawsze jest potrzebne, gdyż drukarka „samodzielnie” odczytuje polecenia CAM oraz je wykonuje bez udziału komputera, wystarczy jej zwykły pendrive lub karta SD, dzięki czemu komputer w czasie wydruku może być wykorzystany do innych czynności. Jednak w dzisiejszych czasach, aby stworzyć model 3D nie trzeba wcale spędzać kilku godzin przed ekranem monitora i tworzyć model od podstaw, czy odtwarzać dany element posługując się inżynierią wsteczną, a to dzięki skanerom 3D. Służą one przekonwertowaniu geometrii rzeczywistego obiektu w plik graficzny [<https://zrobotyzowany.pl/wiedza/3734/skanowanie-i-skanery-3d-najpopularniejsze-rodzaje-i-zastosowanie>, 07.10.2021]. Dzięki nim uzyskuje się model cyfrowy, który z łatwością można edytować w programach CAD. Najogólniej skanery można podzielić na dotykowe i bezdotykowe. Pierwsze z nich skanują przedmiot za pomocą sondy, która styka się z ich powierzchnią, dają one rzetelne pomiary, jednak mogą uszkodzić skanowany element. Skanery bezdotykowe wykonują swoją pracę bezinwazyjnie, nie uszkadzając powierzchni delikatnego materiału, skanują za pomocą lasera bądź światła strukturalnego [<https://www.tripiodi.pl/skanery-3d>, 07.10.2021]. Skanery jednak nie są idealne, ponieważ na wygenerowany plik STL należy nanieść poprawki, zniwelować niedoskonałości, czy ulepszyć siatkę modelu [<https://centrumdruku3d.pl/na-co-zwrocic-uwage-przy-wyborze-skanera-3d/>, 07.10.2021].

**Tab. 1.** Zestawienie najczęściej używanych materiałów stosowanych w technologii FDM

	<b>ABSplus</b>	<b>PLA</b>	<b>PVA</b>	<b>PC</b>	<b>ASA</b>	<b>POM</b>	<b>PA (nylon)</b>
<b>Z czego powstaje</b>	Ropa naftowa	Skrobia kukurydziana, ziemniaczana, buraki cukrowe	Ropa naftowa	Kwas węglowy	Kauczuk akrylowy	Formaldehyd	Kwasy dikarboksyłowe
<b>Zalety</b>	Twardy, odporny na pęknięcie, odporny chemicznie i termicznie, nie przewodzi prądu elektrycznego, odporny na promieniowanie UV, mniejsza podatność na skurcz w porównaniu do tradycyjnego ABSu	Nietoksyczny, nie jest łatwopalny, nie kurczy się podczas chłodzenia, dobra jakość wydruku	Nietoksyczny, biodegradowalny, odporny na działanie benzyny i olejów, łatwo rozpuszczalny w wodzie, wysoka wytrzymałość na rozciąganie	Wysokie właściwości optyczne, wysoka udarność, dobre właściwości izolacyjne, mała skłonność do pękania, odporny na uderzenia i działanie wysokich temperatur	Dobra wytrzymałość na warunki atmosferyczne, wysoka odporność na promieniowanie UV, dobra adhezja, doskonała wytrzymałość mechaniczna i termiczna	Duża wytrzymałość mechaniczna, wysoka odporność na promieniowanie UV, twardy, niełamiwy, odporny na ścieranie, odporny na większość substancji chemicznych, odporny na odkształcenia i temperatury (od -40 do 110°C), wysoka udarność, właściwości ślizgowe	Duża wytrzymałość na zginanie i rozciąganie (ale tylko wtedy, gdy nie nasiąknie wilgocią), dobra udarność (gdy wchłonie wilgoć), niski współczynnik tarcia, właściwości sprężyste, odporny na zmęczenie, uderzenia, wysokie temperatury
<b>Wady</b>	Łatwopalny, z tendencją do kurczenia się podczas chłodzenia (w szczególności zwykły ABS)	Wolny proces chłodzenia, mięknięcie w temperaturze 45-65°C, słaba wytrzymałość	Duża higroskopijność	Duża higroskopijność, nieodporny na promieniowanie UV, wymaga	Toksyczny	Toksyczny, problem z przyklejeniem pierwszej warstwy do stołu roboczego, nieodporny na	Duża higroskopijność, kruchość i mała udarność (ale tylko wtedy, gdy nie nasiąknie wilgocią), mało wytrzymały mechanicznie

	<b>ABSplus</b>	<b>PLA</b>	<b>PVA</b>	<b>PC</b>	<b>ASA</b>	<b>POM</b>	<b>PA (nylon)</b>
		mechaniczna, niska udarność		wysokich tem- peratur wy- druku		działanie kwa- sów	(gdy wchłonie wilgoć), słaba adhezja
<b>Temperatura dy- szy drukującej</b>	215-250°C	185-235°C	180-200°C	280-305°C	240-260°C	220-230°C	235-260°C
<b>Temperatura blatu roboczego</b>	90-115°C	Temperatura pokojowa lub zalecana 60°C	50°C	85-95°C	90-110°C	110°C	Temperatura poko- jowa lub zalecana 30- 40°C
<b>Czym powinna być pokryta po- wierzchnia blatu roboczego</b>	Taśma kapto- nowa	Niebieska ta- śma malarska, taśma kapto- nowa lub szklana płytka	Folia polipro- pylenowa	Taśma kapto- nowa	Taśma kapto- nowa		

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Rabek, 2020, s. 31; Siemieński i Budzik, 2015, s. 76; Wilczyński, 2018, s. 304; Mikulska i Kotliński, 2019, s. 21; Kaziunas i France, 2014, s. 94; Królikowski, 2012/2017, s. 46; <http://3d.edu.pl/filament-abs-plus-co-to-jest-i-czy-plus-zmienia-cos-pozu-nazwa/> [14.10.2021]; <https://fiberlogy.com/pl/filamenty/absplus-2/>, 29.11.2021; <https://chem-distribution.nl/pl/services/alkohol-poliwinylowy-pva/>, 15.10.2021; <http://3d.edu.pl/tworzywo-poliweglanowe-w-druku-3d/>, 17.10.2021; <https://centrumdruku3d.pl/abs-vs-asa-porownanie-materia-low-do-druku-3d/>, 17.10.2021; <https://www.tworzywa.pl/wiedzopedia/baza-tworzyw/10,akrylonitryl-styren-akryl-asa,polimer.html>, 17.10.2021; <https://zadar.pl/filament-pom-czyli-wytrzymalosc-d-n-tej-potegi-podniesiona>, 19.10.2021].



W zależności od tego jakie właściwości fizykochemiczne powinien spełniać wydruk, na rynku dostępnych jest wiele materiałów przypisanych do danej technologii wytwarzania. Niektóre drukarki korzystają wyłącznie z jednego typu materiału, w innych zaś możliwe jest stosowanie kilku dedykowanych surowców. Aby zdecydować jakiego budulca użyć, należy zastanowić się jakie przeznaczenie będzie miał prototypowany model, czy będzie musiał być wytrzymały mechanicznie i eksploatacyjnie, a może ma pełnić funkcję czysto wizualne. Jeżeli materiał ma być zastosowany do drukowania części maszyn, powinien posiadać przede wszystkim takie właściwości jak: elastyczność, trwałość, odporność na wilgoć, twardość, sztywność, wytrzymałość mechaniczną, odporność termiczną, odporność chemiczną oraz możliwość sterylizacji [Mikulska i Kotliński, 2019, s. 15]. Inaczej podchodzi się do właściwości materiału w sytuacji, gdy wydruk ma tylko estetycznie wyglądać i „cieszyć ludzkie oko”. Od takich modeli wymaga się gładkich powierzchni oraz wielobarwności. W tabeli 1 zestawiono kilka najczęściej stosowanych materiałów w FDM, z uwagi na to, że ten rodzaj technologii jest najpowszechniejszy.

## 2. Metodyka badań

Jak każde urządzenie mechaniczne, tak też przenośniki płytkowe (rys. 1) transportujące wyroby na liniach produkcyjnych wymagają konserwacji i drobnych napraw, aby móc pracować efektywnie. Prace serwisowe wynikają najczęściej z potrzeby wymiany pojedynczych ogniw wchodzących w skład łańcucha przenośnika.

Systemy przenośników oparte są na ściśle dopasowanym, elastycznym przenośniku łańcuchowym z tworzywa sztucznego, który umożliwia jazdę w linii prostej, poziomej i pionowej. Ciasne zagięcia poziome umożliwiają prowadzenie w pobliżu maszyn, oszczędzając miejsce na podłodze. Ciasne zakręty pionowe oszczędzają również miejsce na podłodze, umożliwiają wielopoziomowy transport i ułatwiają operatorom dostęp do konstrukcji [<https://www.flexlink.com/pl/home/products-and-services/stainless-steel-conveyor-systems/chain-conveyor-systems> 25.06.2023].

Z uwagi na to, że tylko jeden dostawca na świecie oferuje części zamienne do maszyn transportujących tego typu, nie ma możliwości zabezpieczenia ciągłości dostaw w postaci zwiększonej liczby kontrahentów w tym obszarze. Dlatego jedynym sposobem na pozyskanie elementów niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania przenośników jest wytwarzanie ich na własne potrzeby. Można domyślać się, iż ogniwa wchodzące w skład urządzeń transportowych są produkowane seryjnie za pomocą technologii wtrysku z materiału jakim jest POM. Jednak niniejsza artykuł

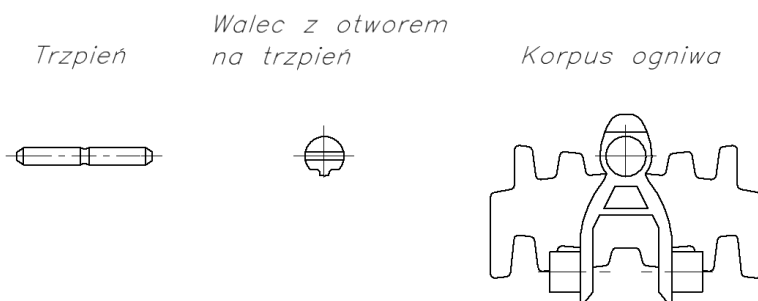
będzie propozycją rozwiązania zaistniałego problemu za pomocą druku 3D. Wspólnym mianownikiem, łączącym zaistniałą potrzebę z zaproponowanym rozwiązaniem jest to, że deficytowe elementy przenośnika są wykonane z tworzywa sztucznego, a druk 3D odbywa się najczęściej przy użyciu tego właśnie materiału. Przypadek analizowany w przedmiotowej pracy dotyczy przedsiębiorstwa X, które w swojej działalności wykorzystujące przenośniki płytkowe, w liczbie 20 sztuk, pracuje na trzy zmiany, pięć dni w tygodniu, a ośmiogodzinny przestój jednego takiego urządzenia przynosi firmie szacunkową stratę w wysokości 40 tysięcy dolarów.



**Rys. 1.** Przenośnik płytkowy

Źródło: [<https://www.flexlink.com/pl/home/products-and-services/stainless-steel-conveyor-systems/chain-conveyor-systems>, 01.12.2021].

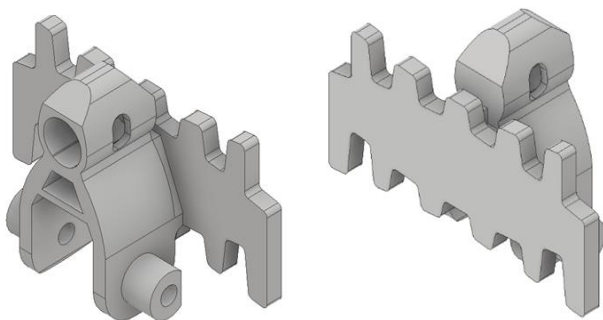
Pierwszym etapem niezbędnym do wdrożenia wydruków 3D w maszyny wykorzystywane do transportu bliskiego jest stworzenie trójwymiarowego modelu w oprogramowaniu komputerowym z rodziny CAD. W tym celu za pomocą urządzenia pomiarowego, to jest suwmiarki elektronicznej cyfrowej, przyrządów kreślarskich – cyrkla, linijki, ołówka oraz papieru milimetrowego zdjęto wymiary pojedynczego ogniwa przenośnika. Z uwagi na to, że jedno ogniwo, aby móc połączyć się z ogniwnem sąsiadującym składa się dodatkowo z dwóch niezależnych elementów, to znaczy z walca z otworem na trzpień i samego trzpienia (rys. 2), wymagane było rozmontowanie całego układu.



**Rys. 2.** Jedno ogniwo przenośnika po rozmontowaniu, odpowiednio od lewej: trzpień, walec z otworem na trzpień, ogniwo bez łączników

Źródło: opracowanie własne.

Otrzymane dane posłużyły do przeniesienia kształtu i rozmiaru elementu do środowiska programu Autodesk Inventor Professional. W efekcie powstał trójwymiarowy model samego korpusu ogniwa, bez łączników w skali 1:1 (rys. 3). Warto w tym miejscu zaznaczyć, że podczas eksploatacji przenośników łączniki stosowane w łańcuchu ogniw nie zużywają się tak często jak sama powierzchnia ogniwa, która ma bezpośredni styk zarówno z metalową konstrukcją przenośnika, jak i transportowanymi na przenośniku wyrobami. Dlatego też trzpień wykonany ze stali nierdzewnej SUS304 oraz walec z otworem wykonany z tego samego tworzywa sztucznego co korpus ogniwa nie wymagają obligatoryjnej wymiany. Mogą one być wyjmowane ze zużytych części, przechowywane, a następnie wykorzystywane do montażu samych korpusów. Wspomniane łączniki są zaprojektowane zgodnie z metodą zapobiegania błędom (Poka Yoke). Oznacza to, że elementy łączą się ze sobą w jednej określonej pozycji, uniemożliwiając tym samym błędne ich zmontowanie.



**Rys. 3.** Trójwymiarowy model ogniwa przenośnika płytkowego stworzonego w Autodesk Inventor Professional

Źródło: opracowanie własne.

Kolejnym krokiem w procesie powstawania wydruku 3D jest wygenerowanie pliku z rozszerzeniem STL. Po wygenerowaniu plików IPT i STL możliwy jest już sam proces wydruku. Przygotowanie modelu do wydruku i sam wydruk odbył się w laboratorium druku 3D Wydziału Inżynierii Zarządzania Politechniki Białostockiej. Stanowisko robocze wytwarzania przyrostowego wyposażone było w jednostkę centralną, drukarkę 3D Omni3D RapCraft oraz szpulę filamentu PLA w złotym kolorze o średnicy 1,75 mm. Mimo tego, że PLA nie spełnia wymogów wytrzymałościowych, by część z niego wytworzona mogła pracować w przenośniku płytkowym, to w celu wizualizacji prototypu uzasadnionym było zastosowanie tego materiału. Wykorzystano dwa programy typu CAM, tak zwanych slicerów. Pierwszy z nich Cura – 14.09 posłużył do cięcia modelu na szereg dwuwymiarowych warstw, ustalenia, który rzut modelu będzie podstawą łączącą się

ze stołem roboczym oraz do zaprojektowania podpór wspierających nieprostokątne do podłoża ścianki modelu. W oknie dialogowym ustalono grubość warstwy nakładanej przez głowicę na 0,25 mm oraz prędkość wydruku na 30 mm/s. Dzięki tym operacjom program był w stanie wyliczyć, ile materiału zostanie zużyte na wydruk modelu. Program oszacował, że na wydruk korpusu ogniwa potrzebne będzie 50 minut oraz 4,39 metra filamentu o wadze 13 gramów. Przy współpracy z drugim slicerem sterującym Pronterface możliwe było nadanie temperatur wymaganych do wydruku w danym materiale oraz ogólne sterowanie procesem. W przypadku wydruku z PLA temperaturę dyszy drukującej ustawiono na 215°C, a temperaturę stołu roboczego na 60°C, który dodatkowo został pokryty szklaną płytką ułatwiającą przyklejenie się pierwszej warstwy wydruku do podłoża. Program Pronterface posłużył do uruchomienia procesu wydruku, poprzez kliknięcie ikony „Print”. Proces wydruku na drukarce 3D obrazuje rys. 4. Trwał on godzinę, czyli 10 minut dłużej niż zakładał program Cura 13.09.



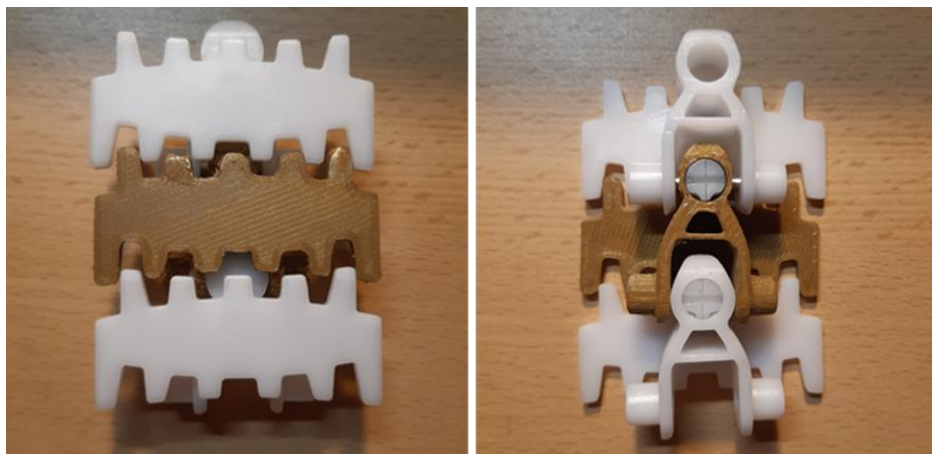
Rys. 4. Proces wydruku na drukarce 3D Omni3D RapCraft

Źródło: opracowanie własne.

Po zakończonym procesie pozostawiono prototyp na 15 minut w celu obniżenia jego temperatury. Następnie odłączono podstawę modelu przylegającą do stołu roboczego i usunięto podpory.

### 3. Wyniki badań

W celu weryfikacji poprawności geometrii projektu wydruk porównano z częścią oryginalną w sposób zarówno wizualny jak i pomiarowy. Widoczne są nieścisłości powstałe podczas procesu drukowania, a wynikające głównie ze zbyt dużej prędkości głowicy drukującej. Istnieje możliwość poprawy jakości wydruku poprzez zmianę parametrów technicznych wydruku. Jednak niedociągnięcia widoczne w powstałym prototypie w żaden sposób nie wpływają na jakość łączenia z częściami oryginalnymi (rys. 5).



Rys. 5. Połączenie wydruku z częściami oryginalnymi

Źródło: opracowanie własne.

Prototyp został wykonany w celu wizualizacji i nie powinien zostać dopuszczony do pracy w systemie przenośników. Warto wspomnieć, że koszt 1 kg materiału wykorzystanego do wydruku 3D mieści się w granicach 50 zł, a co za tym idzie wydrukowanie korpusu ogniwa o wadze 13 g, biorąc pod uwagę jedynie koszt materiału wyniósł nie więcej niż 0,65 zł.

#### 4. Dyskusja wyników

Z informacji uzyskanych bezpośrednio w przedsiębiorstwie X, wynika, że koszt jednego pełnego ogniwa to około 50 zł.

Aby zobrazować koszt związany z implementacją druku 3D w przedsiębiorstwie, które nie jest wyposażone w odpowiednie oprogramowanie i sprzęt w artykule dokonano zestawienia cen i możliwości różnych rozwiązań.

Pod uwagę wzięto cztery oprogramowania, w których użytkownik ma możliwość projektowania przestrzennego. W tabeli 2 zestawiono ceny rocznych licencji. Należy podkreślić, iż oprogramowanie Autodesk Inventor Professional oraz SolidWorks CAD 3D są jednymi z droższych programów komercyjnych na rynku. Wysoki koszt licencji często jest barierą przed wdrożeniem rozwiązania w przedsiębiorstwie.

**Tab. 2.** Koszt zakupu rocznej licencji i koszt jej ponowienia dla wybranych programów z rodziny CAD

	<b>Autodesk Inventor Professional</b>	<b>Onshape</b>	<b>Fusion 360</b>	<b>SolidWorks CAD 3D</b>
<b>Koszt rocznej licencji</b>	Okolo 13 000 zł	Okolo 8 500 zł	Nieco ponad 2 000 zł	Okolo 20 000 zł
<b>Odnowienie licencji w kolejnych latach</b>	Okolo 12 000 zł	Okolo 8 500 zł	Okolo 2 000 zł	Okolo 20 000 zł

Źródło: opracowanie własne na podstawie [<https://sklep.pccpolska.pl/pl/19-autodesk-inventor>, 07.01.2022; <https://sklep.pccpolska.pl/pl/33-fusion-360>, 07.01.2022; <https://www.onshape.com/en/pricing>, 07.01.2022; <https://solidexpert.com/programy/solidworks/#licencja>, 07.01.2022].

Program z rodziny CAD powinien zostać wyposażony w odpowiednie moduły programu. W tabeli 3 sporządzono zestawienie pożądanых cech oprogramowania, które może zostać wykorzystane w procesie prototypowania 3D.

**Tab. 3.** Zestawienie pożądanых cech przy druku 3D czterech programów z rodziny CAD

	<b>Autodesk Inventor Professional</b>	<b>Onshape</b>	<b>Fusion 360</b>	<b>SolidWorks CAD 3D</b>
<b>Edycja z poziomu programu komputerowego</b>	+	-	+	+
<b>Edycja z poziomu przeglądarki internetowej</b>	-	+	-	-
<b>Usługa w chmurze</b>	+	+	+	+
<b>Funkcja CAM</b>	+	-	+	+
<b>Export do pliku STL</b>	+	+	+	+
<b>Edycja i naprawa skanów 3D modeli siatkowych</b>	-	-	+	+
<b>Edycja i praca z modelami 3D z innych systemów CAD</b>	+	+	+	+
<b>Edycja modeli dla drukarek (dzielenie, skalowanie, budowa podpór, wyznaczanie ścieżki ekstrudera)</b>	-	-	+	+

Źródło: opracowanie własne na podstawie [<https://sklep.pccpolska.pl/pl/19-autodesk-inventor>, 07.01.2022; <https://sklep.pccpolska.pl/pl/33-fusion-360>, 07.01.2022; <https://www.onshape.com/en/pricing>, 07.01.2022; <https://solidexpert.com/programy/solidworks/#licencja>, 07.01.2022; <http://3d.edu.pl/10-najlepszych-alternatyw-fusion-360-w-2019-roku/>, 07.01.2022; <https://skanery3d.eu/nowosci/skanowanie-3d-solidworks/>, 07.01.2022; <https://www.pccpolska.pl/branza-mechaniczna/autodesk-inventor-cam/>, 07.01.2022; <https://www.pccpolska.pl/edycja-bezposrednia-zmiana-geo-metrii-czesci-3d-bez-względu-na-zrodlo-pochodzenia-modelu/> 07.01.2022; <https://3dl.tech/2015/10/26/projektowanie-cad-3d-w-chmurze-czyli-oprogramowanie-w-przeglądarce-internetowej/>, 07.01.2022].

Pola oznaczone „+” sugerują posiadaną funkcjonalność, zaś pola oznaczone „-” jasno określają brak danej funkcjonalności. Należy zauważyć, że Fusion 360 oraz SolidWorks CAD 3D posiadają wszystkie atrybuty wspomagające projektowanie modeli przeznaczonych do wydruku. Wyróżniają się jedynie brakiem możliwości pracy w przeglądarce internetowej. Takim rozwiązaniem odznacza się jedynie Onshape, jednak nie ma to żadnego wpływu na sam wydruk, a jest jedynie pewnym udogodnieniem samego przebiegu projektowania, np. w pracy na odległość „on-line”. Użytkownik, może korzystać z wielu urządzeń mobilnych zamiennie, bez konieczności instalowania programu CAD na każdym z nich z osobna. Ważną funkcjonalnością jest edycja i naprawa skanów 3D modeli siatkowych oraz edycja modeli drukarek. Niestety obu tych cech nie posiadają Autodesk Inventor Professional oraz Onshape. Skanery 3D są nieocenioną pomocą w odwzorowaniu złożonych geometrii. Z kolei edycja modeli drukarki 3D umożliwia użytkownikowi dopasowanie parametrów modelu dedykowane konkretnemu modelowi drukarki 3D.

Na podstawie informacji zawartych w tabeli 2 i tabeli 3 należy wywnioskować, że oprogramowanie Fusion 360 jest jedną z bezpieczniejszych dla przedsiębiorstwa opcji w doborze aplikacji kompatybilnej z drukarką 3D. Jest rozwiązaniem zarówno najtańszym, jak i wyposażonym we wszystkie niezbędne parametry do efektywnego projektowania i wytwarzania przyrostowego.

Ścieżka zakupu licencji i implementacja w odpowiedniej komórce przedsiębiorstwa jest często procesem długim i kosztownym. W celu zrealizowania np. jednorazowego projektu na wydruk 3D przedsiębiorstwo powinno podjąć próbę współpracy z podmiotami zewnętrznymi świadczącymi odpowiednie usługi. Ogniwo przedmiotowego przenośnika płytkowego, aby mieć zbliżoną żywotność do części oryginalnej powinno zostać wydrukowane z POMu. Wiąże się to z obowiązkiem wyboru technologii FDM, bowiem ten materiał dostępny jest tylko w postaci filamentu. W celu pokazania jak największej liczby możliwości implementacji druku 3D do urządzeń transportujących podjęto kontakt z czterema białostockimi przedsiębiorstwami świadczącymi usługi druku 3D. Poproszono o wycenę skanów ogniwa wraz z poprawą siatki trójkątów oraz samego procesu druku pojedynczego elementu.

W tabeli 4 zaprezentowano dużą rozbieżność cenową przedmiotowej usługi wykonania skanu z poprawą siatki trójkątów oferowaną przez białostockie przedsiębiorstwa. Każde z przedsiębiorstw zastrzegło również, że koszt może ulec podwyższeniu, jeżeli w trakcie pracy okaże się, że element jest bardziej złożony niżeli było to szacunkowo ocenione na podstawie przesłanych zdjęć.

**Tab. 4.** Koszt wydruku jednego korpusu ogniwa przenośnika płytkowego w wybranych białostockich przedsiębiorstwach zajmujących się drukiem 3D

	trójwymiarowi.pl	Technology Applied	T3D Drukar- nia 3D	MAKE IT <sup>3</sup>
<b>Koszt wydruku jednego ogniwa w technologii FDM</b>	100 zł	300 zł	150 zł	200 zł

Źródło: opracowanie własne.

Koszt wydruku jednego ogniwa przenośnika płytkowego bez łącznika waha się w przedziale od 100 do 300 zł (tab. 4). Zważając na to, że drukowanie z materiału takiego jak POM jest wymagające i rzadko stosowane, do kosztu wydruku usługodawcy doliczają dodatkowo cenę samego materiału, który muszą zamówić. Cena tego surowca na różnych portalach aukcyjnych mieści się w przedziale 150-200 zł za kilogram.

Zaprezentowane w artykule zestawienia programów i przedsiębiorstw zajmujących się drukiem 3D miało na celu ukazanie kilku ścieżek umożliwiających wdrożenie wydruków w system przenośników płytkowych. Jednak przedsiębiorstwo X, aby skutecznie rozwiązać problem braku części zamiennych nie musi inwestować, ani w oprogramowanie CAD, ani w potrzebny sprzęt, ani tym bardziej stosować outsourcing, bowiem ma do tego wszystkiego dostęp w postaci usługi zewnętrznej. Jedynym kosztem poniesionym przez przedsiębiorstwo byłoby w takiej sytuacji zakupienie filamentu z materiału jakim jest POM.

Można zatem prognozować, że czas wydruku jednego korpusu ogniwa w przedsiębiorstwie X osiągnie podobny wynik jak ten uzyskany w laboratorium Politechniki Białostockiej, czyli około 1 godziny. Do czasu wydruku należy jednak doliczyć czas studzenia wydruku, usuwania podpór i samego montażu. Zatem z dużym zapasem czasowym można założyć, że wyniesie on 2 godziny od momentu rozpoczęcia drukowania, do momentu, gdy wydruk zostanie już zamontowany w przenośniku. Jak już wcześniej zostało wspomniane nie zaleca się drukowania łączników w postaci walców z otworem na trzpień, które można wymontować ze zużytych korpusów, bowiem jest to niepotrzebne zużycie materiału budulcowego, ale co najważniejsze, jest to strata cennego czasu produkcyjnego. Tym bardziej, że w celu optymalizacji kosztów nie przewidziano zakupu samych trzpieni ze stali nierdzewnej SUS304, a co za tym idzie należy je pozyskiwać ze zużytych części i składować, przy okazji czego można też robić to samo z walcami z otworem na trzpień. Zważając na fakt, że dostawy oryginalnych ogniwi mogą przedłużać się o długie tygodnie, oraz to, że praca na danej linii zostanie zatrzymana na potrzeby wytwarzania addytywnego na kilka godzin i tak jest to dużo mniejszą stratą dla przedsiębiorstwa ani-



żeli oczekiwanie na dostawę gotowych elementów z Chin. Przywołując już wcześniej wspomnianą szacunkową stratę przy ośmiogodzinnym przestoju przenośnika płytkowego, czyli 40 tysięcy dolarów, można obliczyć, że przestój trwający 2 godziny wyniesie 10 tysięcy dolarów (jeżeli jest on związany z potrzebą wydruku tylko jednego korpusu ogniwa), a przestój trwający przykładowo 5 dni roboczych (w sumie 15 ośmiogodzinnych zmian) wyniesie 600 tysięcy dolarów (tab. 5, punkt 1). Oczywiście przywołany przykład jest pewnym uproszczeniem mającym na celu pokazanie rzędu wielkości między implementacją druku 3D, a oczekiwaniem na dostawę przez przedsiębiorstwo. Ponadto wdrażając rozwiązanie zaproponowane w artykule organizacja X może całkowicie uniknąć przestojów wywołanych brakiem ogniwa przenośnika płytkowego drukując kilka ogniwa na zapas, inwestując jedynie w materiał niezbędny do drukarki.

Może się jednak okazać, że drukarka 3D, w którą wyposażone jest przedsiębiorstwo nie spełnia oczekiwań narzucanych przez POM. W takiej sytuacji można przyjąć strategię, że drukuje się z innego materiału, a wydrukowany element będzie zamiennikiem o niższej żywotności. Co należy rozumieć w taki sposób, że na czas dotarcia dostawy z częściami zamiennymi przenośniki będą pracowały na relatywnie szybko zużywających się wydrukach potrzebujących częstej wymiany. To rozwiązanie wymaga jednak dalszych badań i analiz pod kątem doboru materiału adekwatnego zarówno do drukarki, jak i pracy w przenośniku płytkowym.

Jeżeli jednak okazałoby się, że na drukarce 3D, w którą wyposażona jest organizacja możliwy jest wydruk z polioksymetylenu (POMu) należy rozpatrzyć jeszcze jeden scenariusz, a mianowicie ile przedsiębiorstwo mogłoby zaoszczędzić produkując ogniwa na własne potrzeby.

Jak wynika z dokumentacji techniczno-ruchowej udostępnionej przez przedsiębiorstwo X jeden przenośnik składa się z 700 pojedynczych ogniwa. Przenośników ogółem jest 20, zatem wszystkich ogniwa pracujących na hali jest około 14 tysięcy (tab. 5, punkt 3). Z wieloletnich analiz zakupowych przedsiębiorstwa X wynika, że co kwartał od producenta dociera średnio 560 części zamiennych, co stanowi 4% eksploatowanych ogniwa ogółem (tab. 5, punkt 4). Skoro co trzy miesiące składane jest zamówienie w wysokości 560 sztuk, to znaczy, że podobna ich ilość w danym okresie podlega wymianie. Pamiętając, że jedna sztuka kosztuje 50 zł, można wyliczyć, że kwartalny koszt zamówienia będzie wynosił 28 tys. zł (tab. 5, punkt 5). Co w skali roku daje 112 tys. zł (tab. 5, punkt 6). Organizacja z obawy przed coraz bardziej wydłużającym się czasem dostawy może wyprodukować addytywnie liczbę ogniwa, która powinna zaspokoić ich zapotrzebowanie kwartalne, to jest 560 sztuk. Decydując się na wydruk z POMu za sam materiał przedsiębiorstwo zapłaci około 1,8 tys. zł, przy założeniu, że POM kosztuje 200zł/kg, a na wydruk jednego korpusu

przeznaczony się około 16g, ponieważ oryginalny korpus waży 13-14g, ale trzeba także doliczyć wagę podpór (tab. 5, punkt 7). W kosztach należy też zawrzeć rachunek za zużyty energię elektryczną podczas 560-godzinnej pracy drukarki, przy założeniu, że wydruk jednego ogniwa będzie trwał godzinę, a drukarka ma moc nie większą niż 0,23 kW, a cena za 1kWh to niecałe 0,80 zł, to będzie on wynosił około 103 zł (tab. 5, punkt 8.). W dużym zaokrągleniu można przyjąć, że całkowity koszt wyprodukowania kwartalnego zapotrzebowania na ogniwa w technologii 3D będzie wynosił 2 tys. zł (tab. 5, punkt 9). Zatem decydując się na takie rozwiązanie raz w roku przedsiębiorstwo może zaoszczędzić 26 tys. zł (6,5 tys. dolarów), przy czym uniknie stresującej sytuacji wywołanej zerwanym łańcuchem dostaw (tab. 5, punkt 10).

Tab. 5. Obliczenia

Opis obliczeń	Obliczenia
1. Obliczenie wysokości straty podczas przestoju trwającego 2h i założeniu, że przestój trwający 8h to strata w wysokości 40 tys. dolarów.	$x$ – wysokość straty przy przestoju trwającym 2h $8h - 40\ 000\ USD$ $2h - x\ USD$ $x = \frac{40\ 000\ USD \cdot 2h}{8h} = 10\ 000\ USD$
2. Obliczenie wysokości straty podczas przestoju trwającego 5 dni roboczych (15 ośmiogodzinnych zmian) i założeniu, że przestój trwający 8h to strata w wysokości 40 tys. dolarów.	$15 \cdot 40\ 000\ USD = 600\ 000\ USD$
3. Obliczenie liczby ogniwa na całym dziale montażu. Liczba przenośników 20. Liczba ogniwa w jednym przenośniku 700.	$20 \cdot 700 = 14\ 000$
4. Obliczenie, ile procent wszystkich eksploatowanych ogniwa na dziale montażu (14 tys.) stanowi kwartalne zamówienie w wysokości 560 sztuk.	$x$ – procent jaki stanowi 560 sztuk z 14 000 sztuk $14\ 000 - 100\%$ $560 - x\%$ $x = \frac{560 \cdot 100\%}{14\ 000} = 4\%$
5. Obliczenie kwartalnego kosztu zamówienia, przy założeniu, że cena jednego ogniwa wynosi 50 zł.	$560 \cdot 50\ zł = 28\ 000\ zł$
6. Obliczenie rocznego kosztu kwartalnych zamówień.	$28\ 000\ zł \cdot 4 = 112\ 000\ zł$

Opis obliczeń	Obliczenia
7. Obliczenie, ile zapłaci przedsiębiorstwo X za zakup materiału (POM) potrzebnego do wydrukowania 560 sztuk, przy założeniu, że cena POMu to 200 zł/kg, a na jeden wydruk trzeba przeznaczyć 16g (0,016kg) tego materiału.	Obliczenie, ile materiał należy przeznaczyć na wydruk 560 sztuk: $560 \cdot 0,016kg = 8,96kg \approx 9kg$ Obliczenie, ile kosztuje 9kg POMu: $9kg \cdot 200 \frac{zł}{kg} = 1\,800\,zł$
8. Obliczenie ceny zużytego prądu w trakcie druku 3D przez drukarkę, przy założeniu, że drukarka drukuje jeden element w przeciągu 1h (1h*560 sztuk = 560h), moc urządzenia nie przekracza 230W (0,23kW), a opłata za pobór prądu wynosi 0,80 zł/kWh.	$0,23kW \cdot 560h \cdot 0,80\,zł = 103,04\,zł \approx 103\,zł$
9. Obliczenie kosztu wydruku 560 sztuk ogniw na własne potrzeby przez przedsiębiorstwo X.	$1\,800\,zł + 103\,zł = 1\,903\,zł \approx 2\,000\,zł$
10. Obliczenie, ile może zaoszczędzić przedsiębiorstwo X rezygnując z jednej kwartalnej dostawy na rzecz wydruku 3D. Koszt kwartalnej dostawy to 28 tys. zł, a koszt wydruku 560 sztuk to koszt około 2 tys. zł.	$28\,000\,zł - 2\,000\,zł = 26\,000\,zł \approx 6\,500\,USD$

Źródło: opracowanie własne.

Z artykule założono, że przedsiębiorstwo X nie może całkowicie zrezygnować z dostaw zewnętrznych ogniw łańcucha przenośnika płytkowego. Wynika to z faktu, iż seryjne wytwarzanie jest procesem pracochłonnym, a pracownicy, którzy mieliby się tym zająć, musieliby wykonywać to kosztem swoich codziennych obowiązków. Kolejnym powodem, dla którego nie powinno rezygnować się z outsourcingu jest konieczność dopełniania wydruków o oryginalne łączniki, które zużywają się znacznie wolniej niżeli sam korpus, ale w długim horyzoncie czasowym mogą się po prostu wyczerpać. O ile możliwe jest wydrukowanie walca z otworem na trzpień, sam trzpień należałoby dokupić. Wykluczono również możliwość zlecenia wydruków przedsiębiorstwom trudniącym się wytwarzaniem addytywnym, bowiem najniższa cena wydruku przedstawiona w tabeli 5 wynosi 100 zł za sam korpus jednego

ogniwa, a ogniwo oryginalne z łącznikami kosztuje 50 zł. Taki zabieg niestety przewyższyłby dwukrotnie kwotę, która do tej pory ponosiła organizacja zamawiając części zamienne.

## **Podsumowanie**

Po analizie literatury przedmiotu oraz materiałów pozyskanych z przedsiębiorstwa X możliwe było zidentyfikowanie problemu badawczego oraz obranie ścieżki w dążeniu do jego rozwiązania. Utrudnieniem w prawidłowym funkcjonowaniu przenośników płytkowych okazała się być możliwość przerwania więzi kooperacyjnej z dostawcą części zamiennych. Propozycją zażegnania trudności napotkanych w przedsiębiorstwie jest implementacja druku 3D w system przenośników transportu bliskiego. Aby zrealizować cel artykułu, który został sformułowany we wstępie, w pierwszym etapie pozyskano z przedsiębiorstwa dwa oryginalne elementy wchodzące w skład przenośnika płytkowego. Następnie przy użyciu niezbędnych przyrządów zdjęto wymiary z jednego pozyskanego ogniwa, co posłużyło do odwzorowania przedmiotu w programie Autodesk Inventor Professional. Stworzony trójwymiarowy model z rozszerzeniem IPT został przekonwertowany na plik o rozszerzeniu STL. Tak przygotowany plik mógł być otwarty w programach komunikujących się z drukarką 3D, czyli Cura 14.09. i Pronterface. Do wytworzenia obrazowego modelu posłużyła udostępniona przez Politechnikę Białostocką drukarka 3D Omni3D RapCraft. Model został wydrukowany w technologii FDM z materiału PLA w złotym kolorze w przeciągu godziny. Wydruk pomimo tego, że został wykonany z dostępnego materiału, wcześniej nie poddawanego próbom wytrzymałościowym, skutecznie nawiązał kształtem i wymiarem do części oryginalnych, by móc połączyć się z sąsiadującymi ogniwami. Połączenie ogniw zostało udowodnione eksperymentalnie poprzez obustronne spasowanie elementu wydrukowanego z dwoma elementami oryginalnymi.

Konkludując w analizie finansowej wykazano, że jeżeli przedsiębiorstwo X zdecyduje się na wdrożenie zaproponowanego w artykule rozwiązania pod kątem wytwarzania wydruków 3D na własne potrzeby w okresie oczekiwania na dostawę przedłużającą się na przykład o tydzień uniknie strat rzędu 600 tysięcy dolarów. Jeżeli zaś zdecyduje się na drugi zaproponowany scenariusz w skali roku może liczyć na oszczędność w wysokości prawie 6,5 tysięcy dolarów.

## **ORCID iD**

Łukasz Dragun: <http://orcid.org/0000-0001-6768-6818>

## Literatura

1. 3D.edu.pl, <http://3d.edu.pl/filament-abs-plus-co-to-jest-i-czy-plus-zmienia-cos-pozanazwa/> [14.10.2021].
2. 3D.edu.pl, <http://3d.edu.pl/tworzywo-poliweganowe-w-druku-3d/> [17.10.2021].
3. Automatyka 2B2, <https://automatykab2b.pl/temat-miesiaca/52328-przemyslowy-druk-3d/strona/3-na-czym-polega-stereolitografia> [14.07.2021].
4. Bartolo P.J. (2011), *Stereolithography. Materials, Processes and Applications*, Springer.
5. Chem Distribution, <https://chem-distribution.nl/pl/services/alkohol-poliwinylowy-pva/> [15.10.2021].
6. Czerwiński K., Czerwiński M., *Drukowanie w 3D* (2013), InfoAudit Sp. z o.o., Warszawa.
7. Dezaki, M.L., Ariffin, M.K., Hatami, S. (2021). *An overview of fused deposition modeling (FDM): research, development and process optimisation*. "Rapid Prototyping Journal", Vol. 27, s. 562-582.
8. Dodziuk H. (2019), *Druk 3D/AM. Zastosowania oraz skutki społeczne i gospodarcze*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.
9. Domański J. (2020), *SolidWorks 2020. Projektowanie maszyn i konstrukcji*, Helion.
10. Dudek P. (2013), *FDM 3d printing technology in manufacturing composite elements*, „Archives of materiallurgy and materials” Volume 58, Issue 4, s. 1415-1418.
11. Fiberlogy, <https://fiberlogy.com/pl/filamenty/absplus-2/> [29.11.2021].
12. Get3D, <https://get3d.pl/2020/06/17/historia-druku-3d/> [01.07.2021].
13. Gwiazda P, CD3D, Centrum Druku 3D, <https://centrumdruku3d.pl/abs-vs-asa-porownanie-materialow-do-druku-3d/> [17.10.2021].
14. Horvath J. (2014), *Mastering of 3D Printing, Technology in action*, Pasadena.
15. Kaziunas France A. (2014), *Świat druku 3D. Przewodnik*, Helion S.A. Gliwice.
16. Królikowski W. (2012/2017), *Polimerowe kompozyty konstrukcyjne*, PWN, Warszawa.
17. Mikulska A., Kotliński J. (2019), *Badanie drukowanych części maszyn*, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu.
18. Milewski J.O. (2017), *Additive Manufacturing of Metals*, Springer International Publication, Cham.
19. Rabek J. F. (2020), *Polimery i ich zastosowania interdyscyplinarne cz. 1*, PWN, Warszawa.
20. Rabek J. F. (2020), *Polimery i ich zastosowania interdyscyplinarne cz. 2*, PWN, Warszawa.
21. Schmidleithner C., Kalaskar D.M. (2018), *Stereolithography*, „Book Citation Index”.
22. Siemiński P., Budzik G. (2015), *Techniki przyrostowe. Druk 3D. Drukarki 3D*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

23. Ślusarczyk P., CD3D, Centrum Druku 3D, <https://centrumdruku3d.pl/reprap-polska-sie-zaczelo/> [13.07.2021].
24. Sriwatsan T.S., Sudarshan T.S. (2016), *Additive manufacturing. Innovations, Advances, and Applications*, CRC/Taylor & Francis, Boca Raton.
25. Stefanczyk M., Cubic Inch, <https://cubicinch.pl/historia-druku-3d-wycig-patentow/> [01.07.2021].
26. Szmidt A., Rębosz-Kurdek A. (2017), *Sposoby doskonalenia druku 3D w technologii FDM/FFF*, „Mechanik” nr 3, s. 258-261.
27. Terczyński S., i in. (2018), *Buduję swoją pierwszą drukarkę 3D*, Wydawnictwo informatyczne Itestart, Piekary Śląski.
28. Tripiodi, <https://www.tripiodi.pl/skanery-3d> [07.10.2021].
29. Tworzywa.pl, <https://www.tworzywa.pl/wiedzopedia/baza-tworzyw/10,akrylonitryl-styren-akryl-asa,polimer.html> [17.10.2021].
30. Wilczyński K. (red.) (2018), *Przetwórstwo tworzyw polimerowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
31. Zadar, <https://zadar.pl/filament-pom-czyli-wytrzymalosc-d-n-tej-potegi-podniesiona> [19.10.2021].
32. Zgrzyza Ł., Raczyńska A., Pańnikowska-Łukaszuk M. (2018), *Wykorzystanie narzędzi modelowania 3D oraz druku 3D w wizualizacji logotypu Wydziału Podstaw Techniki*, „Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej”, Lublin.
33. Zhang L.G., Fisher J.P., Leong K.W. (2015), *3D Bioprinting and Nanotechnology in Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, Elsevier, Academic Press, Amsterdam, s. 373.
34. Zieliński D., Drukarki3D.pl, <https://drukarki3d.pl/technologie/technologie-sls/> [04.10.2021].
35. Zrobotyzowany.pl, <https://zrobotyzowany.pl/wiedza/3734/skanowanie-i-skanery-3d-najpopularniejsze-rodzaje-i-zastosowanie> [07.10.2021].

# **Analysis of the possibility of using 3D printing to produce spare parts for plate lifts – a case study of company X**

## **Abstract**

The aim of this paper is to create and implement a 3D prototype of a cell that is part of a plate conveyor, while also making logistical and economic sense of it. The research material was an original component of this device used for materials handling. Using reverse engineering, a three-dimensional model was created in a CAD environment. This file was then converted into an STL extension file and converted in CAM into G-code a language understood by 3D printers. The CAM programme, in cooperation with the FDM incremental manufacturing device, made it possible to print a replacement part from a sample material available at the 3D printing laboratory of the Białystok University of Technology. Based on the resulting printout, it was found that the shape and size reproduction met the requirements for the component to be connected to the original parts. On the other hand, the material used for the printout under laboratory conditions does not meet the strength conditions, so for a printout suitable for use in a conveyor system, the material from which the original component is created must be used. This is not an obstacle, as a filament of this material is available in FDM technology. A financial analysis of the implementation of 3D printing in a plate conveyor system was carried out based on price lists and the possibilities of various CAD programs and print prices offered by several companies in the 3D printing industry.

## **Key words**

prototyping, 3D printing, supply chain, Industry 4.0, reverse engineering