

Marian Gielmuda ¹⁾

ZASTOSOWANIE METODY „RAPID PROTOTYPING” W BUDOWIE SILNIKA KJ – 66SM

Streszczenie: W artykule zawarto informacje na temat zastosowania metod szybkiego prototypowania w projektowaniu i prototypowaniu części maszyn. Opisano ich wpływ na czas realizacji projektu na przykładzie wlotu turboodrutowego silnika KJ – 66SM zbudowanego przez studentów Politechniki Lubelskiej przy wykorzystaniu trójwymiarowej drukarki proszkowej.

Słowa kluczowe: szybkie prototypowanie, drukowanie 3D, modelarskie silniki turbinowe, silnik KJ – 66SM, wlot silnika turbinowego.

WSTĘP

Pojęciem „Rapid Prototyping” (ang. szybkie prototypowanie) określa się zbiór metod projektowania służących do szybkiego, precyzyjnego i powtarzalnego produkowania addytywnych elementów. Historia stosowania metod szybkiego prototypowania sięga końca lat 90, właśnie wtedy znaczną popularnością zaczęło się cieszyć wykonywanie modeli makrocząsteczek za pomocą jednej z tzw. metod szybkiego prototypowania będących automatycznymi technikami budowy obiektów fizycznych na drodze: warstwowego klejenia, stapiania, spiekania czy utwardzania różnych materiałów za pomocą lasera lub innych wiązek promieniowania.

Wyróżnić można następujące metody szybkiego prototypowania:

- Stereolithography (SLA) – utwardzanie za pomocą lasera UV,
- Fused Deposition Modeling (FDM) – wtapienie porcji wypełniacza lub drutu,
- Selective Laser Sintering (SLS) – spiekanie za pomocą lasera cząstek budulca,
- Electron Beam Melting (EBM) – stapianie za pomocą wiązki elektronowej,
- Laminated Object Manufacturing (LOM) – sklejanie arkuszy papieru, tworzywa sztucznego lub metalu,
- Three Dimensional Printing (3DP) – sklejanie za pomocą nakładanego kleju.

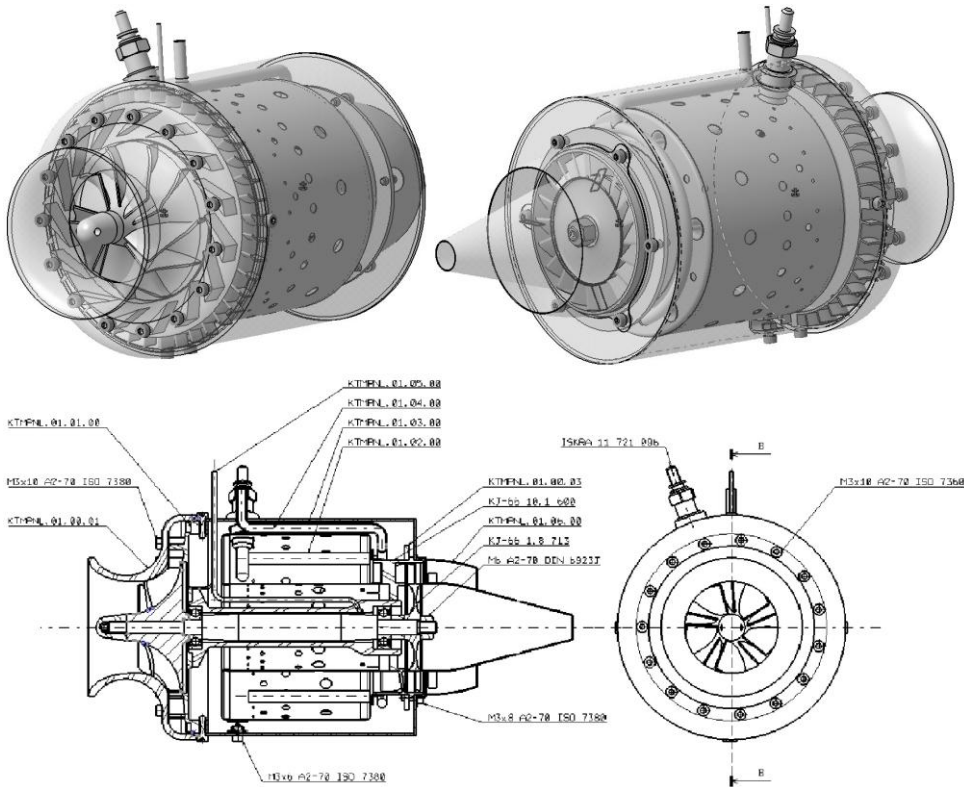
Metoda 3D Printing (3DP) – jest bardzo prostą i tanią metodą wykonywania modeli koncepcyjnych. Druk 3D polega na selektywnym zespalaniu warstwa po warstwie materiału proszkowego za pomocą strumieniowo dozowanej cieczy zespalającej zwanej lepiszczem. System drukujący tworzy fizyczne modele będą-

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Koło Naukowe Napędów Lotniczych.

ce dokładnym odwzorowaniem uprzednio zaprojektowanych komputerowo modeli w programach CAD.

SILNIK TURBINOWY KJ – 66SM

Metoda szybkiego prototypowania została użyta przy wykonaniu turboodrzutowego silnika o nazwie KJ–66SM. Jest to silnik do zastosowań modelarskich zbudowany przez studentów Politechniki Lubelskiej na bazie planów silnika KJ – 66 skonstruowanego przez Kurta Schrecklinga. Silnik KJ–66SM ma konstrukcję charakterystyczną dla większości silników turboodrzutowych małej mocy do tych zastosowań (rys. 1).



Rys. 1. Model 3D silnika KJ – 66SM oraz dokumentacja złożenia
Fig. 1. Model 3D of the engine KJ – 66SM and assembling documentation

Jest to jednowałowy i jednoprzepływowy silnik turboodrzutowy wyposażony w sprężarkę promieniową, co oznacza że powietrze przepływa we wlocie w kierunku osiowym, zaś w sprężarce zostaje skierowane w kierunku promieniowym. Silnik KJ–66SM posiada parownicową komorę spalania z przeciwbieżnym prze-

plywem paliwa. Sprężarkę napędza jednostopniowa reakcyjna turbina osiowa, na której rozprężane i przyśpieszane są spaliny. Silnik posiada, także dyszę zbieżną z wewnętrznym stożkiem formującym.

Pierwszym krokiem w realizacji projektu silnika KJ-66SM było stworzenie modelu i dokumentacji silnika na podstawie obliczeń gazo-dynamicznych i wytrzymałościowych. Na rysunku nr 1 został przedstawiony model 3D oraz dokumentacja złożenia silnika KJ-66SM wykonane przez studentów w programie Catia V5 [3].

PROTOTYP SILNIKA KJ-66SM

Na podstawie opracowanej dokumentacji technicznej wykonano prototyp silnika. Podstawowe podzespoły silnika takie jak: sprężarka, kierownica spalin, turbina, komora spalania, wlot i dysza wylotowa silnika zostały zakupione za granicą (tj. Chiny). Pozwoliło to na obniżenie kosztów i znaczne skrócenie czasu realizacji projektu, lecz jednocześnie wpłynęło w znacznej mierze na pojawienie się dodatkowych kłopotów. Najważniejsze z zakupionych części zostały przedstawione na rys. 2 [3].



Rys. 2. Części zakupione w Chinach

Fig. 2. Purchased parts in China

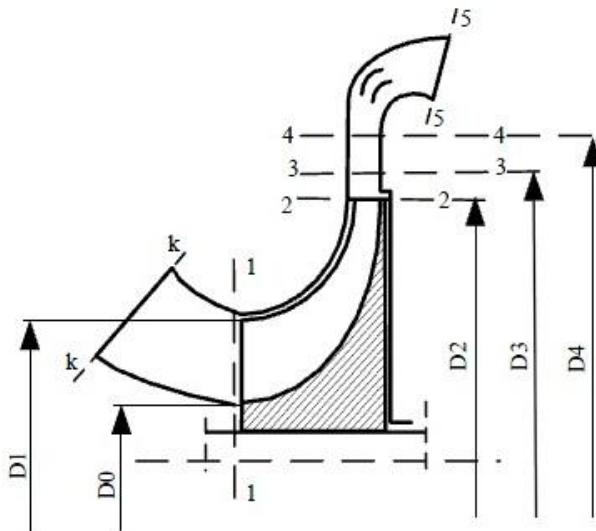
Największy problem pojawił się z związku z wlotem silnika. W projekcie wlot został zaprojektowany jako jednolita część wykonana z aluminium PA6 i ukształtowana w dyszę. Głównym zadaniem wlotów silników turboodrzutowych jest doprowadzenie do silnika odpowiedniej ilości powietrza przy w miarę równomiernym rozkładzie pola prędkości i ciśnień na wlocie do sprężarki. Jednocześnie zadaniem wlotu jest, także częściowa zmiana energii kinetycznej napływającego strumienia na energię potencjalną sprężonego powietrza. Ważne jest, także aby

wlot spełniał stawiane przed nim zadania we wszystkich fazach lotu przy jednocześnie możliwie dużych wartościach współczynnika zachowania ciśnienia i małych wartościach współczynnika oporów aerodynamicznych stawianych przez wlot [1].

Najważniejszym parametrem konstrukcyjnym poza kształtem chwytu powietrza jest luz wierzchołkowy łopatek sprężarki (luz między łopatkami sprężarki a wlotem silnika). Dla sprężarek odśrodkowych zaleca się aby luz ten nie przekraczał wartości około 0,2mm. W przypadku wlotu zakupionego w punktach krytycznych luz przekraczał wartość 5mm, co powodowało duże straty przeciekania przez luz promieniowy i jednocześnie wpływało na ciśnienie w komorze spalania i współczynnik nadmiaru powietrza. Zakupiony wlot nie spełniał tych wymagań co spowodowało wiele problemów i nieudanych prób stanowiskowych uruchomienia silnika. Zbyt duży luz powodował, że sprężarka zamiast sprężać powietrze i w odpowiedni sposób kierunkować jego przepływ funkcjonowała jak „mieszadło” jednocześnie nie dostarczając odpowiedniej ilości powietrza do spalania paliwa. Konieczne stało się całkowite przeprojektowanie i wykonanie wlotu.

OPRACOWANIE I WYKONANIE WLOTU SILNIKA

Wymiary geometryczne wlotu zostały uzyskane na podstawie obliczeń gazodynamicznych wlotu [2]. Obliczenia wlotu osiowego silnika KJ – 66SM zostały przeprowadzone przy założeniu, że w przekroju wlotowym, w osi silnika znajdowało się będzie opływowe ciało stałe (ponieważ konieczny będzie montaż rozrusznika silnika w tym przekroju). Na rys. 3 zostały przedstawione wymiary geometryczne przekroju wlotu silnika.



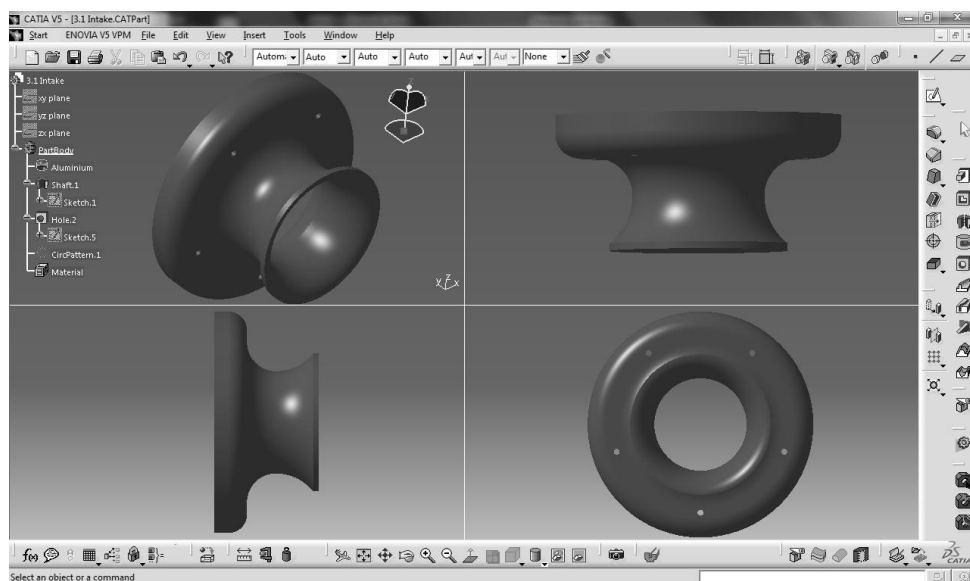
Rys. 3. Wymiary wlotu silnika
Fig. 3. The dimensions of the engine inlet

W tabeli poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wymiarów geometrycznych wlotu silnika. Obliczenia zostały przeprowadzone przy założeniach: prędkości lotu $c=100$ m/s i użycia jako sprężarki zaadaptowanego koła kompresora z turbosprężarki pojazdu trakcyjnego. Numer katalogowy sprężarki firmy KKK to: 5327 – 123 – 2000.

Kolejnym krokiem w realizacji projektu było stworzenie modelu 3D. Do tego celu użyto programu Catia w wersji V5R20. Stworzony model 3D wlotu silnika został przedstawiony na rysunku 4. Do fizycznego wykonania wlotu zdecydowano się na wybór jednej z metod szybkiego prototypowania tj. proszkowego drukowania 3D.

Tabela 1. Wyniki obliczeń wlotu silnika (results of calculations of the engine inlet)

Wymiar	Wartość [m]
D_0	0,014
D_1	0,046
D_2	0,065
D_3	0,072
D_4	0,093
D_k	0,070



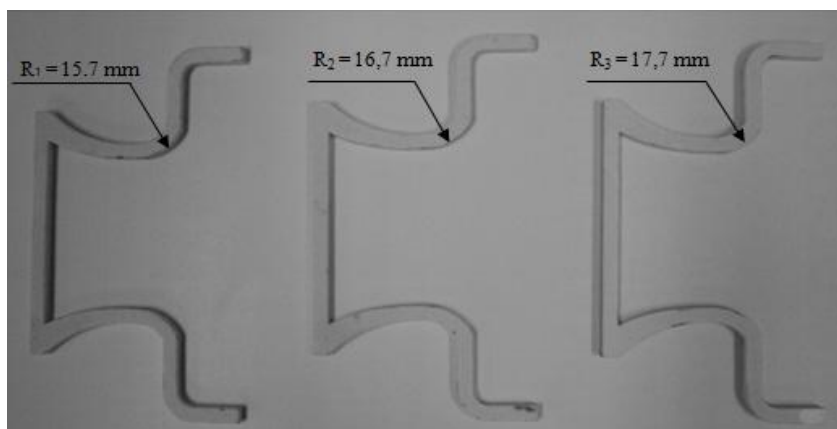
Rys. 4. Model 3D wlotu silnika
Fig. 4. 3D model of the engine inlet

Temperatura, w jakiej pracuje wlot silnika, mieści się w dopuszczalnych granicach pracy elementów wykonanych w drodze drukowania proszkowego. Wlot silnika nie jest narażony na obciążenia mechaniczne, jedynym odciążeniem dzia-

łającym na wlot jest obciążenie pochodzące od rozrusznika w czasie rozruchu silnika, gdy dochodzi do zasprężenia rotora z rozrusznikiem. Przy założeniu zastosowania grubości wlotu około 6 mm i dodatkowo wzmocnienie wydruku żywicą epoksydową przyjęto, że wydruk proszkowy powinien spełnić stawiane przed nim wymagania. Do wydruków użyto drukarki proszkowej 3D firmy Z Corporation model Z450, dostępnej w laboratorium Katedry Termodynamiki, Mechaniki Płynów i Napędów Lotniczych Politechniki Lubelskiej. Na potrzeby wydruku konieczny jest zapis plików modelowanych części w uniwersalnym formacie zapisu plików „.stl”.

Głównym problemem podczas projektowania wlotu silnika okazało się dopasowanie wewnętrznej powierzchni wlotu silnika do sprężarki a dokładnie do tworzącej łopatek sprężarki. Związane było to z brakiem dokładnych wymiarów koła sprężarki i trudnościami w pomiarze tych wielkości. Dlatego też zdecydowano się na dobór tych wielkości metodą kolejnych przybliżeń.

Do tego celu wydrukowano przekroje wlotu silnika w trzech wariantach promienia przejścia od prostoliniowej osiowej części wlotu do promieniowej części przechodzącej ze sprężarki do dyfuzora łopatkowego. Wydruki przedstawione zostały na rys. 5.

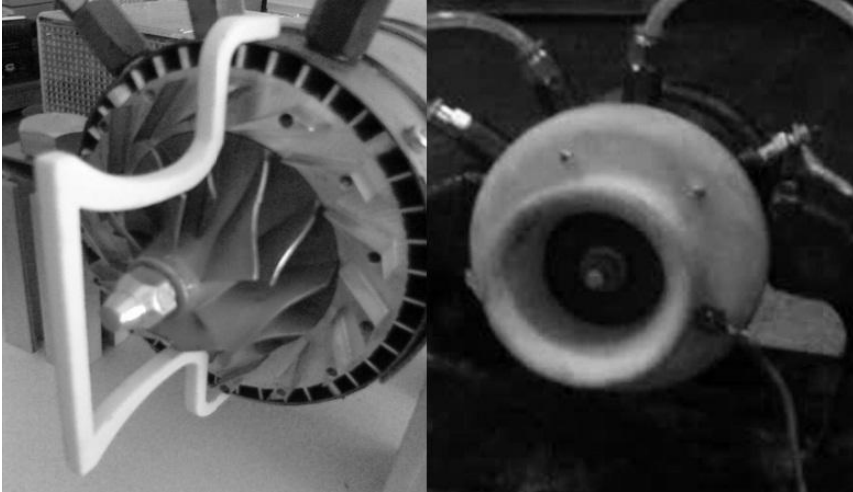


Rys. 5. Wydruki przekrojów wlotu silnika
Fig. 5. Print engine inlet sections

Następnie dobrano przekrój najbardziej odpowiedni do zmontowanego silnika. Z promieni R_1 , R_2 i R_3 wybrano promień $R_3=17,7\text{mm}$. Następnie wydrukowano kompletny wlot silnika i przeprowadzono kolejne próby stanowiskowe pracy silnika.

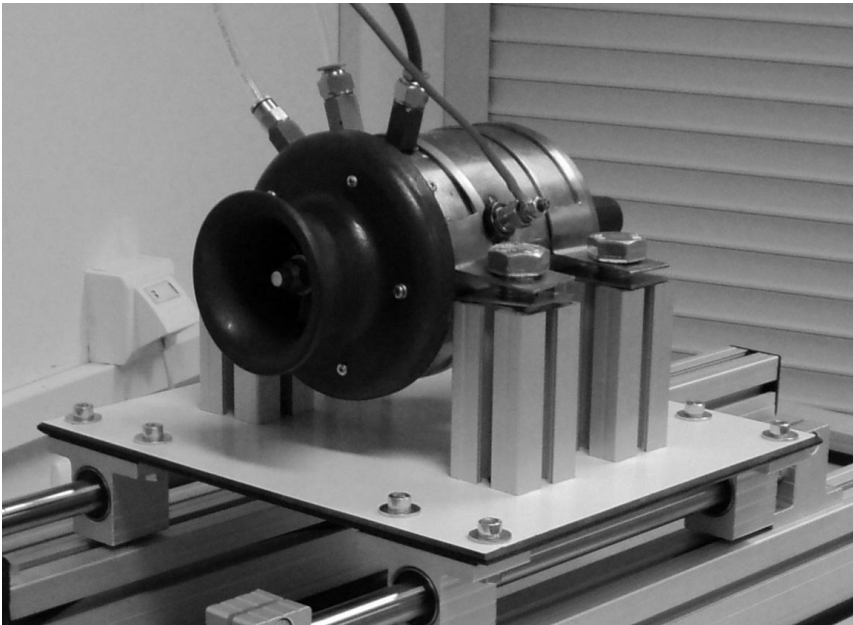
Próby te zakończyły się sukcesem. Z nowym wlotem zbudowanym przy użyciu metod „rapid prototyping” silnik po raz pierwszy podjął samodzielną pracę i funkcjonował zgodnie ze wcześniejszymi założeniami. Rysunek 6 po lewej stronie przedstawia sposób doboru właściwego przekroju wlotu silnika, zaś prawa

strona rysunku przedstawia zdjęcie z pierwszej próby uruchomienia silnika z wydrukowanym wlotem, zakończonej sukcesem.



Rys. 6. Dobranie właściwego przekroju wlotu (po lewej), pierwsza próba uruchomienia silnika z wydrukowanym wlotem (po prawej)

Fig. 6. Choosing the appropriate section of the inlet (left), the first test of the engine with a printed intake (right)



Rys. 7. Silnik KJ – 66SM zamontowany na stanowisku hamownianym

Rys. 7. Engine KJ - 66SM mounted on a test bed

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Metody szybkiego prototypowania z punktu widzenia projektowania i wytwarzania części maszyn są bardzo przydatnymi. Dzięki wykorzystaniu metod „rapid prototyping” w znacznym stopniu można przyspieszyć procesy projektowania i prototypowania. Bardzo często metody te używane są do budowania wielkogabarytowych elementów w odpowiedni sposób przeskalowanych. Do realizacji wydruku konieczny jest model 3D drukowanego elementu w uniwersalnym formacie zapisu co oznacza, że w modele wydruku mogą być zrealizowane w praktycznie każdym programie CAD (Computer Aided Design). Na przykładzie silnika odrzutowego KJ – 66SM zbudowanego przez studentów udowodniono jak bardzo przydatnymi narzędziami są drukarki 3D. Na rys. 6 przedstawiono końcowe wyniki projektu silnika KJ – 66SM zamontowanego na stanowisku hamownianym wyposażonego we wlot powietrza w postaci proszkowego wydruku 3D. Wlot dodatkowo w celu nadania odpowiedniej gładkości powierzchni pokryty został farbą emulsyjną. Nadmienić należy że na użytej drukarce można także wykonywać wydruki o dowolnej kolorystyce.

Główne korzyści płynące z możliwości zastosowania metod szybkiego prototypowania w projektowaniu i wytwarzaniu to na podstawie budowy silnika KJ–66SM to m.in.:

- skrócenie czasu realizacji projektu,
- obniżenie kosztów,
- wysoka jakość wykonania,
- możliwość szybkiego wprowadzenia zmian i przebudowania prototypu,
- zastosowanie prototypu do budowy obiektu rzeczywistego.

PIŚMIENNICTWO

1. Gielmuda M. : Projekt stanowiska hamownianego do badań silników turbinowych małych mocy, Praca dyplomowa pod kierunkiem dr inż. Jacka Czarnigowskiego, Politechnika Lubelska, Lublin 2011.
2. Kozłowski M : Projekt koncepcyjny modelarskiego silnika odrzutowego do napędu samolotu, Praca dyplomowa pod kierunkiem dr inż. Jacka Czarnigowskiego, Politechnika Lubelska, Lublin 2011.
3. Kraska J : Projekt techniczny silnika odrzutowego o ciągu rzędu 100 N, Praca dyplomowa pod kierunkiem dr inż. Jacka Czarnigowskiego, Politechnika Lubelska, Lublin 2011.

THE USE OF THE METHOD "RAPID PROTOTYPING" IN THE BUILD ENGINE KJ-66SM

Summary:

This paper provides information on the use of methods of rapid prototyping in the design and prototyping of machine parts. The paper describes the impact on the acceleration of these processes on the example of jet engine inlet KJ - 66SM built by students of the Lublin University of Technology using three-dimensional printer powder.

Keywords: rapid prototyping, 3D printing, model turbine engines, engine KJ-66SM, turbine engine inlet.