



3. Siła gazów

Jan Czyżewski

3.1 Wstęp

Żyjemy na planecie posiadającej atmosferę. Jesteśmy więc przyzwyczajeni do stałego kontaktu z substancjami gazowymi. Cały czas otacza nas powietrze, które wywiera na nas nacisk, którego oczywiście na co dzień nie zauważamy.

Już we wczesnych okresach rozwoju ludzkości odkryto, że zjawiska związane z ruchem gazów, mogą mieć bardzo duży wpływ na nas i nasze otoczenie. Jednym z najbardziej zauważalnych i odczuwalnych zjawisk tego typu jest wiatr, czyli ruch dużych mas powietrza. Poruszające się powietrze, kiedy trafia na jakiś obiekt, powoduje pewien wzrost ciśnienia od strony naporu powietrza. Po drugiej stronie ciśnienie jest nieco niższe. Różnica ciśnień powoduje powstanie siły, która usiłuje poruszyć obiektem. Różnica ciśnień zależy od prędkości ruchu gazu i kształtu obiektu. Jak wiemy, zbyt silny wiatr potrafi być wręcz katastrofalny w skutkach, jednak zjawisko daje się spożytkować dla potrzeb człowieka. Wystarczy wspomnieć o statkach żaglowych, czy wiatrakach wykorzystujących ruch powietrza.

Pierwsze, bardziej zaawansowane wykorzystanie siły gazów, pojawiło się już na początku naszej ery (choć wspomina się o jeszcze wcześniejszych) w postaci tzw. bani Herona. Tutaj sytuacja wyglądała nieco inaczej, wykorzystany został efekt, jaki powoduje uwolnienie

energii zgromadzonej w gazie, o ciśnieniu znacznie wyższym niż atmosferyczne. Wspomniana bania, była zbiornikiem z wodą, posiadającym dwie rurki, działające jak dysze. Całość była zamocowana tak, by mogła się obracać. Zbiornik napełniano wodą i umieszczano nad ogniem. Woda, po zagotowaniu się, zaczynała gwałtownie parować i uchodzić pod ciśnieniem przez rurki. Wypływ pary powodował powstawanie sił, działających na zbiornik. Końce rurek były ustawione tak, że powstałe siły wprawiały cały zbiornik w ruch obrotowy. Wykorzystanie tego zjawiska znamy dziś chociażby z silników odrzutowych, czy rakietowych. Tutaj skoncentrujemy się jednak na nieco innym wykorzystaniu ciśnienia gazów, czyli silnikach tłokowych.

3.2 Silniki parowe

Jak widać, sprężony gaz możemy wykorzystać jako nośnik energii. Od XVII wieku zaczęto rozwijać silniki parowe. Jako pierwsze pojawiły się silniki tłokowe. Silniki takie wymagały źródła pary, w postaci kotła. Kocioł był zbiornikiem, w którym podgrzewano wodę, aż do temperatury wrzenia. Był zamknięty i posiadał odpowiednio grube ściany, zdolne do wytrzymania powstającego ciśnienia. Najstarsze kotły miały zewnętrzne paleniska, potem palenisko wbudowywano do środka. Kotły podgrzewano najczęściej za pomocą spalania węgla lub drewna. Na skutek wrzenia wody, w kotle wytwarzała się para. Ze względu na to, że kocioł był zamknięty i para nie mogła znaleźć ujścia na zewnątrz, w środku wzrastało ciśnienie. Przed nadmiernym ciśnieniem, mogącym doprowadzić do eksplozji kotła, chroniły zawory bezpieczeństwa, upuszczające, w razie potrzeby, nadmiar pary. Energia uwolniona w procesie spalania, była więc magazynowana w parze wodnej pod ciśnieniem. Teraz należało przekształcić tą energię, w użyteczną pracę. Do tego właśnie służył silnik parowy.

Parowe silniki tłokowe składały się z tłoka, wykonującego ruch posuwisto-zwrotny i układu korbowego, przekształcającego ten ruch, w ruch obrotowy. Uzyskany ruch obrotowy można było wykorzystać bezpośrednio do napędu różnych maszyn lub pojazdów. Ruch tłoka wywoływała różnica ciśnień. Tłok był zamknięty w cylindrze, zamkniętym na końcach pokrywami. Tworzyły się więc dwie przestrzenie robocze pomiędzy tłokiem, a przednią pokrywą cylindra i pomiędzy tłokiem, a tylną pokrywą cylindra. Tłok przemieszczał się po całej długości cylindra. Na krańcach cylindra znajdowały się otwory, połączone z układem rozrządu. Układ rozrządu kierował, w odpowiednim momencie, parę z kotła do jednej przestrzeni roboczej, drugą łącząc



Rysunek 3.1: Lokomotywa parowa

w tym samym czasie z atmosferą. Różnica ciśnień pomiędzy parą, a powietrzem atmosferycznym powodowała, że na tłok zaczynała działać siła i był on odpychany. Kiedy tłok pokonał prawie całą drogę przez cylinder, układ rozrządu przełączał kanały. Przestrzeń robocza, wypełniana do tej pory parą, była łączona z atmosferą, para była tym samym wypuszczana na zewnątrz. W tym czasie, przestrzeń po drugiej stronie tłoka, zmniejszona teraz do minimalnej objętości, była łączona z kotłem i tłok zaczynał być odpychany w drugą stronę. Proces ten powtarzał się cyklicznie.

Powstanie silników parowych było jednym z czynników, które umożliwiły rewolucję przemysłową. Umożliwiły również dynamiczny rozwój lądowych i wodnych środków transportu. Jedynym środkiem transportu, gdzie silniki parowe nie znalazły zastosowania, było lotnictwo. Jednym z ciekawszych zastosowań silników parowych była kolej, gdzie powstało wiele odmian lokomotyw, często o bardzo specyficznej konstrukcji, dostosowanej do spełnianej funkcji. Najszybsze pociągi parowe, potrafiły przekroczyć z pasażerami barierę 200 km/h już w latach 30. XX wieku. Jedną z wad silników parowych, o stosowanej powszechnie konstrukcji, była niska sprawność, często rzędu zaledwie kilku procent. Oznacza to, że tylko kilka procent energii, uwolnionej w procesie spalania, było przekształcane w pracę, a reszta była bezpowrotnie tracona. Między innymi dlatego, era tłokowych silników parowych dobiegła końca. Jednym z urządzeń spokrewnionych z tymi silnikami są katapulty parowe, wykorzystywane na lotniskowcach do wspoma-



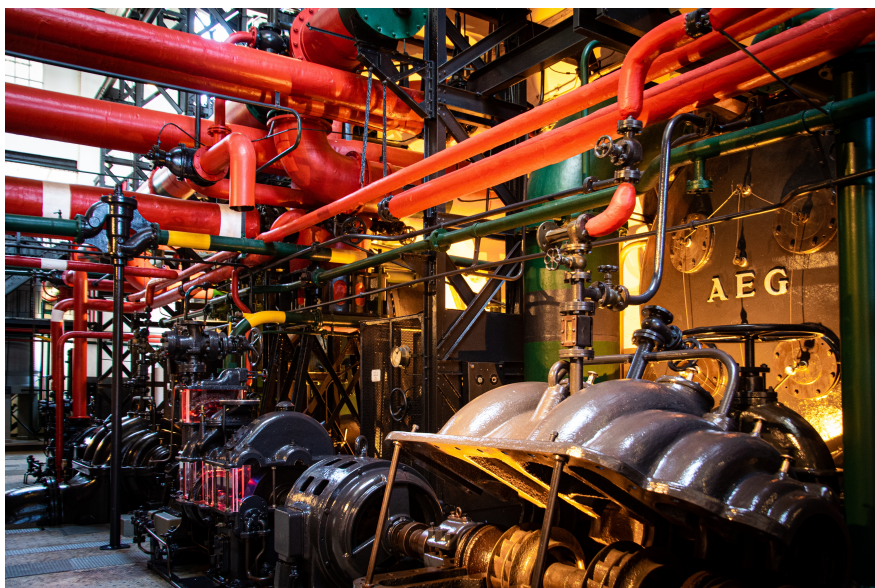
Rysunek 3.2: Cylinder silnika parowego wraz z układem rozrządu

gania startu samolotów. Wykorzystują one tłok, napędzany parą pod wysokim ciśnieniem. Ciekawostką są duże silniki na sprężone powietrze, zasilane z butli, wykorzystywane kiedyś do napędu pojazdów, np. w tunelach, aby nie powodować zadymienia.

3.3 Turbiny parowe

Warto też wspomnieć o innej, licznej grupie silników parowych, czyli silnikach przepływowych. Należą do nich turbiny parowe. Maszyny te posiadają koła, wyposażone w łopatki o specjalnym kształcie. Na łopatki te jest kierowany strumień pary, wprawiający koło od razu w ruch obrotowy. Turbiny parowe napędzały statki i okręty, urządzenia

przemysłowe, eksperymentowano z nimi na kolei. Podstawowym ich zastosowaniem dzisiaj są elektrownie zarówno te spalające różne rodzaje paliw, jak również atomowe.

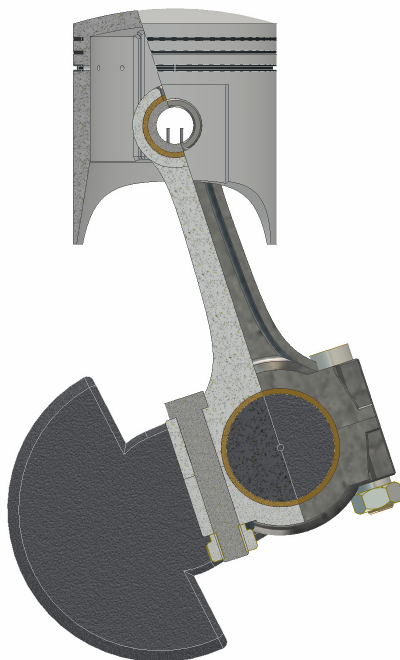


Rysunek 3.3: Turbiny parowe są powszechnie używane do napędu generatorów w elektrowniach

3.4 Tłokowe silniki spalinowe

W pewnym momencie pojawiła się koncepcja, aby wzrost ciśnienia wywoływać dopiero w cylindrze silnika, zamiast dostarczać do niego wcześniej sprężony czynnik roboczy. Tak powstały silniki o spalaniu wewnętrznym. Idea polega na zamknięciu w cylindrze mieszanki powietrza atmosferycznego, zawierającego tlen oraz paliwa. W odpowiednim momencie, inicjowany jest zapłon i rozpoczyna się proces spalania. Wtedy uwalniana jest energia, zgromadzona w cząsteczkach paliwa. Gwałtownie wzrasta ciśnienie i temperatura. Proces ten odbywa się w zamkniętej komorze spalania, tworzonej, podobnie jak w tłokowym silniku parowym, przez cylinder i poruszający się w nim tłok. Koniec cylindra jest zamknięty głowicą.

Pierwsze silniki spalały mieszanek, która nie była wstępnie sprężana, miała więc ciśnienie atmosferyczne. Szybko odkryto jednak, że dużo lepsze efekty można osiągnąć, sprężając mieszanek palną przed zapłonem.

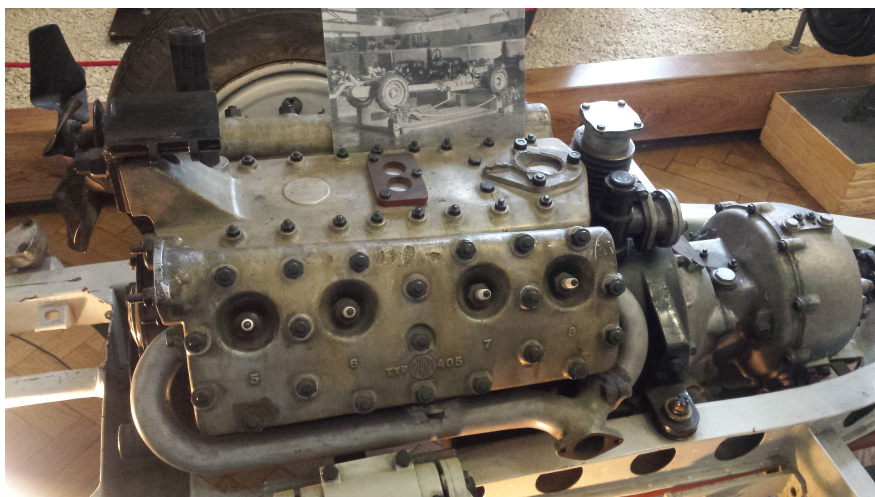


Rysunek 3.4: Schemat układu korbowego silnika spalinowego - widoczne są tłok, wał korbowy oraz łączący je korbowód

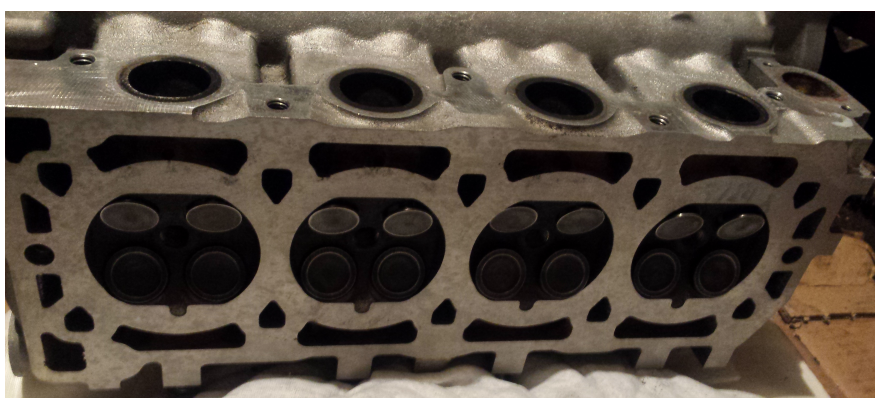
Cykl pracy silnika spalinowego jest więc nieco bardziej skomplikowany i musi składać się z kilku etapów. Pierwszym z nich jest napełnienie cylindra świeżą mieszanką. Tłok oddala się wtedy od głowicy, objętość przestrzeni roboczej wzrasta. Mieszankę tę trzeba następnie sprężyć, tłok zawraca, objętość zmniejsza się. Przestrzeń robocza jest wtedy odcięta od otoczenia, więc ciśnienie w środku wzrasta. Po wstępnym sprężeniu mieszanki należy wywołać zapłon. Dochodzi wtedy do procesu spalania i gwałtownego wzrostu ciśnienia w przestrzeni roboczej. Ciśnienie to odpycha tłok do dołu. Jest to etap, kiedy silnik oddaje energię. Na koniec trzeba się jeszcze pozbyć spalin, aby zrobić miejsce dla świeżej mieszanki. Dzieje się to podczas powrotu tłoka w stronę głowicy.

W najpopularniejszych obecnie silnikach czterosuwowych, każdy z tych etapów odpowiada jednemu suwowi tłoka (czyli ruchowi od jednego skrajnego położenia, do drugiego), cały cykl zajmuje więc dwa obroty wału korbowego. Istnieją też silniki dwusuwowe, w których proces pozbywania się spalin i zastępowania ich świeżą mieszanką

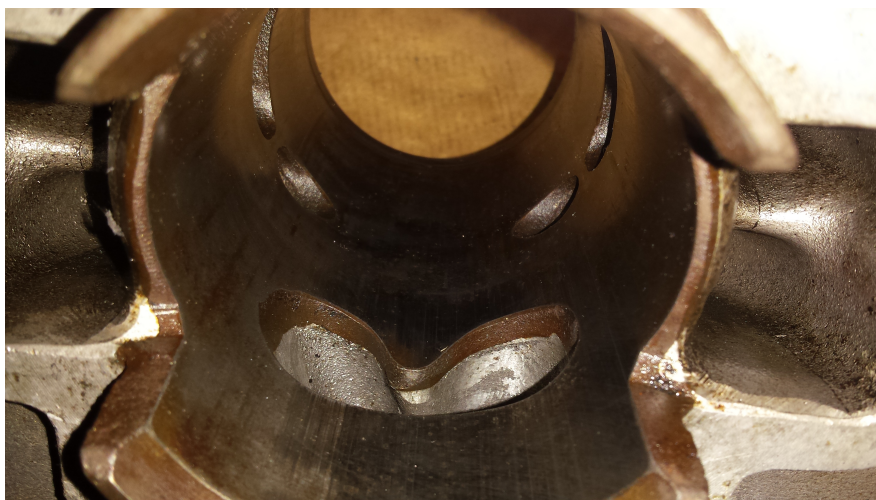
następuje jednocześnie, przez co cały cykl ich pracy zamyka się w dwóch suwach tłoka, czyli jednym obrocie wału korbowego. Teoretycznie takie silniki powinny być dwa razy mocniejsze, jednak w praktyce bardzo ciężko jest uzyskać taki efekt. Za sterowanie napływem do przestrzeni roboczej silnika świeżej mieszanki, wypuszczeniem spalin oraz zamykaniem tej przestrzeni w odpowiednim momencie, odpowiada układ rozrządu. Zazwyczaj jest on wykonany w formie ruchomych zaworów, a czasami okien w cylindrze, odsłanianych przez tłok, podczas jego ruchu.



Rysunek 3.5: Polski, przedwojenny silnik V8



Rysunek 3.6: Głowica z widocznymi zaworami silnika czterosuwowego



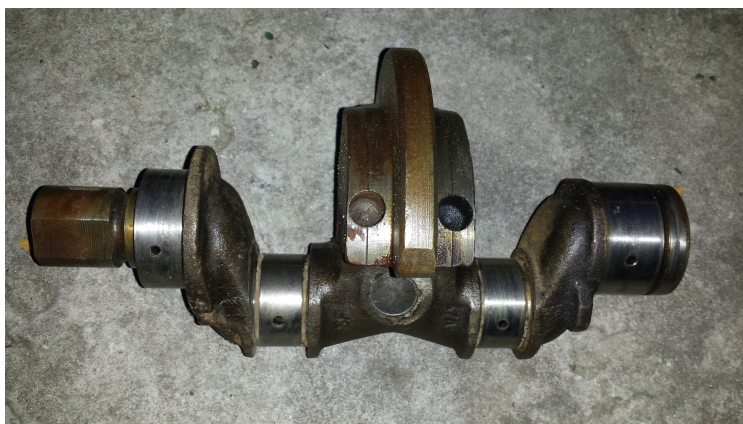
Rysunek 3.7: Cylinder silnika dwusuwowego z widocznymi kanałami rozrządczymi

Jednym z warunków pracy silnika jest dostarczenie do niego tlenu. Tlen znajduje się w otaczającym nas powietrzu, więc z jego dostępnością nie ma problemu. Im większą moc silnika chcemy uzyskać, tym więcej powietrza należy zassać do silnika. Za ten proces, obok rozrządu, odpowiada układ dolotowy silnika. Ma on zadanie dostarczyć do komory spalania oczyszczone powietrze w wymaganej ilości. Trzeba tu dodać, że istnieją silniki zwane wolnossącymi, które pobierają do komór spalania powietrze o ciśnieniu atmosferycznym, a także tzw. doładowane, zasilane powietrzem tłoczonym, np. przez turbosprężarkę. Sprężone powietrze ma większą gęstość, zawiera więc w tej samej objętości więcej tlenu. Dlatego silniki z doładowaniem mogą osiągać większe moce. Kiedy dysponujemy już tlenem, potrzebne jest paliwo. Jako paliwa używa się najczęściej związków węgla i wodoru. Lżejsze z nich mają formę gazu (np. gaz LPG), cięższe są cieczami (np. benzyna, olej napędowy). Podczas procesu spalania, z reakcji tlenu z paliwem węglowodorowym, powstają głównie woda i dwutlenek węgla.

Niestety, proces spalania nie zachodzi zazwyczaj w sposób doskonały, dlatego powstają też substancje, takie jak trujący tlenek węgla czy tlenki azotu. Te ostatnie powstają na skutek łączenia się, pod wpływem warunków panujących w komorze spalania, azotu, zawartego w powietrzu, z tlenem. Powstaje też sadza i szereg innych, niezbyt mile widzianych produktów spalania. Dlatego, w celu ich eliminacji, stosuje się, m.in. katalizatory i filtry cząstek stałych. Za usuwanie

(i oczyszczanie) spalin z silnika odpowiada układ wydechowy. Posiada on ponadto tłumiki. Bez tłumików, na skutek wylotu z komór spalania spalin, które wciąż posiadają znaczne ciśnienie, silniki byłyby bardzo głośne.

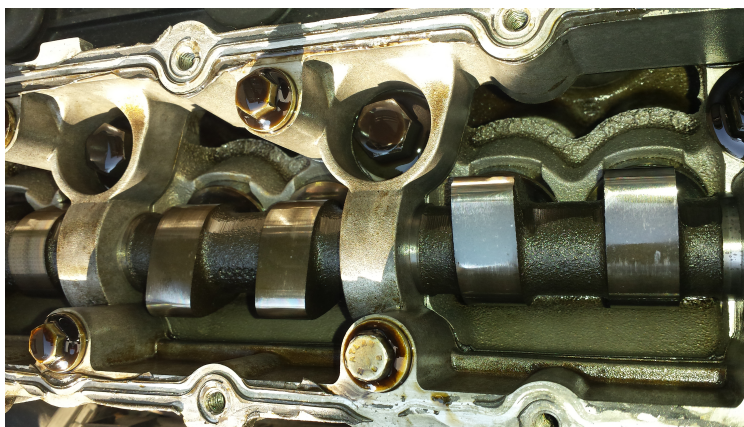
Silniki spalinowe występują w dwóch zasadniczych odmianach. Pierwszą są powstałe nieco wcześniej silniki z zapłonem wymuszonym (inaczej silniki z zapłonem iskrowym, niskoprężne lub silniki Otta). W silnikach tych sprężana jest, przygotowana wcześniej, mieszanka paliwowo-powietrzna. Mieszanka ta, po sprężeniu, jest zapalana w ściśle ustalonym momencie. Najczęściej jest to realizowane za pomocą iskry elektrycznej, która przeskakuje pomiędzy elektrodami świecy zapłonowej. Moc silnika reguluje się ilością mieszanki wpuszczanej do komory spalania. Drugą grupę stanowią silniki z zapłonem samoczynnym (inaczej silniki wysokoprężne lub Diesla). Tutaj sprężane jest samo powietrze i to do bardzo wysokiego ciśnienia. Kiedy tłok zbliża się do końca swej drogi ku głowicy, w odpowiednim momencie do komory spalania wtryskiwane jest paliwo. Sprężane powietrze, oprócz wysokiego ciśnienia, uzyskuje też wysoką temperaturę. W takich warunkach, odpowiednie paliwo (np. olej napędowy) zapala się samoczynnie. Moc silnika regulowana jest ilością wtryskiwanego paliwa, ilość zasysanego powietrza jest stała. Taki sposób zapłonu powoduje, że silniki Diesla (szczególnie starsze) są trudniejsze do odpalenia w zimie. Po prostu chłodne elementy silnika pochłaniają całe ciepło wytworzone podczas sprężania powietrza i samozapłon paliwa nie udaje się. Dlatego stosuje się różne urządzenia, wytwarzające dodatkowe ciepło, np. świece żarowe.



Rysunek 3.9: Wał korbowy silnika spalinowego



Rysunek 3.8: Świeca zapłonowa, w momencie przeskoku iskry pomiędzy elektrodami



Rysunek 3.10: Wałek rozrządu silnika czterosuwowego, widoczne krzywki służą do otwierania zaworów

3.5 Silniki odrzutowe, turbowałowe, strumieniowe

Również w przypadku silników spalinowych, szeroko rozpowszechnione są silniki przepływowe. Należą do nich silniki odrzutowe, turbowałowe, czy strumieniowe.

W komorze spalania silnika odrzutowego jest, w sposób ciągły, spalane paliwo. Proces spalania powoduje wzrost ciśnienia i temperatury

powstałych spalin. Spaliny te są kierowane na łopatki turbiny, którą napędzają. Turbina napędza zaś sprężarkę położoną z przodu silnika. Sprężarka tłoczy powietrze do komory (a raczej komór, gdyż często jest ich więcej) spalania. Rozpędzony strumień spalin opuszczający silnik, jest źródłem ciągu, czyli siły wprawiającej w ruch silnik (oraz połączone z nim elementy, np. samolot).

Silnik turbowałowy działa podobnie, jednak tam większość energii spalin jest odbierana przez wał turbiny i służy do napędzania różnych urządzeń, np. wirników w helikopterach.

Bardzo ciekawą konstrukcją są silniki strumieniowe, nie posiadające zazwyczaj elementów ruchomych. W zasadzie ich głównym elementem jest odpowiednio ukształtowana rura. Silniki takie mogą pracować dopiero przy bardzo wysokich prędkościach (minimum rejony prędkości dźwięku). Działają w ten sposób, że rozpędzone powietrze, wpadające do wlotu silnika, jest sprężane na skutek odbicia od specjalnie ukształtowanych ścian rury. Następnie jest do niego wtryskiwane paliwo, które spala się, podnosząc ciśnienie i temperaturę. Następnie rozpędzone spaliny opuszczają silnik, po drugiej stronie, generując ciąg.



Rysunek 3.11: Samolot zwiadowczy SR-71 Blackbird, wyposażony w silniki odrzutowo-strumieniowe

3.6 Silniki rakietowe

Kolejną grupę silników, stanowią silniki rakietowe. Podobnie do silników odrzutowych, służą one do wytwarzania ciągu, mogącego wprawiać ruch, np. samolot czy statek kosmiczny. Główną różnicą jest to, że silniki odrzutowe wykorzystują do działania tlen zawarty w powietrzu. Silnik rakiety zaś, jest zasilany przez substancje chemiczne (paliwo i utleniacz) zmagazynowane w zbiornikach i nie potrzebuje do pracy powietrza. Paliwo i utleniacz są wtryskiwane do komory spalania, gdzie ulegają spalaniu. Strumień powstałych gazów uchodzi przez dyszę silnika, generując ciąg.



Rysunek 3.12: Silniki rakietowe użyte do napędu wahadłowca