Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego | Rzeczpospolita Polska | Dofinansowane przez Unię Europejską

Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn

Kierunek studiów:
**Transport**

**Tomasz Kozior**

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

# Skanowanie i Druk 3D

opracowane w ramach realizacji Projektu
„**Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki**”
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2025

**Spis treści**

1. Skanowanie i Druk 3D w Transporcie ... 3
2. Prototypowanie ... 6
3. Technologie Druku 3D ... 10
3.1 Technologie na bazie Tworzyw sztucznych ... 10
3.1.1. Material Extrusion – MEX ... 10
3.1.2. VAT photopolymerization – VPP ... 14
3.1.3. Powder Bed Fusion – PBF ... 15
3.2 Technologie na bazie proszków metali ... 17
3.3 Zamawianie modeli wytwarzanych Drukiem 3D wg normy ISO/ASTM 52901 ... 19
3.4 Optymalizacja topologiczna - Przemysł 4.0 ... 20
4. Skanowanie 3D ... 23
4.1. Zastosowanie ... 25
4.2 Parametry procesu skanowania 3D ... 28
4.3. Format zapisu plików ... 28
5. Podsumowanie ... 32
6. Literatura ... 34

Utwór objęty licencją Creative Commons BY 4.0.

Licencja dostępna pod adresem: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

# 1. Skanowanie i Druk 3D w Transporcie

W dobie zwiększającej się mobilności rozwój transportu jest jednym z największych wyzwań współczesnego świata, a wykorzystanie w nim nowoczesnych technologii wiąże się również z implementacją takich metod jak Druk 3D czy Skanowanie 3D. Aby dostosować jakość kształcenia do potrzeb współczesnej gospodarki opracowany został nowy przedmiot łączący obie nowoczesne technologie wytwarzania pod nazwą „Skanowanie i Druk 3D".

Pomimo ponad 40 lat obecności technologii Druku 3D w obszarze produkcji metody te z roku rozwijają się. Rozwój ten dotyczy nie tylko powstawania nowych technologii, ale przede wszystkich nowych materiałów, a to właśnie materiały w transporcie są najważniejsze. Wiele technologii druku 3D szeroko rozwija materiały dedykowane przemysłowi transportowemu.

Większość znanych technologii wytwarzania funkcjonujących głównie w produkcji masowej, Druk 3D i Skanowanie 3D należą obecnie do technologii coraz częściej wdrażanych w produkcji jednostkowej, prototypowaniu, kontroli jakości oraz procesie wizualnej oceny projektów. W przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym, kolejowym oraz pokrewnych związanych z transportem wdrażanie wyżej wymienionych metod przyczynia się do skrócenia czasu wdrażania rozwiązań do produkcji masowej oraz zwiększenia jakości wytwarzanych części.

Absolwent kierunków takich jak Transport musi dobrze znać możliwości technologiczne wytwarzania w celu projektowania podzespołów nie tylko możliwych do wytworzenia ale i odpowiednio zoptymalizowanych na przykład ze względu na masę. Obecnie to właśnie masa jest kluczowym czynnikiem w przemyśle transportowym i odpowiednie wytwarzanie podzespołów o zmniejszonej masie przy zachowaniu zadowalającej wytrzymałości stanowi przewagę konkurencyjną. To właśnie w takim zastosowaniu najlepiej sprawdzają się technologie Druku 3D połączone ze skanowaniem 3D. Przemysł transportowy to także rekonstrukcja już istniejących modeli, gdzie Skanowanie 3D z wykorzystaniem inżynierii odwrotnej pozwala na działania związane z naprawą lub wytwarzaniem nowych części.

Skanowanie 3D jako metoda służąca digitalizacji obiektów fizycznych również znana jest od lat 60tych, 70tych XX wieku, jednak to dopiero lata 80te oraz związany z tym rozwój oprogramowania CAD sprawiły, że Skanowanie 3D zaczęło rozwijać swoje skrzydła. Odwzorowywanie fizycznym modeli od wieków było problematyczne i wiązało się to z wykorzystaniem na przykład modelowania w glinie, ceramice etc. ale to dopiero skanowanie 3D umożliwiło takie odwzorowanie obiektu, które jest zarówno

szybkie jak i precyzyjne. Skanowanie 3D to nie tylko skanowanie części i podzespołów, a również na przykład skanowanie całego człowieka, co pozwala na przeniesienie jego geometrii do modelu cyfrowego i dalszą pracy z takimi modelami na przykład w celu odpowiedniego projektowania wnętrza środków transportu. Proces Druku 3D oraz Skanowania 3D jest na tyle skomplikowany, że wymaga szerokiej wiedzy z kilku obszarów.

W przypadku Druku 3D kluczowe jest posiadanie wiedzy z obszaru:

- technologii wytwarzania,
- projektowania CAD,
- symulacji procesu technologicznego – CAM,
- obróbki skrawaniem,
- pracy z plikami cyfrowymi – inspekcji plików,
- znajomości wpływu parametrów technologicznych na jakość modeli wytwarzanych drukiem 3D.

W przypadku Skanowania 3D wiedza wymagana w procesie skanowania dotyczy między innymi:

- znajomości wpływu parametrów pomiaru na jakość uzyskanego modelu cyfrowego,
- pracy z plikami cyfrowymi,
- metrologii,
- inspekcji plików cyfrowych.

Taka sytuacja sprawia, że współczesny inżynier kierunku Transport stoi przed dużym wyzwaniem związanym z nauką zarówno obsługi Drukarek 3D i Skanerów 3D jak i zdobyciem odpowiedniej wiedzy dotyczącej precyzyjnego wykorzystania tych urządzeń.

Przedstawione dodatkowe materiały opracowane w ramach nowo powstałego przedmiotu *Skanowanie i Druk 3D* zawierają treści, które rozszerzają merytorycznie omawiany na wykładzie zakres tematyki oraz stanowią doskonałe uzupełnienie prowadzonych z tego przedmiotu zajęć laboratoryjnych.

Zakres tematyczny opracowanych materiałów dotyczy technologii Druku 3D z wykorzystaniem zarówno materiałów na bazie tworzyw sztucznych jak i proszków metali oraz obejmuje:

- obszar wiedzy ogólnej,
- wprowadzenie do stosowanych materiałów dedykowanych Transportowi,
- analizę parametrów technologicznych druku 3D w aspekcie jakości,
- druk wielkogabarytowy,
- normy międzynarodowe z obszaru Druku 3D.

W obszarze związanym ze skanowaniem 3D dodatkowe materiały zawierają treści związane przede wszystkim z:

- pracą z plikami cyfrowymi,
- systemami skanowania 3D,
- skanowaniem modeli w obszarze zastosowań w Transporcie.

# 2. Prototypowanie

Do technologii prototypowania zaliczyć można wszystkie metody umożliwiające szybkie wytworzenie pierwszych modeli testowych, a sam termin *Prototypowanie* obejmuje zarówno technologie *Druku 3D* jak i *Skanowania 3D*, które połączone ze sobą bardzo często tworzą tak zwana *Inżynierię Odwrotną*. W zależności od rodzaju prototypu, jego przeznaczenia oraz roli jaką ma spełniać można proces prototypowania podzielić na kilka etapów. W przypadku prototypowania z wykorzystaniem *Druku 3D* i *Skanowania 3D* dla nowego produktu wchodzącego obecnie na rynek, bardzo często powstaje konieczność przeprowadzenia badań na realnie wykonanym obiekcie. Modele te w obszarze transportu znajdują bardzo wiele zastosowań.
Jednym z przykładów prototypowania i realnego wykorzystania wyżej wymienionych metod w Transporcie jest wytwarzania modeli w celu ich przedstawienia klientom do oceny przedwdrożeniowej. Takie wykorzystanie bardzo szeroko opisane zostało firmę formlabs (*Ford 3D printing in prototyping*, 2024) i dotyczy zastosowania druku 3D do wytwarzania prototypu samochodu Ford Explorer co przedstawione zostało na rysunku 1.

[Tekst alternatywny. Fotografia. Na rysunku przedstawiono dwa zdjęcia: z lewej strony widoczny jest złożeniowy model prototypu lusterka do samochodu Ford Explorer oraz z prawej strony przedstawiono element kokpitu wnętrza samochodu – obudowa licznika.]

a) b)

Rys. 1. Prototypowe modele podzespołów samochodu osobowego Ford Explorer wykonane z wykorzystaniem Druku 3D: a) element lusterka, b) element kokpitu.



Politechnika Świętokrzyska Kielce University of Technology
*Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki" nr FERS.01.05-IP.08-0234/23*

Wykorzystanie Druku 3D w produkcji wielkogabarytowej opisane zostało na oficjalnej stronie internetowej Ford-media (*Ford - Large-Scale 3D Printing*, 2017), gdzie główną uwagę skupiono właśnie na technologii FDM (Fused Deposition Modeling) obecnie znanej również pod nazwą FFF (Fused Filament Fabrication), które według najnowszej normy ISO/ASTM 52900 (*ISO/ASTM 52900:2021, Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary*, 2021) należą do grupy technologii MEX (Material Extrusion). Jak przedstawiono na rysunku 2, kluczową kwestią decydującą o wykorzystaniu Druku 3D przez firmę Ford w tym przypadku była konieczność redukcji masy w wielkogabarytowych konstrukcjach.

[Tekst alternatywny. Fotografia. Na rysunku przedstawiono zdjęcia: elementu kokpitu samochodu osobowego – tunel środkowy pomiędzy fotelami oraz pozostałe elementy wnętrza.]

Rys. 2. Przykład wykonania technologią druku 3D wielkogabarytowych modeli do zastosowań w przemyśle motoryzacyjnym.

Kolejnym przykładem wykorzystania ww. metod w Transporcie jest wytwarzanie prototypów służących badaniom w tunelach aerodynamicznych lub testom na przykład poziomu przepływów medium roboczego urządzeń. Takie przykłady zostały przedstawione na rysunku 3 (*Ford 3D printing in prototyping*, 2024; *Mototrend - Ford engine component*, 2015).



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology
*Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki" nr FERS.01.05-IP.08-0234/23*

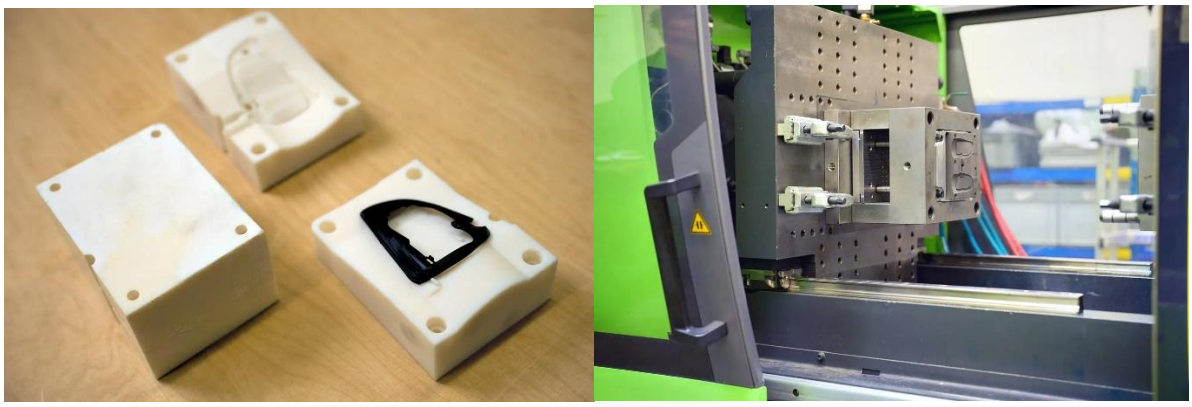
[Tekst alternatywny. Fotografia. Na rysunku przedstawiono zdjęcia dwóch elementów: tylnej części zewnętrznej pojazdy osobowego oraz element silnika spalinowego]

a) b)

Rys. 3. Zastosowanie druku 3D w konstrukcjach aut marki Ford dla celów analizy aerodynamiki i przepływów: a) część zewnętrzna pojazdu osobowego b) element silnika spalinowego.

Kolejny przykład wykorzystania druku 3D w tym przypadku do wytwarzania wkładek form wtryskowych do krótkich serii produkcyjnych przedstawiony został na rysunku 4, co dotyczyć może nie tylko przemysłu motoryzacyjnego ale i lotniczego oraz kolejowego, czyli takich gdzie zdarzają się przypadki personalizacji dla niewielkiej ilości komponentów a wykonanie całej formy wtryskowej dla tak niewielkiej produkcji jest niezwykle kosztowne.

[Tekst alternatywny. Fotografia. Na rysunku przedstawiono trzy zdjęcia wykonanej formy wtryskowej: rysunek w górnym lewym rogu przedstawia wkładkę formy wtryskowej elementu klamki samochodu osobowego, rysunek w prawym górnym rogu założoną wkładkę formy wtryskowej na wtryskarce, rysunek w dolnej części przedstawia wykonany element podczas montażu]



a) b)

c)

Rys. 4. Zastosowanie druku 3D w konstrukcjach aut marki Ford: a) element formy wtryskowej b) wtryskarkę z wykonaną drukiem 3D formą, c) element klamki.

# 3. Technologie Druku 3D

Technologie druku 3D o szerokim zastosowaniu w Transporcie można podzielić głównie na dwie zasadnicze kategorie:

- druk 3D z materiałów na bazie tworzyw sztucznych,
- druk 3D z proszków metali.

Poniżej przedstawione zostały treści opisujące te technologie, które ze względu na założony materiał dydaktyczny nie znalazły się w programie przedmiotu w związku z czym stanowią jego doskonałe uzupełnienie.

## 3.1 Technologie na bazie Tworzyw sztucznych

Tworzywa sztuczne stosowane w druku 3D należą głównie do dwóch kategorii: materiałów termoplastycznych oraz elastomerów. W przypadku technologii Druku 3D do najczęściej spotykanych w zastosowaniach przemysłowych dedykowanych środkom Transportu zaliczyć można między innymi:

- Material Extrusion – MEX,
- VAT photopolymerization – VPP
- Powder Bed Fusion – PBF

Technologie te różnią się między sobą zarówno sposobem nakładania poszczególnych warstw jak i metodą ich łączenia, co ma bezpośredni wpływ na ich właściwości mechaniczne, tribologiczne, etc. Ponadto zazwyczaj technologie te różnią się pomiędzy sobą stosowanymi materiałami, jedynie w niewielu przypadkach materiały te pokrywają się.

### 3.1.1. Material Extrusion – MEX

Technologia Material Extrusion – MEX, jest jedną z najstarszych technologii druku 3D i do niedawna najczęściej występująca pod nazwą FDM (Fused Deposition Modeling) oraz FFF (Fused Filament Fabrication). Technologia ta podzielona może zostać na dwie grupy ze względu na rodzaj materiału wejściowego:



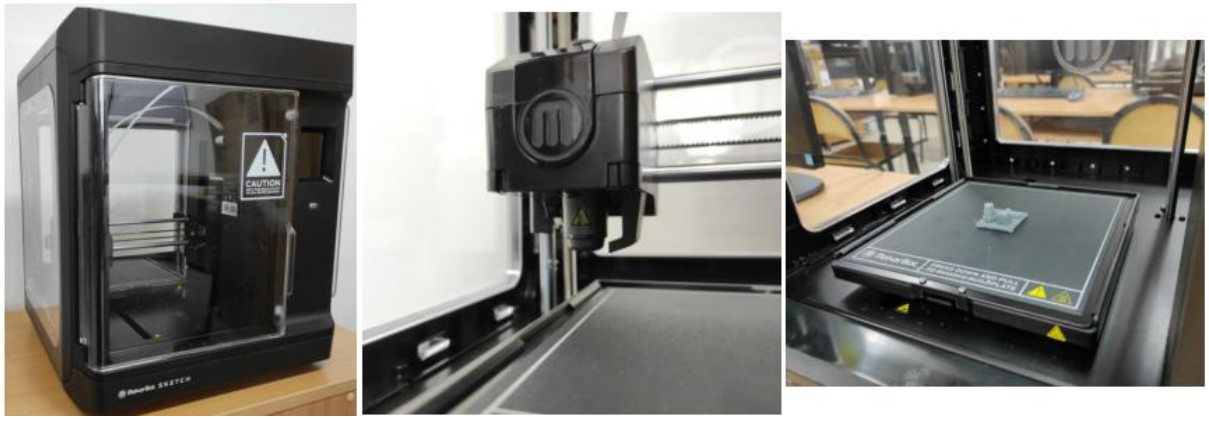
Politechnika Świętokrzyska Kielce University of Technology
*Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki" nr FERS.01.05-IP.08-0234/23*

- filament w postaci pręta nawiniętego na szpulę,
- granulat dostarczany do robotów drukujących.

W związku z tym w praktyce przemysłowej bardzo często występuje podział tej technologii na tak zwane drukarki 3D, które wykorzystują materiał nawinięty na szpulę, oraz roboty drukujące wykorzystujące granulat.

W technologii tej termoplastyczny materiał jest wytłaczany przez dyszę drukarki 3D i rozprowadzany na danej warstwie odpowiadającej przekrojowi poprzecznemu aktualnie budowanego modeli. Technologia ta jest jedną z najbardziej znanych maszyn realizujących druk 3D, co przedstawiono na rysunku 5. Maszyna ta znajduje się na wyposażeniu Laboratorium niekonwencjonalnych Technologii Wytwarzania Politechniki Świętokrzyskiej i wykorzystywana jest między innymi do prac zarówno badawczych, przemysłowych zastosowań jak i realizacji prac dyplomowych (inżynierskich oraz magisterskich).

[Tekst alternatywny. Fotografia. Na fotografii od lewej przedstawiono drukarkę 3D wraz z obudową, następnie w centralnej części głowicę drukarki 3D oraz w prawej części stół roboczy z wydrukowanym modelem testowym.]



a) b) c)

Rys. 5. Drukarka 3D realizująca technologię MEX: a) wygląd zewnętrzny, b) głowica drukująca, c) stół roboczy z wykonanym modelem testowym.

Technologia ta pozwala na wytwarzania modeli 3D z wykorzystaniem takich materiałów jak PLA (Polilaktyd), ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene), PET-G (tereftalan etylenu z domieszką glikolu.), Nylon (PA 12 etc.), PC (poliwęglan), ASA (kopolimer akrylonitrylu, styrenu i akrylanów) oraz wiele innych, których

właściwości pozwalają na odpowiednie dobranie materiałów zależności od potrzeb. Kluczową rolą w wyborze materiału odgrywa również drukarka 3D, gdyż w zależności od zastosowanego materiału może zachodzić konieczność zastosowania podgrzewanego stołu, komory roboczej bądź podgrzewania do wysokiej temperatury duszy ekstrudera. Nie każda maszyna posiada takie możliwości w związku z czym należy brać pod uwagę także te kwestie.

Technologia MEX w zastosowaniach środków Transportu jest jedną z najczęściej stosowanych i wytwarzane są zarówno gotowe modele jak i prototypy służące wizualizacji, przeprowadzania testów jak i analizy przepływów.

W klasycznych drukarkach 3D wykorzystujących filament jako materiał wejściowy spotykane są wymiary komory roboczej wynoszące nawet do 1 $m^3$ objętości, a czasem i większe. Taka sytuacja sprawia, że dla elementów konstrukcyjnych pojazdów mechanicznych, oraz innych środków transportu technologia MEX niesie ogromne możliwości wytwarzania gotowych elementów o wymiarach realnych obiektów.

Technologia MEX i roboty drukujące wykorzystujące granulat są również coraz częściej stosowane w przemyśle Transportowym z ukierunkowaniem na przemysł motoryzacyjny i lotniczy. Roboty drukujące charakteryzują się znacznie większymi rozmiarami komór roboczych nierzadko przekraczającymi 10 $m^3$. W przypadku takich maszyn istnieje możliwość budowy całych ram, elementów nośnych, lekkich konstrukcji, elementów wnętrza, etc. Przykład takiej maszyny przedstawiono na rysunku 6 (*CEAD Group - 3D printer*, 2025).

[Tekst alternatywny. Fotografia. Na fotografii przedstawiono robota drukującego.]

Rys. 6. Robot drukujący realizujący technologię MEX.

**MEX - Parametry technologiczne**

W przypadku technologii MEX bez znaczenia czy mowa o Drukarkach 3D czy robotach drukujących występuje duża liczba zmiennych parametrów technologicznych, które mają duży wpływ na jakość wytwarzanych modeli. W związku z tym poniżej przedstawiono te parametry, które uzupełniają treść wykładu i laboratorium:

- kierunek wydruku,
- grubość budowanej warstwy,
- stopień wypełnienia,
- temperatura dyszy drukującej,
- temperatura stołu roboczego,

- temperatura komory drukarki 3D,
- średnica dyszy,
- prędkość ekstrudera.

### 3.1.2. VAT photopolymerization – VPP

Kolejną kategorią technologii druku 3D o dużym zastosowaniu w Transporcie jest VPP, która do swojego obszaru zalicza na przykład technologia zwana do niedawna PolyJet Matrix - PJM. Technologia wykorzystuje materiał wejściowy w postaci ciekłej żywicy. W technologii tej materiał natryskiwany jest w miejscu odpowiadającym przekrojowi poprzecznemu aktualnie budowanego modelu, a następnie pod wpływem światła UV inicjowany jest proces polimeryzacji, a więc łączenia małych cząsteczek zwanych monomerami ze sobą, tworząc większe, złożone cząsteczki - polimery. Drukarkę realizującą technologię PJM przedstawiono na rysunku 7. Maszyna ta znajduje się na wyposażeniu Laboratorium niekonwencjonalnych Technologii Wytwarzania i wykorzystywana jest między innymi do prac zarówno badawczych, przemysłowych zastosowań jak i realizacji prac dyplomowych (inżynierskich oraz magisterskich).

[Tekst alternatywny. Fotografia. Na fotografii od lewej przedstawiono drukarkę 3D realizującą technologię PJM, w prawej części stół roboczy z otwarta obudową zabezpieczającą]

Rys. 7. Drukarka 3D Connex 350 realizująca technologię PJM.

### 3.1.3. Powder Bed Fusion – PBF

Kategoria technologii druku 3D Powder Bed Fusion – PBF jest jedną z najczęściej stosowanych w Transporcie. Dzieje się tak ze względu na zastosowanie bardzo dobrej jakości materiałów, głównie na bazie poliamidu. W przypadku zastosowań wykonywanych modeli w transporcie lotniczym dużym zainteresowaniem cieszą się materiały z dodatkami zmniejszającymi palność wykonanych modeli.
Kluczową technologią druku 3D zaliczana do kategorii PBF jest Selektywne Spiekanie Laserowe proszków poliamidowych – SLS (ang. Selective Laser Sintering). W metodzie tej sproszkowany materiał wypełnia komorę drukarki 3D, a laser (najczęściej $CO_2$) skanując powierzchnie odpowiadającą przekrojowi poprzecznemu aktualnie budowanej warstwy spieka ją w całość oraz łączy z poprzednio utworzoną. W metodzie tej komora nagrzewana jest do temperatury nieznacznie niższej niż temperatura spiekania materiału, a sam proces najczęściej przebiega w atmosferze gazu obojętnego. Technologia ta wykorzystuje takie materiały jak (EOS, 2025):
- PEKK,
- PA 2210 FR, FR-106 oraz PA 2241 FR o zmniejszonej palności (dla przemysłu lotniczego),
- PA 2200 do zastosowań ogólnych,
- PA 1101 ClimateNeutral,
- PA 1101.

Przykładowy model wykonany technologią SLS oraz maszynę – Formiga P100 przedstawione zostały na rysunku 8 (EOS, 2025). Maszyna ta znajduje się na wyposażeniu Laboratorium Niekonwencjonalnych Technologii Wytwarzania i wykorzystywana jest między innymi do prac zarówno badawczych, przemysłowych zastosowań jak i realizacji prac dyplomowych (inżynierskich oraz magisterskich).



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology
*Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki"*
*nr FERS.01.05-IP.08-0234/23*

[Tekst alternatywny. Fotografia. Na fotografii w górnej części przedstawiono element wykonany technologią SLS odzwierciedlający lampę samochodu osobowego, w dolnej części przedstawiono drukarkę 3D zarówno widok zewnętrzny jak i obraz komory drukującej]

a)

b)

Rys. 8. Technologia SLS: a) wykonany model fizyczny, b) maszyna Formiga P 100 realizująca wydruki w technologii SLS.

## 3.2 Technologie na bazie proszków metali

Druk 3D, z wykorzystaniem materiałów na bazie metali w przypadku zastosowań w Transporcie głównie dotyczy technologii z grupu Powder Bed Fusion – PBF. Ta grupa jak zostało wcześniej opisane dotyczy wszystkich technologii proszkowych druku 3D wliczając zarówno proszki tworzyw sztucznych jak i metali. W przypadku metali do tej kategorii technologii zaliczamy na przykład technologię Selective Laser Melting – SLM. Są oczywiście inne technologie druku 3D umożliwiające przyrostowe wytwarzanie modeli z materiałów na bazie metalu ale to w technologie takie jak SLM charakteryzują się najwyższą dokładnością wymiarowo-kształtową oraz jakością technologicznej warstwy wierzchniej w związku z czym w przedstawionym materiale skupiono się na metodzie SLM. Technologia SLM działa na podobnej zasadzie jak technologia SLS, gdzie do zasadniczych różnic należy zaliczyć laser o wyższej mocy. Technologia druku 3D z proszków metali pozwala na wytwarzania niezwykle skomplikowanych modeli o zoptymalizowanym kształcie. Do najczęściej stosowanych materiałów w technologii SLM zaliczyć można:

- stale nierdzewne takie jak 316L,
- tytan Ti6Al4V,
- proszki na bazie miedzi, niklu, chromu,
- proszki na bazie aluminium np. AlSi10Mg.

Ponadto w obszarze materiałów na bazie proszków metali wciąż powstają nowe materiały co z roku na rok zwiększa wykorzystanie druku 3D z materiałów na bazie metali w obszarach takich jak lotnictwo, motoryzacja, przemysł kolejowy, transport przemysłowy etc.
Przykładowy model wykonany technologią SLM z proszku metalu przedstawiono na rysunku 9(*Audi - 3D printing in prototyping*, 2018).

[Tekst alternatywny. Fotografia. Na fotografii przedstawiono elementy wykonane drukiem 3D – technologią SLM służące doprowadzeniu powietrza do samochodu osobowego - Audi]

Rys. 9. Przykładowy model wykonany technologią SLM.

**Parametry technologiczne – PBF**

Technologie z grupy Powder Bed Fusion charakteryzują się bardzo dużą ilością parametrów technologicznych wpływających na jakość wykonywanych modeli oraz możliwości technologiczne wytwarzania. Spośród wszystkich technologii druku 3D to właśnie technologie z grupy PBF charakteryzują się najbardziej skomplikowanym procesem technologicznym  Do kluczowych parametrów technologicznych można zaliczyć:

- kierunek wydruku,
- grubość budowanej warstwy,
- moc lasera,
- prędkość lasera,
- parametry lasera (pulsacja, hatch distance, średnica wiązki skupionej oraz wiele innych),
- rodzaj atmosfery ochronnej,
- sposób przeprowadzenia oczyszczania podpór,
- charakter obróbki cieplnej,
- jakość proszku (proces odświeżania).



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology
*Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki"*
*nr FERS.01.05-IP.08-0234/23*

## 3.3 Zamawianie modeli wytwarzanych Drukiem 3D wg normy ISO/ASTM 52901

Proces prototypowania oraz wytwarzania krótkich serii produkcyjnych jest głównym przeznaczeniem Druku 3D w pracy inżyniera w aspekcie kierunku Transport. Dla takich zastosowań warto poznać narzędzia wspierające inżynieria na etapie zamawiania modeli wytwarzanych drukiem 3D. Do jednego z takich narzędzi zaliczyć można obowiązujące normy z obszaru druku 3D. Wspomniana została wcześniej norma ISO/ASTM 52900(*ISO/ASTM 52900:2021, Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary*, 2021) dotycząca nazewnictwa stosowanego w druku 3D. Kolejną niezwykle ważną normą z tego obszaru jest norma ISO/ASTM 52901(*ISO/ASTM 52901:2017, Standard Guide for Additive Manufacturing-General Principles-Requirements for Purchased AM Parts*, 2017) swoim zakresem obejmując wymagania stawiane modelom wytwarzanym z wykorzystaniem Druku 3D. Norma ta niejako systematyzuje dane zawarte w umowie pomiędzy klientem zlecającym wykonanie modeli drukiem 3D oraz przedsiębiorstwem produkcyjnym zajmującym się wytwarzaniem zleconych modeli. Norma swoim zakresem obejmuje kilka kwestii, które przed złożeniem formalnego zamówienia powinny zostać uzgodnione pomiędzy stronami i są to między innymi:

- parametry druku 3D,
- informacje o plikach cyfrowych,
- dane ilościowe,
- dane jakościowe (chropowatość powierzchni, odchyłki, wytrzymałość),
- metody badania cech jakościowych,
- transport modeli,
- inne.

Wdrożenie tej normy w przedsiębiorstwach jest niejako zwiększeniem przejrzystości związanej z wykonywaniem modeli za pomocą technologii druku 3D i z całą pewnością przyczynia się do wzrostu jakości wytwarzanych komponentów oraz relacji z klientami.

## 3.4 Optymalizacja topologiczna - Przemysł 4.0

Optymalizacja topologiczna to jedno z narzędzi projektowych wpisujących się w trwającą rewolucję przemysłową oraz aspekt Druku 3D. Warstwowe wytwarzanie modeli posiada niemal nieograniczone możliwości wytwarzania modeli o skomplikowanym kształcie co wpisuje się w ramy optymalizacji topologicznej. Sama optymalizacja topologiczna jest jedną z odmian optymalizacja, która nie definiuje parametrów geometrycznych, które będą modyfikowane. Optymalizacja topologiczna definiuje jedynie obszar który może ulec zmianie z zachowaniem określonych parametrów na przykład wytrzymałościowych z uwzględnieniem na przykład kryterium najmniejszej masy. Takie podejście umożliwia nie tylko redukcję samej masy ale również topologii obiektu. W przypadku druku 3D koszt wykonania jest głównie uzależniony od wielkości oraz masy obiektu, co doskonale wpisuje się w te realia. Modele po optymalizacji topologicznej charakteryzują się całkiem swobodnym kształtem co sprawia, że w wielu przypadkach niemożliwe jest ich wykonanie klasycznymi technologiami wytwarzania takimi jak obrabiarki sterowane numerycznie – CNC. Poniżej na rysunku 10 przedstawiono dwa obiekty, gdzie pierwszy (*Optymalizacja topologiczna - Symkom*, 2024) z nich obrazuje kolejne etapy optymalizacji modeli uchwytu, a drugi element zwrotnicy samochodowe wykonany technologią druku 3D z cechami geometrycznymi o zoptymalizowanym kształcie (*Nikon - SLM*, 2025).

[Tekst alternatywny. Fotografia. Na fotografii przedstawiono dwa elementy. Od lewej strony widać element po przeprowadzonej optymalizacji topologicznej, a po prawej części druk 3D elementu zwrotnicy samochodowej o zoptymalizowanym kształcie]

a)

b)

Rys. 10. Optymalizacja topologiczna w aspekcie druku 3D: a) element w poszczególnych etapach optymalizacji, b) przykładowy model wykonany technologią SLM – zwrotnica samochodowa.

Zastosowanie optymalizacji topologicznej doskonale wpisuje się w model tak zwanego procesu LEAN manufacturing(Liker et al., 2019), a wiec projektowania z

uwzględnieniem minimalizacji masy, kosztów procesu technologicznego w minimalnym stopniu spełniającym zakładane wymagania jakościowe (Liker et al., 2018). Takie podejście wpisuje się również w aspekt ekologii procesu produkcyjnego z uwzględnieniem tego pojęcia zarówno na etapie projektowania jak i wytwarzania, Warto zauważyć że optymalizacja topologiczna i zastosowanie druku 3D w tym obszarze nie wpływa negatywnie na funkcjonalność konstrukcji ani możliwość naprawy czy wymiany podzespołów co mogłoby zmniejszać funkcjonalność takich części.

# 4. Skanowanie 3D

Digitalizacja w procesie produkcyjnym jest niezwykle ważnym zjawiskiem umożliwiającym poprawę wydajności przedsiębiorstw produkcyjnych ale i zwiększającym możliwości produkcyjne i jakość wytwarzanych produktów. Do kluczowych zalet digitalizacji zaliczyć można między innymi:

- możliwość pracy z plikami w chmurze z dowolnego miejsca,

- szybką edycję plików,

- zastosowanie dodatkowych narzędzi cyfrowych jak CAM (Cax),

- łatwość przechowywania oraz dostęp,

- inne.

Sam proces skanowania 3D (Confalone et al., 2023) znany jest od połowy XX wieku, jednak dopiero od kilku lat nastąpił dynamiczny rozwój w tym obszarze. Początkowo urządzenia te były niezwykle drogie oraz skomplikowane w obsłudze, co nie oznacza, że obecnie jest to łatwy proces.

Skanowanie 3D, a więc przenoszenie rzeczywistych danych geometrycznych obiektu do formy cyfrowej jest procesem, który jest stosowany głównie jako krok przejściowy w drodze do dalszej pracy. W wielu przypadkach, wykorzystując dane cyfrowe pozyskane drogą skanowania przeprowadzane są dalsze prace z modele 3D takie jak na przykład:

- inspekcja wymiarowo-kształtowa,

- przenoszenie modeli rzeczywistych do środowiska cyfrowego i dalsza praca,

- wytwarzania kopi z wykorzystaniem Druku 3D,

- edycja plików i dalsza praca bądź produkcja,

- dalsza analiza np. CAE,

- ocena dopasowania obiektów,

- inne.

Skanowanie 3D jest pojęciem szerokim i swoim zakresem obejmuje kilka metod, z których najpopularniejsze w aspekcie ich realnego wykorzystania przez absolwenta kierunku Transport to:

- skanowanie laserowe,

- skanowanie światłem strukturalnym,

W przypadku odwzorowywania rzeczywistej geometrii modeli możemy wykorzystać znane z precyzyjnej metrologii współrzędnościowe maszyny pomiarowe, jednak ze względów praktycznych (długi czas pomiaru, ograniczenia dotyczące geometrii) nie są one omawiane w tej części.

Skanowanie 3D w ramach kierunku transport dotyczy głównie skanowania z wykorzystaniem światła strukturalnego jako metody o największym praktycznym wykorzystaniu przemysłowym i wysokiej precyzji odwzorowywania skomplikowanych kształtów. Skanowanie 3D z wykorzystaniem światła laserowego również ma swoje zalety a różnice pomiędzy dwoma typami skanerów przedstawiono poniżej (*Keyence 3D scanning*, 2025). W trakcie zajęć laboratoryjnych realizowanych na kierunku Transport studenci zapoznają się głównie ze skanerami 3D ze światłem strukturalnym, w związku z czym na ten typ skanerów 3D ukierunkowano przedstawione materiały, przy czym poruszono również dodatkowe treści dotyczące skanerów laserowych jako narzędzia o potencjalnym zastosowaniu w transporcie.

Z punktu widzenia źródła światła Skanery 3D ze światłem strukturalnym wykorzystują rzutowane wzory światła takie jak siatki i linie, a skanowanie laserowe jedynie wiązki laserowe do pomiaru odległości, w związku z czym sam pomiar Skanerów 3D wykorzystujących Skanery ze światłem strukturalnym jest szybszy szczególnie w przypadku szczegółowych i złożonych obiektów. Sama dokładność Skanowania 3D jest zależna od konstrukcji Skanera, jednak skanery laserowe dedykowane są obiektom o większych rozmiarach. Światło strukturalne jest wrażliwe na warunki oświetlenia otoczenia w miejscu przeprowadzania pomiaru i najlepiej sprawdza się w kontrolowanych środowiskach o jednolitym oświetleniu. Skanowanie laserowe jest mniej wrażliwe na jakość oświetlenia otoczenia i sprawdza się w różnych warunkach oświetleniowych, w tym na zewnątrz co podnosi jego praktyczne wykorzystanie w Transporcie. W przypadku skanowania 3D mogą pojawiać się pewne problemy pomiarowe związane między innymi z charakterystycznymi cechami materiału z którego wykonany jest skanowany obiekt. Taka sytuacja ma miejsce w przypadku

skanowania obiektów wysoce odblaskowych lub przezroczystych. W takim przypadku może zachodzić konieczność zastosowania sprayu skanującego w celu dokładnego uchwycenia szczegółów powierzchni. Problem ten w znacznie mniejszej skali występuje w przypadku użycia skanowania laserowego.

## 4.1. Zastosowanie

Skanowanie 3D można wykorzystać do skanowania na przykład modeli po procesie produkcyjnym jako metrologiczne narzędzie służące kontroli jakości oraz odbioru zamawianych do wykonania modeli. Dwa przykładowe skanery wykorzystywane podczas zajęć laboratoryjnych przedstawione zostały na poniższym rysunku 11, przy czym na lewej fotografii widać przemysłowy Skaner 3D Atos II (obecnie firma Zeiss), a po prawej stronie dydaktyczny Skaner 3D EinScan SE V2 firmy SHINING3D. Niewątpliwą zaletą obu urządzeń jest system obrotowego stołu, co umożliwia automatyzację procesu skanowania oraz pozwala na przeniesienia wiedzy zdobytej podczas obsługi mniejszych urządzeń dydaktycznych na większe urządzenia do zastosowań przemysłowych.

[Tekst alternatywny. Fotografia. Na fotografii przedstawiono dwa Skanery 3D. Od lewej strony widać przemysłowy Skaner 3D Atos II (obecnie firma Zeiss), a po prawej stronie dydaktyczny Skaner 3D EinScan SE V2 firmy SHINING3D połączony z systemem druku 3D – tworzące system inżynierii odwrotnej]

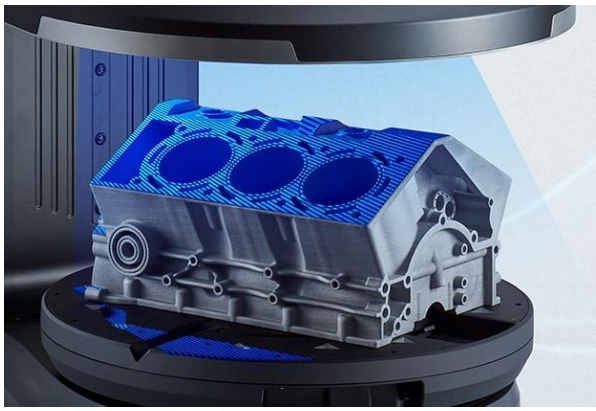
a) b)

Rys. 11. Skanery 3D: a) Atos II (obecnie Zeiss), b) EinScan SE V2 firmy SHINING3D.

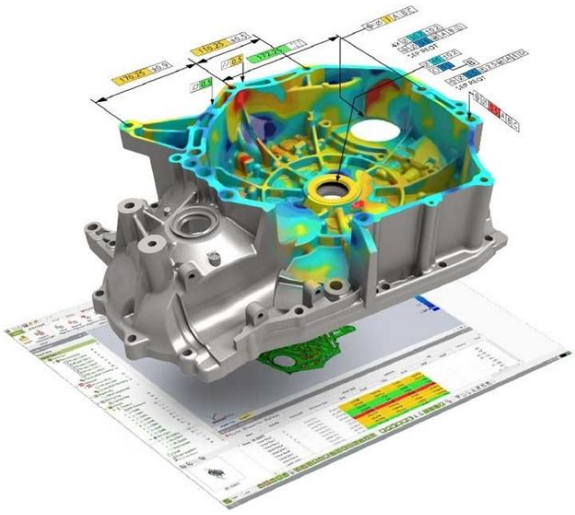
Na rysunku 12a (*Keyence Automotive models - 3D Scanning*, 2025) przedstawiono model bloku silnika spalinowego podczas procesu Skanowania

3D, a na rysunku 12b (*Engineering 3D scanning guide*, 2025) obudowę podczas procesu inspekcji wymiarowej. To właśnie moduł inspekcji wymiarowe może być najbardziej interesujący w przypadku użytkowania Skanerów 3D przez absolwentów kierunku Transport. Po zakończeniu procesu projektowania i otrzymaniu prototypu pierwszej sztuki próbnej do testów wykorzystanie Skanera 3D w celu utworzenia cyfrowego pliku prototypowego obiektu może umożliwić zarówno ocenę technologii wytwarzania i podjęcie decyzji o wdrożeniu do produkcji masowej, jak i może umożliwić wykorzystania cyfrowego pliku w dalszych symulacjach na przykład analizach wytrzymałościowych.

[Tekst alternatywny. Fotografia. Na fotografii przedstawiono modele podczas procesu Skanowania 3D. Z lewej strony widoczny blok silnika spalinowego, z prawej strony model podczas inspekcji wymiarowej]



a)



b)

Rys. 12. Przykład obiektu podczas Skanowania 3D a) Blok silnika spalinowego b) proces inspekcji wymiarowej.

## 4.2 Parametry procesu skanowania 3D

W przypadku procesu skanowania warto zwrócić uwagę, że sam proces przebiega często w cyklu półautomatycznym to znaczy sam pomiar może być automatyczny, jednak już odpowiedni dobór parametrów skanowania, obróbka plików cyfrowych, proces łączenia poszczególnych pojedynczych skanów, generowanie odpowiednich plików jest realizowany przez operatora skanera (Bochnia, 2019). W związku z tym warto zapoznać się z podstawowymi parametrami technologicznymi procesu skanowania do których zaliczamy między innymi:

- jasność światła skanera,
- podział skanowanego obiektu na części poprzez wybór kąta obrotu,
- sposób łączenia skanów,
- rodzaj zapisywanego pliku końcowego,
- skanowanie z wykorzystaniem dodatkowej powłoki.

## 4.3. Format zapisu plików

W zależności od potrzeb pliki po przeprowadzeniu procedury skanowania mogą zostać zapisane w wielu formatach, gdzie w pracy inżynieria najczęściej wykorzystywanym formatem są:

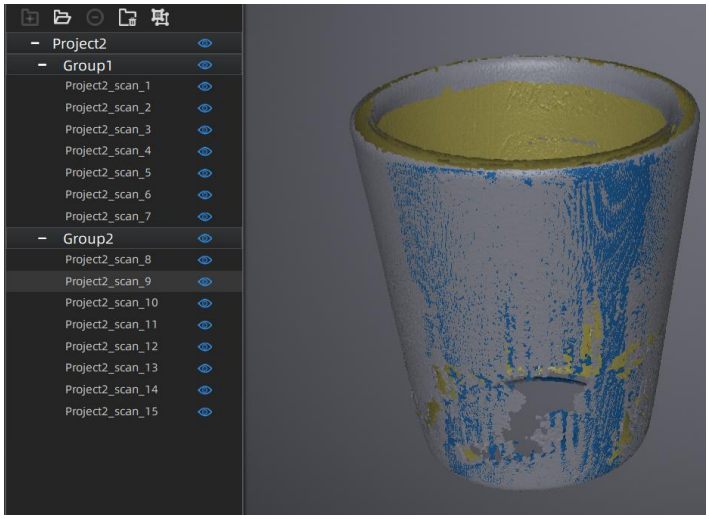
- .stl (stereolithography lub standard triangle language)
- .asc (plik danych)
- .obj (geometria powierzchni oraz informacje o kolorze i fakturze obiektu)
-.ply (dedykowany do danych zbieranych przez skaner 3D)
- .3mf (3D Manufacturing Format)

Pliki .stl oraz .3mf są niejako tożsame. Plik .3mf powstał jako ewolucja pliku .stl. Zapis .asc niesie informacje o chmurze punktów, a więc jest to format zapisu szczegółowy. Format zapisu .obj ma możliwość transportu plików w pełnej gamie

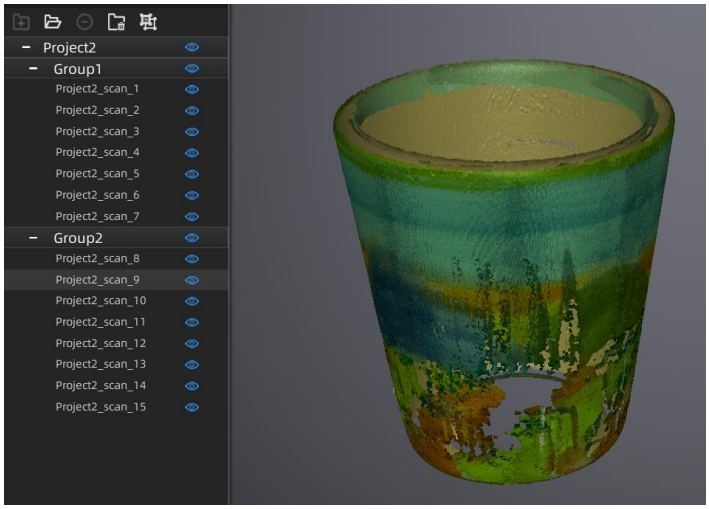
kolorów, co w przypadku druku wielokolorowego do zastosowań wizualnych może mieć znacznie. Ostatnim typem pliku jest .ply umożliwiający zbieranie danych właśnie z procesu skanowania i do tego celu utworzony. Wcześniej opisane pliki rozwijały się głównie ze względu na technologię druku 3D, a do skanowania 3D zostały zaadaptowane. Odpowiedni wybór pliku zależy od tego jakie są nasze dalsze plany związane z pracą z plikiem. W przypadku większości zastosowań takich jak połączenie druku 3D ze skanowaniem 3D wystarczający format pliku to .stl lub .3mf, jednak w przypadku wykonywania druku wielokolorowego wtedy .obj jest najbardziej właściwy. Interesującym plikiem jest .asc, który umożliwia pracę z plikiem w oprogramowaniu służących do diagnozy/inspekcji na przykład wymiarowo-kształtowej. Jako chmura punktów wymaga jednak pewnych zabiegów co nie jest procesem łatwym.

Na rysunku 13 przedstawiono skan 3D modelu o strukturze kolorowej, która poprzez zastosowanie druku 3D wielomateriałowego może zostać rozpoznana i odpowiednio wykonana. Następnie na rysunku 14 przedstawiono ten sam model z wykonaniem wszystkich niezbędnych procedur obejmujących wypełnianie ubytków powierzchni, proces wygładzania, łączenia poszczególnych skanów, czyli aproksymacji powierzchni w celu opracowania finalnego kształtu.

[Tekst alternatywny. Fotografia. Na fotografii przedstawiono model podczas procesu Skanowania 3D. Z lewej strony widoczny model ozdobny skanowany bez uwzględnienia tekstury i kolorystyki powierzchni, z prawej strony widoczny model z dodatkowo uzupełnioną teksturą i kolorem – oba modele są przed wypełnieniem powierzchni niezmierzonych, z widocznymi ubytkami powierzchni]




a)




b)

Rys. 13. Przykład obiektu podczas Skanowania 3D a) model bez tekstury (przed wypełnieniem) b) model z teksturą (przed wypełnieniem).

[Tekst alternatywny. Fotografia. Na fotografii przedstawiono model po zakończeniu procesu Skanowania 3D oraz aproksymacji. Widoczny jest element ozdobny z uzupełnionymi ubytkami, wysokiej jakości aproksymacji oraz bez wyraźnych wad powierzchni. Ponadto w sposób właściwy odtworzona została powierzchnia i kolorystyka w odniesieniu do oryginału]

Rys. 14. Przykład obiektu wraz z teksturą i kolorystyką po zakończeniu Skanowaniu 3D oraz aproksymacji.

# 5. Podsumowanie

W praktyce przemysłowej zastosowanie nowoczesnych narzędzi przemysłu 4.0 takich jak druk 3D i Skanowanie 3D co roku wzrasta bardzo dynamicznie. Postępujący rozwój cyfryzacji sprawia, że modelowanie 3D staje się codziennością a proces prototypowania niemal naturalną konsekwencją. Zastosowanie nowoczesnych narzędzi prototypowania usprawniając proces wytwarzania modeli służących testom skraca czas wdrażania produktów do masowej produkcji oraz pozwala dostosować produkty do oczekiwań klientów. W związku z tym od absolwentów kierunków technicznych takich jak Transport, oczekuje się wiedzy na temat funkcjonowania tych technologii oraz umiejętności ich obsługi i serwisu. Aby sprostać wzrostowi wydajności przedsiębiorstw oraz zwiększyć ich konkurencyjność Druk 3D połączony z szybkim narzędziem umożliwiającym inspekcje wykonanych modeli – Skanowaniem 3D stał się niemal codziennością współczesnego przemysłu produkcyjnego, w związku z tym dydaktyczna tematyka  z tego obszaru jest niezwykle istotna dla przyszłych absolwentów kierunków technicznych. Ważne z punktu widzenia użytkownika jest również przestrzeganie zasad związanych z bezpiecznym użytkowaniem maszyn realizujących Inżynierię Odwrotną (Drukarek 3D i Skanerów), gdzie kwestie te opisane zostały w wybranych publikacjach między innymi (Bochnia et al., 2024). Warto nadmienić, że pomimo, iż zawarte w przedstawionych materiałach treści dotyczą wybranych technologii druku 3D to jednak praca z plikami, modelowanie struktur podporowych, czy kwestie związane z bezpieczeństwem dla technologii druku 3D są pojęciami nowymi dla inżynierów i wymagają dużej wiedzy i doświadczenia.

Jak można zauważyć proces druku 3D jest niezwykle złożony i sama znajomość podstawowej technologii druku 3D – MEX w zastosowaniach w obszarze transportu może być nie wystarczająca, w związku z tym zaprezentowane Państwu materiały dodatkowe uzupełniają niejako wiedzę o informację dotyczące norm powiązanych z technologiami druku 3D, nazewnictwem, danymi dotyczącymi zamawiania modeli w przedsiębiorstwach zajmujących się usługowym drukiem 3D. Ponadto w przedstawionych materiałach zawarto informacje na temat parametrów technologicznych Druku 3D oraz kwestii związanych z obsługą takich maszyn - Drukarek 3D. Należy pamiętać, że technologie druku 3D z roku na rok rozwijają się i powstają nowe materiały oraz systemy druku 3D w związku z czym praca w obszarze druku 3D powinna obejmować również ciągłe samodzielne doskonalenie.

W obszarze skanowania 3D również obserwowany jest ogromny rozwój, szczególnie w obszarze skanerów światła strukturalnego oraz oprogramowania służącego inspekcji wymiarowej skanowanych obiektów. Sam proces skanowania bez właściwej analizy otrzymanej chmury punktów oraz na tej podstawie przeprowadzonej oceny dokładności wymiarowo-kształtowej jest w wielu przypadkach niewystarczający. Wraz z rozwojem skanowania 3D obserwowany jest spadek cen urządzeń co z całą pewnością wpłynie na zwiększenie popularności Skanowania 3D w przedsiębiorstwach i zwiększy zapotrzebowanie na pracowników posiadających odpowiednie kompetencje w tym obszarze. Laboratoria Politechniki Świętokrzyskiej Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn: Inżynierii Odwrotnej oraz Niekonwencjonalnych Technologii Wytwarzania (Kozior, 2025) dysponują wykwalifikowaną kadrą pracowników oraz wysokiej jakości parkiem maszynowym zarówno w obszarze Druku 3D i Skanowania 3D co podczas realizacji studiów pozostaje do Państwa dyspozycji zarówno w obszarze prowadzonej dydaktyki, rozwoju własnych pasji jak i realizacji prac dyplomowych.

Praca z plikami cyfrowymi zarówno w obszarze Druku 3D, Skanowania 3D jak i dalszej analizy otrzymanej chmury punktów wymaga niezwykle zaawansowanych umiejętności na przykład z obszaru metrologii, co sprawia, że inżynier kierunków technicznych musi znać nie tylko proces Druku 3D i przebieg Skanowania 3D ale i posiadać umiejętności analizy statystycznej wyników badań oraz obsługi oprogramowania wspierającego te procesy.

Podsumowując połączenie technologii Druku 3D i Skanowania 3D często nazywane Inżynierią Odwrotną wymaga zdobycia bardzo dużej wiedzy oraz umiejętności praktycznych z tym związanych. Mam nadzieję, że przedstawione materiały zainteresują i zaciekawią czytelników na tyle aby samodzielnie poszerzać swoją wiedze w obszarze nowoczesnych technologii wytwarzania.

## 6. Literatura

*Audi - 3D printing in prototyping*. (2018). Retrieved from https://3dprintingindustry.com/news/audi-gives-update-use-slm-metal-3d-printing-automotive-industry-129376/

Bochnia, J. (2019). Zastosowanie skanowania 3D w inżynierii odwrotnej. *Mechanik*, 194–196.

Bochnia, J., & Kozior, T. (2024). *Podstawy szybkiego prototypowania. Druk 3D. Technologia FDM/FFF*. Wydawnictwo Politechniki Swiętokrzyskiej.

*CEAD Group - 3D printer*. (2025). Retrieved from https://ceadgroup.com/large-format-3d-printing-with-pipg/

Confalone, G., Smits, J., & Kinnare, T. (2023). 3D SCANNING FOR ADVANCED MANUFACTURING, DESIGN, AND CONSTRUCTION. In 3D Scanning for Advanced Manufacturing, Design, and Construction. doi: 10.1002/9781119758532

*Engineering 3D scanning guide*. (2025). Retrieved from https://www.engineering.com/the-benefits-of-structured-light-scanning-for-manufacturing-reverse-engineering-and-quality-control-workflows/

EOS. (2025). *SLS materials,*. Retrieved from https://www.eos.info/en/additive-manufacturing/3d-printing-plastic/sls-polymer-materials

*Ford - Large-Scale 3D Printing*. (2017). Retrieved from https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2017/03/06/ford-tests-large-scale-3d-printing.html

*Ford 3D printing in prototyping*. (2024). Retrieved from https://formlabs.com/eu/blog/ford-new-explorer-sla-sls-3d-printing/?srsltid=AfmBOooYRBpLIttbkbef_eUYlxVsJUpIJXR5fK5uJz4YgtvGMw9dmvrP

*ISO/ASTM 52900:2021, Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary*. (2021).

*ISO/ASTM 52901:2017, Standard Guide for Additive Manufacturing-General Principles-Requirements for Purchased AM Parts*. (2017).

*Keyence 3D scanning*. (2025). Retrieved from https://www.keyence.com/products/3d-measure/3d-scanner/resources/structured-light-scanners-vs-laser-scanners.jsp

*Keyence Automotive models - 3D Scanning*. (2025). Retrieved from https://www.keyence.com/products/3d-measure/3d-scanner/resources/structured-light-scanners.jsp

Kozior, T. (2025). *Laboratorium Niekonwencjonalnych Technologii Wytwarzania, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Politechnika Świętokrzyska*. Retrieved from https://wmibm.tu.kielce.pl/wmibm/badania-i-nauka/laboratorium-niekonwencjonalnych-technologii-wytwarzania/

Liker, J. K., & L.Convis, G. (2019). The Toyota Way to Lean Leadership. In McGraw Hill.

Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2018). *Designing the Future*. Mcgraw Hill Book Co.
*Mototrend - Ford engine component*. (2015). Retrieved from https://www.motortrend.com/news/1505-3d-computer-printed-parts-speed-development-for-ford
*Nikon - SLM*. (2025). Retrieved from https://nikon-slm-solutions.com/industries/automotive/
*Optymalizacja topologiczna - Symkom*. (2024). Retrieved from https://symkom.pl/ansys-mechanical-optymalizacja-topologiczna/