

Witam Panów

Zadanie dla Was na kolejny tydzień (15.06 – 19.06):

Należy zapoznać się z przesłanym materiałem dotyczącym silników rakietowych, opracowanym przez Waszego kolegę Jędrzeja Adaszka z klasy Itb1.

Zaliczeniem zadania będzie przesłanie informacji do mnie z krótkim komentarzem – jak oceniacie poziom opracowania, wiedzę kolegi, czy Was zainteresował temat.

Do środy 17.06 muszę wystawić Wam oceny końcowe. Większość z Was spełniło polecenie i do 12.06 dostarczyło wszystkie zadane prace – te osoby mogą liczyć na pozytywne oceny, będą nawet czwórki, a może i jakaś piątka się trafi.

Niestety, kilku z Was w dalszym ciągu zwleka z przesłaniem prac i ci mogą mieć kłopoty z zaliczeniem. Dlatego nie wnikając w przyczyny, **ostatecznie** przedłużam termin oddawania prac do wtorku.

Życzę ciekawej lektury, a spóźniałskim pełnej mobilizacji i owocnej pracy.

Karol Pec

Silniki raketowe

Silnik raketowy jest rodzajem silnika odrzutowego wykorzystującego zjawisko odrzutu substancji roboczej. Silnik taki jest silnikiem chemicznym wykorzystującym procesy chemiczne, takie jak spalanie (utlenianie) do swojego działania. Silnik nie pobiera żadnej substancji roboczej z otoczenia co pozwala mu działać w próżni. Silniki te służą do napędzania wszelkiego rodzaju raket.

Fizyka silnika

Silnik raketowy funkcjonuje w oparciu o dwie bardzo proste zasady:

- Dwa ośrodki o różnym ciśnieniu, nie oddzielone od siebie żadną barierą, nie mogą obok siebie istnieć i dążą one do wyrównania ciśnienia między sobą.
- Jeżeli ciało A działa na ciało B to ciało B działa na ciało A z tą samą siłą, kierunkiem, lecz o przeciwnym zwrocie.

Oznacza to mniej więcej tyle, że możemy sprężyć w zbiorniku dowolną substancję roboczą np. gaz. Następnie otwierając ten zbiornik, gaz zacznie się rozprężać i wylatywać z niego z dużą prędkością nadając mu przyspieszenie, zgodnie z trzecią zasadą dynamiki Newtona.



Im ciśnienie większe tym rozprężający się gaz osiąga większą prędkość, a co za tym idzie nadaje nam większe przyspieszenie. Jednakże im większe ciśnienie tym potrzebujemy wytrzymalszy zbiornik, w przeciwnym razie ten eksploduje, ponieważ siła nacisku gazu na jego wewnętrzne ścianki będzie zbyt duża. Aby wzmocnić taki zbiornik najczęściej trzeba pogrubić jego ścianki, a co za tym idzie zwiększyć jego masę. Nam jednak zależy na tym, żeby rakieta była najlżejsza jak tylko się da, aby mogła ona wynieść jak największy ładunek na orbitę. Aby obejść ten problem we wszystkich silnikach raketowych stosowane są turbo-pompy (turbo-sprężarki) zwiększające przepływ i ciśnienie substancji roboczej. Pompa taka napędzana jest przez mniejszy silniczek raketowy, nazywany „Preburner”, którego gazy wylotowe popychają łopatkę wirnika, który po przez wał przekazuje swoją energię mechaniczną pompom. Również aby zwiększyć ciśnienie w silniku, a nie w zbiorniku stosowana substancja robocza jest dwuskładnikowa, która po zmieszaniu ze sobą gwałtownie reaguje i wybuch zwiększając znacznie ciśnienie. Jednym ze składników jest paliwo, różne w zależności od modelu silnika, drugim natomiast niezmiennie jest ciekły tlen (w skrócie LOX) pełniący rolę

utleniacza. Tlen jest pierwiastkiem silnie reaktywnym, jego temperatura wrzenia to zaledwie 90K, oznacza to, że to on pozwala mieszanke wybuchnąć, a silnikowi działać. Niestety niska temperatura wrzenia oraz wysoka reaktywność tlenu jest również jego wadą, czyni to z niego bardzo niebezpieczną substancję. Tlen taki również szybko paruje i zaczyna ulatywać ze zbiorników. Czynniki te powodują, że zbiorniki rakiety tankowane są na chwilę przed odlotem, a tlen jest uzupełniany na bieżąco do samego odlotu rakiety przez specjalne przewody, odrywające się od rakiety wraz z jej wzlotem.

Parametry silników

Każdy silnik raketowy ma swoje podstawowe parametry mówiące o jego działaniu i zastosowaniu:

1. Ciąg [N]

Ciąg jest to siła jaka powstaje przy wyrzucaniu przez dyszę substancji roboczej, np. gazów będących produktem spalania paliwa. Aby rakietę mogła się wznieść, ciąg musi być większy od jej ciężaru startowego. Wraz ze wzrostem wysokości, a co za tym idzie spadku ciśnienia, ciąg silnika rośnie, ponieważ jest coraz większa różnica ciśnienia gazów w silniku z gazami w otoczeniu. Im ta różnica większa tym gazy wylotowe silniej się rozprężają i osiągają większą prędkość, a za lecącą raketą możemy zobaczyć coraz to większy pióropusz gazów.

Obraz taki możemy zobaczyć przy starcie każdej rakiety, ale oczywiście efekt wizualny najlepszy jest w nocy, kiedy na ciemnym niebie możemy zobaczyć całą poświatę gazów wylotowych przypominających nieco zorzę polarną. Przez takie zjawisko podajemy ciąg silnika dla wysokości 0 km nad poziomem morza oraz dla próżni z dopiskiem [Vac] od angielskiego słowa vacuum czyli próżnia.



2. Czas pracy [s]

Jest to maksymalny czas w jakim silnik może pracować nie ulegając żadnym uszkodzeniom. Silnik raketowy jest silnikiem chemicznym o sprawności ok 70%, czyli mimo wszystko pewna energia gazów wylotowych jest tracona na skutek choćby nagrzewania się silnika. Silnik nagrzewa się do gigantycznych temperatur i pracując za długo mógłby się zacząć odkształcać, co za tym idzie pracować niepoprawnie a ostatecznie nawet stopić.

3. Impuls całkowity [Ns]

Impuls całkowity oznacza popęd (zmianę pędu) jaki może wykonać dany silnik, równy iloczynowi siły ciągu silnika i jego czasu działania. Jest oznaczany jako jego jednostką jest Ns (niutonosekunda). Określony jest wzorem:

$$I_c = P \cdot t$$

Przykładowo, silnik o ciągu 200 N pracujący przez 3 sekundy zmienia pęd rakiety o 600 Ns, czyli tyle wynosi impuls całkowity będący efektem pracy silnika. Silnik o ciągu 100 N pracujący 6 sekund również ma impuls całkowity 600 Ns. Jednak Impuls właściwy sam z siebie nic nie oznacza i ważniejszym parametrem jest impuls właściwy.

4. Impuls właściwy (ISP) [s]

Dla określenia wydajności danego silnika używa się impulsu właściwego, czyli impulsu na jednostkę masy (lub ciężaru) silnika bądź samej substancji roboczej. Impuls właściwy oraz ciąg silnika wiąże wzór:

$$I_w = \frac{P \cdot t}{Q}$$

$$I_w = \frac{I_c}{Q}$$

Gdzie:

P – ciąg [N]

I_w – impuls właściwy [s]

Q – ciężar substancji roboczej w warunkach ziemskich [N]

t – czas pracy silnika [s]

Impuls właściwy podajemy dla wysokości 0km oraz dla próżni z dopiskiem [Vac], wynika to ze wzrostu ciągu silnika wraz ze spadkiem ciśnienia.

Paliwo raketowe

Możemy wyróżnić kilka najpopularniejszych paliw raketowych i ich specyfikację.

		RP-1	Metan (Methane)	Wodór (Hydrogen)
1	Gęstość	813 g/L	422 g/L	70 g/l
2	Tlen : Paliwo (stosunek masy)	2,7 : 1	3,7 : 1	6 : 1
3	1 Litr LOX : X Litrow Paliwa	1 : 0,52	1 : 0,73	1 : 2,7
4	Maksymalny teoretyczny ISP	370s	459s	532s
5	Temperatura w komorze	3670K	3550K	3070K
6	Temperatura wrzenia	490K	111K	20K
7	Produkty spalania	CO_2 , H_2O , inne zanieczyszczenia	CO_2 , H_2O	H_2O
8	Produkcja na Marsie	Nie	Tak	Tak

Najgorsze	Średnie	Najlepsze
-----------	---------	-----------

1. Gęstość

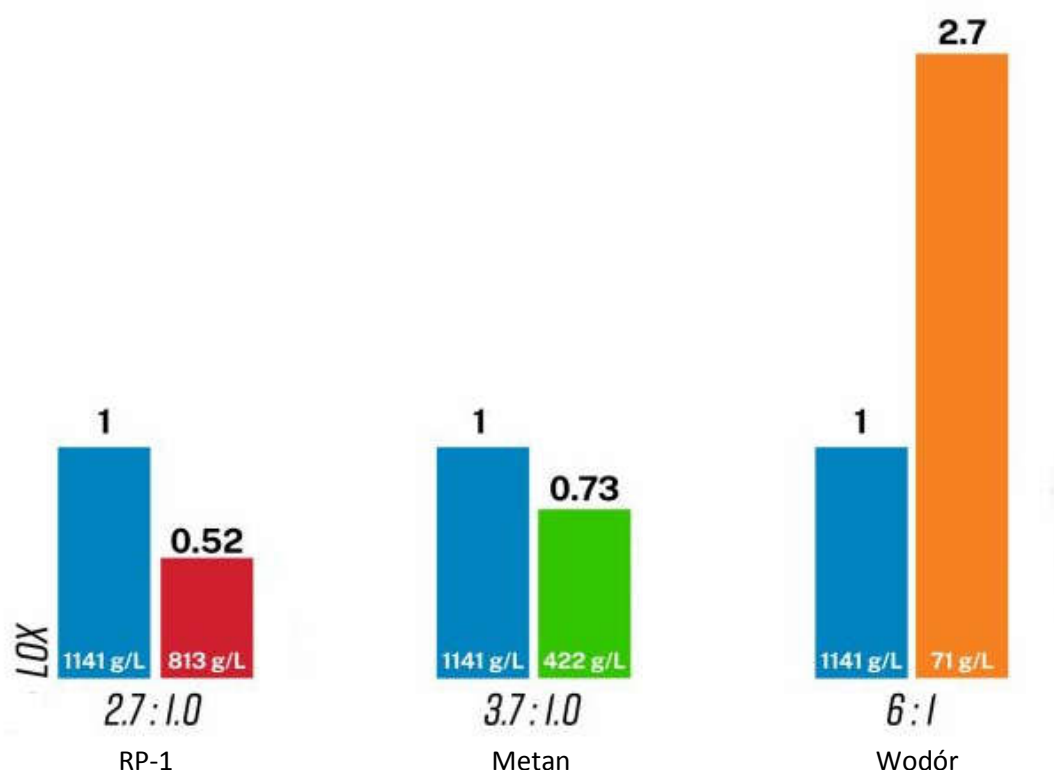
Im większa gęstość paliwa tym lepiej, ponieważ jesteśmy w stanie wziąć więcej tego paliwa przy jego mniejszej objętości. Co pozwala zebrać nam ze sobą znacznie więcej paliwa, zwiększyć ciąg oraz zasięg rakiety.

2. Tlen : Paliwo (stosunek)

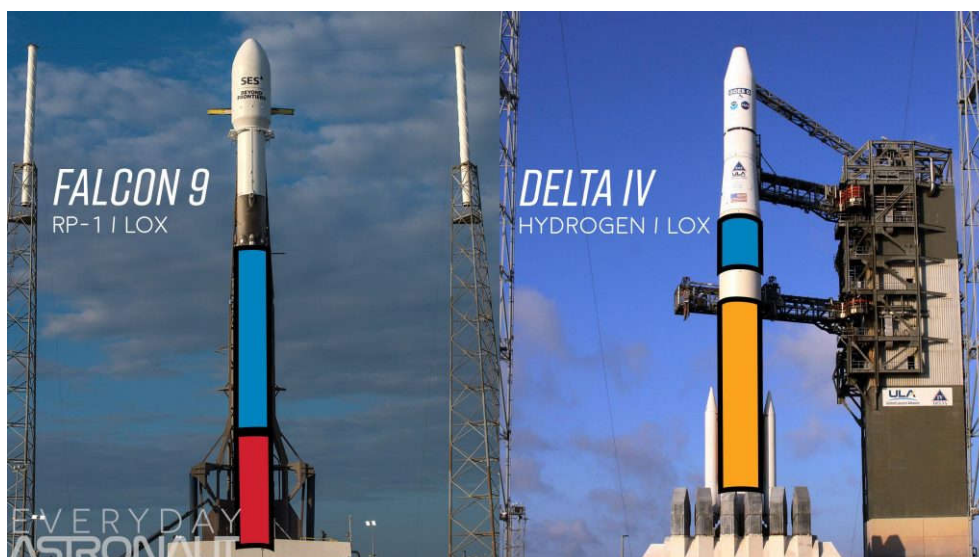
Jest to stosunek ile gramów ciekłego tlenu potrzeba na jeden gram paliwa. Współczynnik ten znacznie wpływa na impuls właściwy.

3. 1 Litr LOX : X Litrów Paliwa

Jest to stosunek objętościowy ile litrów paliwa zostanie spalone przez jeden litr ciekłego tlenu. Parametr ten ściśle powiązany jest ze stosunkiem Tlen : Paliwo oraz ich gęstością.



Te trzy parametry razem określają wygląd zbiorników na paliwo w rakiecie a dokładniej proporcję rozmiarów zbiornika na LOX oraz zbiornika na paliwo.



4. Maksymalny teoretyczny ISP

Jest to teoretyczny maksymalny impuls właściwy możliwy do otrzymania w idealnych warunkach. Warunki idealne jednak nie nigdy występują i parametr ten w rzeczywistości jest mniejszy i zależny od wydajności układu silnikowego.

5. Temperatura w komorze

Parametr ten wpływa na maksymalny czas pracy silnika, ponieważ gaz o niższej temperaturze wolniej zniszczy silnik, co za tym idzie ten może pracować dłużej.

6. Temperatura wrzenia

Parametr ten wpływa na bezpieczeństwo w magazynowaniu danego paliwa oraz na to jak wydajny musi być układ chłodzący zbiorniki, aby te nie wybuchły na wskutek ogrzewającego się z czasem i rozprężającego się paliwa.

7. Produkty spalania

Jest to parametr dość ważny dla życia człowieka ponieważ produktem spalania niektórych paliw raketowych mogą być silnie trujące gazy, które w najgorszym możliwym scenariuszu mogą się przedostać do kapsuły z ludźmi lub do stacji orbitalnej. Poza tym po prostu ekologia jest ważna.

8. Produkcja na Marsie

Naszym obecnym celem jest powrócić na księżyc oraz dotrzeć na Marsa. Ważnym więc staje się czy będąc na Marsie będziemy w stanie łatwo wytworzyć paliwo na powrót. Paliwa RP-1 nie ma możliwości wytwarzania na Marsie, ponieważ jest to specjalnie rafinowana nafta lotnicza. Dużo lepiej jest już z wodorem, ale jego produkcja nawet na ziemi jest bardzo kosztowna. Najlepszym wyjściem jest metan, który jest bardzo łatwy i tani w produkcji, wytwarza go praktycznie każdy organizm żywy w tym człowiek (dla ciekawskich, puszczając bąki niejako wyrzucamy z siebie paliwo raketowe w postaci metanu).

Podsumowanie

Obecnie najlepszym paliwem jest metan, ponieważ nie ma żadnej wady która mogła by go w czymkolwiek dyskwalifikować. Jego parametry, niskie koszty produkcji, łatwość dostępu i w miarę łatwy sposób magazynowania czyni go paliwem, które pozwoli nam powrócić na księżyc i zabrać nas na Marsa. Jest on paliwem dla silników Raptor które nazywa się najlepszymi silnikami w historii ludzkości, mimo, że jeszcze żadnej rakiety nie wyniosły one w kosmos, ale w różnych testach pokazały, że to one są najlepsze spośród mnóstwa innych silników raketowych.

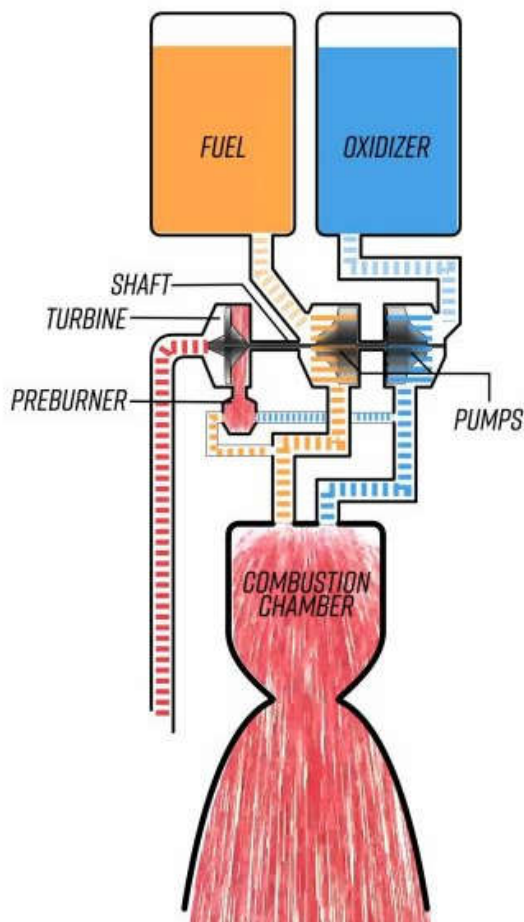
Rodzaje silników raketowych

Silniki raketowe dzielimy na podstawie tego jak substancja robocza przez nie przepływa. Możemy wymienić kilka podstawowych rodzajów silników:

- Silnik w cyklu otwartym
- Silnik w cyklu zamkniętym
- Silnik w cyklu zamkniętym z dwoma wałami
- Silnik pełnoprzepływowy.

Silnik w cyklu otwartym

Jest to najstarszy, najpopularniejszy i najtańszy w produkcji silnik raketowy. Napędza dziesiątki raket nośnych. Przykładem takiego silnika jest Merlin na paliwo RP-1, napędzający rakiety SpaceX takie jak Falcon9 oraz Falcon Heavy.

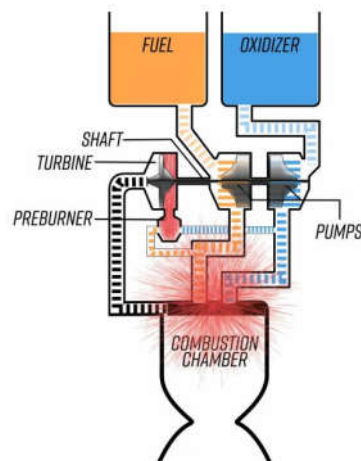


Budowa i działanie

LOX i Paliwo częściowo kierowane są do komory preburnera gdzie spalają się, a wylatujące z niego gazy napędzają turbinę a następnie gazy te odprowadzane są na zewnątrz silnika. Turbina po przez wał, przekazuje swoją energię obrotową na pompy, które zwiększają przepływ oraz ciśnienie LOX i Paliwa. Kiedy ciśnienie jest odpowiednio wysokie otwierają się zawory które pozwalają substancji roboczej wpaść do komory spalania gdzie LOX i paliwo mieszają się a następnie wybuchają. Niestety wyrzucanie pewnej części substancji roboczej jest poważną wadą silnika, znacznie zmniejszającą jego wydajność i impuls właściwy. Ciśnienie w takim silniku jest bardzo małe.

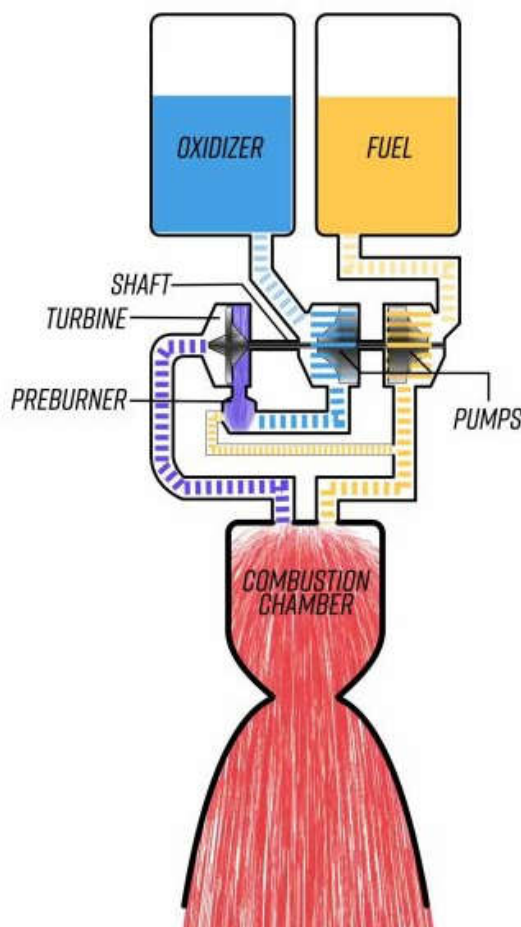
Silnik zamknięto przepływowy

Rosjanie nie mogli sobie pozwolić na marnowanie cennego czynnika roboczego, więc opracowali silnik wykorzystujący jego całość. Jednak podłączenie bezpośrednio do komory spalania odprowadzenia gazów wylatujących z preburnera nie działa poprawnie. Ciśnienie wylatujących gazów jest zbyt silne i najzwyczajniej blokuje dopływ LOX oraz paliwa do komory spalania. Komora spalań w takiej sytuacji może nawet eksplodować. Z czasem gazy te zaczęliśmy odprowadzać do dyszy wylotowej.



Budowa i działanie

Rosjanie jednak obeszli i ten problem. Przekierowali oni cały LOX do preburnera do którego trafia również pewna część paliwa. W preburnerze dochodzi do zapłonu i podobnie jak w silniku w układzie otwartym, turbina napędzana gazami wylatującymi z preburnera przekazuje swoją energię obrotową przez wał na pompy. Tutaj jednak kierowane do komory preburnera jest znacznie więcej LOX, którego jest tak dużo, że wciągane tam paliwo spala się całkowicie, a LOX zostaje wciąż bardzo dużo. Następnie całość gazów wylotowych z preburnera oraz paliwo wciągane są do komory spalania gdzie mieszają się i wybuchają. Nie marnowanie substancji roboczej zwiększa znacznie wydajność silnika oraz jego impuls właściwy. Ciśnienie w takim silniku jest znacznie większe niż w silniku otwarcie przepływowym co zwiększa jego ciąg. Jedyną wadą jest wyższe skomplikowanie konstrukcji, co za tym idzie znacznie wyższa cena.



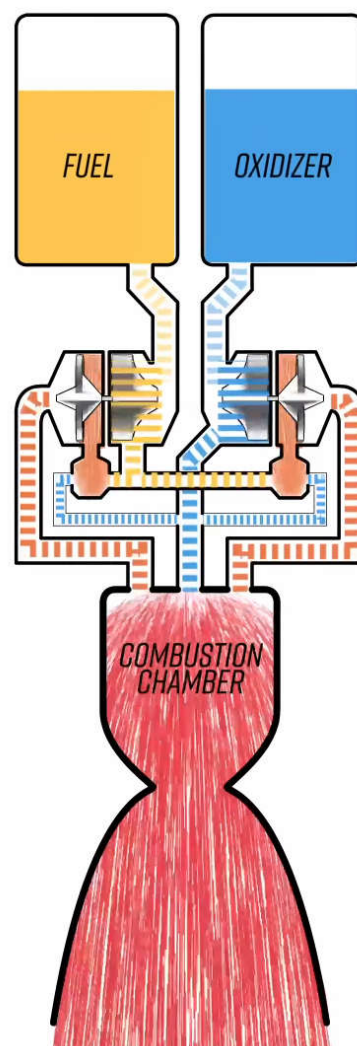
Sowieci skonstruowali jako pierwsi taki silnik w latach sześćdziesiątych, silniki takie miały napędzać ich rakietę księżycową o nazwie N-1. Jednak po kilku nieudanych próbach startu rakiety, prace zostały wstrzymane. O silniku na szczęście nikt nie zapomniał i przez lata był udoskonalany. W pewnym momencie trafiając między innymi do najpotężniejszej rakiety nośnej Energia. Potem przez kolejne lata pracy powstał dwukomorowy silnik RD-180 (РД -180) na paliwo RD-1, wykorzystywany do dziś. Napędza on między innymi amerykańskie rakiety Atlas III i Atlas V (tak Rosjanie robią silniki raketowe dla USA, a przynajmniej niektóre silniki).



Silnik zamknięto przepływowy o dwóch wałach

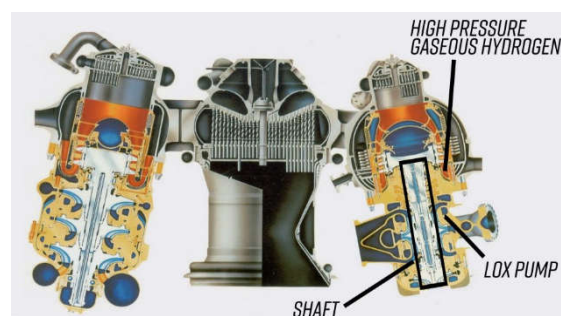


Silnik taki został zbudowany przez USA, powstał tylko jeden model takiego silnika o nazwie RS-25. Silnik ten napędzał wahadłowce amerykańskie i ma napędzać nowe amerykańskie rakiety księżycowe od NASA. Silnik działa na wodór.



Budowa i działanie

Silnik taki posiada dodatkową pompę i teraz każda pompa obsługuje oddzielnie paliwo oraz LOX. Pozwala to zmniejszyć obciążenie przypadające na jedną pompę i rozdzielić je na dwie pompy. Zwiększa to znacząco ich wydajność. Wraz z drugą pompą pojawia się drugi preburner napędzający dodatkową pompę. Zmienia się znacząco sposób zasilania preburnerów. Teraz po równo na dwa z nich tłoczona jest paliwo oraz po równo tłoczona jest do nich pewna część LOX. Paliwa jest na tyle dużo, że LOX nie jest w stanie wszystkiego spalić i zostaje mnóstwo paliwa. Paliwo to wraz z resztą gazów wylotowych trafia do komory spalania gdzie wtłaczana jest reszta LOX i dochodzi do wybuchu mieszanki. Każda z pomp nieco różni się od siebie, jedna jest specjalnie skonstruowana do tłoczenia LOX a druga do paliwa, dlatego są one różnych kształtów i rozmiarów. Układ taki i zastosowane technologie pozwalają niebotycznie zwiększyć wydajność silnika i jego impuls właściwy. RS-25 ma najwyższy impuls właściwy na powierzchni ziemi jak i w próżni z pośród wszystkich silników chemicznych.



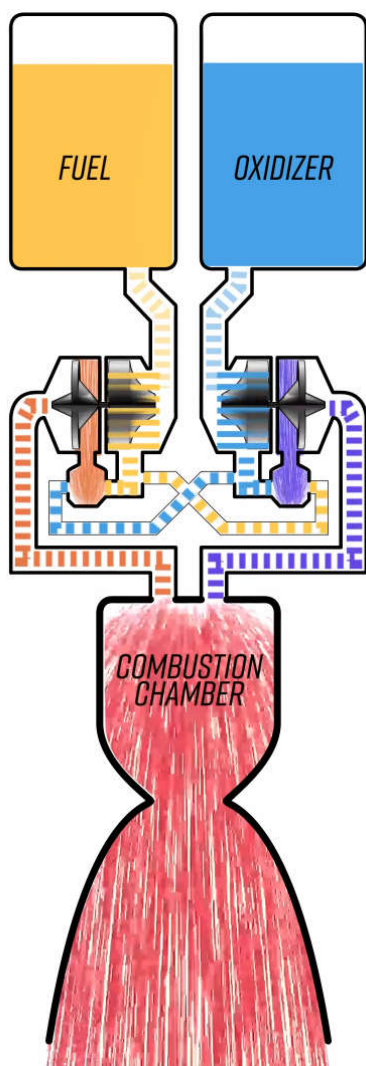
Silnik RS-25 można by nazwać istnym arcydziełem gdyby nie jego gigantyczne wady. Silnik jest niesamowicie skomplikowany a co za tym idzie wyprodukowanie takiego pochłania niebotyczną ilość czasu i pieniędzy. Jeden silnik RS-25 kosztuje tyle samo co ponad 50 silników Merlin.

Silnik pełnoprzepływowy

W historii zbudowano trzy takie silniki ale żaden z nich nie wszedł do użycia. Jedynym takim silnikiem, który ma wynosić rakiety w kosmos jest silnik Raptor od SpaceX. Silnik jest napędzany metanem i nazywany jest królem silników.

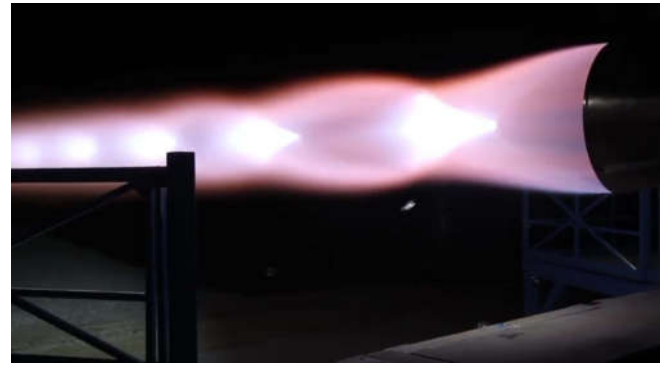
Budowa i działanie

Jest to uproszczona wersja silnika zamknięto przepływowego z dwoma wałami. Pozbity się tutaj bezpośredniego wlotu LOX do komory spalania. Jedn z preburnerów zasilany jest większą ilością LOX, a drugi większą ilością paliwa. Następnie gazy wylotowe wpadają do komory spalania i LOX oraz paliwo wybuchają.

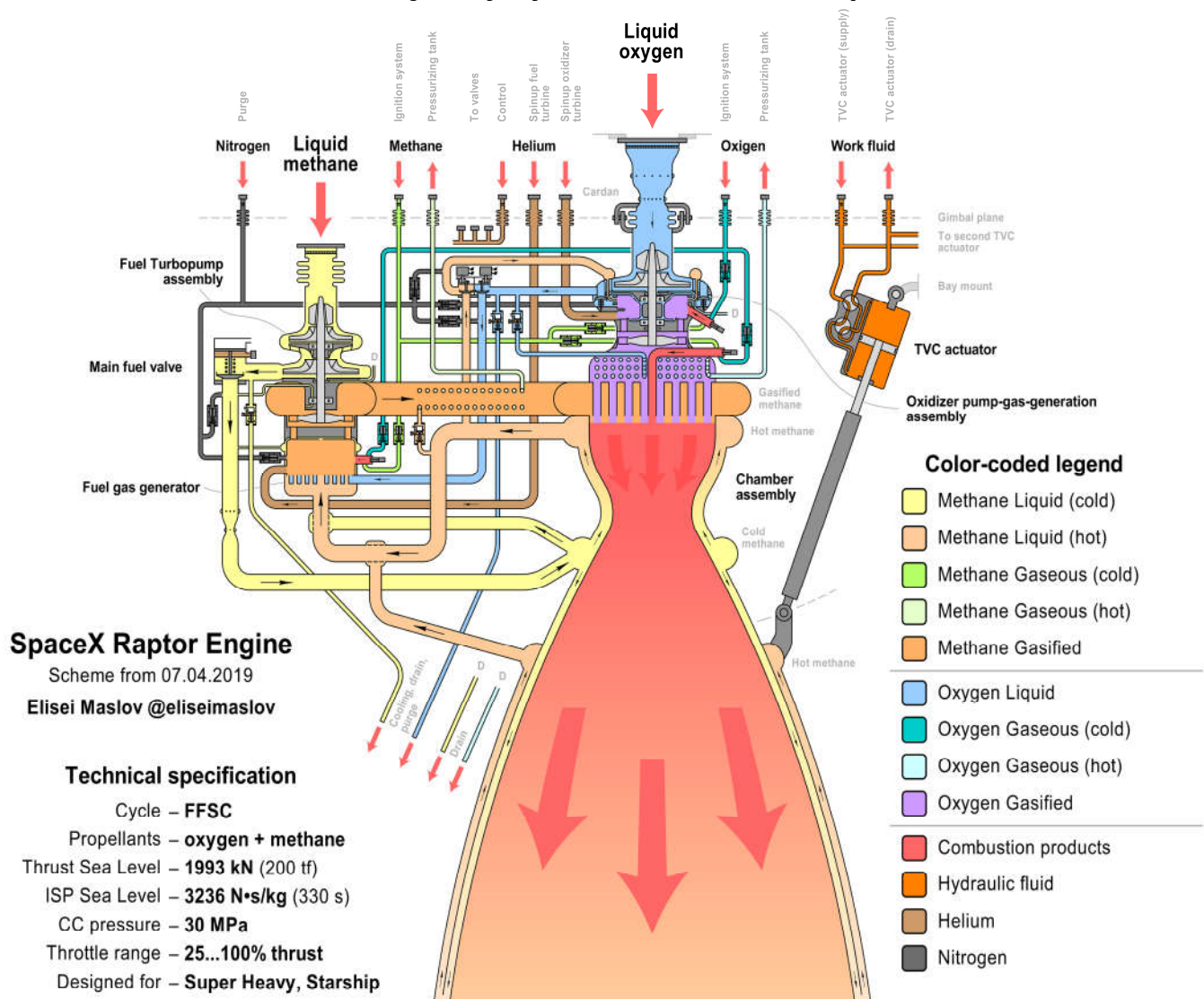


Jest to znacznie uproszczona konstrukcja względem silnika RS-25, co znacznie zmniejsza cenę. Poprawia to również znacznie osiągi i mimo iż silnik ten korzysta z paliwa o znacznie niższym maksymalnym teoretycznym impulsie właściwym od silnika RS-25 to jego impuls właściwy wciąż jest inponujący. Silnik ten jest też rekordzistą pod względem uzyskiwanego ciśnienia równego aż 270bar, jest to ciśnienie jakie panuje na głębokości 3km pod wodą. Tak wysokie ciśnienie pozwala uzyskać bardzo duży ciąg.

Wysokie ciśnienie podobnie jak w silnikach turbo-odrzutowych z dopalaczem tworzą z gazów wylotowych jasny warkocz. W silnikach samolotowych warkocz ten jest albo bardzo jasny albo czerwony w przypadku silnika raptor warkocz ten jest niesamowicie jasny i mieni się wieloma kolorami.



Dokładniejszy schemat silnika Raptor



Dlaczego silnik Raptor to król silników

Aby to zrozumieć musimy spojrzeć na parametry silników:

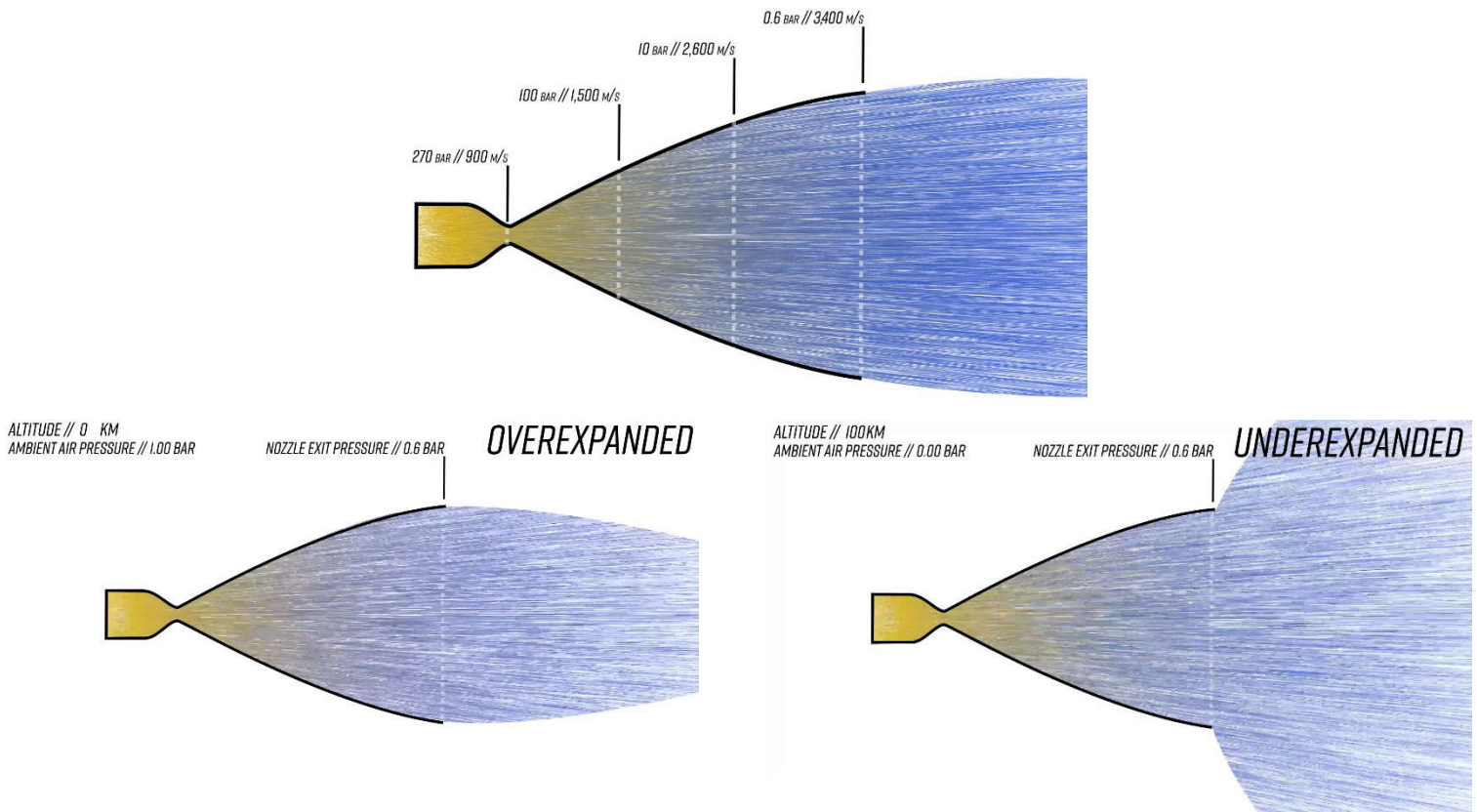


	Merlin	RD-180	F-1	Raptor	BE-4	RS-25
Cykl	Otwarty	Zamknięty	Zamknięty	Pełny	Zamknięty	Zamknięty (z dwoma wałami)
Typ paliwa	RP-1	RP-1	RP-1	Metan	Metan	Wodór
Całkowity ciąg	0.84 MN	3.83 MN	6.77 MN	2.00 MN	~2.40 MN	1.86 MN
Ciąg : Masa	198 : 1	78 : 1	94 : 1	107 : 1	~80 : 1	73 : 1
ISP	282s sl 311s vac	311s sl 338s vac	263s sl 304s vac	330s sl ~350s vac	~310s sl ~340s vac	366s sl 452s vac
Ciśnienie w komorze	97 bar	257 bar	70 bar	270 bar	~135 bar	206 bar
Cena	<\$1M	\$25M	\$30M	~\$2M	~\$8M	>\$50M
Wielokrotność użycia	10 lotów	Nie	Nie	50 lotów	25lotów	19 lotów
\$: kN	\$1,170:1kN	\$6,527:1kN	\$4,431:1kN	~\$1,000:1kN	~\$3,333:1kN	\$26,881:1kN
Potencjalny koszt na lot	\$117:1kN	\$6,527:1kN	\$4,431:1kN	~\$20:1kN	~133:1kN	\$1,414:1kN
Ilość lotów	71	79	17	Jeszcze nie	Jeszcze nie	135
Niezawodność	99.9%	100%	100%	N/A	N/A	>99.5%

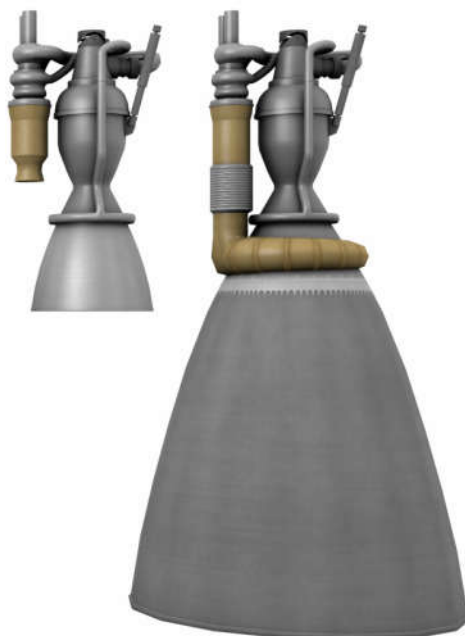
Patrząc po parametrach silników to silnik Raptor albo jest najlepszy albo przyzwoity. Ten silnik w zasadzie nie ma żadnych większych wad. Silnik jest jak AK-47, tani, dobry, o dużej sile - tutaj i tutaj grzebały radzieckie umysły.

Dysze

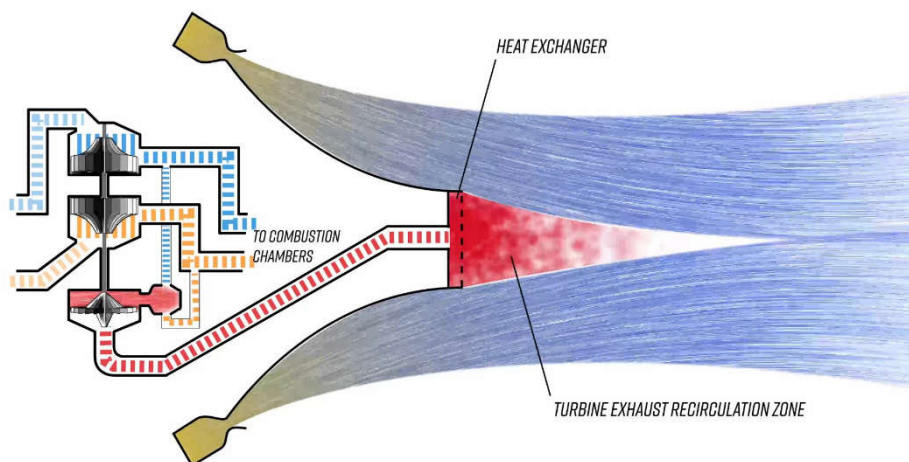
Dysza a dokładniej jej kształt znacznie wpływa na działanie silnika. Jej kształt ogranicza obszar w którym gazy wylotowe rozprężają się w kontrolowany sposób. Im dysza dłuższa oraz jej promień przy wylocie większy, tym gazy mają więcej miejsca gdzie rozprężając mogą nabrać prędkości. Jednak silnik o dużej dyszy na poziomie 0km nad poziomem morza traci na ciągu, dlatego silniki służące do startu rakiet mają krótkie dysze. Duże i długie dysze pozwalają gazą w próżni uzyskać większą prędkość co za tym idzie zwiększając wydajność silnika i jego impuls właściwy.



Rakiety takie jak Falcon9 używają 9 silników Merlin o krótkiej dyszy do startowania (oraz lądowania ponieważ jest to rakieta wielokrotnego użytku). Natomiast do rozpędzania się w próżni rakieta stosuje jeden silnik Merlin w wersji próżniowej czyli z długą dyszą.

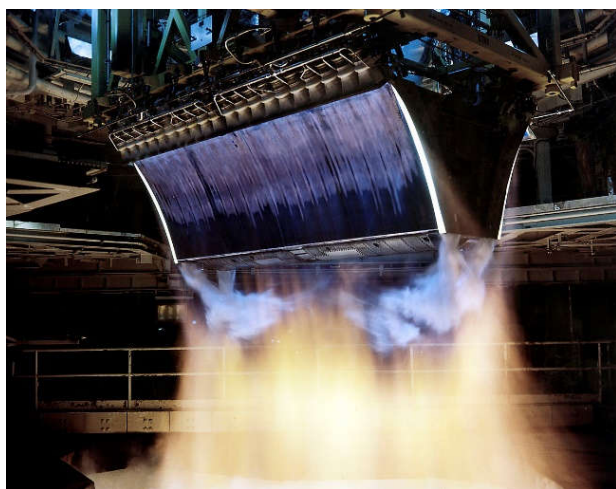


Istnieje też bardzo specyficzny kształt dyszy. Silnik z taką dyszą nosi nazwę Areospace i jego ciąg oraz impuls właściwy są niemal niezależne od ciśnienia. Dopiero w próżni parametry silnika lekko się zmieniają. Jednak żadna rakieta nigdy nie była napędzana takim silnikiem. Jedynym pojazdem który był napędzany silnikiem Areospace był treningowy lądownik, który służy astronautom misji Apollo do ćwiczeń lądowania na powierzchni księżyca.

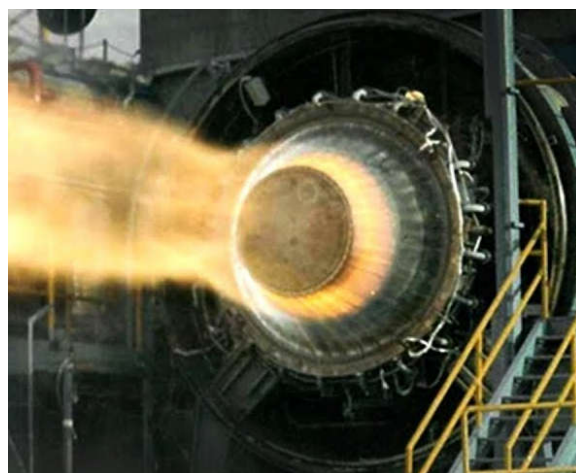


Silnik taki możemy spotkać w dwóch wersjach:

Prostokątnej

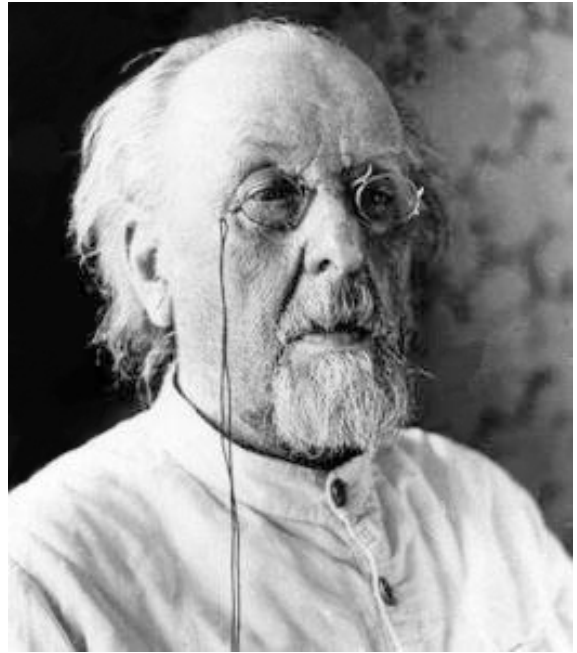


Kolistej



Ciekawostki

- Zasadę działania silników raketowych oraz odrzutowych w raz z koncepcją rakiet kosmicznych wymyślił Konstanty Ciołkowski, Rosyjski a potem Radziecki naukowiec polskiego pochodzenia. To na podstawie jego wyliczeń i odkryć funkcjonują wszystkie silniki raketowe (chemiczne) oraz odrzutowe.



- Pierwszym konstruktorem silnika oraz rakiety na paliwo ciekłe V2, był Wernher von Braun, członek hitlerowskiej partii NSDAP. Później po wojnie konstruował rakiety kosmiczne dla USA i to na jego rakiecie amerykanie wysłali swojego pierwszego satelitę. Został następnie pierwszym dyrektorem NASA, stworzył również rakietę która wyniosła pierwszych amerykańskich astronautów w kosmos oraz skonstruował rakietę Saturn V, która zabrała ludzi na księżyc. Wernher skończył jako bohater narodowy USA.



- Rakieta Saturn V była największą (111m), najcięższą (3800ton), najdroższą rakieta w historii ludzkości. Produkcja jednej rakiety wynosiła pół miliarda dolarów a cały program kosmiczny Apollo kosztował amerykańskich podatników pół biliona dolarów i był to najdroższy program w historii ludzkości. Rakieta napędzana była pięcioma silnikami F1 które są najpotężniejszymi silnikami jakie kiedykolwiek skonstruował człowiek. Ciąg tego silnika wynosił 6770kN co w przeliczeniu na konie mechaniczne wychodzi ok 55 000 KM na jeden silnik, czyli cała rakieta miała ok 275 000 KM. Rakieta ta zabrała ludzi na księżyc co nadaje jej status niejako legendarnej. Rakieta ma nawet swój zestaw Lego i jest to jeden z największych zestawów, liczy dokładnie 1969 elementów, dokładnie w tym samym roku czyli 1969 ludzie wylądowali na księżycu. Oczywiście jako fan kosmonautyki mam taki egzemplarz.



Źródła:

<https://everydayastronaut.com/raptor-engine/>

https://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik_rakietowy

<https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/index.html>

<https://www.nasa.gov/>

<https://www.youtube.com/watch?v=LbH1ZDImla8>

Własna wiedza