

**ADAMSKI Włodzimierz** dr inż.

Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

[w\\_adamski@poczta.onet.pl](mailto:w_adamski@poczta.onet.pl)

## Wykorzystanie technologii Additive Manufacturing w przemyśle lotniczym

### Streszczenie

This article provides an overview of additive manufacturing technologies being used for the production of aircraft components and examples showing the direction of ongoing research and related developments. To meet the stringent conditions necessary to ensure safety in air travel, aerospace manufacturers must satisfy a long list of complex requirements for even the simplest part.

Korzyści z technologii przyrostowej stają się coraz bardziej powszechnie znane. Przewiduje się, że technologia ta szybko zrewolucjonizuje procesy produkcyjne w wielu branżach. Dla przemysłu lotniczego, procesy technologii przyrostowej muszą być tak opracowane i zbadane, aby zostały spełnione rygorystyczne wymagania branży lotniczej dla zapewnienia i osiągnięcia tych samych parametrów, jakie są otrzymywane przy zastosowaniu tradycyjnych metod produkcji.

Wymagania dla produkcji części do cywilnych samolotów oparte są na amerykańskich federalnych przepisach lotniczych US FAR bez spełnienia, których nie można uzyskać certyfikatu typu samolotu. Przepisy są obszerne i szczegółowe, ale dla technologii przyrostowej najbardziej odpowiednie zapisy znajdują się w części 14 rozdziału 25, podrozdziału D, podsekcji 25,605: *stosowanie i wytrzymałość użytych materiałów części, których uszkodzenie może niekorzystnie wpływać na bezpieczeństwo, należy: (a) ustalić na podstawie doświadczeń lub testów, (b) zapewnić zgodność z zatwierdzonymi normami (zarówno przemysłowymi lub wojskowymi), które zapewniają o ich wytrzymałości i inne właściwości w założeniach do danych projektowych, oraz (c) uwzględnić wpływ warunków otoczenia, takich jak temperatura i wilgotność, przewidywanych w czasie eksploatacji tych części lotniczych.* To znaczy, że wprowadzenie technologii przyrostowej do lotnictwa wymaga przeprowadzenia badań dowodowych.

Niniejszy artykuł stanowi przegląd technologii przyrostowej używanych do produkcji części samolotów oraz pokazuje kierunek dalszych badań i rozwoju. Są rozpatrywane następujące zagadnienia:

- Technologie **AM** (Additive Manufacturing)
- Spiekanie laserowe nowego stopu niklu IN625 Direct
- Elementy niemetale drukowane **3D**
- Przykłady części lotniczych wykonanych w technologii **AM**
- Przykłady wsporników lotniczych wykonanych w technologii **CNC** i **AM**
- Nowe konstrukcje skrzydła możliwe do wykonania jedynie w technologii **AM**
- Bezzałogowy samolot latający (**UAV**) wykonany w technologii **AM**

Przemysł lotniczy oraz kosmiczny jest **źródłem inspiracji i technologii** dla wielu różnych branż i sektorów. Dynamicznemu rozwojowi sprzyjają programy wspierania transportu lotniczego. Takimi przykładami zastosowania tych programów są projekty:

- Dreamliner 787
- Areobus A380
- Areobus A350

Technologie **AM** (*Additive Manufacturing*) charakteryzują się tym, że na podstawie modelu numerycznego w automatycznym procesie przez kolejne dodawanie materiału (-łów) wytwarzamy trójwymiarowe obiekty bez użycia specjalistycznych narzędzi.

W odniesieniu do zastosowania w praktyce, można zastosowanie **AM** podzielić na trzy odrębne kategorie:

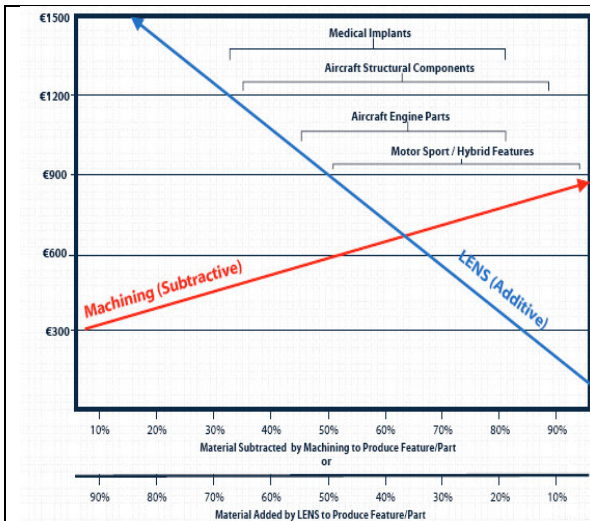
- szybkie wykonanie prototypów (*Rapid Prototyping* - **RP**),
  - produkcja form i odlewania modeli,
  - modelowanie do zastosowań medycznych,
- szybkie wykonanie przyrządów (*Rapid Tooling* - **RT**),
- szybkie wytwarzanie (*Rapid Manufacturing* - **RM**),

Technologia przyrostowa jest szczególnie przydatna, gdy:

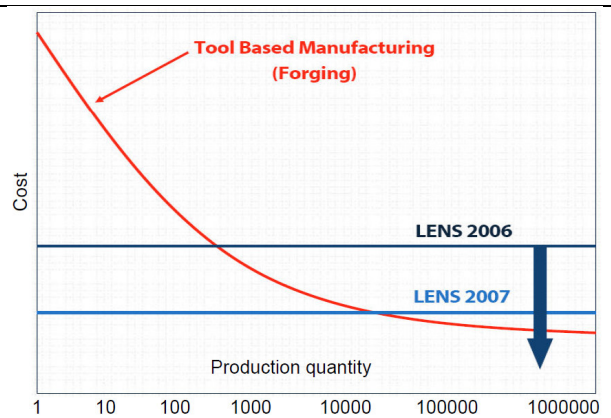
- wielkość produkcji jest stosunkowo niska,
- geometria części jest złożona,
- zastosowane materiały są drogie,

- materiały są trudne do przetwarzania w sposób konwencjonalny.

Pomimo wzrostu wielkości produkcji, przemysł lotniczy nadal musi produkować wiele części w bardzo małych ilościach (*Boeing Company, 2011*). Technologia przyrostowa, dzięki której można tworzyć gotowe części bez oprzyrządowania, eliminując związane z nimi koszty i opóźnienia jest, więc bardzo atrakcyjna dla tego przemysłu.



Rys. 1. Analiza kosztów części wykonanej w technologii ubytkowej i przyrostowej [1]

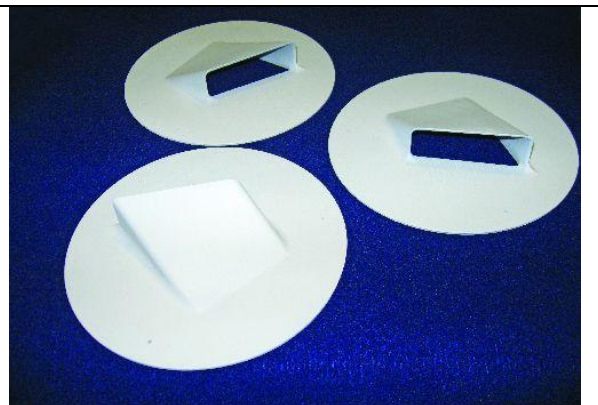


Rys. 2. Analiza kosztów części i oprzyrządowania wykonanego w technologii ubytkowej i przyrostowej [1]

Koszt obróbki zwiększa się wraz z ilością materiału, który jest usuwany. Na koszt ma także wpływ złożoność i skomplikowany kształt części. W technologii **AM**, koszty produkcji zwiększają się wraz z ilością dokładanego materiału, wzrost ten jest zwykle większy niż wzrost kosztów usuwania materiałów jednak koszt użytych materiałów jest niezależny od stopnia skomplikowania kształtu części rys. (1) i rys. (2). Coraz więcej firm lotniczych zaczyna stosować technologię przyrostową w produkcji.



Rys. 3. Kanał wewnętrzny samolotu F/A-18 **Hornet** wykonywany od wielu lat w technologii AM [5]

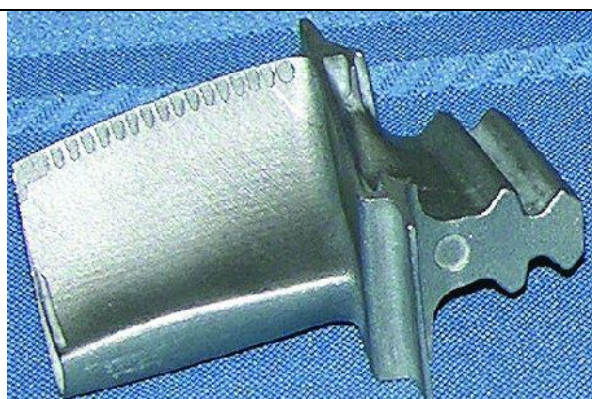


Rys. 4. Kanał wlotowy do samolotu [5]

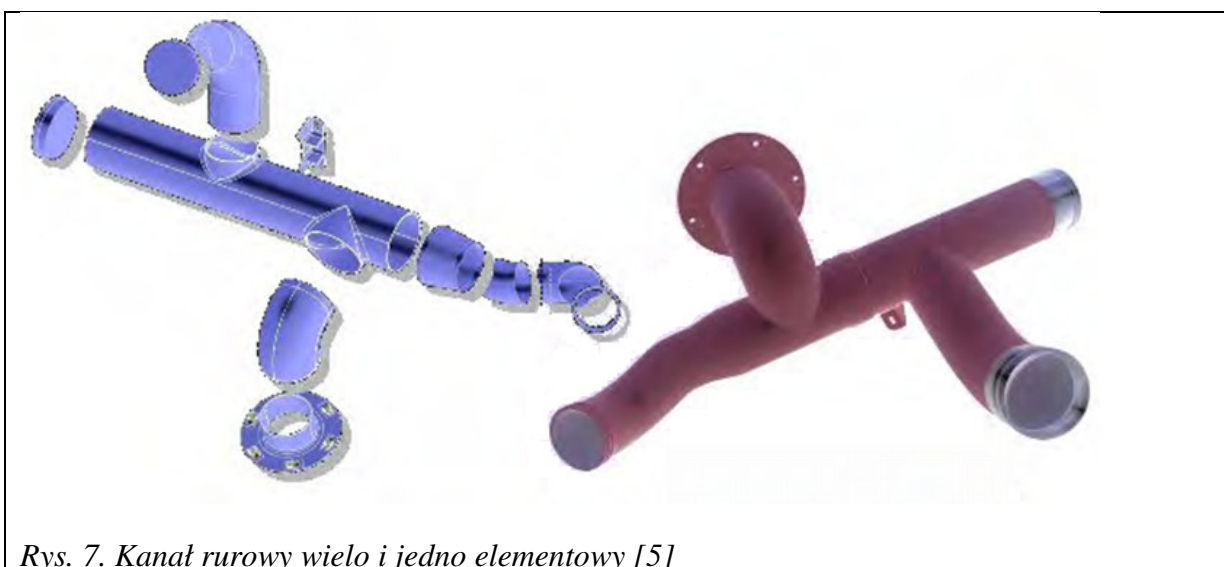
Oddział firmy Boeing w St. Louis potrafił zrealizować zamówienie na elementy kanału wlotowego do samolotu latającego na dużych wysokościach w ciągu dwóch dni. Były to części z tworzywa sztucznego do kanału wlotowego, które zostały zamontowane na prototypowym silniku. Wykonano je w technologii **AM** a następnie pomalowano rys. (4). Kolejnymi przykładami są kanały wewnętrzne samolotu F/A-18 **Hornet** wykonywane od wielu lat w technologii AM rys. (3), a także części oferowane dla przemysłu lotniczego przez firmę Royal Engineered Composites rys. (5) czy części prototypowe silnika **GE** rys. (6).



Rys. 5. Części oferowane dla przemysłu lotniczego przez firmę Royal Engineered Composites wykonane w technologii **AM** [5]



Rys. 6. Części prototypowe silnika **GE** wykonane w technologii **AM** [5]



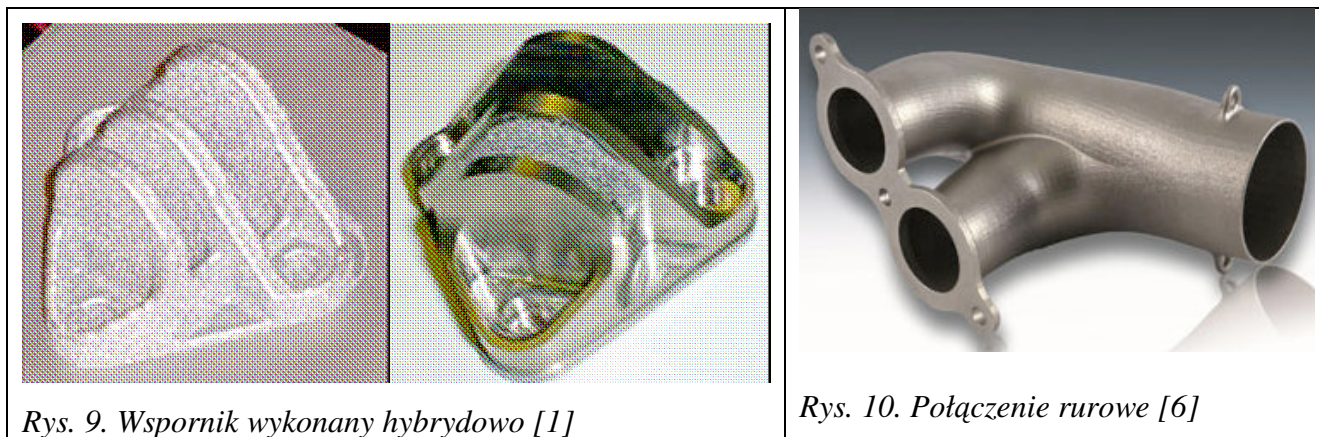
Rys. 7. Kanał rurowy wielo i jedno elementowy [5]

Wcześniej wykonywane zespoły kanału składały się z ponad 20 części rys. (7) (z *lewej strony*). Zastosowanie technologii **AM** pozwoliło na wykonanie kanału jako pojedynczej części (z *prawej strony*).

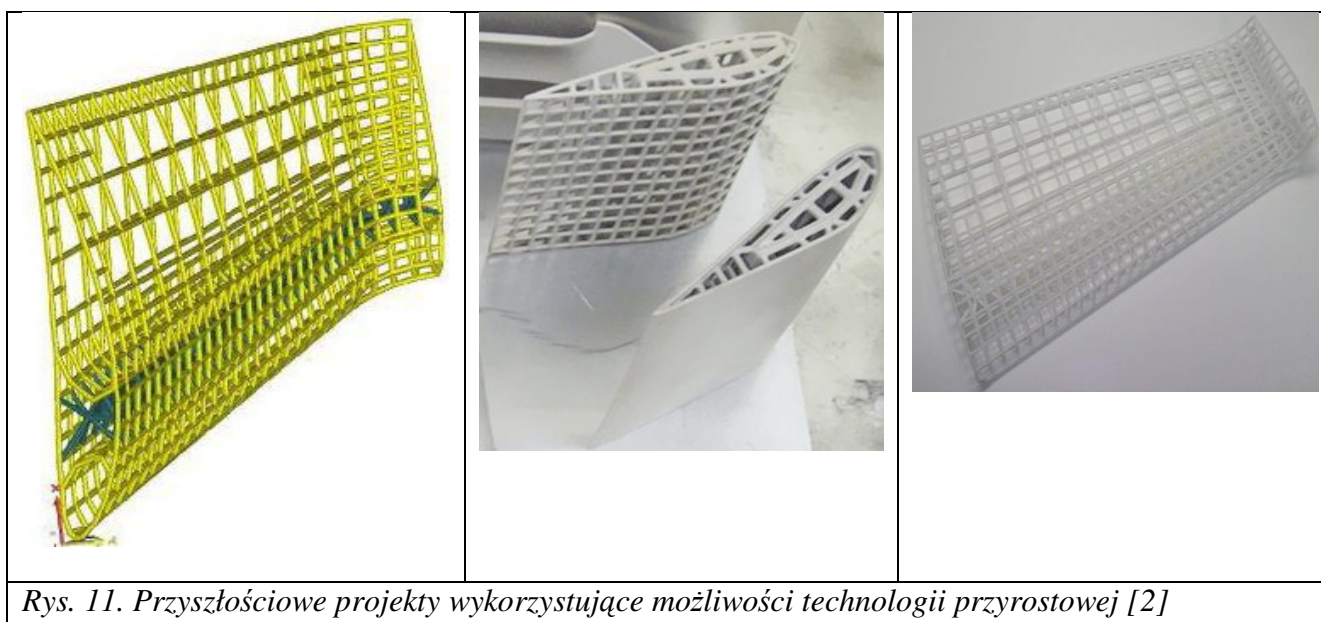
Na rysunku rys. (8) pokazano dwa wsporniki, z lewej strony wykonany tradycyjnie na maszynie **CNC**, z prawej zaprojektowany funkcjonalnie z wykorzystaniem już możliwości technologii **AM**. Wspornik z lewej strony wykonany w technologii **AM** (*projekt optymalizowany tzw. wspornik bioniczny*), z prawej strony w technologii ubytkowej na maszynie **CNC**.



Wspornik wykonany w technologii hybrydowej rys. (9), z lewej strony wykonany w technologii **AM**, z prawej strony ten sam wspornik wykończony na obrabiarce **CNC**. Jest to przykład zastosowania technologii hybrydowej.



W firmie **MorrisTechnologies**, zastosowano nowy stop niklu IN625 Direct do technologii **SLS** (*Selective Laser Sintering, spiekania laserowego metali*) przy produkcji skomplikowanych części dla przemysłu lotniczego pracujących w wysokich temperaturach i wymagających wysokiej wytrzymałości rys. (10). Przy zastosowaniu technologii **AM** osiągnięto właściwości materiału, które są porównywalne z odkuwkami i są znacznie wyższe niż przy odlewaniu. Technologia przyrostowa otwiera nowe możliwości dla konstrukcji nawet skomplikowanych zespołów lotniczych jako jeden element. Np. na rys. (11) pokazano przyszłościowe konstrukcje skrzydła możliwe do wykonania jedynie w technologii **AM**.



Rys. 11. Przyszłościowe projekty wykorzystujące możliwości technologii przyrostowej [2]

Mamy coraz więcej przykładów zastosowania tej technologii przy produkcji samolotów bezzałogowych rys. (12). Zdaniem autora należy spodziewać się bardzo dużego wzrostu udziału właśnie tej technologii przy produkcji samolotów bezzałogowych i wykorzystaniu w lotnictwie takich nowych materiałów jak Ultem 9085.



Rys. 12. Bezzałogowy samolot latający (UAV) wykonany w technologii AM na Uniwersytecie w Southampton [4]

**Jeden obraz może powiedzieć więcej niż tysiąc słów, ale prawdziwy prototyp powie więcej niż 1000 obrazów.**

Obecnie prowadzone badania naukowe oraz stosowanie przez takie znane firmy lotnicze jak Boeing technologii **SLS** (**S**elective **L**aser **S**intering - **S**elektywne **S**piekanie **L**aserowe) do produkcji części do samolotów komercyjnych i wojskowych spowodowało, że przemysł lotniczy ma możliwość stać się liderem w rewolucyjnym rozwoju technologii przyrostowych na świecie. Technologie te zapewniają bardzo wysoki poziom elastyczności produkcyjnej nie tylko w przemyśle lotniczym, ale w całym przemyśle maszynowym.

### **Podsumowanie**

Technologia przyrostowa umożliwia inżynierom zaprojektować takie konstrukcje, które mają taką samą lub lepszą funkcjonalność a są za to znacznie lżejsze. Kształty tej konstrukcji nie muszą spełniać wymagań obróbki maszynowej. Dotychczasowe zespoły składające się np. z kilkunastu części mogą być zastąpione równoważną jedną częścią. Firmy lotnicze jak np. GE Aviation podjęły inicjatywę przeprojektowania części w jednym z silników, aby radykalnie zmniejszyć jego ciężar wykorzystując technologię przyrostową. Czyli silnik ważący 2700 kg będzie lżejszy o 450kg.

Inżynierowie angielscy z firmy EADS pracując w tym samym budynku, w którym niegdyś budowano samoloty Concorde, zajmują się już produkcją w technologii przyrostowej wsporników podwozia i innych elementów statków powietrznych, w nadziei, że pewnego dnia będą w stanie wyprodukować do nich części krytyczne. Przewiduje się, że przy produkcji prototypów w roku 2020 ponad 50% części będzie wykonywanych w technologii przyrostowej

## Literatura

1. Klas Boivie, Ph.D. Introduction to Additive Manufacturing Technology: Basic Concepts, Applications and Possibilities
2. Brett Lyons, Additive Manufacturing in Aerospace Examples and Research Outlook, National Academy of Engineering Frontiers of Engineering 2011
3. Simon Lott, Additive layer manufacture expands options for airframes, 10.2009, The Bridge Linking Engineering And Society, 2012
4. Paul Marks, The world's first printed plane, NewScientist, 01.08.2011
5. Peter Zielinski, The Future of Manufacturing, Modern Machine Shop 7/3/2012
6. Doug Smock, Additive Manufacturing Technology Expands, Design News12/15/2010
7. Maximilian Munsch, Functional product through laser additive manufacturing of TiAl6V4, 29.02.2012, LZN

Badania realizowane w ramach Projektu "Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym", Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (PO IG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO

