

ZINTEGROWANY SILNIK RAKIETOWO-STRUMIENIOWY

PIOTR WOLAŃSKI*, PIOTR KALINA**, MICHAŁ KAWALEC**

**Instytut Lotnictwa, **Centrum Technologii Kosmicznych, Instytut Lotnictwa*

Streszczenie

W artykule przedstawiono unikatową koncepcję budowy zintegrowanego silnika raketowo-strumieniowego. Proponowany system napędowy łączy różne tryby pracy tj.: raketowy, raketowo-strumieniowy, strumieniowy. Odpowiedni tryb pracy jest włączany w zależności od warunków lotu i realizowanej misji w celu optymalnego wykorzystania zalet poszczególnych układów wytwarzających siłę ciągu. Silnik raketowy służy do przyspieszenia obiektu do prędkości okołodźwiękowej. Dla zakresu prędkości 1-2 Ma napęd przechodzi w tryb raketowo-strumieniowy. Następnie układ napędowy przechodzi stopniowo na napęd strumieniowy. Silnik wyposażono w pierścieniową komorę spalania wykorzystującą efekt wirującej detonacji. Silnik taki ma prostą i zwartą konstrukcję dzięki wyeliminowaniu ciężkiego i skomplikowanego zespołu silnika turbinowego.

Słowa kluczowe: silnik raketowo-strumieniowy, spalanie detonacyjne, wirująca detonacja

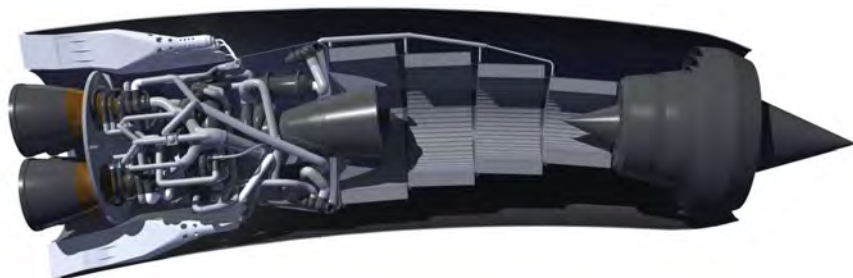
WPROWADZENIE

Od ponad pół wieku doskonalone są lotnicze napędy odrzutowe oraz chemiczne napędy raketowe, których parametry pracy zbliżają się dziś do teoretycznie możliwych. Pomimo tego ciągle trwają prace nad udoskonaleniem tych napędów, obniżeniem kosztów ich produkcji i eksploatacji oraz poszukiwaniem bardziej ekologicznych rodzajów napędów lotniczych i kosmicznych. W tym aspekcie coraz większe zainteresowanie znajdują zintegrowane silniki raketowo-strumieniowe.

Zintegrowane napędy oferują znacznie większe osiągi w szczególności do napędu obiektów poruszających się z bardzo zróżnicowanymi prędkościami. Dotyczy to w szczególności napędu przyszłościowych naddźwiękowych samolotów transportowych. Silnik taki może być wykorzystany także jako booster do 1 stopnia rakiety nośnej (wspomaganie startu).

Obecnie proponowane zespoły napędowe oferują budowę złożonych układów opartych na zintegrowanych silnikach turbo-odrzutowych połączonych z napędem strumieniowym (silnik JT 11D-20B zastosowany do napędu samolotu SR-71 „BlackBird”). Wadą tego rodzaju rozwiązania jest nie tylko bardzo duża złożoność systemu lecz również ich duża masa. Zasadniczą częścią masy takiego silnika stanowi silnik turbinowy, który jest wykorzystywany tylko w momencie przyspieszania obiektu (samolotu czy pocisku) od startu do osiągnięcia prędkości naddźwiękowej. W fazie lotu naddźwiękowego (hipersonicznego) główną rolę napędu przejmuje silnik strumieniowy, którego masa i złożoność jest znacznie mniejsza niż

silnika turbinowego. Rząd brytyjski finansuje obecnie prace rozwojowe nad silnikiem SABRE (Synergistic Air-Breathing Rocket Engine) dla „rakietyplanu Skaylon” [1]. Silnik jest zespolonym silnikiem raketowo-strumieniowym (bez wykorzystania zjawiska wirującej detonacji) z zespołem turbosprężarkowym oraz bardzo wydajnym układem schładzającym powietrze. Według założeń za pomocą tej jednostki możliwe będzie wynoszenie na niską orbitę okołoziemską ładunków o masie do 15 ton przy koszcie na poziomie 20% obecnych kosztów. W silniku „SABRE” przewiduje się dwustopniowy cykl pracy: w pierwszym do wysokości 26000 m pracuje jak silnik odrzutowy a następnie następuje zamknięcie wlotu i silnik pracuje w trybie raketowym. Poniżej na Rys.1 przedstawiono schemat silnika SABRE.



Rys. 1. Schemat silnika SABRE

(http://www.reactionengines.co.uk/images_library/sabre/sabre_no_notes_11.jpg)

Dane techniczne silnika SABRE:

- Impuls właściwy (n.p.m.): 35000 [m/s] (uwzględniono tylko strumień paliwa)
- Impuls właściwy (próżnia): 4500 [m/s]
- Ciąg (n.p.m.): ok. 1350 [kN]
- Ciąg (próżnia): ok. 1800 [kN]
- Zużycie paliwa w atmosferze: 20% konwekcyjnego silnika raketowego

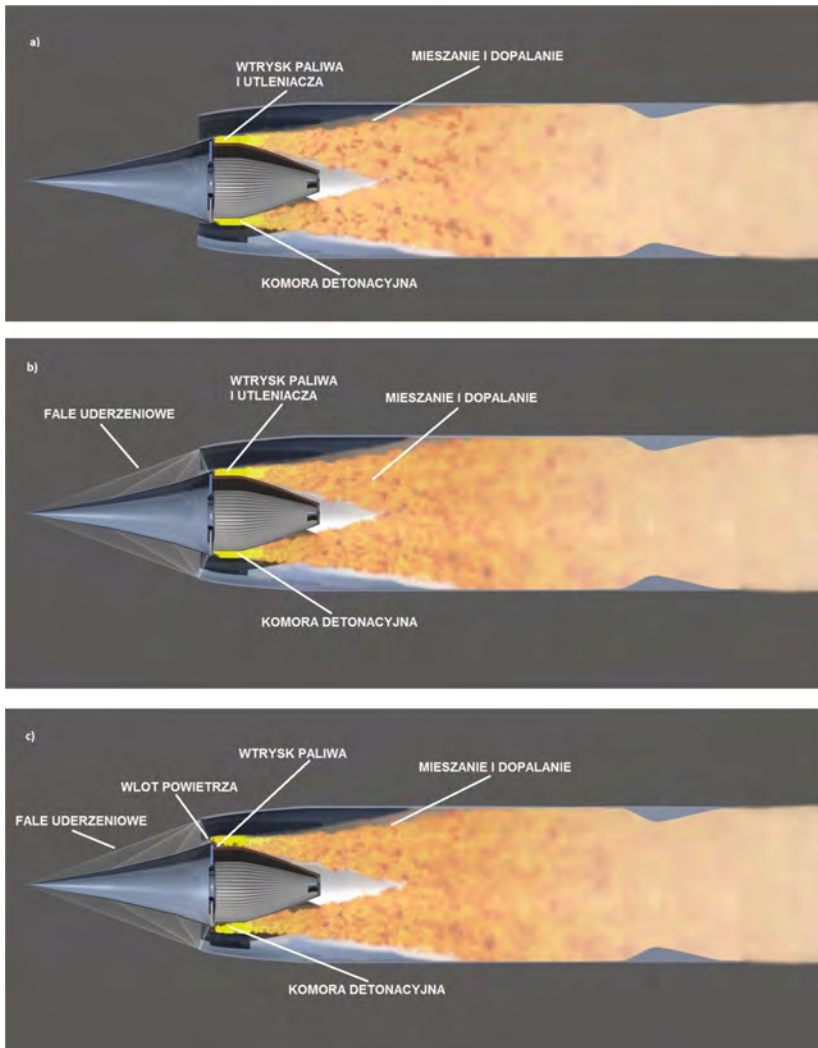
OPIS ROZWIĄZANIA

W proponowanym rozwiązaniu planuje się zastosowanie do napędu obiektu, zintegrowanego silnika raketowo-strumieniowego. Proponowany system napędowy łączy różne tryby pracy tj.: raketowy, raketowo-strumieniowy, strumieniowy. Zastosowanie takiego rozwiązania pozwala wyeliminować ciężki i skomplikowany zespół silnika turbinowego w stosowanych dotychczas zintegrowanych silnikach turbo-odrzutowych połączonych z napędem strumieniowym.

Odpowiedni tryb pracy jest włączany w zależności od warunków lotu i realizowanej misji w celu optymalnego wykorzystania zalet poszczególnych układów wytwarzających siłę ciągu. Silnik raketowy służy do przyspieszenia obiektu do prędkości okołołdźwiękowej. Dla zakresu prędkości 1-2 Ma napęd przechodzi w tryb raketowo-strumieniowy. Strumień powietrza dostaje się do silnika przez wlot naddźwiękowy i służy dopaleniu gazów spalinowych wypływających z dyszy silnika raketowego. Wzrost entalpi gazów spalinowych wytwarza dodatkową siłę ciągu a to przede wszystkim dzięki dopalaniu w strumieniu napływającego powietrza bogatych w palne składniki produktów niezupełnego spalania z silnika raketowego. Następnie układ napędowy przechodzi stopniowo na napęd strumieniowy. Zakres prędkości dla trybu strumieniowego jest realizowany dla liczb Macha większych od 2. W tym trybie silnik raketowy jest wyłączony lub pracuje w charakterze generatora bardzo przebogaconych w paliwo produktów niezupełnego spalania bogatej mieszaniny palnej zasilającej silnik strumieniowy. Tryb raketowy może być ponownie włączony (np. w przypadku boostera rakiety

kosmicznej) gdy gęstość powietrza (przy wzroście wysokości lotu) zmniejszy się na tyle, że niemożliwe będzie dopalanie produktów niezupełnego spalania.

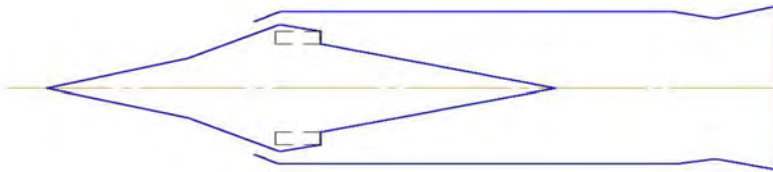
Silnik taki, wyposażony w komorę pierścieniową wykorzystującą efekt wirującej detonacji [1] oraz dyszę typu aerospike w sposób naturalny może przechodzić z trybu raketowego na tryb strumieniowy i odwrotnie. W trybie raketowym silnik pracowałby wykorzystując ciekłe paliwo węglowodorowe i ciekły utleniacz (tlen, powietrze, nadtlenek wodoru), podczas gdy w trybie strumieniowym wykorzystywane byłoby wstępne spalanie w komorze pierścieniowej przeboganej mieszaniny sprężonego powietrza z paliwem węglowodorowym a dopalanie przeboganych w paliwo produktów częściowego spalania odbywało by się w sekcji strumieniowej silnika. Schemat takiego silnika pracującego w różnych warunkach lotu przedstawiony jest na Rys. 2.



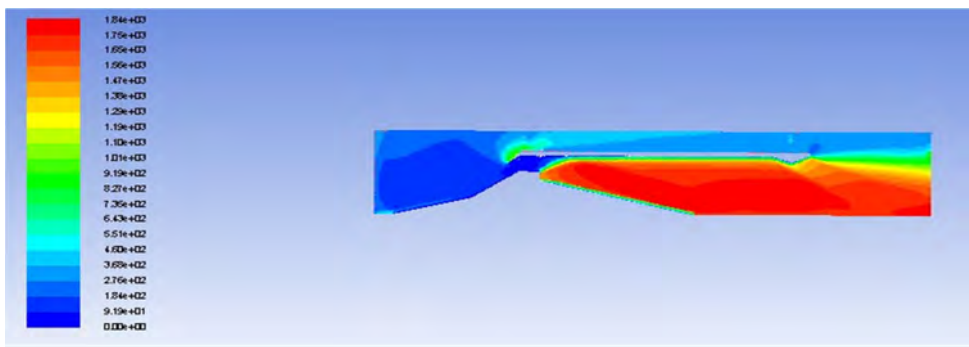
Rys. 2. Schemat pracy zespólnego silnika raketowo-strumieniowego: a) tryb raketowy, b) tryb przejściowy raketowo-strumieniowy, c) tryb strumieniowy z detonacyjną komorą wstępną wykorzystującą wirującą detonację do wytworzenia przeboganych w paliwo produktów detonacji, których dopalanie generowało by zasadniczy ciąg silnika. (wykonanie M. Kawalec)

Zastosowanie do silnika detonacyjnej komory spalania pozwoli na znaczne podniesienie sprawności silnika, uproszczenie konstrukcji, zmniejszenie jego masy oraz obniżenie kosztów jego wytwarzania.

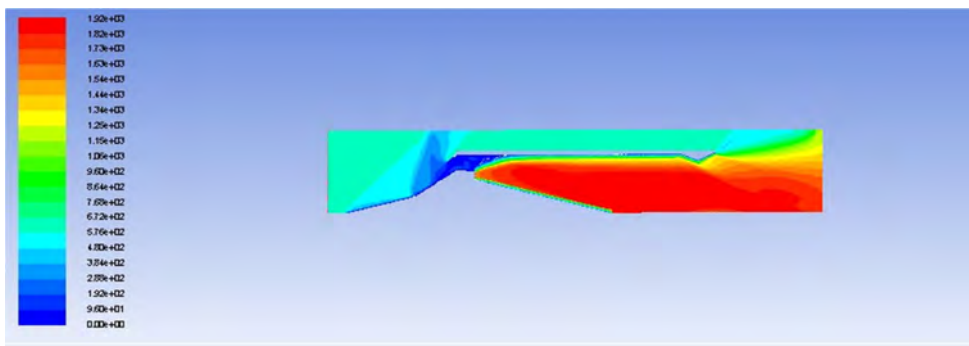
Przeprowadzona wstępna numeryczna analiza pracy takiego silnika wykazuje, że możliwe jest efektywne wykorzystanie tego rodzaju napędu do przyszłościowych naddźwiękowych samolotów pasażerskich latających na dużych wysokościach jak również jako silniki wspomagające start rakiet kosmicznych. Schemat konstrukcyjnego układu takiego silnika wykorzystanego do obliczeń numerycznych jest pokazany na Rys. 3 a numeryczna analiza jego pracy na Rys. 4 i 5.



Rys. 3. Schemat zintegrowanego silnika raketowo-strumieniowego [2]



Rys. 4. Rozkład prędkości wewnątrz i na zewnątrz silnika dla prędkości Mach=1 [2]



Rys. 5. Rozkład prędkości wewnątrz i na zewnątrz silnika dla prędkości Mach=2 [2]

Wyniki wstępnych obliczeń numerycznych potwierdzają możliwości uzyskania zwiększonych osiągnięć z pracy tego rodzaju układu zespolonego w warunkach lotu atmosferycznego [2]. Opracowanie takiego nowatorskiego rozwiązania pozwoliłoby na uproszczenie konstrukcji oraz zwiększenie efektywności pracy napędów odrzutowych mogących mieć zastosowanie do

transportu naddźwiękowego i boosterów rakiet kosmicznych. Aby to osiągnąć konieczne jest jeszcze rozwiązanie szeregu skomplikowanych problemów technologicznych jak: opanowanie obu trybów pracy silnika oraz zapewnienie stabilnego przejścia między trybem raketowym i strumieniowym, systemu tworzenia mieszaniny palnej, chłodzenia ścianek komory oraz optymalizacji geometrii takiego zespolonego silnika

LITERATURA

- [1] Reaction Engines
- [2] Qiaofeng Xie and Piotr Wolanski (2013). *Theoretical analyses of performance of the integrated rocket-ramjet engine*. IAC, Spetember 2013, Beijing, China.

INTERGRATED ROCKET-RAMJET ENGINE

Abstract

The article presents a unique concept for the construction of integrated rocket-ramjet engine. The proposed power system combines following operation modes of engine: rocket, rocket-ramjet and ramjet. The appropriate mode of operation is activated depending on flight conditions and undertaken mission in order to optimal utilization of advantages of particular thrust generating systems. Rocket engine is used to accelerate an object to the circum-sound speed. For object speed in range of 1 to 2 Ma the drive changes mode of operation to rocket-ramjet one. Then the driving system gradually undergoes to ramjet mode. Engine is equipped with toroidal combustion chamber which uses effect of rotating detonation. Thanks to elimination of heavy and complex turbine engine assembly the presented engine is distinguished by simple and compact structure.

Keywords: Rocket-ramjet engine, rotating detonation, detonative combustion